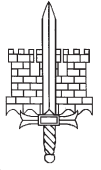


Maanpuolustus-
korkeakoulu

Taktiikan
laitos



Teknillinen korkeakoulu
Geoinformatiikka
Maanpuolustuskorkeakoulu
Taktiikan laitos



Mika Hyytiäinen



Paikkatietoylivoima
digitaalisella
taistelukentällä
Sotilaallisten maastoanalyysien
metamalli

Julkaisusarja 1, N:o 1/2003

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Kartografian ja geoinformatiikan laboratorio
MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU
Taktiikan laitos

**PAIKKATIETOYLIVOIMA DIGITAALISELLA
TAISTELUKENTÄLLÄ**
Sotilaallisten maastoanalyysien metamalli

Yleisesikuntamajuri Mika Hyytiäinen

GEOSPATIAL INFORMATION SUPERIORITY IN DIGITAL
BATTLEFIELD -
a hierarchical metamodel for military terrain analysis

Major G.S. Mika Hyytiäinen

Tekniikan tohtorin tutkinnon suorittamiseksi laadittu väitöskirja, joka esitetään
Teknillisen korkeakoulun Maanmittausosaston luvalla julkisesti tarkastettavaksi
korkeakoulun luentosalissa M1 helmikuun 15. päivänä 2003 klo 12.00.

Kansi Christer Mikkonen, Maanpuolustuskorkeakoulu.

ISBN 951-25-1404-4

ISSN 1238-2744

EDITA PRIMA OY HELSINKI 2003

PAIKKATIEOYLIVOIMA DIGITAALISELLA TAISTELUKENTÄLLÄ

Sotilaallisten maastoanalyysien kokonaismalli

Sisällys	5
Esipuhe	13
1 JOHDANTO	15
1.1 Tutkimuksen tausta	15
1.2 Aiemmat tutkimukset ja keskeiset lähdeaineistot	18
1.3 Tutkimuksen aihe, tutkimusongelmat ja rajaukset	22
1.4 Rakenne ja tutkimusmenetelmät	26
1.5 Työn keskeiset käsitteet ja määritelmät	33

OSA 1: PERUSTEET JA MAHDOLLISUUDET

2 DIGITAALINEN TAISTELUKENTÄ JA PAIKKATIEDOT	39
2.1 Yhdysvaltalainen kokonaiskäsitys	39
2.1.1 Digitaalinen taistelukenttä	39
2.1.2 Tilannekuva ja maaston visualisointi	46
2.1.3 Maantieteellisen tiedon kokonaisrakenne	50
2.1.4 Simulointi osana päätöksentekoa ja johtamista	57
2.2 Ruotsalainen kokonaismaanpuolustuksen näkökulma	62
2.2.1 Verkottuneen taistelukentän kokonaisvisio	62
2.2.2 Ruotsin paikkatiedon kokonaisstrategia	64
2.2.3 GeoPres kokonaiskonsepti	66
2.2.4 ROLF visiona uudesta johtamisympäristöstä	70
2.3 Suomalainen viitekehys	74
2.3.1 Digitaalisen taistelukentän ajatuksia Suomessa	74
2.3.2 Maastotiedon rooli ja rajoitukset taistelukentällä	82
3 MAASTOANALYYYSIEN TEKNISET PERUSTEET	86
3.1 Paikkatietoanalyysien teoria perusteet	86
3.1.1 Määritelmät ja erilaiset jaottelutavat	86
3.1.2 Rasterianalyysi ja overlay-operaatio	92
3.1.3 Spatiaalitalastotiede	94
3.1.4 Verkkoon kohdistuvat analyysit	96
3.2 Kaupalliset paikkatieto-ohjelmistot	99
3.3 Taistelumallien ja paikkatiedon suhde toisiinsa	101
3.3.1 Lanchester ja Osipov	101
3.3.2 QJM, SFS ja niiden suomalaiset sovellutukset	104
3.3.3 Neuvostoliiton vertailumalli ja sen suomalainen sovellutus	106
3.4 Sotilaallisten maastoanalyysien esittely	107
3.4.1 Sotilaalliset maastoanalyysit ohjesäännöissä	107
3.4.2 Maaston kulkukelpoisuus	109
3.4.3 Näkemän analysointi	112
3.4.4 Logistiikka tieverkoilla ja maastossa	115
3.4.5 Suojan hankintaa tukevat maastoanalyysit	117
3.4.6 Muita mahdollisuuksia	118

3.4.7	Esimerkki kevyestä maastoanalyysiohjelmasta: TerraBase	119
3.4.8	Esimerkki maastoanalyysijärjestelmästä: DTSS	120
3.5	Standardit kehitystyön ohjaajana	122
3.6	Tekniikan tarjoamat mahdollisuudet paikkatietoanalyysien ja järjestelmien toteuttamiselle osana digitaalista taistelukentää	125
4	MAASTOANALYYSIEN LÄHTÖAINEISTOT SUOMESSA	126
4.2	Esimerkkejä sotilaallisten paikkatietoaineistojen muodostamisesta	129
4.2.1	Tavoitteena yhtenäinen siltarekisteri	129
4.2.2	Routa, lumi ja jää maastoanalyysien lähtöaineistoksi ja tuotteeksi	133
4.2.3	Tavoitteena sotilasmetsä	136
4.2.4	Digitointityönä SALPA	142
4.2.5	Kokemukset aineistojen muodostamisesta	144
4.3	Sotilaallinen pioneerialan kohdetietojen keruu maastosuunnittelulla	146
4.3.1	Linnoittamisen maastosuunnittelu: periaatteen muodostaminen	146
4.3.2	Suluttamisen maastosuunnittelu: toiminnan muutos	150
4.3.3	Kohdetietojen asettamat vaatimukset paikkatietoaineistoille	159
4.3.4	Liikkeen edistämisen maastosuunnittelu: referenssi	163
4.4	Tavoitteena paikkatietotuote	165
4.4.1	Paikkatietotuotteen perusajatus	165
4.4.2	Karttatuotteet ja ilmakuvat referenssiaineistoina	166
4.4.3	Analyysien vaatimat paikkatietotuotteet	167
4.4.4	Sotilaalliset kohdetietokannat	169
4.4.5	Maastoanalyysituotteet aineistoina	170
4.4.6	Tuotteiden jakelu ja päivittäminen	172

OSA 2: VAATIMUKSET JA METAMALLI

5	JOHTAMINEN JA KOMPONENTTIARKKITEHTUURI KEHYKSENÄ	178
5.1	Johtamisprosessi ja sen asettamat vaatimukset	178
5.1.1	Kokonaisuus	179
5.1.2	Tilanteen arviointi ennen vaihtoehtojen vertailua	180
5.1.3	Vaihtoehdot ja päätöksenteko	184
5.1.4	Suunnittelu ja käskytykset	187
5.1.5	Taistelun johtaminen	193
5.2	Liikkuvan esikunnan rakenne ja tietojen hajautusarkkitehtuurimahdollisuudet	197
5.2.1	Esikunnan fyysinen rakenne ja osien tehtävät	197
5.2.2	Analyysien ja tietojen hajautuksen mahdollisuudet	199
5.2.3	Hajautetun tietojärjestelmän tietojen päivittäminen	203
5.3	Käyttäjien maastoanalyysitarpeet	206
5.3.1	Tarvekartoitus	206
5.3.2	Analyysitarpeet komponenttiarkkitehtuurin perustana	210
5.4	Tulosten visualisointi: haasteena ymmärtäminen	211
5.4.1	Yhtenäisen esitystavan perusidea	215
5.4.2	Rasterimuotoisten maastoanalyysien väristandardi	215
5.4.3	Kolmiulotteisuus lopullisena tavoitteena?	217

5.5 Komponenttiarkkitehtuuri tavoitetilana	220
5.5.1 Uuden sovellusarkkitehtuurin toimintatapa	220
5.5.2 Sovellusten ja palveluiden kehittämismallin kuvaus	226
5.5.3 Palvelu ja komponentti paikkatietoanalyysien kannalta tarkasteltuna	230
6 SOTILAALLISTEN MAASTOANALYYSIEN HIERARKINEN METAMALLI	233
6.1 Mallin muodostamisperiaatteet	233
6.1.1 Aineistointensiivisyys ja käyttäjien osaaminen	233
6.1.2 Aineistojen reaaliaikaisuus ja päivitysten hallinta	234
6.1.3 Analyysin laadinta-aika osana johtamisprosessia	236
6.1.4 Oikeaskaalaisuus ja yhteensopivuus analysoitavan ilmiön kanssa	237
6.1.5 Paikkatieto-ohjelmistoperustan huomiointi	244
6.1.6 Tietojen ja analyysien käyttöön liittyvät perusteet	248
6.1.7 Johtopäätökset: vaatimukset analyysihierarkialle	251
6.2 Kokonaisuomallin rakenne	253
6.2.1 Aineistotuotteet lähtökohtana	253
6.2.2 Maaston perusanalyysit (1-taso)	255
6.2.3 Maaston sovelletut analyysit (2-taso)	258
6.2.4 Analyysiyhdistelmät (3-taso)	263
6.2.5 Metamallin kokonaisuus	266
6.3 Mallin vastaavuus esitettyihin vaatimuksiin	269
6.3.1 Komponenttiarkkitehtuurin toteutuminen	269
6.3.2 Analyysien aika- ja varmuusvaatimusten toteutuminen	270
6.3.3 Käytettävyyksvaatimusten toteutuminen	272
6.3.4 Vaatimuslistan toteutuminen	273

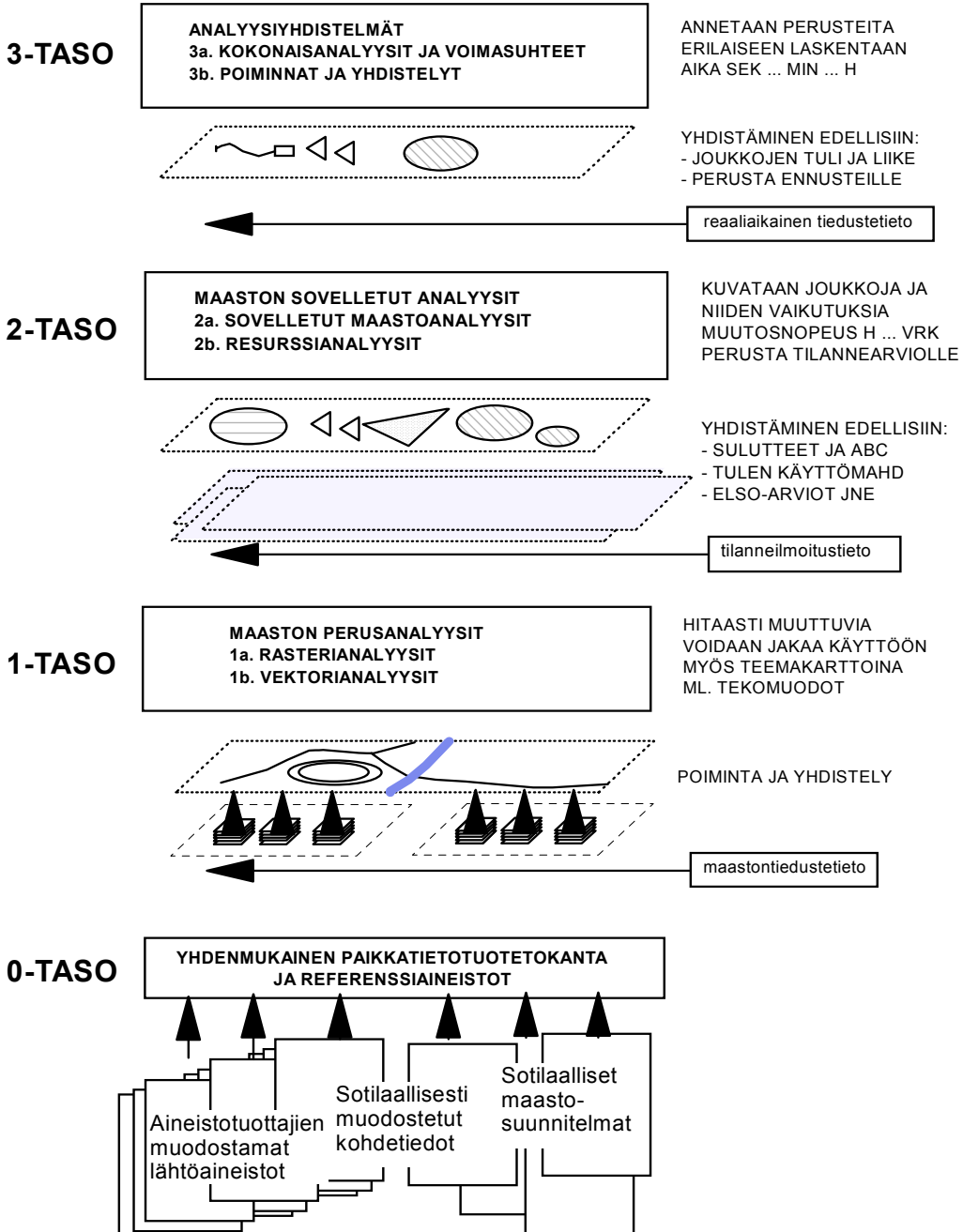
OSA 3: METAMALLIN EMPIIRINEN TESTAAMINEN

7 MAASTON KULKUKELPOISUUS ANALYYSIKETJUN ESIMERKKINÄ	275
7.1 Pioneeritoiminnan Johtamislaitteen kulkukelpoisuuden liittyvät analyysit	275
7.1.1 Pioneeritoiminnan johtamislaitte paikkatietojärjestelmänä	275
7.1.2 Kulkukelpoisuus perusanalyysin tasolla (1.taso)	279
7.1.3 Kulkukelpoisuuden sovellettu maastoanalyysi (2.taso)	282
7.1.4 Estearvo suluttamisen resurssianalyysin perustana (3.taso)	285
7.2 Taktinen simulaattori paikkatietojärjestelmänä (1.-3.taso)	288
7.2.1 Asejärjestelmätason simulaattorin tuli ja liike	288
7.2.2 Synteettinen joukko maaston käyttäjänä	292
7.2.3 Deterministinen joukkomalli ja sumeampi lähestymistapa	295
7.2.4 Ympäristön vaikutusten pelkistäminen	300
7.2.5 Maataistelun mallien ja paikkatietoaineistojen käytön välinen suhde	302
8 UUSIIN HAASTEISIIN VASTAAMINEN	304
8.1 Näkemäanalyysi komponenttiarkkitehtuurin prototyypinä	304
8.1.1 Yhteismäärittelyn toteuttaminen	304
8.1.2 Komponenttiarkkitehtuuri teknisenä perustana	306
8.1.3 Prototyypin toteutus iteratiivisen kehitysmallin pohjalta	310

8.2 Pelastustoimen poikkeusolojen riskianalyysi	312
8.2.1 Riskianalyysin perusteet	312
8.2.2 SeutuCD lähtöaineistona	313
8.2.3 Ongelman paikkatietotekninen mallintaminen	315
8.2.4 Analyysien toteutus hierarkkisen mallin mukaisesti	319
8.3 Helikopteritaktiikan tukeminen	322
8.3.1 Maa- ja ilmakatveanalyysit perusanalyysina	323
8.3.2 Uhka-analyysit ja tulaseman valinnan tukeminen resurssianalyyseina	326
8.3.3 Lentokäytävä ja maahanlaskualueet yhdistettynä analyyseina	333
8.3.4 Maaston kolmiulotteinen visualisointi osana analyyseja	339
8.3.5 Johtopäätökset	340
9 LAATU OHJAAVANA KÄSITTEENÄ	341
9.1 Laatuun liittyviä määritelmiä ja niiden soveltaminen maastoanalyyseihin	341
9.2 Paikkatiedon tekniset laatutekijät	345
9.3 Laadun dimensiot	347
9.3.1 Suunnittelu- eli tuotekeskeinen laatu	347
9.3.2 Tuotantokeskeinen laatu	349
9.3.3 Asiakaskeskeinen laatu	351
9.3.4 Systeemikeskeinen laatu	353
9.3.5 Tuotteen ja sen laadun hinnan arviointi	355
9.4 Esimerkki analyysin laatutestistä: PionJohlan maaston perusanalyysi	356
9.5 Laadun ohjausjärjestelmä	364
9.6 Maastoanalyyssikomponenttien ohjelmistotuotannon laatu metamallin kannalta	368
9.7 Metadata laadun apuvälineenä	369
10 YHDISTELMÄ	374
10.1 Työn tärkeimmät väitteet	374
10.2 Tulosten luotettavuuden ja käytettävyyden arviointi	376
10.3 Prosessiajattelu ja taistelu systeeminä	380
10.4 Taistelun vallankumous ja paikkatietotekniikka	382
11 POHDINTA: Visio paikkatiedosta suomalaisella digitaalisella taistelukentällä	385
Lähteet	394
LIITE 1	Käsitteet ja määritelmät
LIITE 2	Tärkeimmät projektit ja niiden tuotteet
LIITE 3	Kaupallisten paikkatieto-ohjelmistojen esittely
LIITE 4	Tietoja keskeisistä taistelumalleista
LIITE 5	Tietoja keskeisistä standardeista
LIITE 6	Suomalaisia paikkatiedon lähtöaineistoja

Teknillinen Korkeakoulu
Maanmittausosasto
Kartografian ja Geoinformatiikan laboratorio

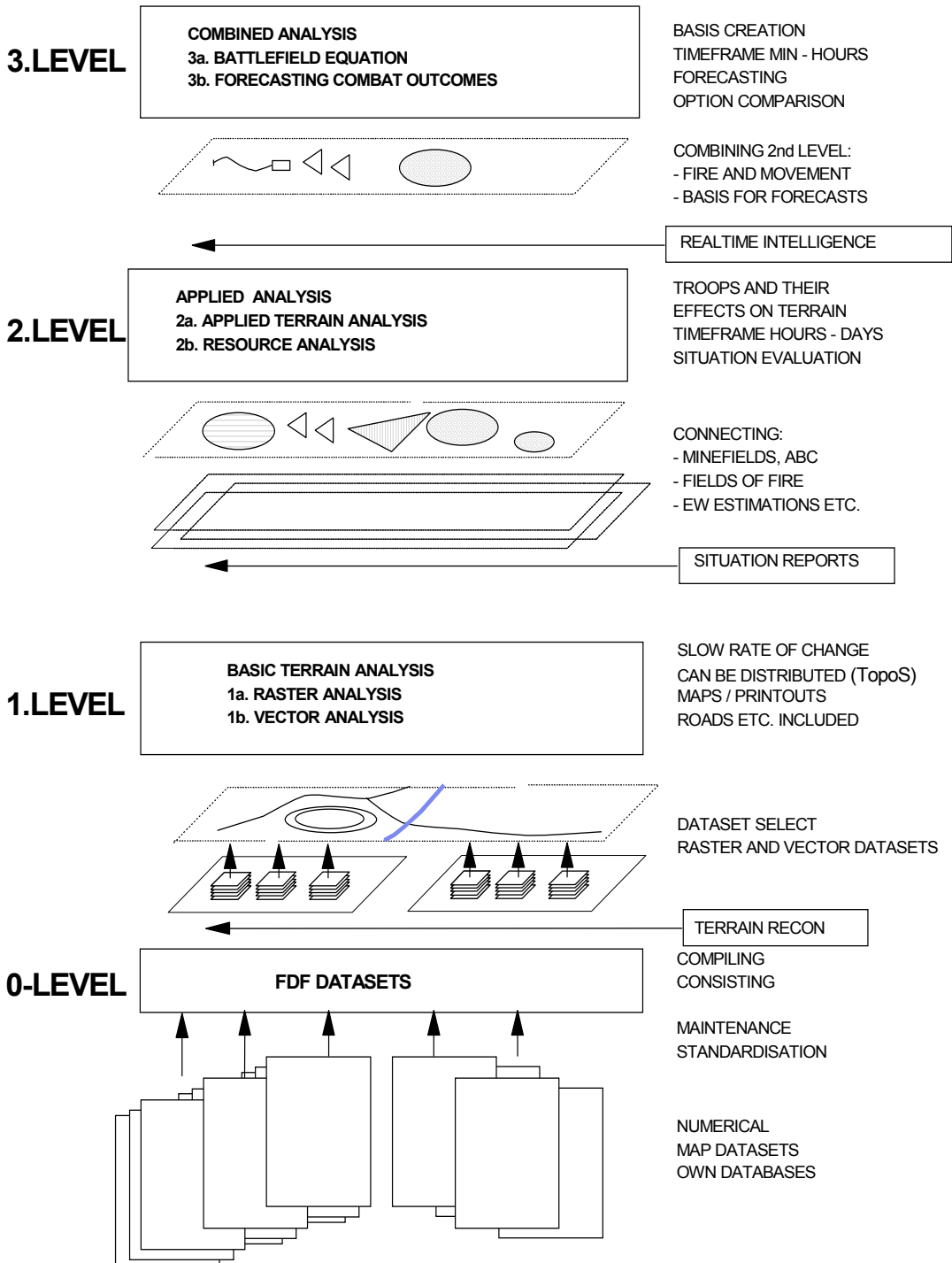
Tekijä Mika Hyytiäinen		N:O 93815P
Väitöskirjan nimi Paikkatietoylivoima digitaalisella taistelukentällä - Sotilaallisten maastoanalyysien metamalli		
Työn valvoja: Professori Kirsi Virrantaus		
Aika Elokuu 2002	Tekstisivuja 406	Liitesivuja 42
TIIVISTELMÄ <p>Tulevaisuuden sodankäynti perustuu kasvavassa määrin tiedon ja tietotekniikan hyväksikäyttöön. Sotilaallisen vaikuttamisen avainsana on täsmä, jossa paikkatietotekniikalla on merkittävä rooli. Työ käsittelee sotilaallisesti merkityksellisen maastoon ja ympäristöön liittyvän tiedon hyväksikäytön mahdollisuuksia analyyseissa Suomen puolustusvoimien kannalta.</p> <p>Työ on jaettu kolmeen osaan. Ensimmäinen osa kuvaa taustan, tekniset mahdollisuudet ja paikkatietoaineistot sekä mahdollisuudet niiden sotilaalliseen täydentämiseen. Toinen osa esittää johtamisprosessin ja komponenttiarkkitehtuurin asettamat vaatimukset ja kuvaa työn aikana kehitetyn metamallin sotilaallisten maastoanalyysien muodostamiseksi. Kolmas osa on empiria, jossa malli testataan ja kuvataan sen soveltaminen. Laatua on käsitelty erikseen kaikki osat kattavana tekijänä.</p> <p>Työssä väitetään, että:</p> <ol style="list-style-type: none">(1) Sotilaalliset maastoanalyysit on tehokasta toteuttaa esitetyn kolmiportaisen hierarkkisen maastoanalyysien metamallin ohjaamana.(2) Paikkatietoylivoiman perustana ovat suomalaiset paikkatietoaineistot täydennettynä sotilaallisella kohdetietojen keruulla.(3) Paikkatietoylivoiman osana analyyseilla kyetään merkittävästi vahventamaan sotilaallista johtamisprosessia.(4) Taktinen simulointi on johtamisprosessin osana merkittävä osa paikkatietoanalyyseja.(5) Sotilaalliset maastoanalyysit on nopeinta toteuttaa kaupallisiin ohjelmiin perustuen ja standardit ovat riittävän kypsiä takaamaan järjestelmien riittävän avoimuuden.(6) Paikkatietotekniikka kykenee tukemaan riskien arviointia ja parantamaan päätöksiä siviilien ja yhteiskunnan tärkeän infrastruktuurin suojaamisessa. <p>Työssä esitetään myös käsitteellinen malli tukea maastoanalyyseilla tiedon tuottamista vihollisesta (1-data), ei-vihollisesta (0-data) ja siitä, mistä tietoa käytettävillä sensoreilla ei voida lainkaan hankkia (no-data).</p> <p>Tutkimus on metodiltaan hypoteettis-deduktiivinen ja se on aloitettu vuonna 1998. Taistelun ja maastotiedon suhde on selvitetty operaatioanalyyysiin kuuluvien taistelumallien teorian ja taktisten simulaattoreiden käytännön toteutusten kautta.</p> <p>Työ liittyy puolustusvoimien johtamisjärjestelmäarkkitehtuurin määrittämiseen ja paikkatietostrategian muodostamiseen.</p>		
Avainsanat paikkatietoanalyysi, maastoanalyysi, digitaalinen taistelukenttä, mallinnus		
Kieli: Suomi		



Kuva: Sotilaallisten paikkatietoanalyysien hierarkkinen metamalli. Huomaa aikajänteen muutos oikeassa laidassa.

Helsinki University of Technology
Department of Surveying
Laboratory of Cartography and Geoinformatics

Author Mika Hyytiäinen		Number 93815P
Name of the doctoral dissertation Geospatial information superiority in digital battlefield - a hierarchical metamodel for military terrain analysis		
Supervisor: Professor Kirsi Virrantaus Opponent(s) Professor Tuija Helokunnas, Tampere University of Technology Professor Markku Löytönen, University of Helsinki		
Date of dissertation: January 24th 2003	Text pages 448	Monograph
Abstract <p>The way of conducting military operations in the future will rely heavily on computers and use of digital information. The new keyword is precise engagement, where geoinformatics has a decisive role. This dissertation deals with the use of geographical information in military terrain analysis as a backbone for new possibilities from the Finnish Defence Forces point of view.</p> <p>This dissertation is divided into three parts. The first part introduces the battlefield and describes the background: technical basis, COTS and analysis opportunities, available GIS datasets in Finland and possibilities to gather specific military field data. The second part presents the decision-making process used in the FDF and the demands set from the viewpoint of new component architecture. The second part also forms the hierarchical metamodel to solve the stated problem. The third part is the empiria that is used to evaluate and describe the use of the model. Quality is dealt with as a holistic issue covering all parts of the model including basic datasets.</p> <p>The dissertation claims that:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) Military terrain analysis is done effectively by the guidance of the formed hierarchical metamodel on three levels (figure on the next page). (2) Basis for the geospatial information superiority can be built with the Finnish geographical datasets, which are complemented by the military field data. (3) Military terrain analysis can significantly support the decision making process. (4) Tactical level constructive simulator as a decision support tool is a part of the highest level GIS analysis in order to support the decision making process. (5) Fast way to implement the terrain analysis in C3-systems is to use COTS tools. The standards are becoming mature enough to ensure the adequate openness of the systems. (6) GIS analysis can support military risk evaluation and decisions also in cooperation with the civil society to protect the people and the infrastructure. <p>The conceptual model to support data acquisition from the enemy by terrain analysis is also introduced. Used forms of data, information and knowledge are enemy (1-data), no enemy (0-data) and places where no data can be obtained by the used sensor (no-data).</p> <p>The research was conducted with the hypothetic-deductive method and it was commenced in 1998. The relationships between the combat models and the constructive simulators were studied in theory and applied by inspecting 14 different systems.</p> <p>This work relates to defining the GIS strategy as a part of the C3-architecture for the FDF.</p>		
Keywords: Spatial analysis, terrain analysis, digital battlefield, model hierarchy		
Language: Finnish		
ISBN 951-25-1404-4		ISSN 1238-2744
Publisher The National Defence College, Department of Tactics and Operations		



Picture: Hierarchy of Military Terrain Analysis.

ESIPUHE

Minulta on usein kysytty tätä työtä laatiessani, mitä oikein tutkin. Paikkatietotekniikka ja sen sotilaallinen soveltaminen ei ole kovin tuttua, joten aluksi lyhensin vastaukseni muotoon "karttoja tietokoneessa"; niitä sotilaat katselevat johtamisjärjestelmien kartta-käyttöliittymistä. Tutkimukseni edetessä muutin kuitenkin vastaustani muotoon "tap-pamista tietokoneella" - siitä tässä tutkimuksessa on varsinaisesti kyse.

Samalla kun tapa käydä sotaa on murroksessa, on paikkatietotekniikka muuttunut tutkijoiden ja insinöörien työkalusta pelien rakentelijoiden, visualisoijien ja tavallisten ihmisten välineeksi. Muutosten luonnetta ja perusteita on käsitelty laajasti, jotta työn voi edes yrittää ankkuroida tulevaisuuteen. Uutta tiedettä on esitetty malli, mutta todella uutta on paikkatietoanalyysien tehokas soveltaminen sodankäyntiin, koska sitä ei vielä missään ole tehty. Vallankumouksen olemassaolon tai olemattomuuden jätän lukijan arvioitavaksi, esitetyt paikkatiedon soveltamistavat antavat uutta tietoa tietotekniikan mahdollisuuksista. Kahden soveltavan tieteenalan, sotatieteen ja tekniikan, edustajille olen yrittänyt kuvata toista vähän laajemmin ja yleistajuisemmin. Työn aikana on kah-lattu mallin kaikki tasot läpi sovelluksilla, prototyypeillä ja selvityksillä - kuvatuista esi-merkeistä on toivottavasti apua ymmärrykseen abstraktin mallin rinnalla. Valittu tutki-muskohde on laaja ja sen kaikki oleelliset soveltamiseen liittyvät ulottuvuudet on halut-tu käydä läpi teknologiakartoituksesta lähtien.

Kiitokset professori Kirsi Virrantaukselle, jonka innostavassa opetuksessa ja ohjauk-sessa olen tehnyt työtä paikkatietotekniikan soveltamisessa. Professorit Vesa Tynk-kynen ja Tuija Helokunnas ovat esitarkastajina vaikuttaneet merkittävästi työn tieteelli-syyteen ja rakenteelliseen luottavuuteen, vaikka jäljellä onkin oppikirjamaisia esittele-viä piirteitä. Sakari Ahvenainen luki työn ensimmäisen käsikirjoituksen läpi ja nosti in-tohimolla esiin useita tarkennusta vaativia kohtia. Esa Lappalainen antoi uskoa omalla työllään ja tuki ensimmäisenä opponenttina tutkimusrakennetta. Anna Liukko on kes-tänyt osana projektejaan kirjoittajan tutkimuksellisen kunnianhimon ja Timo Ojalan käytännön GIS-analyysitaidot ovat olleet usein käytössä. Rami Immonen on ollut maastoanalyysityössä mukana alusta saakka ja laatii nyt omaa väitöskirjaansa. Esa, Maarit, Pekka ja Meri ovat osaltaan liittäneet omat diplomityönsä myös tähän raken-teeseen. Werner Hacklinin säätiö on tukenut työtä ja mahdollistanut aineistohankinnat.

Kovin usko ja tuki on tullut kotijoukoilta, jolle varsinkin käsikirjoituksen loppuvaiheen 14-tuntiset työpäivät ilman viikonloppuja huipensivat ponnistelut. Ilman Marin täyttä tu-kea ja Topiaksen kykyä irrottaa välillä isin ajatukset tärkeämpään tämä työ tuskin olisi valmistunut.

Informaatioteknologioiden nopea kehittyminen ja käyttöönoton laajentuminen vaikuttavat keskeisesti asevoimien kehittämiseen. Uusimpien teknologioiden tutkimus ja kehitys tapahtuu voimistuvan markkinaehtoisesti. Samalla järjestelmien suunnittelu ja rakentaminen on nopeutunut. Tämän seurauksena asevoimien ja muun yhteiskunnan teknisen kehittämisen vuorovaikutus on tiivistynyt. Asevoimien kehitys turvallisuusympäristössämme edellyttää myös Suomen puolustukselta panostamista uusiin teknologioihin. Tiedustelu-, valvonta- ja johtamisjärjestelmän kehittämisen tavoitteena on parantaa puolustusvoimien kykyä tuottaa johtamisessa ja oikea-aikaisessa päätöksenteossa tarvittava strateginen ja operatiivinen tilannekuva.

Suomen turvallisuus- ja puolustuspolitiikan selonteko 2001

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Tulevaisuuden sodankäynnissä tiedosta pyritään tekemään taistelun ratkaiseva elementti, kerroin, joka saattaa oman tulen ja liikkeen sekä kasvavissa määrin myös muun vaikuttamisen ylivoimaiseksi. Sana revoluuatio, sodankäynnin paradigman muutos, on paljon kiistanalaisesti [vrt. Huh01b ja Hei00] käytössä. Kuhn [Kuhn70] esittää muutoksen syntyvän, kun edellisen paradigman kanssa ristiriitaisen tiedon määrä ylittää pisteen, jonka vasta historia osoittaa. Ahvenainen [Ahv02a,b,c]¹ esittää muutoksen tietoyhteiskunnan uudentyyppisen ajattelun perustan aiheuttamaksi, jossa ihmisen syvällinen ja koneen laskennallinen tieto yhdistyvät intuitioksi, uudellaiseksi monimutkaisuutta hallitsevaksi tieteeksi ja tietämykseksi. Intuition tietokonepuoli on *"informaatiota, jota voidaan tehdä sen monimutkaisuuden takia vain uusimmilla tietokoneilla ... tietoa, joka on olemassa, mutta jonka saaminen hyödynnettävään ja ymmärrettävään muotoon vaatii tietokonekapasiteettia."* [Ahv02b, vrt. jo Ahv 97]. O'Hanlon [Han01] jakaa revoluuatio-käsitteen käyttäjät kuuteen kategoriaan: johtamisen, taistelutilan hallinnan, kaukovaikutteisen iskukyvyyn, haavoittuvuuksien ja jälkirevoluution koulukuntaan sekä skeptikkoihin². Revoluution olemassaolo ei siis ole kiistatonta, revolutioiden esiintymistä sotatieteissä ylipäätään on kritisoitu. Vasta riittävän suuri sota voi todistaa revoluuution olemassaolon - historiallisesti ja jälkikäteen.

Suuri osa uudesta sotilaallisesti hyödynnettävästä tiedosta on paikkaan sidottua ja

¹ Ahvenaisen ajattelun lähteenä on [Pag89].

² O'Hanlonin esittämää viitekehystä on tarkasteltu syvemmin luvussa 11.

sitä käsitellään sekä ymmärretään karttakäyttöliittymän avulla. Paikkatieto muodostaa johtamisjärjestelmiin maailman, jossa tietokone käsittelee asioita. Kun kauko-ohjattujen asejärjestelmien ja robottien käyttö taistelukentällä laajenee, lisäänty myös maastotiedon merkitys ase- ja johtamisjärjestelmien osana. Muutos liittyy erityisesti täsmään, jossa paikkatiedon merkitys on oleellinen. Jos paradigman muutos hyväksytään, tietokoneeseen ei pidä suhtautua tukevana järjestelmänä vaan välineenä, joka tuottaa edun uudenlaisten mahdollisuuksien hyödyntämisestä. Työ perustuu ajatuksellisesti näkemykselle, että näin on todella käymässä, jolloin on mahdollisuus edes yrittää hahmottaa ne mahdollisuudet, jotka paikkatieto ja erityisesti maastoanalyysit kykenevät sotilaalliselle päätöksenteolle tarjoamaan. Jos vallankumous ja paradigman muutos ei ole totta, voidaan työssä muodostetusta rakenteesta poimia nykyistä toimintaa tukevat osat, joiden osalta työ on keskeisen vaatimuksen eli johtamisprosessin osalta kiinnitetty tällä hetkellä käyttöön käskettyyn, uuteen ja osin keskeneräiseen rakenteeseen. Uudet mahdollisuudet esitetään vasta viimeisenä luvussa 11 visiona varsinaisen tutkimustyön ulkopuolella.

Digitaaliseen taistelukenttään on kohdistettu paljon kritiikkiä: pessimismiä tiedon kattavuutta kohtaan, pelkoa hukkua sirpaletietoon, arvioita johtajien riskinottokyvyn romahtamisesta heidän totuttuaan kattavaan informaatioon, huolta taistelun johtamisen muuttumisesta tietokonepeliksi, jossa inhimillisuus ja ihmiset unohtuvat tietokoneiden johtamien robottien ja cyborgien³ ottaessa vallan taistelukentällä [Huh01b] [Info00] [Ran02] [Taist00] [Wal00]. Esitetty on sekä perusteltua että huomion arvoista. Aihe ei ole pelkästään ajankohtainen, se on kuuma: sodassa doping ei ole vain sallittua, se on pakollista. Kaikkine puutteineenkin tarjottu visio digitaalisesta taistelukentästä on kuitenkin kiehtova.

Yhdysvalloissa on tavoitteena rakentaa kaikkia puolustushaaroja ja taistelun tasoja yhdistävä, yhtenäinen aineistomaailma, ja mahdollistaa sitä käyttävät paikkatietoanalyysit. Tavoite koskee sekä ase- ja johtamisjärjestelmiä että simulaattoreita. Painopiste on tällä hetkellä aineistojen nopeassa luomisessa, koska taistelukentän sijaintia maailmassa ei voi ennustaa, eivätkä Yhdysvaltojenkaan resurssit riitä koko maailman aineistojen keruuseen ja jatkuvaan ylläpitämiseen. Maa on edelläkävijä myös muilla paikkatietotekniikan sotilaskäytön alueilla. Ruotsissa paikkatietorakenne vastaa pääpiirtein tilannetta Suomessa. Toimintoja on kehitetty holistisen kokonaisuuspuolustuksen strategian ohjaamana käyttäen turvallisuusviranomaisia yhdistävää GeoPres-konseptia, jolla tietojen vaihto on mahdollistettu.

³ Robotilla viitataan tässä autonomiseen koneeseen ja cyborgilla ihmiseen, johon uusi tekniikka on integroitu.

Muissakin länsimaissa sekä ainakin Kiinassa, Japanissa, Intiassa ja Venäjällä on käynnissä intensiivistä tutkimusta ja kehittämistä tällä alueella⁴.

Miksi aihealue on Suomen Puolustusvoimille tärkeä? Koska digitaalinen taistelukenttä on jollakin tavalla myös meidän tulevaisuuttamme. Julkaisut kuten ”*Sodankäynnin muutokset ja puolustusjärjestelmän kehittämistarpeet*” [Koli95], ”*Digitaalinen taistelukenttä*” [Dig99] [Kos00b] ja ”*Verkostosodankäynti*” [Ahv02a] viittoittavat tietä. Puolustuselonteossa 2001 [Sel01] todetaan johtamisjärjestelmän olevan yksi neljästä kehittämisen painopistealueesta. Tällä tekniikan osa-alueella Suomi on paljon fyysisistä kokoaan suurempi ja vertaamalla aineistotilannetta Yhdysvaltojen taivoitteisiin huomaa meillä olevan reaalin mahdollisuus ylittää asetetut vaatimukset. Tutkimuksessa tarkastellaan, miten syntynyttä etua voisi käyttää teknisesti ja omaperäisesti hyväksi Suomen puolustamiseen.

Tietotekniikan kehittyminen on viime vuosina tehnyt mahdolliseksi suurien tietomäärien käsittelyn halvoissa ja kenttäkelpoisissa tietokoneissa. Saman aikaisesti kaupalliset paikkatieto-ohjelmistot ovat voittamassa viranomaisten kehitystyöt myös Yhdysvalloissa ja standardit auttavat tietojen integroinnissa. Paikkatietotekniikka on internetin ja mobiilin paikannuksen ansiosta arkipäiväistymässä, ihmiset oppivat käyttämään paikkatietoa arjessaan ja vaatimaan sitä myös työssään, sotilaatkin.

Tehdyissä tutkimuksissa ja selvityksissä⁵ on todettu, että maastoanalyseilla kyetään nopeuttamaan ja varmentamaan tilanteen arviointia ja päätöksentekoa. Tätä osoittaa myös maastoanalyysien asema johtamisprosessissa. Analyysit pystyvät osoittamaan mahdollisuuksia, joita muutoin ei olisi löydetty, varoittamaan seikoista, joita muutoin ei olisi ajoissa huomattu, tukemaan ihmistä riskien arvioinnissa ja tuottamaan määrällistä tietoa muun laskennan tueksi. Viimeisen kymmenen vuoden aikana Suomessa on kehitetty useita paikkatietotekniikkaa käyttäviä johtamisjärjestelmiä. Useimmissa maasto esitetään lähinnä referenssinä kuvaruutukartan muodossa, mutta osassa aineistoja käytetään myös maastoanalyysiin. Tärkeä osa uutta sodankäyntitapaa on tehtävien analysointi ja harjoittelu tietokoneavusteisesti. Taktisista simulaattoreista on johtamisjärjestelmiin kytkettyinä simulaattoreina kehittymässä taistelun avainteknologiaa. Kun tieto on saatu kerättyä, tietokoneiden taistelumallit voivat auttaa ihmisvisioijaa ymmärtämään, mitä on tapahtumassa ja mitä on mahdollista tehdä. Ensimmäinen taktisen tason johtamiskoulu-

⁴ Väite perustuu omakohtaisiin havaintoihin käyttäjäkokouksissa ja ulkomailla opiskelleiden upseereiden esitelmiin ja kertomuksiin.

⁵ Tällä viitataan Johtamisen ja tiedustelun tietojärjestelmän, Pioneeritoiminnan johtamislaitteen [Pjohla] ja erityisesti esikuntien kehittämisen projektin [Esik00] aikana tehtyihin kokeiluihin ja selvityksiin. Luonteensa vuoksi lähteet eivät ole julkisia.

tusta tukeva simulointijärjestelmä on jo tulossa Suomeen, mutta vastaavan päätöksenteon tukijärjestelmän kehittämistä ei vielä ole aloitettu. Tämä työ esittää tavan, jolla analyysit voidaan kytkeä osaksi tiedustelun-, valvonnan ja johtamisen sovel-lusarkkitehtuuria.

Itse jouduin aiheeseen siihen käskettynä vuonna 1996. Pioneeritoiminnan johtamis-laitteen määrittely ja kehitys pakotti opiskelemaan ja antoi mahdollisuuden tehdä työtä paikkatietoalan yrityksessä. Kehitystyön aikana huomasin, että moni työläs vaihe on tehtävissä tietokoneella tehokkaasti ja lopputuloksista löytyy usein seik-koja, etuja ja rajoituksia, jotka muuten olisivat jääneet huomaamatta. Kymmenen erilaisen tutkimus-, kehitys- ja toteutusprojektin⁶ kokemuksella uskallan nyt väittää, että paikkatietotekniikka on yksi digitaalisen taistelukentän avaintekniikoista, jonka kehitys viimeisen viiden vuoden aikana on tuonut merkittäviä, käyttämistä odottavia mahdollisuuksia. Toisaalta sadat kaatumiset, mystisesti ilmestyneet virheet ja alati venyvät aikataulut ovat toivottavasti pitäneet jalat maassa ja auttaneet keskittymään oleelliseen: paikkatiedossa sitä ovat rajapinnat ja tietomallit. Olen oppinut pelkää-mään sanaa optimointi, koska kukaan ei osaa kuvata tietokoneen vaatimia formaaleja sääntöjä taktisten asioiden ratkaisemiseksi. Niinpä olen kasvanut iteroinnin kannattajaksi: science of war sopii koneille, art of war meille ihmisille. Taitokonetta en vielä ole tavannut.

1.2 Aiemmat tutkimukset ja keskeiset lähdeaineistot

Taistelumalleja on maailmalla tutkittu sadan vuoden ajan. Tietämys näistä on kirjallisuustutkimuksen lisäksi perustettu kolmeen Maanpuolustuskorkeakoulun sovelta-vaan diplomityöhön [Kii81][Rik93][Vai01]⁷ sekä Puolustusvoimissa käytössä olevien mallien analysointiin. Tietoja on syvennetty komentaja- ja esikuntasimulaattorin hankintaprojektissa [KESI] kerätyillä tiedoilla mallien ja niiden maailmojen suh-teesta, joka on raportoitu kirjoittajan laajassa erikoistyössä [KESI02]⁸ sisältäen tyyppimallien johtamisen. Tärkein lähde mallien osalta on Military Operations Re-search Groupin [MORS]⁹ julkaisu, joita on syvennetty kurssilla Royal Military

Kirjoittaja on henkilökohtaisesti osallistunut useisiin kokeiluihin.

⁶ Projektit on luetteloitu liitteessä 2.

⁷ Toissā esitetään taistelumallien käytännön soveltamismahdollisuuksia taistelun lopputulosten arviointiin nimenomaan Suo-messa ja koskien suomalaista taktiikkaa. Muita merkittäviä soveltavia tutkimuksia asiasta ei ole käytössä.

⁸ Yksityiskohtaiset tiedot analysoiduista neljästätoista järjestelmästä on saatu osin kaupallisen tarjouskilpailun kautta ja osin opintojen osana, eivätkä niiden tiedot ole julkisia. Raportti on kuitenkin tarkastettu osana tätä työtä.

⁹ MORS on laajin sotilaalliseen operaatioanalyysin tutkimukseen erikoistunut foorumi, joka pitää vuosittain laajan konferens-sin. Järjestö keskittyy NATO:n piiriin.

School of Sciencessä [RMSC]¹⁰. Paikkatietoanalyysien tekniikka on selvitetty asiakirjatutkimuksella alan perusteoksista sekä osana tutkimus-, kehitys- ja toteutusprojekteja viiden viime vuoden aikana. Tiedot kaupallisista paikkatieto-ohjelmistoista on kerätty osana eri projekteja ja niitä on pyritty pitämään ajan tasalla, työn kannalta oleellista on ohjelmistojen kypsyytensä ja niiden kyky mukautua komponenttikehitystyöhön.

Ulkomaisista lähteistä tärkeimmät ovat Yhdysvaltojen National Imagery and Mapping Agency (NIMA) julkaisema Geospatial Information Infrastructure Master Plan [GIIMP97]¹¹ kokonaisuus ja sitä käyttäjän näkemyksin ja tavoittein tukeva Terrain Visualization Master Plan [TVMP]¹². Näitä on käytetty lähtökohtina sekä käsitteistön että perusrakenteen osalta.¹³ Lisänä käytetty Topographic Engineer Centerin [TEC], Terrain Visualization Centerin [TVC] ja National Simulation Centerin [NSC] internet-sivustoja. Ruotsalaisista lähteistä tärkeimpiä ovat kehityslinjaukset [GIS95][Ärs01,02] ja GeoPres-tekniikan [GeoPres]¹⁴ sekä ROLF-johtamisjärjestelmäkonceptin [ROLF] kehittämistyö. Kirjoittajalla on myös ollut mahdollisuus tutustua edellä esitettyihin organisaatioihin paikan päällä ja haastatella alan asiantuntijoita eri maissa¹⁵.

Suomessa paikkatietoanalyysien sotilaallisen soveltamisen tutkimuksellisenä lähtökohtana on Esa Lappalaisen tekniikan lisensiaatintyö "Paikkatiedon analysointitoiminnot, sotilaallinen tarkastelu" [Lap94]. Työ on teoreettinen kirjallisuustutkimus ja siihen sisältyy myös esimerkki rasterianalyysin käyttömahdollisuuksista maavoimien yhtymän esikunnassa vaatimuksineen ja ratkaisumalleineen. Käsitteiden osalta työtä on täydennetty PATU-tutkimuskokonaisuudessa. Pioneeritoiminnan johtamislaitteen maastoanalyysien perusteet on kuvattu Esa Oravan diplomityössä "Maastoanalyysi sotilaskäyttöön" [Ora99] ja analyysien visualisointitutkimuksen julkinen osuus Maarit Mikkelsenin diplomityössä "Sotilaallisten maastoanalyysien tulosten visualisointi" [Mik00]. Maanpuolustuksen tieteellisen neuvottelukunnan puit-

¹⁰ RMCS on käyttänyt simulointia ja taistelumalleja opetuksen perustana useita vuosikymmeniä ja omaa laboratorion, jossa on kahdeksan eri järjestelmää. Iso-Britannia on erikoistunut erityisesti systeemidynaamisen mallinnuksen käyttämiseen.

¹¹ TVMP suunnitelma muodostettiin kun paikkatietoalan sotilaallista ja kaupallista kehitystä johtava Yhdysvallat keskitti kaikki turvallisuuteen liittyvät ulkomaiset (taistelukenttään liittyvät) aineistohankinnat ja muodostamisen yhteen organisaatioon. Lähde kuvaa suuren tutkimuskokonaisuuden johtopäätökset ja sitä voi pitää alan perusteoksena. Suunnitelman uusinta versiota ei vielä ole julkaistu.

¹² Asiakirja kuvaa Yhdysvaltojen topografijoukkojen tavoitetilaa ja se ohjaa paikkatiedon osalta siirtymistä uuteen taistelutapaan. Suunnitelma on koottu Pioneerikoulun Terrain Visualization Center osastossa, joka vastaa tietojen käytön kouluttamisesta Yhdysvaltojen maavoimissa nimenomaan päätöksenteon tuen kannalta.

¹³ Sotilaallisesti tämä on käytännössä ainoa vaihtoehto, koska käsitteistö on uutta ja Yhdysvallat johtaa sen muodostamista.

Myös Ruotsissa ja Iso-Britanniassa käsitteistö perustuu tähän.

¹⁴ GeoPres on merkittävää osaa viranomaissektorista kattava paikkatietojärjestelmäalusta.

¹⁵ Tärkeimmät tiedonhankintahaastattelut on esitetty lähdeluettelossa erikseen.

teissa aiheesta on ilmestynyt tutkimus ”Maastouttamiskartta” [MATI01b] ja käynnissä ovat tutkimukset overlay-analyysitulosten luotettavuudesta [MATI02] sekä metadatasta [META02]. Aineistoista on käynnistymässä sotilasmetsän [Sotmetsä] jatkotutkimus. Kaikki liittyvät tässä käsiteltävään aiheeseen ja kirjoittaja on osallistunut sekä töiden tavoitteiden määrittelyyn että ohjaamiseen. Paikkatietojen yhteiskäytön tutkimustyön tuloksena on ollut standardeja [JHS137a], toimintastrategiaa [PTY97] sekä palveluja [PTK]. Hankkeet kuten Digiroad ja niihin liittyvät tutkimukset ovat myös osoittaneet yhteisen vision tarpeellisuuden. Topografikunta on pyrkinyt muodostamaan Puolustusvoimille yhtenäistä ja kattavaa paikkatietokantaa ja teettänyt useita käytännön tason tutkimuksia syntyneisiin haasteisiin vastaamiseksi.

Puolustusvoimien Tietotekniikkalaitos on tutkinut paikkatietoanalyysien käyttöä pääosin Anna Liukon johtamana neljässä peräkkäisessä projektissa [PATU] vuodesta 1998 lähtien. Kirjoittaja on osallistunut tutkimuskokonaisuuteen alusta saakka ja merkittävä osa tässä työssä esitetystä on tehty sen puitteissa. Sovellusarkkitehtuuriprojektissa [SovA] määritetään ratkaisuja tulevaisuuden komponenttiarkkitehtuuria varten ja se muodostaa väitöskirjan kehityksellisen viitekehysten. Komponenttiarkkitehtuurin käyttöönotto on käsketty projektin tehtävänasettelussa.¹⁶ Osana Pioneeritoiminnan johtamislaitteen kehitystyötä [Pjohla] Puolustusvoimille on kehitetty ja toteutettu ensimmäiset laajat ja yhtenäiset maastoanalyysikonaisuudet. Lisäksi osana projektia on toteutettu kolme erillistä maastosuunnittelua tukevaa kehitystyötä esitutkimuksineen [LiMaSu] [SuMaSu] [LeMaSu], aineiston luontiprojekti [Salpa] ja aineiston hankintaprojekti [PuuAine]. Kirjoittaja on tehnyt aiheesta oman diplomityönsä [Hyy97] ja ohjannut neljä muuta diplomityötä sekä toiminut projektin päällikkönä sen alusta vuoden 1999 syksyyn saakka. Helikopteritutkimuksen osana on tehty useita GIS-analyysitöitä, joista laajin on kirjoittajan Timo Ojalan kanssa tekemä sovellettu työ [HEKOGIS] ja siihen liittyvät artikkelit. Pelastuslaitoksen riskianalyysityössä [PeLaRA] toteutettiin selvitys paikkatietoaineistojen ja -analyysien mahdollisuuksista tukea poikkeusolojen pelastustoimintaa ja väestönsuojelua, kirjoittaja osallistui työhön paikkatietoanalyysien asiantuntijana. Projektit ja niiden keskeiset tuotteet on esitelty tarkemmin liitteessä 2.

Paikkatietoalan standardointia on seurattu useasta lähteestä. Tärkeimmät ovat International Standardisation Organisationin [TC211] työ Norjassa, Object Management Groupin [OMG] CORBA ja UML / MDA määrittelytyö, Open Gis Consortiumin

¹⁶ Empirian kannalta tutkimustyö on rajoitettu vaatimusten osalta komponenttiarkkitehtuurin käyttämiseen. Tämä on työn tietekninen rajaus.

[OGC] Distributed GIS -lähestymistapa ja GML-määrittely, Digital Geographic Information Working Groupin [DGIWG] ylläpitämä NATO:n sotilasaineistoja koskeva DIGEST-standardointi, Synthetic Environment Data Representation and Interchange Specification [SEDRIS] simulaattoriaineistojen standardointi ja Word Wide Web Consortiumin [W3C] internet-standardointi. Myös kotimaisen julkisen hallinnon paikkatietosuosituksen [JHS137a] mukaisesti on laadittu koemäärittelyjä.

Analyysien metamalli toimii myös kokonaisvaltaisen laadun apuvälineenä ja kehyksenä. Laadun käsitys on professori Paul Lillrankin kirjan "Laatuajattelu – laadun filosofia, tekniikka ja johtaminen tietoyhteiskunnassa" [Lil99] mukainen. Muita lähteitä ovat ISO 9000 kehitysmalli kirjasta "Softa 9000" ja paikkatiedon yleiset laatutekijät eri standardeista. Metadataa käsitellään laadun informaation välittäjänä.

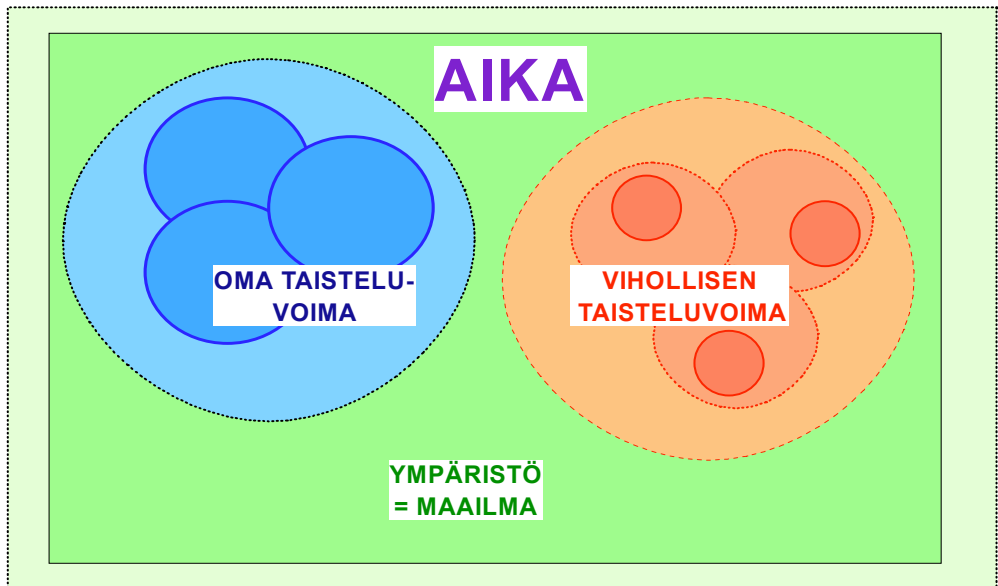
Lähteistön rungon siis muodostavat toisaalta lähinnä Yhdysvaltojen pitkäaikaiseen tutkimukseen perustuvat tavoiteohjelmat niihin perustuvine uusine maastoanalyysin käyttöä kuvaavine ohjesääntöineen ja alan keskeiset standardit, joiden vaikuttavuus alalla on kiistaton ja ylittää yksittäiset tutkimukset. Näitä ei ole edes pyritty kuvaamaan käytännön toteutuksen tasolla, koska myös esitettävä metamalli on ideatason konstruktio. Käytännön sovellusten julkinen tutkiminen on salaamissyistä mahdotonta ja näin on menetelty vain taktisten simulaattoreiden kohdalla, jotka nekin ovat koulutusjärjestelmiä eivätkä sinällään sotilaallisen päätöksenteon tukijärjestelmiä. Lisäksi simulaattorit perustuvat matemaattisten mallien käyttöön, joiden luonne ja puutteet¹⁷ tunnetaan. Myös luvussa 2 esitetty taistelukentän kuvaus on pidetty tarkoituksellisesti ideatasolla. Perustaltaan käytettyjä lähteitä voi pitää luotettavina ja merkittävänä tulevaisuuden kehityksen ohjaajina lukuunottamatta luvun 2 suomalaista osuutta, joka kuvaa vain tutkittavasta asiasta esitettyjä henkilöityjä näkemyksiä yhteisesti hyväksytyjen päätösten puuttuessa.

Toisen merkittävän lähderyhmän muodostaa työn empiria, joka koostuu suuresta määrästä käytännön kehitystöitä mallin soveltuvuuden testaajina. Kehitetyt sovellukset ovat toimivia ja kirjoittajalla on ollut mahdollisuus vaikuttaa niistä jokaiseen ensimmäisestä tavoiteasettelusta lähtien. Empiria myös kattaa esitettävän metamallin kaikki tasot ja kaikki merkittävät paikkatietoalan kaupalliset ohjelmistot. Esitettyjä standardeja on sovellettu kehitystöissä.

¹⁷ Näitä on käsitelty erikseen maastotiedon kannalta luvussa 3. Itse mallien käsittely taistelun kuvaajina Suomessa on jätetty kahden diplomityön varaan, koska niiden käsittely vaatisi kokonaan oman tutkimuksensa. Lisäksi tämäkään lähestymistapa ei ole julkisessa tutkimustyössä helppoa toteuttaa.

1.3 Tutkimuksen aihe, tutkimusongelmat ja rajaukset

Tutkimuksen tietoteknisenä viitekehyksenä on taistelulenttä, joka voidaan yksinkertaisimmillaan pelkistää kahden muuttujan, oman ja vastustajan taisteluvoiman, vuorovaikutukseksi ajan ja paikan¹⁸ suhteen [Ahv02a]. Päätöksentekoa tukevassa tietokoneessa sekä taisteluvoimat että mallinnettu ympäristö, maailma, ovat paikkatietoa. Maastoanalyysillä tarkoitetaan laajassa mielessä sitä relaatiota, joka taistelumalleilla on maailman kanssa.



Kuva: Digitaalinen taistelulenttä pelkistettynä tietokoneen kannalta. Katkoviivat kuvaavat tiedon suhteellista epävarmuutta, jota maailman osalta on suhteellisesti vähiten ja vihollisen osalta eniten.

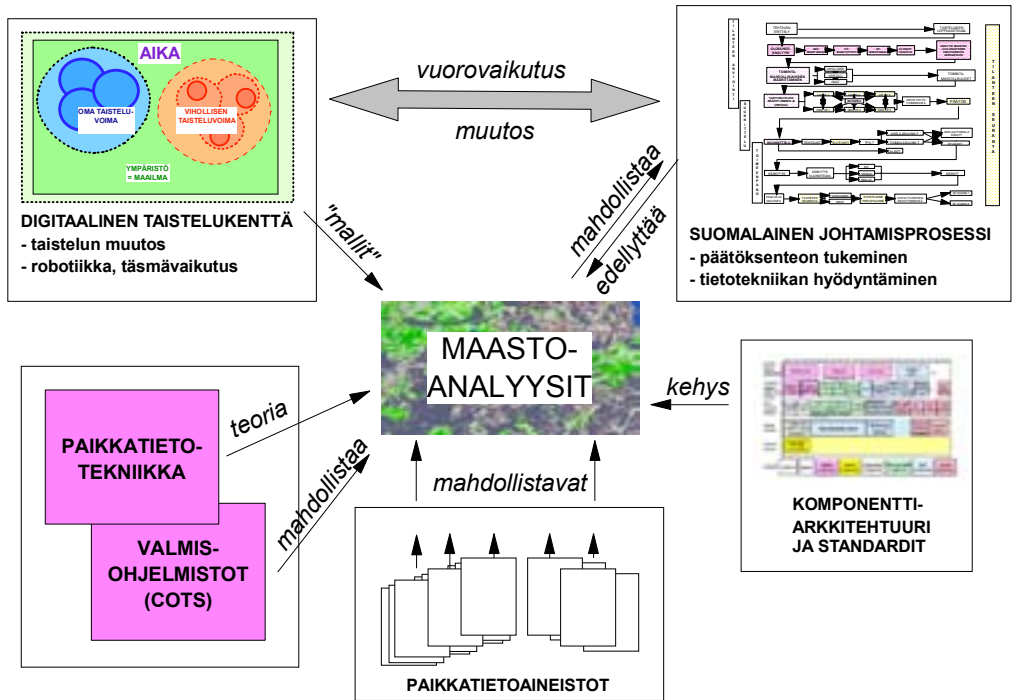
Omien joukkojen tila ajan ja paikan suhteen tunnetaan kohtuullisella varmuudella ja sitä parannetaan muun muassa paikannustekniikoilla ja automaattisella paikkaviestien välityksellä. Reaalitiedot vihollisen taisteluvoimasta muodostetaan tiedustelutietojen perusteella ja tiedoista päätellään vihollisen toiminta¹⁹. Tähän liittyviä uusia teknologioita ovat esimerkiksi datafuusio ja hahmontunnistus. Tietokoneen maailma muodostuu maantieteellisestä tiedosta, johon tässä tutkimuksessa lasketaan kuuluvaksi myös tekijät kuten säätila, siviiliväestö, erilaiset tekomuodot ja verkostot sekä sähkömagneettinen ja esimerkiksi taistelukaasujen muodostama ympäristö. Taisteluyhtälöt ja simulaattorit muodostavat täydellimmän tavan mallin-

¹⁸ Tässä paikaksi ymmärretään koko ympäristö mukaan lukien sähkömagneettinen avaruus.

¹⁹ Näitä osioita kutsutaan yleensä käsitteellä tilannekuva, joka on rajattu tämän tutkimuksen ulkopuolelle. Maasto on siis rakenne, jossa kyseiset joukot toimivat ja sen analysoinnilla pyritään parantamaan tilannekuvasta tehtyjä analyysejä. Itse tilannekuvan oikeellisuutta, reaaliaikaisuutta, keräämistä tai epäohdonmukaisuutta ei käsitellä tässä työssä maaston vastaavia ominaisuuksia lukuun ottamatta. Myöskään niin sanottua maaliallystä tai siihen liittyvää tulosten arviointia ei käsitellä.

taa joukkojen ja maailman välistä suhdetta, tätä suhdetta kutsutaan tässä työssä maastoanalyysiksi myös siltä osalta, joka taisteluvoimasta vaikuttaa maailmaan.

Toiminnallisesti väitöskirjan viitekehys on laajempi. Maastoanalyysit nähdään siinä tekijänä, joka yhdistää digitaalisen taistelukentän muutoksen taistelussa, suomalaisen tavan käyttää paikkatietotekniikan tarjoamat mahdollisuudet ja paikkatietoaineistoihin liittyvän tiedot hyväksi johtamisprosessissa ja päätöksenteossa sekä paikkatietotekniikan mahdollisuudet toteuttaa analyyseja. Suomalaisessa ratkaisutavassa kaupalliset ohjelmat, yleiset standardit ja komponenttiarkkitehtuuri vaikuttavat analyysien toteutukseen.



Kuva: Työn toiminnallinen viitekehys. Maastoanalyysit ovat yksi tapa hyödyntää paikkatietotekniikkaa ja digitaalisia aineistoja muutoksessa kohti suomalaista sovellusta digitaalisesta taistelukentästä. Maastoanalyysit on kuvattu myös suoraan johtajan päätöstä esimerkiksi visualisoinnin avulla tukemina.

Tutkimuksen pääkysymys on, miten maastoanalyysit implementoidaan Suomessa tukemaan sotilaallista päätöksentekoa. Tähän vastataan esittämällä sotilaallisille maastoanalyysille hierarkkinen metamalli, joka täyttää sovellusarkkitehtuurin asetamat tekniset vaatimukset ja jota käyttäen maastoanalyysilla voidaan tukea sotilaallista tilanteen arviointia ja päätöksentekoa. Mallin tavoitteellinen aikajänne on kymmenen vuotta, joten sitä ei ole sidottu mihinkään ohjelmistoon tai toteutus-

tekniikkaan. Tutkimus voidaan luokitella empiiriseksi soveltavaksi tutkimukseksi [Nii80], koska sillä pyritään selvään käytännön tavoitteeseen.

Koska paikkatietotekniikassa on kyse yhdestä digitaalisen taistelukentän avainalueesta, sen hyödyntämisen tutkiminen muiden maiden sovellusten tai tärkeimpien tutkimusten avulla on salattavuussyistä mahdotonta. Digitaalisella taistelukentällä tarkoitetaan tässä työssä tapaa, jossa tieto muodostetaan, välitetään, käsitellään ja tallennetaan digitaalisesti [vrt Dig99]²⁰. Toisaalta tapa käyttää tietoa on ominainen kunkin maan puolustusvoimille, perinteelle ja tehtäville. Tässä tutkimuksessa on kyse suomalaisen sotilastradition mukaisesti oman soveltamistavan kehittämisestä, ei muiden maiden hyvienkään ratkaisujen kopioinnista sellaisenaan.

Paikkatietoylivoiman oletetaan syntyvän kolmivaiheisen prosessin tuloksena:

1. Tieto ja sen hallinta: Lähtöaineistojen kattavuus, monipuolisuus, resoluutio, dynamiikka ja tekninen laatu sekä kyky saada aineistot käyttöön johtamisprosessin tueksi.
2. Prosessointi: Kyky tuottaa aineistoille lisäarvoa verifioiduilla ja validoiduilla analyyseilla, jotka on optimoitu käyttämään suomalaisia lähtöaineistoja ja joiden laatutekijät tunnetaan.
3. Visualisointi: Kyky visualisoida tulokset siten, että johtamisprosessiin osallistuville ihmisille syntyy oikea ymmärrys tilanteesta.

Tavoitteena on tukea operatiivisen alan²¹ sovellusarkkitehtuurin ja sovellusten kehittämistä sekä puolustusvoimien paikkatietostrategian määrittämistä yhtenä osatutkimuksena. Kehyksenä on maavoimien liikkuvan yhtymän esikunta ja sen johtamisprosessi sekä sen alaiset johtoportaat. Kehys on valittu, koska se on sekä ajallisesti että ympäristöllisesti vaativin ja taistelun voittamisen kannalta merkittävä toiminnan taso: jos malli toimii siinä, sen voi olettaa skaalautuvan myös kiinteisiin operatiivisiin esikuntiin, joissa ajallinen jänne on pidempi ja tietoverkkojen stabiilius parempi. Rajaus maavoimiin on tehty siksi, ettei meri- ja ilmavoimien tutkiminen vastaavalla tarkkuudella ole ollut työn laajuuden puolesta mahdollista. Johtamisprosessista käsitellään uusinta kehityksen alla olevaa versiota, joka perustuu yhtymän taisteluohjesäännön luonnokseen [YTO00] ja on pisimmälle viety juuri tietotekniikan soveltamisen kannalta.

²⁰ Määritelmä vastaa paikkatietojärjestelmän määrittelyä sillä poikkeuksella, että kaikella tiedolla ei ole paikkaa. On kuitenkin arvioitu, että sotilaallisessa toiminnassa myös meillä yli 90%:iin taistelun voittamisen kannalta merkityksellisestä tiedosta liittyy paikkatieto, vertaa esimerkiksi [TVMP].

²¹ Operatiivisella alalla viitataan tällä hetkellä käytössä olevaan käsitteeseen tiedustelu, valvonta ja johtaminen eli TVJ.

Työ ei käsittele tilannekuvan muodostamista, epävarmuuksia, yhdenmukaistamista tai käyttöä sotilaallisen päätöksenteon tukemiseen. Maastoanalyysit tukevat näin saadun tiedon analysointia²² ja kykenevät oikein käytettynä myös tuottamaan tuki-tietoa ristiriitaisten havaintojen yhdistämiseen, jota sivutaan viimeisessä luvussa. Tilannekuva vaatii kokonaan oman tutkimisen eikä siitä voi esittää julkisia tuloksia kuin hyvin yleisellä tasolla. Tästä syystä myös joukkojen omapaikannus on rajattu työn ulkopuolelle.

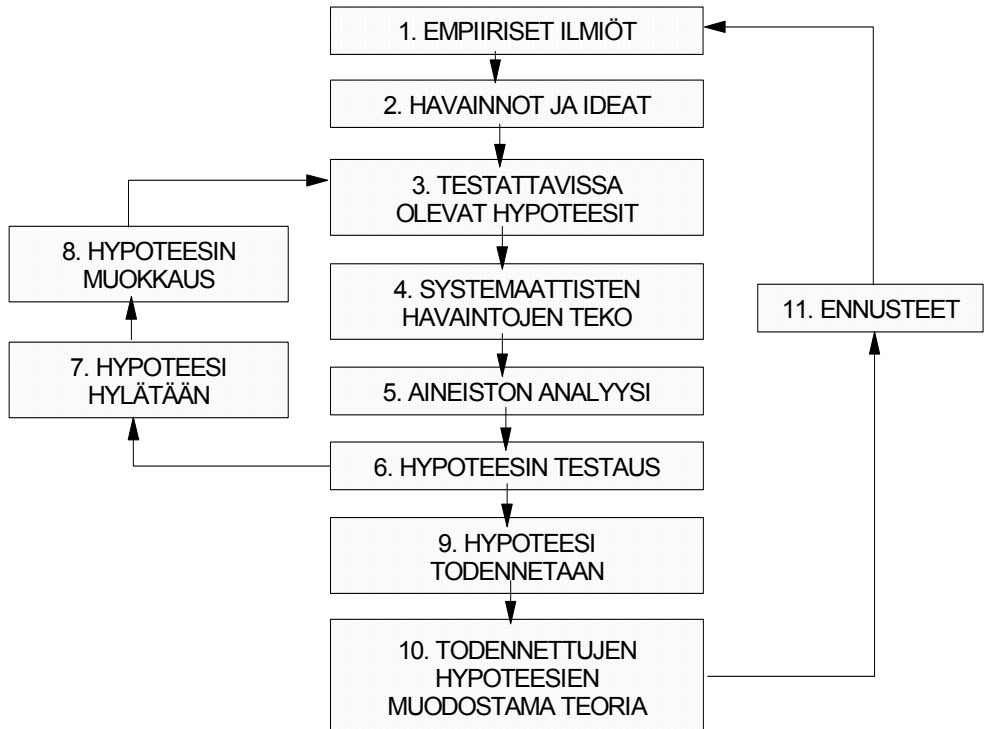
Työ ei ota kantaa Puolustusvoimien toimistokäytössä tarvittaviin paikkatietoaineistoihin, -analyysihin tai ohjelmiin, koska tämä ei oleellisesti poikkea muusta, jo paljon tutkitusta käytöstä. Myös näissä ratkaisuissa on kuitenkin otettava huomioon Puolustusvoimat kriisiajan organisaationa, jota varten tehdyillä ratkaisuilla on etusija päivittäisten arkirutiinien ohi. Kansainvälisissä tehtävissä käytettäviä johtamislaitteita ei käsitellä, koska ne oletetaan yhteisiksi usean maan kesken, lisäksi toiminnan luonne poikkeaa oleellisesti oman maan puolustamisesta. Työssä ei myöskään tutkita lähinnä kansainvälisen yhteistoiminnan aiheuttamia formaatti-, koordinaatio- tai projektiomuunnoskysymyksiä.

Tausta esitetään vain alan johtavan maan Yhdysvaltojen ja meitä lähimpänä olevan Ruotsin virallisista näkökulmista. Kaupalliset ja sotilaalliset tekniikat sekä keskeiset standardit esitellään, jotta lukijalle muodostuisi kokonaiskuva käynnissä olevasta kehityksestä ja sen tuomista mahdollisuuksista. Ohjelmistoissa valintaperusteena on ollut käytön yleisyys ja tuki Suomessa. Työssä ei käsitellä paikkatietoaineistojen muodostamista tai teknistä hallintaa muiden kuin kerättävien kohdetietojen osalta. Asiaa sivutaan sotilaallisten tietotuotteiden puitteissa, jossa lähtökohtana on muualta hankittujen aineistojen yhdistäminen, sotilaallinen luokittelu ja täydentäminen. Painokarttoja tai kuvaruudulla esitettäviä referenssikarttoja ja niihin liittyvää kartografiaa ei käsitellä. Työssä oletetaan, että laajaan reserviin perustuvissa puolustusvoimissa muutos kokonaan digitalisoituun paikkatiedon käyttötapaan on hidaskäyttöprosessi ja ylittää tämän työn aikajänteen. Yhdysvalloissa tavoitteeksi on asetettu vuosi 2010.

²² Esimerkiksi osoittamalla, mihin joukko tietystä ajassa voi maastoitse edetä, minkä alueen sen sensorit kykenevät kattamaan tai mihin sen tulta voidaan käyttää. Sen sijaan tekijät kuten joukon huoltotilanne, henki tai taisteluarvo eivät kuulu tämän tutkimuksen piiriin kuin siltä osin, miten maastossa oleminen tai liikkuminen niihin vaikuttaa.

1.4 Rakenne ja tutkimusmenetelmät

Tutkimus on tehty kahdesta näkökulmasta. Tekniikan empiiristä tutkimusperinnettä ja menetelmiä käyttäen on muodostettu rakenne, jossa paikkatietotekniikan tehokas käyttäminen on mahdollista. Tekniikan käyttötavan sanelevat sotilaalliset lähtökohdat osana muutosta kohti digitaalista taistelukenttää²³. Taktiikan tutkimusperinteen mukaisesti tarve ohjaa tekniikan soveltamista. Työ noudattaa hypoteettis-deduktiivista metodia, jonka ideaalirakenne on: [Uus95]²⁴



Kuva: Hypoteettis-deduktiivinen tutkimusasetelma [Uus95].

Työn empiirisinä ilmiöinä (1) ovat Suomessa ja muualla jo toteutetut sotilaalliset maastoanalyysit ja -sovellukset, joihin on tutustuttu sekä käytännössä että kirjallisuudesta. Lisätietoa on hankittu kaupallisista ohjelmista ja alan standardeista. Havainnot ja ideat (2) on haettu pääosin kolmesta eri suunnasta: sovelluskehitystyöstä, simulaattoreista ja yhtymän johtamisprosessista, jota on jo perinteisesti tuettu maastoanalyysillä. Metamallin ensimmäinen tutkimushypoteesi (3) on muodostettu ja julkaistu Puolustusvoimissa vuonna 1999 [PATU99a] Pioneeri-

²³ Tällä ei kuitenkaan tarkoiteta vain sotilaallisten nykyisten vaatimusten ohjaavan kehitystä vaan enemmänkin sitä, että teknologiasta hyödynnetään ne osat, jotka sotilaallista toimintaa muokkaamalla tehostavat sitä eniten.

²⁴ Alkuperäislähteenä on McNeill, Patrick: Research Methods. London 1990 ss.50-52. Tässä käytetään Uusitalon suomennosta

toiminnan Johtamislaitteen [PJohla] kehitystyön pohjalta²⁵, josta on aloitettu syste-
maattisten havaintojen teko (4)²⁶, kehitystulosten analysointi (5) ja hypoteesin tes-
taaminen (6). Metamalli on tarkentunut tutkimuksen aikana kaksi kertaa (8)²⁷, mutta
sitä ei ole tarvinnut kokonaan hylätä (7). Todentaminen (9) on tehty käytännössä
case-tyyppisesti kierroksiin lomittuvassa sovelluskehitystyössä ja osin vertailevalla
tutkimuksella vastaaviin malleihin [mm. USM01]. Uusi teoria (10) eli metamalli on
dokumentoitu tässä työssä ja sitä on käytetty onnistuneesti ennusteena (11) kah-
den tutkimuksen aikana esiin nousseen uuden ongelmakokonaisuuden [HEKOGIS]
[PeLaRA] ratkaisemiseen. Vaikka vaiheet limittyvätkin usean vuoden ajalle ja osin
päällekkäin, eikä mallia siten ole voitu käyttää luonnontieteiden mukaisesti täysin
puhtaasti, vastaa kehitystyön idea esitettyä rakennetta. Rakenteessa on nähtävissä
myös kvalitatiivisessa tutkimuksessa esiintyvän hermeneuttisen spiraalin ominai-
suuksia, koska mallilla ja sen perusteella tehdyllä empirialla, sovelluksilla, on ollut
jatkuva vuorovaikutus ja tutkija on itse ollut osa testaamista.

Kuusi esittää tieteelle olevan edellytyksenä joko sisällöllisen edistymisen (edistyvät
tieteet) tai tieteellisen tiedon kumuloitumisen (rikastuvat tieteet). Edistymisellä on
tarkoitettu uuden tieteellisen tiedon ei ainoastaan runsautta vaan myös paremmuut-
ta aikaisempaan tietoon verrattuna, joka myös sallii vallankumousten esiintymisen.
Puhtaasti kumuloituviissa tieteissä ei voida esittää peruuttamatonta arviota siitä, että
joku tieteenalan piirissä esitetty näkemys on huonompi kuin toinen paitsi siinä mie-
lessä, että näkemyksen esittäjä ei ole tuntenut tai ottanut huomioon aiemmin esitet-
tyjä näkemyksiä tai esimerkiksi historiallisia dokumentteja. Suunnittelutieteet ensi-
sijassa yhdistelevät ja soveltavat muiden tutkimusalojen tuloksia, vaikka ne sovelta-
vat myös tutkimusalalle luonteenomaisia käsitekehikkoja. Suunnittelutiede on rikas-
tuvan tieteen luontoinen siinä mielessä, että se kunnioittaa perinteitään. Toisaalta
esimerkiksi tekniikka ottaa ratkaisuisiaan huomioon myös luonnontieteiden edis-
tysaskeleet. [Kuu99]

Sekä paikkatietotekniikka että taktiikka ja taistelu sen osana nähdään tässä tutki-
muksessa suunnittelutieteen luontoisena. Taistelua käydään sodan yleisten periaat-
teiden ja kokemuksen avulla, toisaalta siihen vaikuttaa keskeisesti tekniikan, nyt eri-

ja metodin esittelytapaa.

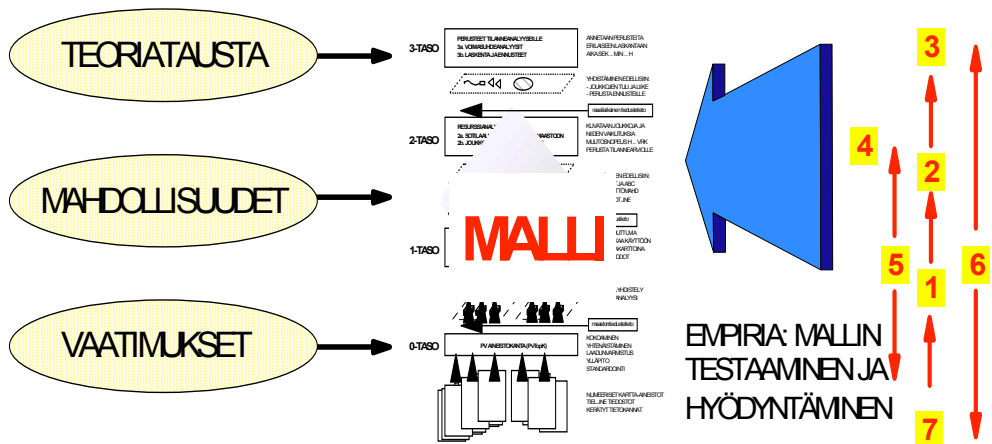
²⁵ Käsitteet maaston perusanalyysi, sovellettu maastoanalyysi ja resurssianalyysi keskeisine sisältöineen ja toisistaan riippuvine rakenteineen muodostettiin aiemman manuaalisen mallin perustalta syksyllä 1997 ja ne on dokumentoitu [PJohla98 a,b,c] asia-
kirjoissa. Tämä oivallus johti vuonna 1998 ensimmäisen hypoteesin syntymiseen.

²⁶ Ensimmäinen ja laajin havaintojen teko ja analysointikiertos oli käyttäjien analyysitarvekartoitus vuonna 1999. Vaiheen
tulokset on esitetty alkuperäisen tutkimushypoteesin mukaisesti luokiteltuna luvussa 5.3.

²⁷ Ensimmäinen tarkennus tapahtui vuonna 2001 simulaattoreiden havaintojen perusteella [vrt KESI02] ja toinen vuonna 2002
sovellusprojektien kehitystöiden kokemusten perusteella [vrt PATU02].

tyisesti tietotekniikan, kehittyminen. Tässä kehyksessä työn hypoteettis-deduktiivinen rakenne on positivistisen näkökulman mukainen, jossa johtamisen todellisuus nähdään kehittyvänä prosessina ja maastoanalyysit välineellisinä hyödyn tuottajina. Hermeneutiikka [Sep83] ei tutkimusasetelmana tule kysymykseen²⁸, koska kehitettävän mallin tehtävänä on tukea juuri pragmaattisesti määritettyä prosessia, eikä esimerkiksi "ymmärtää taistelun moninaisuutta". Tämä rakenne sulkee osin ulkopuolelleen myös taistelun systeeminomaisen luonteen, jonka vaikutuksia tutkimustulosten luotettavuuteen käsitellään laajemmin luvussa 10. Mikäli muita konstruktioita, lähinnä Yhdysvaltojen tapaa ratkaista vastaava ongelma, voi pitää dialektisena lähestymistapana, sitä on sivuttu luvussa 3.4 ja perusteltu esitetty malli tätä vasten luvussa 6.3.

Työ on empiiristä tutkimusta, jossa mallin toteutettavuus ja hyödyt osoitetaan. Se koostuu taustasta, mahdollisuuksista, vaatimuksista, mallinnuksesta sekä testataavasta ja toteuttavasta empiriasta. Tutkimus on monimenetelmäinen.

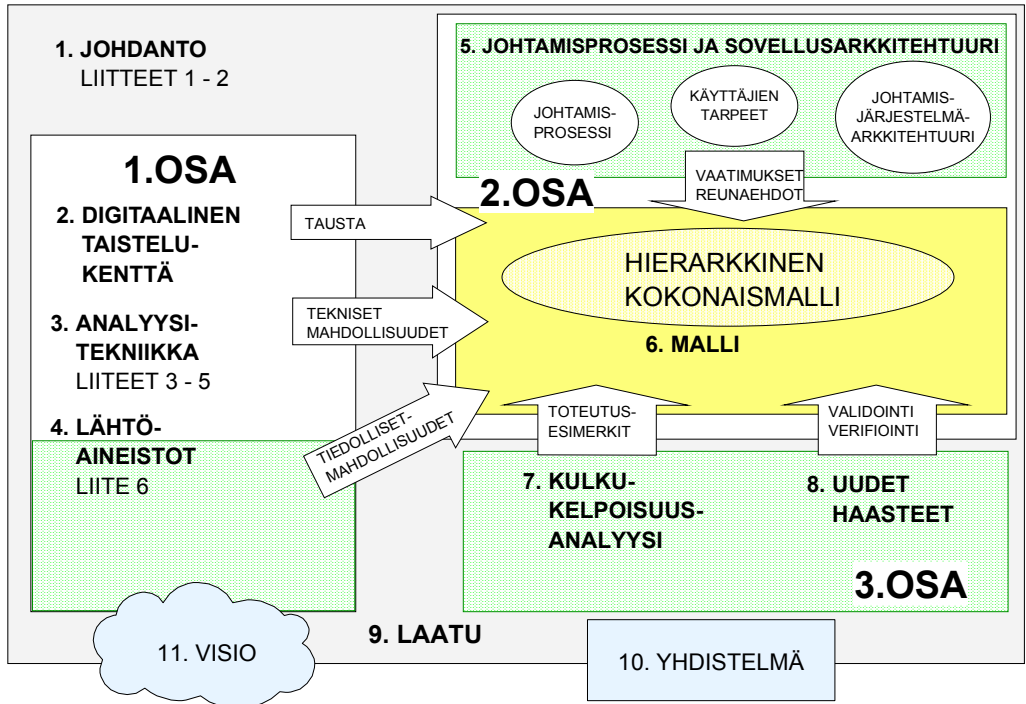


Kuva: Työn empiirinen rakenne. Reaalimaailmasta johdettu malli verifioidaan synteettisesti prototyypeillä, tuotteilla ja sovelluksilla. Oikealla on esitetty käytetty empiria vastaavina projekteina (1) ja (2) [PJohla], (3) [KESI], (4) [PATU] [SovA], (5) [PelaGIS], (6) [HEKOGIS] ja (7) [PuuAine] [Sotmetsä] [SALPA] [LiMaSu] [SuMaSu] [LeMaSu]. Viittaukset ovat projekteja, joista osassa on toteutettu ratkaisuja metamallin usealla eri tasolla.

Työssä uutta tieteellistä tietoa on maastoanalyysien kytkeminen metamallin avulla sekä tuettavaan johtamisprosessiin että käytettävään toteutustekniikkaan. Suomen tietovaranto ja omaperäinen taistelutapa otetaan rakenteessa huomioon.

²⁸ Seppälä esittää positivistisen paradigman toimivan "hyvin määritellyissä" operatiivisen tason ongelmissa muttei sopivan kovin hyvin monimutkaisiin ihmisläheisiin ongelmiin. Hermeneutiikan hän esittää kykenevän paremmin tutkimaan itse ongelmaa. Tässä työssä maastoanalyysit kuitenkin pyritään rakentamaan tukemaan määriteltyä prosessia eikä taistelun luonteen ymmärtäminen ole tavoitteena.

Työn kokonaisrakenne on seuraava:



Kuva: Väitöskirjan kokonaisrakenne. 1.OSA kuvaa liitteineen taustan, perusteet ja mahdollisuudet. 2. OSA asettaa vaatimukset ja kuvaa niihin vastaamisen uuden tiedon, metamallin, avulla. 3. OSA sisältää empirian uuden tiedon testaamiseksi ja soveltamiseksi. Kokonaislaadun käsite kattaa koko rakenteen. Visio täydentää taustaa ja kertoo lopussa, mihin voitaisiin pyrkiä.

1.OSA kuvaa liitteineen sen taistelullisen, teknisen ja aineistollisen perustan, jolle metamalli rakentuu.

Tausta (luku 2) sisältää kuvauksen digitaalisen taistelukentän asettamista paikkatietovaatimuksista ja niihin vastaamisesta teknologiajohtaja Yhdysvaltojen ja meitä lähinnä olevan Ruotsin näkökulmista sekä Suomessa esitetyistä näkemyksistä. Luku kuvaa maastotiedon ja -analyysien soveltamisen sotilaallisen kehityksen. Tutkimusmenetelmänä on asiakirjatutkimus, jota on täydennetty havainnoinnilla ja eri maiden asiantuntijoiden haastattelulla.

Mahdollisuudet koostuu kahdesta luvusta. Analyysitekniikassa (luku 3, liitteet 3-5) on esitetty paikkatietoanalyysien yleinen teoriaperusta ja tehty katsaus analyysien teknisenä toteutusympäristönä olevien yleisimpien paikkatieto-ohjelmistojen nykytilaan, esitelty taistelun mallintamisen yleinen teoria ja suhde maastoon sekä esitelty sotilaalliset maastoanalyysit ja tärkeimmät standardit. Tutkimusmenetelminä on

käytetty kokeilevaa kartoitusta²⁹, analyttistä asiakirjatutkimusta³⁰ ja havainnointia³¹ osana toteutusprojekteja. Luku kuvaa analyysien teknologisen perustan ja sen antamat mahdollisuudet ja sisältää lyhyen johtopäätösosan.

Maastoanalyysien lähtöaineistot (luku 4, liite 6) alkaa katsauksella suomalaisiin lähtöaineistoihin, jotka muodostavat maastoanalyysien tiedollisen perustan. Tätä seuraa empiirinen osa sotilaallisten tietotuotteiden muodostamisesta sekä laajoina kokonaisuuksina että spesifeinä kohdetietoina pioneerialan kannalta. Luku päättyy johtopäätöksiä tietotuotteen määrittelyyn ja esitykseen analyysien lähtöaineistoista sekä niiden jakelusta ja päivittämisestä. Tutkimusmenetelminä ovat olleet asiakirja- ja metadatatutkimuksen lisäksi aineistojen käyttäminen eri projekteissa sekä empiiriana kolme määrittelyprojektia, kaksi aineistototeutusta ja kaksi kehitettyä paikkatietosovellusta. Aineistot muodostavat perustan paikkatietoylivoilmoille.

2.OSA asettaa mallille sekä toiminnalliset että tekniset vaatimukset sekä kuvaa esitetyn ratkaisumallin. Tässä esitetään muodostettu uusi tieto.

Vaatimukset ja reunaehdot (luku 5) syntyvät analyysilla tuettavan sotilaallisen johtamisprosessin rakenteesta, käyttäjien ja visualisoinnin tarpeista ja sovellusarkkitehtuurista. Johtamisprosessi on kuvattu nykyisin käytettävän mukaisena, johon on innovoitu analyysien mahdollistamia uusia piirteitä. Käyttäjien tarpeet on kerätty kyselyllä ja täydentävällä haastattelulla³² sekä täydennetty kokemuksilla harjoituksista³³, tutkimuksista ja kehitystöistä. Visualisointi tutkittiin osin kokeellisena erillistutkimuksena [Mik00] kirjoittajan ohjaamana. Toteutusarkkitehtuurista on analysoitu sen asettamat vaatimukset maastoanalyysien toteuttamiselle sekä teknisesti komponentteina että sovelluskehitystyön kannalta, johon on käytetty kirjojen lisäksi kokemuksia useista sovelluskehitystöistä Puolustusvoimissa.

Mallinnus (luku 6) alkaa edellisten lukujen vaatimusten analyysilla muodostamisperiaatteina. Metamallia verrataan myös taistelumallien ja maantieteellisten maastoanalyysien vastaaviin hierarkioihin. Maastoanalyysien hierarkkinen metamalli ku-

²⁹ Tällä tarkoitetaan ohjelmistokartoituksen sitomista PATU-projektin [PATU] komponenttikehitysmallia todentavaan kartoitukseen, jonka avulla evaluoitiin jokainen teknologia muodostettua periaateratkaisua vasten.

³⁰ Teoriaperustana asiakirjatutkimukselle on käytetty paikkatietoanalyysien ja taistelumallien luokitteluja, joita on reflektoitu tutkimusalueen kautta.

³¹ Havainnointi on toteutettu ohjelmistokartoituksessa ennalta esitetyillä kysymyksillä ja välittömällä raportoinnilla, jota on jatkettu käynnistyneissä kehitysprojekteissa osana projektityötä.

³² Toteutus on kuvattu tarkemmin asiakirjassa [PATU99b] käyttäjien analyysitarpeet.

³³ Sotilaallisessa kehittämistyössä merkittävää osaa näyttelevät erilaiset taistelu- ja kokeiluharjoitukset, joissa joukot, tässä tapauksessa esikunnat, harjoittelevat kriisin aikana vaadittavaa toimintaa. Merkittävin analyysien käytön harjoitus oli kesällä 1999 toteutettu useampivaiheinen JOTI-kokeiluharjoitus.

vataan ja esitetään sen soveltamisperiaatteet. Kehitetty metamalli on koko tutkimuksen synteesi.

3. OSA muodostuu empiriasta mallin testaamisesta ja soveltamisesta. Pääosa on luvuissa 7 ja 8, osa on kuvattu myös luvussa 4 tietojen keruun kannalta.

Mallin testaaminen on jaettu kahteen osaan. Kulkukelpoisuutta (luku 7) käytetään analyysiketjun esimerkkinä Pioneeritoiminnan johtamislaitteen toteutuksen ja taktisiin simulaattoreihin implementoitujen toteutusten analysoinnin avulla. Luku on verifioiva ja osoittaa empirian kannalta mallin hyödynnettävyyden. Uudet haasteet (luku 8) esittää kahden prototyypin ja yhden kehitystutkimuksen avulla metamallin soveltavuuden uusiin kokonaisuuksiin³⁴ sekä sen mahdollisuudet tukea komponenttikehitystyötä. Tätä käytetään metamallin validointiin. Ratkaisujen kautta voidaan arvioida mallin mahdollisuuksia vastata myös muihin uusiin vaatimuksiin. Samalla niillä pyritään konkretisoimaan mallin käyttäminen kehitystyön perustana.

Laatu (luku 9) on erotettu omaksi luvukseen valitun kokonaislaadun tarkastelutavan takia. Siinä on sovellettu Paul Lillrankin esittämää käsitteistöä tutkimusalueeseen.

Yhdistelmässä (luku 10) on koottu keskeiset johtopäätökset ja arvioitu tutkimuksen hyödynnettävyyttä ja tuloksia.

Visio (luku 11) perustuu kirjoittajan omaan näkemykseen tietojen käytöstä maastoanalyysien tukemana uudella taistelukentällä. Sen alussa on myös esitetty tulkintoja aiheesta. Osa on erillinen eikä se ole tieteellisesti todistettavissa. Jos visio toteutuu edes osin, se muodostaa merkittävimmän tämän tutkimuksen tuloksista.

Menetelmällisesti tutkimus on yhdistelmä useasta eri menetelmästä. Alussa pääpaino on laadullisessa tutkimuksessa. Tutkimusmenetelmän soveltamisessa voidaan nähdä kaksi vaihetta, kuvaus ja tulkinta [Ran02]³⁵. Kuvattavat asiat on poimitu esiin tutkimuskysymyksiin ja näkökulmaan sovitettuina, ja jo niiden valinta sisältää merkittävässä määrin johtopäätöksiä. Tulkinnassa asiat pyritään analysoimaan siten, että luodaan perustaa suomalaiselle tavalle käyttää maastoanalyyseja. Osassa myös kuvataan niitä mahdollisuuksia ja lähestymistapoja, joita analyysille voi-

³⁴ Vertaa hypoteettis-deduktiivisen rakenteen vaiheet 10 ja 11 eli mallin käyttäminen ennusteena tilanteissa, joita ei ole käytetty hypoteesin testaamiseen ja mallin muokkaamiseen.

³⁵ Rantapelkonen [Ran02] käyttää menetelmästä kokonaisuudessaan nimitystä kokemustutkimus, koska se perustuu merkittävässä määrin tutkijan oman kokemuspohjan käyttöön asioiden poiminnassa ja tulkinnassa. Tässä työssä on rakenteellisesti käytetty samaa periaatetta. Vastaavalla tavalla tämänkin työn tekijä on elänyt ”aiheen sisällä” viisi vuotta toimien kymmenessä eri projektissa ja kehityshankkeessa, opettaen ja soveltaen. Menetelmää ja sen käyttöä on laajemmin kuvattu teoksessa [Taist01].

daan esittää samalla kun nostetaan esiin määrällisiä arvoja jatkokäyttöä varten. Seuraavaksi oleelliseksi nousee vaatimusten ja rajoitusten löytäminen. Käsittely pyritään formalisoimaan systeemianalyttisellä lähestymistavalla ja ratkaisu yritetään löytää mahdollisimman monialaisesti. Tästä syystä tutkimuksessa ei ole mahdollisuutta todistaa, että esitetty ratkaisutapa olisi paras tai ainoa, mutta sen käyttökelpoisuus ja hyödyllisyys voidaan empiirisesti osoittaa. Testaavaa osaa voidaan pitää yhdistelmänä kuvailevaa ja analyttistä lähestymistapaa. Siinä toisaalta kuvataan tehty osaratkaisu, perustellaan sen aikana tehdyt valinnat ja osoitetaan mallin käytettävyys soveltamisen kautta. Esimerkkien toteutuksen kuvaamisen avulla pyritään myös konkretisoimaan mallin käyttöä kehitystyön perustana. Työn taustalla on kolme yleisempää teoriaa: paikkatietoanalyysit, taistelumallit ja kokonaislaatu. Kahta ensimmäistä on käytetty kehyksenä, vain kokonaislaatua on sovellettu deduktiivisesta näkökulmasta.

Tutkimukseen liittyvät epävarmuudet syntyvät usealta eri taholta. Hyväksytyä suomalaista kokonaisvisiota tulevaisuuden digitaalisesta taistelulentästä ei ole laadittu. Asiaa vasta tutkitaan useallakin taholla, eivätkä tulokset valmistu tämän tutkimuksen aikana. Kirjoittajan oma panos keskusteluun on yhdistelmän lopussa esitetty maastotietoon painottuva mahdollisuus tiedon hyväksikäytön kannalta. Tätäkin tutkimusta voidaan osaltaan siis pitää taistelun tulevaisuuden tutkimisena, tai ainakin sen visioimisena. Maastoanalyseilla tuettava johtamisprosessi on edelleen kehityksen alla. Lisäksi analyysien lopullisesta hyödyllisyydestä on vaikeaa saada luotettavaa kuvaa ennen kuin analyysit on toteutettu, koska kyse on kaksisuuntaisesta kehityksestä: tietotekniikka ei vain tue johtamisprosessia vaan myös muovaa sitä. Kun analyyseilla pyritään tukemaan ihmisen ajattelua, syntyvän kokonaisuuden käsittely ei tällä tutkimusmenetelmällä ole mahdollista. Asiaan liittyvää problematiikka on esitelty visualisointia käsittelevässä alaluvussa. Muualla jo toteutetusta ja koetusta on vaikea salattavuusseikkojen takia ottaa oppia. Tässä suhteessa työ on suunnittelutieteen omaista soveltavaa tutkimusta. Tietotekniikka kehittyy lisäksi niin nopeasti, että dokumentoidut kokemukset ovat ainakin tekniikan osalta usein vanhentuneita ja tekniikan kehityssuuntaa on mahdotonta ennustaa. Tämän vuoksi malli on yritetty pitää mahdollisemman tekniikkariippumattomana, vaikka valmisohjelmia ja integrointistandardeja onkin käytetty esimerkkinä.

Merkittävä ongelman työn laadinnassa on ollut ei-julkisten materiaalin käyttäminen perusteena. Taktisten simulaattoreiden osalta ongelma on kierretty laatimalla laaja, osin kaupallisesti luottamukselliseen tarjouskilpailuun ja osin ulkomaisissa laitoksis-

sa saatuihin kokemuksiin perustuva erillisraportti, jossa tässä työssä käytettävät empiiriset ideaalimallit on johdettu. Johtamisprosessin osalta tehdyistä kokeiluista ja niiden raporteista sekä tiettyjen projektien tavoiteasiakirjoista on nostettu esiin tekijät, joita voidaan käsitellä yleisellä tasolla. Kehitetyt tietojärjestelmät on jouduttu kuvaamaan yleisellä tasolla ja niiden tuottamat esimerkkiaineistot esittämään vääristetyssä mittakaavassa. Osa ulkomailla saaduista kokemuksista ja haastatteluista on dokumentoitu luottamuksellisiin matkakertomuksiin ja tässä työssä niiden esittäjät tai tarkat kohteet on jätetty mainitsematta. Näiltä osin työ on siis epätieteellisesti viittausten osalta dokumentoitu ja lähdeaineistojen saatavuus muille tutkijoille rajoitettua. Myös tiettyihin rakenteisiin kuten johtamisprosessiin liittyviä esitettyjä epäkohtia³⁶ on jouduttu karsimaan ja työn sotilaallinen puoli näyttäytyy pääosin siloteltuna ja kiistattomana todellisuuden vahvojenkin ristiriitojen läpi.

1.5 Työn keskeiset käsitteet ja määritelmät.

Käsitteet toimivat työssä enemmän ajattelun selventäjinä kuin ehdottomina ja loppuun saakka harkittuina määritelmänä. Koska aihe on uusi ja termejä kuten maastoanalyysi, komponentti tai operaatio ei ole yksikäsitteisesti ja yhdenmukaisesti suomeksi määritelty, niiden käyttöön tässä tutkimuksessa on syytä paneutua ennen lukemista. Osa termeistä on sovellettu Yhdysvaltojen käyttämistä, alkuperäiset määritelmät on esitetty omissa kohdissaan. Useissa kohdissa alkuperäinen englanninkielinen termi on merkitty (sulkuihin) suomennoksen perään.

Paikkatieto on paikannettua kohdetta tai ilmiötä kuvaava sijainti- ja ominaisuustiedon muodostama looginen kokonaisuus [PTK]. Työssä ei kuitenkaan käsitellä varsinaisen sotilaallisen tilannekuvan³⁷ muodostamista. Sotilaallinen maastotieto on tässä työssä maastoa, ympäristöä, olosuhteita ja esimerkiksi väestöä esittävää sotilaallisten toimintojen kannalta oleellista paikkatietoa, joiden muodostamaa kokonaisuutta kutsutaan tässä työssä tietokoneen maailmaksi³⁸. Tätä voisi myös kutsua ympäristötiedoksi, ellei sana jo omaisi muita merkityksiä. Sotilaalliset maastoanalyysit kohdistuvat sekä tähän maailmaan että niihin osiin sotilaallista toimintaa,

³⁶ Esimerkiksi tässä työssä esitetty johtamisprosessi on viimeisin kehitysversio, mutta myös kirjoittaja on erityisesti taktista simulointia sivuavassa vaihtoehtojen vertailussa sen rakenteesta eri mieltä. Työ pyrkii täydentämään prosessia mm. voimasuhdeanalyysin, tietokouksen ja suojan analyysin maastoon liittyviltä osilta, joita kehyksenä käytetty prosessi ei sisällä lainkaan. Tätä ristiriitaa ei kuitenkaan ole nostettu esille, koska tutkimuksen aiheena on maastoanalyysien hyödyntäminen johtamisprosessin tukena eikä itse prosessin kehittäminen, joka julkisessa työssä ei ole edes mahdollista. Viimeisessä vision esittävässä luvussa on kuitenkin hahmoteltu tapaa, jolla koko prosessi mahdollisesti voisi toimia tulevaisuudessa.

³⁷ Johtamisjärjestelmissä käytännöllisesti katsoen kaikella tiedolla on paikka, tässä laajassa merkityksessä ne olisivat kokonaan tutkimuksen kohteena.

³⁸ Vastaavalla logiikalla voisi karttaa kutsua ihmiselle annetuksi maailmaksi tilanteessa, jossa reaali maailmaan ei pääse. Määritelmä sulkee ulkopuolelle tietokoneen ymmärtävät joukot, jotka siis toimivat syntyvässä maailmassa.

jotka muovaavat ja vaikuttavat tässä maailmassa.³⁹ Käsite on määritelty puolustusvoimien määritelmärekisterissä tutkimuksena, jonka tavoitteena on selvittää maasto-olosuhteiden vaikutus joukkojen toimintaan. Termi analyysi on määritelmässä siinä mielessä harhaanjohtava, että sen määritelmä "kokonaisuuden hajottaminen osiin" [Nii84] pitää paikkansa yksittäisten maasto-olosuhteiden vaikutuksen osalta, mutta kun erillisten analyysien tuloksia yhdistetään kuvaamaan koko ympäristön vaikutusta, pitäisi puhua synteesistä maastotietojen kannalta. Lyhyiden vuoksi jatkossa käytetään termejä maastotieto, maailma ja maastoanalyysi.

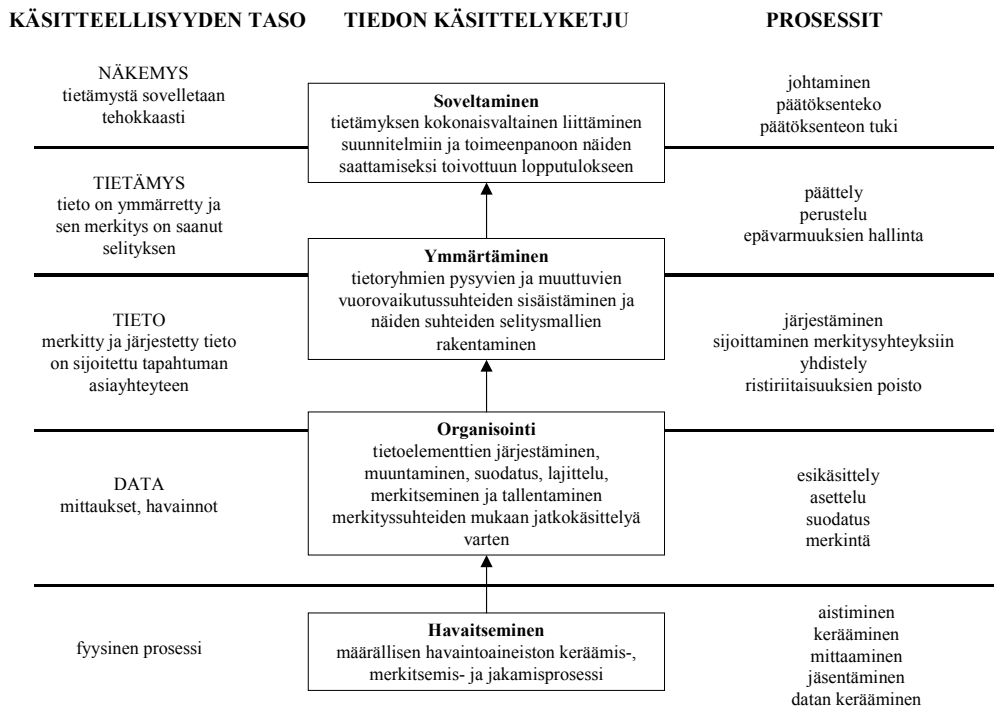
Paikkatietojärjestelmä (Geographical Information System, GIS) on tietojärjestelmä, joka tukee paikkatietojen keruuta, ylläpitoa ja syöttöä, paikkatiedon hallintaa, paikkatietoanalyysijä ja paikkatiedon visualisointia. Paikkatietojärjestelmä poikkeaa perinteisistä tietokonejärjestelmistä tunnettuun karttakoordinaatistoon sidotun karttakäyttöliittymän, tulosten visuaalisen esittämisen visuaalisesti esimerkiksi digitaalisen kartan avulla ja paikkatiedon analysoinnin osalta. [PATU98]

Tiedon eri tasot voi liittää usealla eri tavalla toisiinsa. Thierauf [Thie01] esittää tasoina datan, informaation, tietämyksen (knowledge), ymmärryksen (intelligence), viisauden (wisdom) ja totuuden (truth). Johtamisen kannalta data on jäsentymätöntä, yksittäistä ja rakenteellista kuvausta reaali maailman yksittäisistä tapahtumista. Informaatio⁴⁰ syntyy järjestämällä dataa siten, että sitä voidaan analysoida ja käyttää päätöksentekoon. Tietämys syntyy asiantuntijoiden käsitellessä informaatiota paljastaakseen yhtäläisyyksiä ja trendejä, jotka mahdollistavat muun muassa ennustamisen. Ymmärrys on johtajan taso, jossa tietämys yhdistetään kokonaisuuden kannalta tärkeisiin tekijöihin ja jolla ohjataan toimia tavoitteiden suuntaan. Näiden yläpuolella viisaus sisältää myös kokemukseen perustuvan intuitiivisen aspektin "nähdä tilanteen yli" ja tunnistaa poikkeuksellisia tekijöitä. Totuudella on tässä jaotelussa lähinnä käsitteellinen merkitys yhdenmukaisuudesta todellisuuden kanssa.

Kuusisto [Kuu02] kytkee toisiinsa termit, tiedon käsittelyketjun ja inhimilliset prosessit [vrt Tuomi99] ja käyttää neliportaista käsitteistöä.

³⁹ Tämä laajentaa merkittävästi luvussa 2 esitettyä Yhdysvaltojen käsitettä Terrain Analysis. Määrittely on kirjoittajan oma, koska tutkimus on haluttu kohdentaa kaikkeen sotilaallisesti merkitykselliseen ympäristöön liittyvään tietoon.

⁴⁰ Thierauf käyttää informaatiosta myös käsitettä dataa datasta ja vastaavasti tietämyksestä käsitettä informaatiota informaatiosta. Näille tasoille ei siis liity mitään intuitiivista, jolloin voisi ajatella niiden ainakin jossakin mitassa olevan jopa automaattisissa tietokoneilla.



Kuva: Kuusiston [Kuu02] [Hal00] [Alkup. Waltz98] täydentämä ja yhdistämä jaottelu tiedon eri lajeista. Tasot on liitetty toimintaan ja prosesseihin sekä liitetty ylimmäksi näkemyksen taso.

Lillrankin [Lil99] esittämä ja luvussa 9 käytetty jaottelu on kolmitasoinen. Data on asiantilojen ja tapahtumien vakioitu ilmentymä, joka saadaan aikaan havainnoilla ja mittauksilla, ja jota vastaa määrätty symboli. Informaatio on tiivistettyä tai yleistettyä dataa jossakin asiayhteydessä ja se jaetaan edelleen pre- ja post facto informaatioksi. Tieto on todeksi uskottu dynaaminen, asioiden keskinäisiä vaikutussuhteita ilmentävä käsitys asioiden merkityksestä, joka syntyy kantajassa [Lil99] ja se voidaan jakaa informaation tavoin siten, että post-facto tieto on oppimista. Lillrank määrittelee samassa kehyksessä myös taidon tiedon soveltamiseksi, mutta ei tiedon muodoksi. Doktriini tarkoittaa toistaiseksi todeksi uskottua käsitystä jonkin todellisuuden osan toiminnasta ja sen pohjalta rakennettua toimintatapaa.

Tässä tutkimuksessa tiedosta käytetään seuraavaa tietotekniikkaan ja maastoanalyysiin sovellettua jaottelua. Data on jäsentymätöntä, sensorien⁴¹ tuottamaa raaka-ainetta. Digitaalisella taistelukentällä maastoon liittyvä data on joko hankittu ennalta aineistojen muodossa tai se digitoidaan pääosin sen syntyhetkellä. Informaatio on dataa, joka on liitetty tiettyyn asiayhteyteen. Merkittävä tekijä on tässä yhdistäminen paikan ja ajan suhteen. Tässä työssä maastoanalyysi on väline yhdis-

tää maastoon liittyvää dataa merkitykselliseksi informaatioksi nimenomaan tietokoneella. Tieto on jalostettua ja yhdistettyä informaatiota. Tietoon liittyy merkittävä tulkinnallinen ja siten myös taidollinen aspekti ja se on verrannollinen Thieraufin tietämyksen kanssa. Ymmärrys arvottaa tiedon ja antaa sille merkityksen osana kokonaisuutta. Tämä työ käsittelee asiaa vain visualisoinnin kautta, jonka avulla informaatiota esittävä tietokone ja informaatiota tulkitseva asiantuntija pyrkivät tukemaan komentajan ymmärrystä tilanteesta ja luomaan edelleen näkemyksen, vision eli suunnan, johon pyritään. [Huh01] [Lil99] [Ahv02c] Valinta ja sen sisältävä rajaus on tehty tietokoneen kannalta, jotta analyysit voidaan kytkeä eri tasoille. Asiaa on käsitelty kokonaisuutena luvussa 9 käyttäen laadun eri aspekteja lähtökohtana.

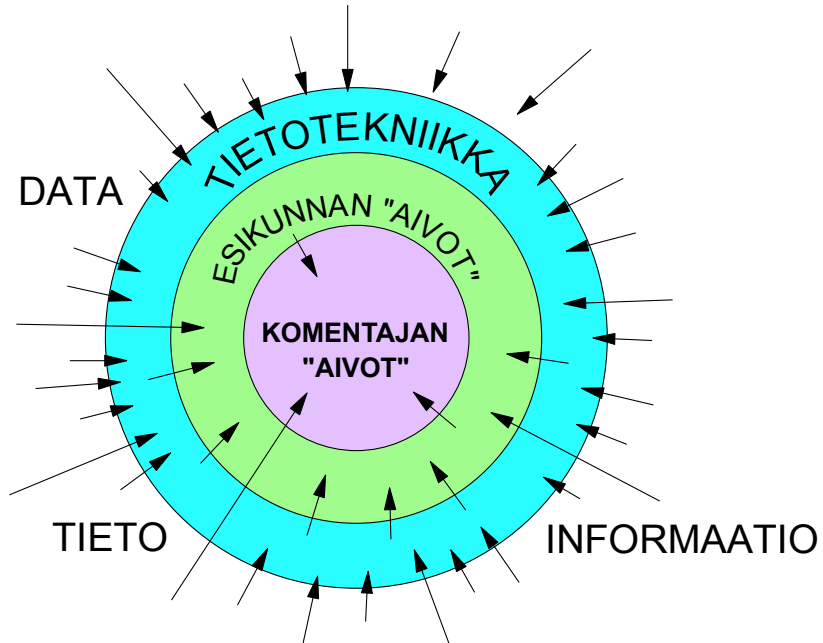
Työssä käytetty tasoittainen malli toimii jokaisella tasolla ketjun data - informaatio - tieto kautta. Tasolta toiselle siirryttäessä alemman tason tieto muuttaa luonteensa dataksi, saavutettu tieto ei sinällään katoa, mutta siitä vain osa on komentajan päätöksenteon kannalta sellaisenaan relevanttia. Hierarkkisessa prosessissa siis käsitellään alemmalla tasolla syntynyttä tietoa ylemmällä tasolla datan tavoin, koska se pitää ensin liittää uuteen, eri näkökannalta muodostettuun asiayhteyteen. Maastotietojen ja -analyysien osalta esimerkiksi useasta datalähteestä yhdistetty ja ihmisen tulkintaa ja kartografista visualisointia sisältävä digitaalinen karttatuote on prosessissa joko referenssi ja / tai dataa, koska se vaatii näkökulmaksi esimerkiksi panssarivaunun liikkumismahdollisuudet eikä yleistettyä kuvausta ihmisen näkökannalta. Esimerkiksi ilma- ja satelliittikuvat sisältävät dataa, josta jalostetaan erilaisilla menetelmillä informaatiota. Paikkatietoaineistojen voidaan katsoa koostuvan pääosin datasta ja osin informaatiosta⁴². Analyysien tavoitteena on synnyttää datasta ja informaatiosta tietoa esimerkiksi tilanteeseen sopivan kulkureitin muodossa, joka useimmiten vaatii vielä ihmisen tulkintaa⁴³. Ymmärrys voi syntyä vasta ihmismielessä ja siihen liittyy aina arvottaminen.

⁴¹ Sensorilla tarkoitetaan tässä myös ihmisiä heidän tekemiensä havaintojen ja niiden osalta.

⁴² Tosin informaation määrä on usein niin suuri, että sen käsittelyyn tarvitaan kone ja ihminen voi ymmärtää sen vain pelkistämisen ja / tai visualisoinnin avulla. Vrt [Pag89] [Ahv02].

⁴³ Osa tarpeesta syntyy siitä, että tietokone ei omaa riittävästi dataa todellisuuden eri ulottuvuuksista. Tietokoneen maailmassa esimerkiksi hyvä reitti saattaa kulkea naapurijoukon alueen kautta ja vaatia niin paljon yhteistoimintaa ja sopimista, että sen käyttö ei asetetussa aikakehyksessä ole realistista. Lisäksi on muistettava, että taktinen ajattelu on merkittäviltä osin intuitiivista ja kaavoittamatonta toimintaa, jossa esimerkiksi reittien hahmot yhdistettynä kokonaisuuteen saavat ei-analyttisiä heuristisia arvoituksia.

Sovellettuna esikunnan rakenteeseen ja sotilaalliseen päätöksentekoon voidaan esittää sisäkkäisinä kehinä.



Kuva: Datan jalostuminen ymmärrykseksi komentajakeskeisessä päätöksenteossa. Kuva on esitetty päätöksenteon kannalta.

Tietotekniikan tehtävänä on esikunnan jäsenten tukena ja rinnalla muodostaa todellisuudesta mitattavasta datasta informaatiota ja auttaa asiantuntijoita muodostamaan se tiedoksi tukemaan päätöksentekoa. Ymmärrys syntyy vasta komentajan aivoissa ja johtaa toimintaan. Läpäisevät nuolet kuvaavat tilannetta, jossa komentaja ja esikunta saavat henkilökohtaisia havaintoja todellisuudesta, jotka muokkautuvat oikeassa asiayhteydessä joko informaatioksi⁴⁴ tai komentajan tapauksessa jopa tiedoksi. Visualisoinnilla on paikkatietotekniikassa keskeinen merkitys ymmärryksen saavuttamisessa.

Tietoylivoima on kyky kerätä, prosessoida ja käyttää keskeytymätöntä datan ja siitä jalostetun informaation sekä tiedon virtaa vastustajaa paremmin kiistämällä⁴⁵ samalla tämän mahdollisuuksia [JV2020]. Paikkatietoylivoima muodostuu työssä kyvystä hankkia, analysoida ja käyttää maastoon liittyvää tietoa vastustajaa parem-

⁴⁴ Informaatiota syntyy komentajan näkökannalta. Se, että esimerkiksi pioneeripäällikkö analysoimalla omaan alaansa liittyvää informaatiota muodostamalla siitä toisaalta päätöksentekoon vaatimaa tietoa komentajalle, mutta saavuttamalla samalla ymmärrystä ja jopa näkemystä taistelun pioneeritoiminnallisesta ulottuvuudesta, ei oleellisesti muuta käsittelyä taistelun kokonaisuuden kannalta.

⁴⁵ Tämä aspekti on keskeinen informaatioodankäynnin käsitteen kannalta. Maastotietojen osalta työ ei käsittele tätä näkökantaa, koska asian julkinen esittäminen ei ole mahdollista.

min. Metamalli viittaa siihen, että tavoitteena ei ole yksittäisen ongelman ratkaisu vaan yleisen kehitysrakenteen muodostaminen myös tulevaisuudessa käytettäväksi. Mallin hierarkkisuuella tarkoitetaan sen koostumista toisilleen alisteisista tasoista.

Informaatiosodalla tarkoitetaan toisen valtion yhteiskunnalliseen ja sotilaalliseen päätöksentekoon ja toimintakykyyn sekä kansalaisten mielipiteisiin vaikuttamista ja siltä suojautumista. Johtamissodankäynti on informaatioidankäynnin sotilaallista toteuttamista päämääränä vastustajan sotilaallisen ja johtamiskyvyn lamauttaminen ja oman johtamisen turvaaminen. [Ran02] Tässä työssä käytetään myös epävirallista termiä tietosota, jolla tarkoitetaan nimenomaan aseellista taistelemista tietoylivoiman avulla ja termi on sinällään puhdas, että siinä tietoa käytetään välineellisesti muiden vaikutusten tehostajana. Kun informaatioylivoima on väline mielissä ja tietoverkoissa tapahtuvan taistelun voittamiseksi, on tietoylivoima väline vain aseellisen taistelun voittamiseksi. Tietosodalle on myös esitetty useita muita merkityksiä.

COTS (Commercial off the shelf) tarkoittaa lyhenteenä kaikkia kaupallisesti valmiina saatavia keskenään identtisiä tietokoneohjelmia ja -komponentteja, joita myyjä tukee ja kehittää itsenäisesti saadakseen taloudellista hyötyä. [Mey01] Termi GOTS tarkoittaa julkisen viranomaisen vastaavia ohjelmia sen omassa käytössä.

2 DIGITAALINEN TAISTELUKENTTÄ JA PAIKKATIEDOT SEN PERUSTANA

Luku esittää taustan tiedon luonteen muutokselle osana informaatioajan taistelukenttää. Referenssinä on kaksi edistynyttä, mutta toisistaan poikkeavaa ratkaisutapaa, Yhdysvaltojen ja Ruotsin, joihin Suomen mahdollisuuksia verrataan paikkatiedon hyväksikäytön kannalta. Luvussa esitetyt asiat perustuvat asetettuihin tavoitteisiin ja visioihin. Tarkastelutapa on valittu, koska tämä työ tähtää selkeästi tulevaisuuteen, ei niinkään vanhan kylmän sodan paradigman aiheuttamien nykyisten ongelmien ratkaisemiseen. Aihe on laaja ja vallankumous on vasta alussa, monen mielestä sitä ei ole edes olemassa. Luvussa 10 on esitetty laajemmin tässä kategorisesti oletetun vallankumouksen erilaisia tulkintoja innosta kiistämiseen. Käsittely on rajattu virallisiin ohjelmajulistuksiin ja Suomen osalta tutkimuksissa tehtyihin tulkintoihin eikä tietoyhteiskunnan, verkkosodan tai informaatiosodankäynnin syvempään teoriaan.

Suomen osalta lähtökohtaa on myös haettu murrosajan eli 1990-luvun alkupuolella julkaistujen lehtikirjoituksen avulla, joita on kommentoitu työhön myöhemmin itsekin osallistuneen kirjoittajan tulkinnan kautta. Tämä johtuu julkisen lähteistön puuttumisesta: jos tietokone on kehityksen mullistaja on luonnollista, ettei sen aseellisesta käytöstä ole paljon julkista materiaalia saatavilla. Myös Yhdysvaltojen ja Ruotsin osalta tulkinnassa on käytetty apuna vierailuja ja keskusteluja kehitykseen osallistuneiden henkilöiden kanssa. Koska termistö meiltä vielä pääosin puuttuu, on alussa esitelty muualla käytettyjä keskeisiä käsitteitä, joita käytetään myös tässä työssä rinnalla.

2.1 Yhdysvaltalainen kokonaiskäsitelmä

Yhdysvallat johtaa kiistatta paikkatiedon sotilaallista käyttöä ja analyyseja sekä teknologisesti että tietojen hyödyntämisessä. Luku kuvaa vuoteen 2010 mennessä tavoitellun rakenteen ja paikkatiedolle ajatellun roolin osana tulevaisuuden taistelutapaa.

2.1.1 Digitaalinen taistelukenttä

Neuvostoliiton romahtaminen 1990-luvun alussa laukaisi sarjan pienempiä kriisejä samalla kun jäykkä, symmetriseen vastakkainasetteluun kehitetty asevoima menetti osin merkityksensä. Muutos kohti täsmäaseteknologian hallitsemää tulevaisuuden digitaalista taistelukenttää aloitettiin jo 1980-luvun lopulla. Yhdysvalloissa nähtiin kolme ratkaisevaa muutostekijää: uudet uhkakuvat, vähenevä puolustusbudjetti ja laadullisesti uusi teknologia. Johtavana ajatuksena on koota kaikki taistelukentän tieto yhteen siten, että tulivoimaltaan ja liikkeeltään ylivoimainen taisteluvoima voidaan kohdistaa reaaliajassa kuhunkin haluttuun täsmämaaliin maksimaalisen vaikutuksen aikaansaa-

miseksi kokonaisjärjestelmään. Alkuvaiheessa käytettiin termiä "Just-in-Time Warfare" [Dom95] kuvaamaan sodankäyntitapaa, jonka ylivoimainen taistelutempo ja kaukotuli-vaikutus mahdollistavat. Tähän aikaan asettuu myös käsitys digitaalisesta taistelukentästä, joka yhdistää kaikki taisteluponnistelut sähkömagneettisen spektrin avulla yhteiseen verkottuneeseen virtuaalitilaan [vrt Kos00b]. Asiakirja Joint Vision 2010 julkaistiin vuonna 1996 ohjaamaan kehitystä ja sitä seurasi vuonna 2001 Joint Vision 2020 [JV2020], johon pääosa seuraavasta käsittelystä perustuu.¹ Tulevaisuus vaatii joukkoilta kykyä toimia yhteistyössä kaikkien puolustushaarojen kesken (joint force) siten, että ne kykenevät vastaamaan eri tyyppisiin kriiseihin rauhanturvatehtävistä ydinaseilla käytävään sotaan saakka. Ratkaisuna on verkottuminen (network centric warfare), jossa joustavuus syntyy eri tavalla kuin aikaisemmin. Termistä käytetään osin rinnakkaisena myös teknisempää nimitystä system of systems [Dom95]. Kun taisteluvoima muodostuu jäykän linjaorganisaation sijasta tilapäisiin verkkoihin, tulee joukkojen paikoista keskeinen osa päätöksenteossa tarvittavaa tietoa.

Uuden taistelutavan osatekijät ovat paljolti materiaalisia, mutta niiden toimeenpano perustuu doktriinin kehittämiseen, toimiviin organisaatiotyyppisiin ja kouluttamiseen sekä johtajiin ja henkilöstöön, jotka kykenevät tehokkaasti hyödyntämään ylivoimaisen aseteknologian. Perustana on tietoylivoima ja teknologian jatkuvan kehityksen hyödyntäminen. Toimivan kokonaisuuden luominen ja kehityksen jatkuva seuraaminen ovat pakollisia, koska myös potentiaaliset vastustajat kykenevät lisääntyvässä määrin hyödyntämään samaa kaupallista tekniikkaa mahdollistaakseen heikomman, teollisen ajan sotavoimansa tekniikan käyttämisen tehokkaalla tavalla.² Vuoden 2001 alussa esitettiin epäsymmetriset uhat, joissa *"psykologinen vaikutus ylittää tapahtuneet fyysiset vahingot"*, vaarallisimpina Yhdysvaltojen kannalta. [JV2020] Käytännön esimerkeinä ovat avaruuspuolustusohjelma potentiaalisia ydinasetta käyttäviä "roistovaltioita" vastaan ja syyskuun 2001 tapahtumien jälkeen alkanut terrorismin vastainen sota, joka nosti ilmiön poliisitoiminnasta kertaistakseen sotalailliseksi kysymykseksi. Sisäisen tur-

¹ Kehitys ei Yhdysvaltojen sisälläkään ole kiistatonta ja tulevaisuus tuskin tapahtuu täysin tavoiteasettelun puitteissa. On kuitenkin tärkeää ymmärtää, millaisena tulevaisuus nähdään teknisen toteutettavuuden kannalta - realismi syntyy ennen kaikkea sotilaiden konservatiivisuudesta. Koska tässä työssä Yhdysvaltoja käytetään viitekehystenä mahdollisuuksista eikä pyritä kuvaamaan kriittisesti kehityksen eri puolia, esitellään vain julkisesti asetetut tavoitteet. Yhdysvallat lisäksi vie kehitystä, joten sen tavoitteiden tunteminen auttaa ymmärtämään myös tekniikassa valittua suuntaa. Jokainen merkittävä COTS-ohjelmatoimittaja esittää Yhdysvaltojen puolustusvoimat referenssinään ja useiden liikevaihdosta tulee merkittävä osa tätä kautta. Seikka näkyy myös käyttäjäyhteisöjen runsautena. Päätetty kehityslinja siirtyä sovelluksissa COTS-perustalle tuskin tulee tätä kehitystä ainakaan hidastamaan. Usea esitetty asia oli jo JV2010 asiakirjassa.

² Tästä on paljolti kysymys myös Suomen kannalta. Yhdysvalloissa esitetään vaatimuksia siitä, että uusin tekniikka on yhä nopeammin saatava taistelukentälle, jotta ylivoima säilyy. Vain riittävän teknisen ylivoiman nähdään pitävän sodat lyhyinä, jolloin pienempi määrä aseita riittää samalla kun kokonaiskustannukset pysyvät hallinnassa. Toisaalta on muistettava, että Yhdysvalloilla on tarvittaessa kyky massamaiseen "edellisen sukupolven aseiden", siis niiden joilla vastustaja parhaimmillaan voi olla aseistettu, valmistukseen sen omassa kaikki avainkomponentit.

vallisuuden korostaminen suuntaa resursseja myös Suomen kannalta paremmin hyödynnettävään suuntaan. Saman aikaisesti on alettu käyttää laajaa informaatioodankäynnin käsitettä [Ran02], jossa taistelua käydään lisäntyvissä määrin mediassa.

Tietoylivoima (information superiority) on kyky kerätä (collect), käsitellä (process) ja välittää (disseminate) keskeytymätön tietovirta samalla, kun se kiistetään vastustajalta. Tietoylivoima on tekijä, jota sotilasjohtajat ovat aina tavoitelleet voiton avaimena. Informaatioajassa uusi piirre on tekniikka kerätä ja automatisoidusti hyödyntää massamaisista dataa vastustajasta, omista joukoista ja ympäristöstä, jolloin myös hankitun tiedon laadulliset ominaisuudet korostuvat määrän ohella. Teknologialla hankittu ylivoima on todellista vasta, kun se on muokattu ylivoimaiseksi tietämykseksi (knowledge) ja päätöksiksi [vrt Tuomi99] sekä päätöksen mukaiseksi toiminnaksi. Käsitteellisesti ylimpänä on päätösyylivoima (decision superiority), jonka hankinnassa verkottuminen on keskeinen organisointiperiaate. [JV2020] Tietoylivoimasta käytetään myös termiä dominant battlespace knowledge³ [Dom95]. Kyky hankkia dataa ja kyky muokata sitä informaatioksi on paljolti tekninen kysymys ja sitä voidaan myös arvioida kvantitatiivisesti [Sav01]. Yhdysvalloissa kyky luodaan kaikki sähkömagneettisen spektrin osa-alueet kattavilla sensoreilla [Sal00], jotka kykenevät reaaliaikaisen kuvan muodostamiseen. Kosovon operaation aikana todettiin järjestelmän olevan haavoittuva harhauttaville tiedoille kuten valelaitteille ja vaikeille peitteisille olosuhteille, jotka sumensivat syntyvää kuvaa ja tekivät siitä kattavuuden osalta "reiällistä". Tietotekniikalla, myös paikkatietotekniikalla, on merkittävä sija automaattisessa tietojen yhdistelyssä ja datafuusiossa. Siirryttäessä datan keräämisestä informaatioon ja edelleen kohti tietämystä ja päätöksentekoa, parhaasta menettelytavasta tulee yhä enemmän kulttuurisidonnaista. Tämä tarkoittaa, että epäsymmetrisellä taistelukentällä päätösyylivoima on mahdollisuus hankkia usealla eri tavalla.

Verkottuneen taistelun avaintekijä on yhteentoimivuus (interoperability), joka tarkoittaa järjestelmien ja joukkojen kykyä tuottaa ja käyttää toistensa tekemiä palveluja siten, että yhteistoiminta on tehokasta. Yhteen toimivuus on vaatimuksena sekä puolustushaarojen välillä (joint), operaatioihin osallistuvien eri maiden joukkojen välillä (multinational) että eri turvallisuusalojen välillä (interagency). [JV2020] Alin taso on tekninen yhteen toimivuus, jonka perustana on tietojen yhdenmuotoisuus. Esimerkkinä tämän tyyppisestä hankkeesta on ATCCIS-tietomalli [ATCCIS], jolla pyritään luomaan perusta NATOn piirissä. Lopullinen yhteen toimivuus syntyy, kun johtamiseen käyt-

³ Tässä määritelmässä on käytetty tietämystä vastaavaa termiä. Väitöskirjan teknisessä viitekehyksessä oikea käänös on tieto, joka syntyy informaatiota käsittelemällä.

tettävien prosessien ja organisaatioiden välillä on riittävä yhtenäisyys ja johtajat ymmärtävät verkon eri osioiden rajoitukset ja mahdollisuudet. [JV2020] Tämä edellyttää kykyä laadullisesti yhdenmukaiseen, korkeamman päätöksentekotason kuin pelkän tilannekuvan tyyppisen tietojen vaihtoon johtamisjärjestelmien kesken. Suomen kielessä tähän on myös kuvaava sana, yhteisymmärrys.

Kattavan ylivoiman (full spectrum dominance) avaintekijöitä ovat [JV2020]:

- Liikeylivoima (dominant maneuver).
- Täsmävaikutus (precision engagement).
- Keskitetty huolto (focused logistics).
- Moniulottuvuussuoja (full dimensional protection).

Liikeylivoimalla tarkoitetaan kykyä käyttää yhteisesti ilma-, maa-, meri-, merijalkaväikerikois- ja avaruusjoukkoja siten, että voimaa voidaan mitoittaa ja massoittaa tilanteen vaatimusten mukaisesti. [JV2020] Informaation merkitys teknologian ohjaamisessa on keskeinen. Yleisemmällä tasolla on alettu puhua sissimäisestä "iske ja katoa" -taktiikasta, jossa vastustaja lamautetaan monimutkaisella iskujen sarjalla ilman, että sille muodostuu kohdetta vastatoimiin. Toimintatapa pakottaa organisaatiotasojen vähentämiseen ja pienten osastojen verkottuneeseen käyttöön.

Täsmävaikutus⁴ on iskukyvyyn avainelementti. Se käsittää kyvyn paikantaa, erotella ja seurata kohteita, valita ja järjestää ne maaleiksi, aikaansaada haluttu vaikutus ja arvioida tulokset sekä iskeä tarvittaessa uudelleen ylivoimaisella nopeudella. [JV2020] Täsmäaseiden käyttö on antanut mahdollisuuden välttää siviiliuhreja samalla kun aseellisen puuttuminen on yksinkertaistunut. Eversti Jarmo Lindberg kuvaa Sotilas-aikakauslehdessä 3/2002 toimintaa Afganistanissa: *" Eräs pohjoisen liiton komentaja pyysi amerikkalaisilta ilmaiskua alle kahden kilometrin päässä olevalla harjanteella koontuvaa Talibanien joukkoja ja tankkeja vastaan. Komentaja vaati iskuu vuorokauden sisällä. Yhdysvaltojen erikoisjoukkojen sotilas välitti pyynnön välittömästi radiolla operaatiokeskukseen, joka määräsi B-52 pommittajan pudottamaan 16 rypälepommia kohteeseen. B-52:n miehistö ei koskaan nähnyt yhdeksän kilometrin korkeudesta maalia, jota erikoisjoukot valaisivat lasersäteellä. Talibaneja ei isketty vuorokauden kuluttua pyynnöstä, vaan 19 minuutin kuluttua. Tämän kaltaiset iskut olivat käänne taistelussa ... vaikutus oli suurin neuvostojoukkoja vastaan taistelleisiin veteraaneihin, koska he olivat aikanaan oppineet olemaan välittämättä ilma-aseesta ja olettivat*

⁴ Tässä työssä käsittely on pääosin tulen täsmävaikutusta. Laajemmassa mitassa täsmä on etuliitteenä myös elektronisessa sodankäynnissä, hakkeroinnissa ja psykologisissa operaatioissa.

sen tulen olevan epätarkkaa ja tehotonta". Päätökset tehtiin operaation johtokeskuksessa Saudi-Arabiassa ja tulitukipäivystyksessä ollut pommikone oli lähtenyt tunteja aiemmin Diego-Carcian saarelta. Tieto yhdisti vaikutuksen. Yhdysvaltojen tavoitteena on, että päätösketjuja edelleen lyhennetään⁵.

Keskitetty huolto on tapa mahdollistaa toiminta. Vuoteen 2006 mennessä tavoitteena on rakentaa verkottunut järjestelmä, joka mahdollistaa logistiikan reaaliaikaisen seurannan sillä tarkkuudella, että sotajoukko on toimintakuntoisine varusteineen oikeassa paikassa halutulla hetkellä. [JV2020] Tavoite on kytkeä operatiivinen päätöksenteko ja huolto yhteen sille asteelle, että varmuus onnistumisesta voidaan saavuttaa.⁶ Verkottuminen viedään tasolle, jossa huolto voi keskitetysti kysellä verkon avulla tekniikan tilaa ilman käyttäjien tai väliportaiden puuttumista tai jopa tilauksia.

Moniulottuvuusuoja⁷ muodostetaan usealla erilaisella passiivisella ja aktiivisella menetelmällä siten, että joukolla on kyky täyttää sille asetettu tehtävä. [JV2020] Laajassa mielessä kyse on kyvystä suojata koko oma infrastruktuuri, Suomessa käsite on kokonaismaanpuolustus. Tärkeä ulottuvuus on omien tietojen ja sähkömagneettisen spektrin suojaaminen hyökkäyksiltä.

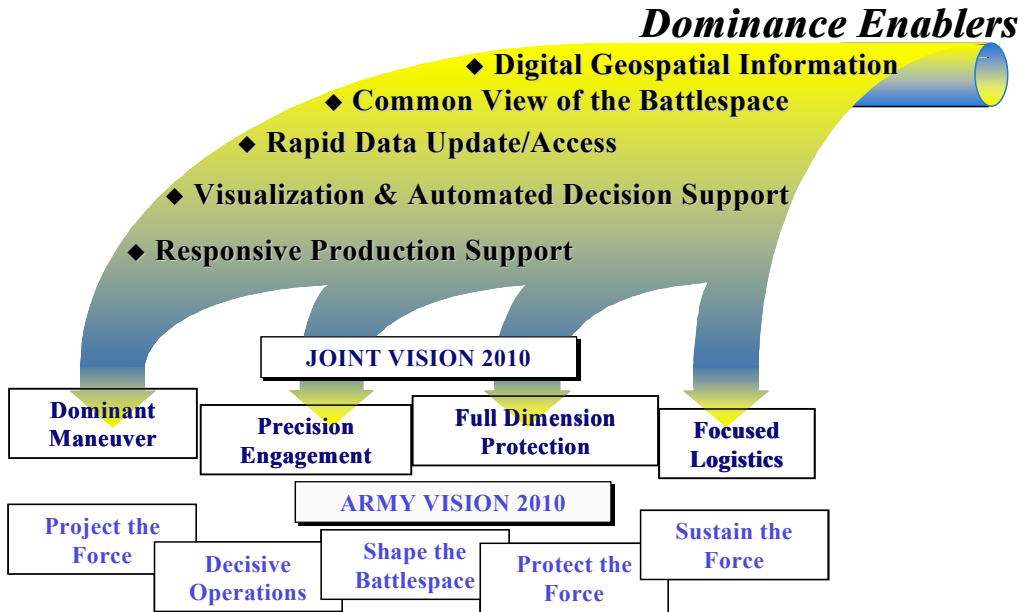
Sotatoimia johdetaan keskitetyistä operaatiokeskuksista ja liikkuvista hajautetuista johtamispaikoista, joiden käyttöön osoitetaan tilanteen mukaiset resurssit. Pysyvien johtosuhteiden sijaan syntyy joukko resursseja, joita voi käyttää aikaan ja paikkaan sitoen asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi. Vaikka perinteiset, tiukan organisaation omaavat sotajoukot tuskin kokonaan poistuvat, niiden koko pienenee ja tehtävät nopeutuvat ilman selvää riippuvuutta toisistaan. Vision yhtenä päätepisteenä on taistelukenttä, joka näyttää kaukaa ohjatulta tietokonepeliltä. Päättäjät antavat tavoitteet, joita päätteiden edessä istuvat operaattorit toteuttavat verkon tuottaman informaation varassa. Kun kuvaan liittyy vahvan panostuksen robotiikkaan, jonka ensimmäiset ilmenemismuodot ovat jo laajan alueen miinojen ja aseistettujen lennokkien muodossa valmiina, voi vertailukohdaksi avata scifi-teoksen ilman Asimovin robotiikan ensimmäistä pääsääntöä. Vaikka visiota ei haluaisikaan viedä ennustamattomaan tulevaisuuteen saakka, yhdestä asiasta voi silti olla vakuuttunut: paikkatietojärjestelmät ovat niitä solmuja, joihin tieto kerätään, jossa sitä analysoidaan ja jaetaan edelleen. Lisäksi

⁵ Kuvattu tapahtuma on ääriesimerkki taistelutemposta. On myös esitetty paljon kritiikkiä siitä, että verkottuminen mahdollistaa päätöksenteon pienissäkin asioissa jopa poliittisella tasalla, jolloin ketjuun syntyy kokonaan uudenlaista kitkaa.

⁶ Tässä työssä vastaavasta liitoksesta resurssien ja päätöksenteon välillä käytetään termejä resurssianalyysi ja rationaalinen päätöksenteko. Meillä tilanne on siinä määrin toinen, että resurssit eivät ole lähes rajattomat kuten Yhdysvalloissa vaan kyse on enemmänkin puutteen jakamisesta.

⁷ Osatekijöitä ovat fyysinen kuten panssarointi, linnoittaminen, liikkuvuus ja harhamaalit, sähkömagneettinen kuten HPM- ja EMP-suojat, tietosuojat ja tiedustelusuojat eri sensoreita vastaan.

on huomioitava, että vaikutuksen laskenta ja tehtävien suunnittelu tapahtuu pian täysin tietokoneissa käyttäen niiden sisäistä virtuaalista maailmaa referenssinä. Tietokoneelle kartta ei ole kuva, se on taistelun yksi pääelementti omien joukkojen, vihollisen, sähkömagneettisen spektrin ja ajan rinnalla [vrt Ahv02] [Gra86].



Kuva: Joint Vision 2010 tietotekniikan kannalta tarkasteltuna. Paikkatietotekniikan rooli on kaikissa esitetyissä osa-alueissa merkittävä, varsinkin maastotieto on esitetty perustana muulle informaatiolle.

Kuva on muokattu TPIO-TD ohjelman esittelymateriaalista eikä sitä ole käännetty, jotta vakiintumaton suomalainen terminologia ei vaikuta kytkentään laajempaan kokonaisuuteen. [USM01]

Digitalisoitujen joukkojen taisteluharjoituksissa on huomattu uusia uhkia [Wal00]:

1. Eri johtoportaiden toimijoilla on taipumus "surffata verkossa". Pääsy tietoverkon tuottamaan virtuaalimaailmaan seuraamaan taistelua muualla voi viedä huomiota pois omasta toiminnasta.
2. Komentajat eivät uskalla päättää vaillinaisen tiedon perusteella, vaan he jäävät odottamaan kuvan lopullista selkenemistä. Vastustaja sen sijaan toimii ja pitää aloitetta hallussaan.
3. Komentajat alkavat johtaa etulinjan pieniä yksiköitä ohi usean johtoportaan, koska he kokevat omaavansa parhaan tilannekuvan. Hyväkään visualisointi ei kuitenkaan voi korvata itse paikan päällä olemista.
4. Johtaminen on pian kokonaan tietokoneiden varassa. Jos virta katkeaa, ei ole enää manuaalista varamenetelmää, johon palata.

Ensimmäiseen uhkaan voi vastata tietojen saantia rajoittamalla. Tehokas tapa osoitteiden lisäksi on rajata hakuja toimijan maantieteelliseen lähialueeseen, jota voidaan käyttää myös verkon hakuagenttien ohjaamiseen. Mitä pienempiä iskevät joukot ovat, sitä pienemmäksi riski vastatoimista muuttuu osien toimiessa push-tyyppisellä tietojen syötöllä. Päätösarkuuden poistaminen näkyy esimerkiksi visualisoinnissa, jolla tiedot esitetään yleistettynä ja käsiteltynä: komentaja voi käyttää intuitiotaan ja keskittyä oleelliseen sirpaletiedon sijaan. Tilannetta voi osin myös hallita määrärajoilla, jotka pakottavat päättämään aikaan sitoen, tosin tämä toimii ylivoimaista tempoa vastaan kangistaen menettelytapoja ja hidastaen reagointikykyä. Kolmas tekijä korjautuu ainakin osin sillä, että väliportaita vähennetään ja komentajalle annetaan mahdollisuus johtaa esimerkiksi lennokin tuottaman televisiokuvan avulla. Operaatiossa joukkue toimii muiden joukkojen suojatessa tekniikalla, analysoidessa tilannetta ja tukiessa kaukotulella. Tietotekniikkariippuvuutta ei ilmeisesti enää pidetä uhkana ja tavoitetilana on, että paperisten karttojen tuotanto lopetetaan kokonaan vuoteen 2010 mennessä [USM01]. On myös helppoa todeta, ettei verkottunutta taistelua voida käydä nykyisillä johtamismenetelmillä. Tietokonetta käyttäessä usein unohtuu, että tietojen varmistaminen on yhtä helppoa kuin niiden tuhoaminen ja länsimaailman toiminnot ovat muutenkin jo täysin tietokoneiden varassa.

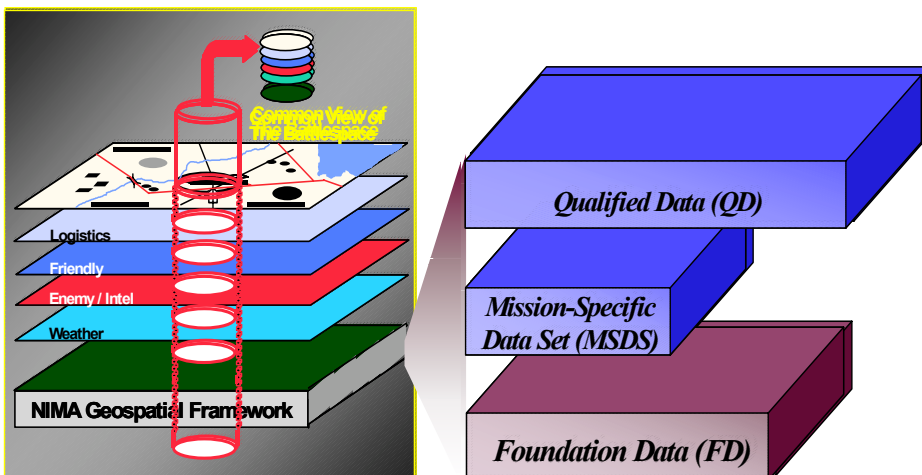
Joint Vision 2020 päätyy toteamaan, että *"tietoylivoima ei ole sama kuin täydellinen informaatio, eikä se tarkoita sodan epätietoisuuden (fog of war) poistumista."* [JV2020] Ohjelman jokaiselta sivulta voi kuitenkin lukea tavoitteen sumun hälventämisestä mahdollisimman hyvin; muuttaako se jopa keskeisten taktiikan ajattelijoiden kuten Clausewitzin pääoletuksia sodan epävarmuudesta, jää tulevaisuuden osoitettavaksi. Uuden tekniikan asejärjestelmät ovat jatkumoa aikaisemmista, todella uutta on vain niiden älykkyys ja verkottuminen, joka muodostaa revoluution ytimen: asejärjestelmän rajat laajenevat metajärjestelmäksi. Tietokone on tuomassa taistelukentälle uuden nopeuden ja erityisesti täsmän, jolla tulta ja muuta vaikutusta kyetään käyttämään ennen näkemättömällä tavalla: ennakkoinnin merkitys vähenee, jos kykenee reagoimaan nopeammin kuin vastustajalta kuluu yllätyksen toimeenpanoon sen paljastuttua. Tietokoneisiin liittyvien teknisten uhkien muodostuminen tunnustetaan, verkottuminen kuitenkin vähentää kokonaisuuden kriittisiä osia ja tuo samalla toistoa (redundancy) kaikkeen informaatioon. [Dom95] Periaate on huomioitava myös paikkatietoaineistoissa, jotta yhdestäkään tiedon osasta ei muodostu kokonaisuuden kaatavaa tekijää.

Yhdenmukaisuus ja varmuus ovat osin toisilleen vastakkaisia, suunnittelulla tasapainotettavia tekijöitä. Robotit ja uudet asejärjestelmät toimivat tulevaisuudessa samojen paikkatietoaineistojen ohjaamana, joita on käytetty niiden tehtävien suunnitteluun. Kun ihminen

vertaa paikkaansa karttaan ja päättää sitten reitistä kartasta saamansa käsityksen perusteella, risteilyohjus paikantaa itsensä GPS-tekniikalla ja tarkastaa oikean korkeutensa tutkalla pyrkien lentämään käytävässä, joka on optimoitu paikkatietojärjestelmällä. Jos sille haluttaisiin lisää älyä toimia yllättävissä tilanteissa, sen päätökset tapahtuisivat digitaalisessa maailmassa. Tyhmät asejärjestelmät kommunikoivat verkottuneella taistelukentällä keskitetyn laskennan älyn ja ihmisen päätöksenteon ohjaamana, jotta ne kykenevät yhteisvaikutukseen. Onko mahdollista, että tulevaisuudessa robotit optimoivat ainakin osin itsenäisesti yhteistoiminnan omassa maailmassaan ja toteuttavat sen reaali maailmassa? Uusi laajan alueen miinakonsepti on jo toteuttamassa tätä ajatusta.⁸

2.1.2 Tilannekuva ja maaston visualisointi

Tilannekuva⁹ (Battlefield Visualization) muodostuu useasta tasosta, jotka tietojärjestelmässä muodostavat yhteisen rakenteen. Kokonaistavoitteena on tarjota kaikille johtajille sama käsitys taistelutilasta, joka on perustana informaatioylikvoimalle ja sen kautta päätösylikvoimalle.



Kuva: Tilannekuvan osatekijät Yhdysvaltalaisen käsityksen mukaan. NIMAn maastotieto muodostaa yhteisen perustan, maailman, johon muut paikkatiedon tasot ankkuroidaan. Kuva on muokattu TPIO-TD¹⁰ ohjelman esittelymateriaalista [USM01].

⁸ Tässä viitataan aiemmin WAM eli Wide Area Munition kehityshankkeeseen, joka tällä hetkellä tunnetaan Raptor nimisenä asejärjestelmänä. Se koostuu keskuysyksiköstä, kaukovaikutteisista miinoista ja sensoreista, joiden avulla kokonaisuus optimoi omaa tulenkäyttöään ja keskustelee kokonaisuutta ohjaavan järjestelmän kanssa noudattaen annettuja tulenavausohjeita ja raportoiden havainnoistaan. Alun perin ohjausäly oli tarkoitettu toteuttaa yksittäisiin miinoihin, jotta nämä voisivat tehokkaasta yhteistoiminnasta.

⁹ Termi ei ole täysin vastine. Battlefield Visualization sisältää myös ymmärryksen siitä, mitä tapahtuu eli tilannetietoisuuden, joka luodaan visualisoinnin avulla.

¹⁰ TPIO-TD tulee lyhennyksenä sanoista Training and doctrine command Program Integration Office - Terrain Data. Ohjelma vastaa siirtymisestä digitaaliseen taistelukenttään ja sen TD-osio paikkatiedon osuudesta ohjelmassa. Terrain Visualization Center on vastuussa ohjelman tästä osasta ja se vastaa virallisten käsitteiden muodostamisesta.

Tilannekuvalla komentaja muodostaa ymmärryksen omasta ja vihollisen joukkojen tilanteesta, näkee mielessään halutun loppuasetelman ja hahmottaa toimenpiteet, joilla asetelma saavutetaan [TVMP]¹¹. Suomessa prosessia kutsutaan taistelutilan hahmottamiseksi [YT00], aiemmin sen pääosaa kutsuttiin tilanteen arvioinniksi. Tässä työssä sotilaallisella maastoanalyysillä käsitetään toimintaa kaikilla esitetyillä tasoilla tilanteessa, jossa maastoon ja ympäristöön liittyvä tieto integroidaan muiden tiedon tasojen kanssa. Tässä luvussa keskitytään kuitenkin Yhdysvaltojen käsitykseen maastotiedosta tilannekuvan perustana.

Terrain Visualization Master Plan [TVMP] on vuonna 1995 hyväksytty päivittyvä asiakirja, joka määrittää maavoimien osalta tavoitetilan maastoon liittyvien paikkatietoaineistojen käytölle. Asiakirjasta odotetaan uutta versiota, mutta sitä ei ollut vielä saatavilla vuoden 2001 lopulla [USM01]. Maaston visualisointi antaa yksityiskohtaiset tiedot maastosta, analysoi sen sotilaalliset tekijät ja tarjoaa tulokset käyttäjälle ymmärrettävässä muodossa. Visualisoinnin osa-alueita ovat tiedon keruu (data collection), tietokannan muodostaminen ja ylläpito sekä tiedon analysointi, jakelu ja esittäminen. [TVMP] Termi on määritelty englanniksi seuraavalla tavalla:

"Terrain Visualization is the process through which a commander sees the terrain and understands its impact on the operation in which he is involved. It is closer to military art than to military science". [USM01]

Käsite "Visualization" on vaikea suomennettava. Säätilan, vuodenajan ja muiden tekijöiden huomioiminen vaatisi sanan ympäristö käyttämistä maaston sijaan. Lisäksi meillä käytetty käsite tilanteen arviointi sisältää tuloksena ymmärryksen, joka komentajalle syntyy myös ympäristön vaikutuksesta käsiteltävään operaatioon. "Visualization" voitaisiin ehkä parhaiten kääntää termillä "ympäristön vaikutusten ymmärtäminen". Toisaalta visualisointi tarkoittaa näkyväksi tekemistä, ja vaikka sitä usein käytetään lähes mistä tahansa kuvasta tai näytöstä, voidaan sille sisällyttää vaatimus myös ymmärryksestä. Ketju ARVIOINTI -> ANALYYSI -> VISUALISOINTI (YMMÄRRYS) on avain Yhdysvaltojen ajattelutapaan.

Tietojen käsittely tapahtuu kahdella tasolla. Johtamisjärjestelmiin on rakennettu rajoitettu mahdollisuus, jota on tarkoitus laajentaa maaston arviointimodulilla ABCS-järjestelmässä¹². Toistaiseksi tähän käytetään seuraavassa esiteltyä TerraBase-ohjelmaa. Varsinainen maastotiedon analysointi tapahtuu topografisissa joukoissa,

¹¹ Määritelmä kuvaa Yhdysvaltalaisista ajattelutapaa, jossa asiat laitetaan tapahtumaan. Suomessa vastaavassa termissä painotetaan kykyä ennakoida tapahtumien kulku ja etsiä siitä pisteet, joissa oma vaikuttaminen on tehokkainta.

¹² Army Battle Command System, Yhdysvaltojen maavoimien johtamisjärjestelmä.

jotka tukevat kaikkia yhtymiä. [TVMP] Käytössä olevista tasoista käytetään eri termejä: arvioinnilla (evaluation) tarkoitetaan enemmänkin valmiin tiedon katselua ja käyttöä, kun taas analysoinnilla (analysis) käsitetään ammattilaisten suorittamaa monipuolista prosessointia, uuden tiedon muodostamista.

Taktinen päätöksenteon tukiväline on mikä tahansa tuote, joka tukee komentajan ymmärrystä tilanteesta (*Tactical Decision Aid is any product, which assists the commander in visualizing the terrain*). [TVMP]

Kyseessä on tyypillisesti sovellus tai valmisohjelma, tulevaisuudessa komponentti tai kuten edellä on käytetty termiä moduli.

Maaston arviointi on analyysin osa, joka luonteensa vuoksi on helpointa automatisoida. Palvelu on jokaisen johtamisjärjestelmän käyttäjän saatavilla pataljoonatasolta ylöspäin. (*Terrain Evaluation is a subset of terrain analysis which, due to it's focus on raster imagery and gridded elevation data, is most amendable to automation. Available to any user of the new Army battle Command System (ABCS) at battalion and above*). [TVMP]

Maaston arviointi on siis jokaisen tehtävänä ja siihen tarvittavat työkalut integroidaan yhteiskäyttöiseen johtamisjärjestelmään. Näillä pystytään esimerkiksi teemoittamaan karttoja kyselyjen mukaan maahanlaskualueina tai rinnekaltevuuksina, tekemään tilanteen mukaisia yksinkertaisia analyyseja kuten näkemä- ja suojaisuusarviointeja sekä toteuttamaan maastontiedustelua ja tulosten esittelyä.

Maastoanalyysi on maaston ominaisuuksien ja niiden muutosten tutkimista muuttuvissa sää- ja ilmasto-oloissa. Sen toteutus edellyttää erikseen koulutettuja joukkoja. (*Terrain Analysis is the study of the properties of the terrain, and how these properties change over time, with use and under varying weather conditions. It requires expertise of Topographic teams*) [TVMP]

Maastoanalyysi tehdään tarkoitukseen kehitetyillä algoritmeilla ja ohjelmilla. Sillä tuetaan komentajan päätöksentekoa ja sotilasiasiantuntijoiden arvioita ottamalla huomioon myös ilmastotekijät ja niiden sotilaalliset vaikutukset maastoon. Topografijoukkojen tehtävänä on vastata johtamisjärjestelmien tarvitsemasta tiedosta sekä vielä tois- taiseksi paperikarttojen painamisesta. Lähtökohtana on NIMAn¹³ muodostama tietokanta, johon joukot lisäävät maastosta keräämänsä tiedot, vastaavat tarvittavista kon- versioista eri järjestelmiin ja laativat analyysit. Operatiivisen tason joukot on organisoit-

¹³ National Imagery and Mapping Agency, joka vastaa kaikkien paikkatietoaineistojen muodostamisesta turvallisuusviran- omaisille.

tu kolmeksi kiinteäksi sotänäyttämöä (theater) tukevaksi pataljoonaksi ja kuudeksi sotatointa (campaign) tai armeijaa tukevaksi liikkuvaksi komppaniaksi, jotka pystyvät vaativiin aineistotuotantotöihin ja suurimittaiseen kartanpainamiseen. Tärkein työkalu kaikilla tasoilla on DTSS, Digital Topographic Support System, joka esitellään tarkemmin seuraavassa luvussa. Digitaalisia divisioonaa tuetaan osastoilla (Terrain team), joissa on aineistojoukkue ja analyysijoukkue kalustona kaksi DTSS-H, kahdeksan DTSS-L ja kaksi DTSS-D kokonaisuutta. Lisäksi on tehty päätös tukea myös digitaalisia prikaateja yhdellä ryhmällä (detachment) kalustonaan yksi DTSS-L järjestelmä. Pataljoonatasosta alaspäin tukea ei vielä ole. Vanhoissa divisioonissa tukena on ainoastaan pieni topografinen ryhmä, jonka uudesta organisaatiosta ei ole vielä päätöksiä. Koska DTSS-D asemat ovat suhteellisen edullisia, voidaan niillä jatkossa tukea ainakin osaa vanhoista joukkotyypeistä. Seuraavan sukupolven CTIS-järjestelmän (Combat Terrain Information System) tavoitteena on kehittää topografijoukoille automaattinen maastotietojen päivitys ja hallintajärjestelmä, jonka analyyseilla ja nopealla kartantuotannolla voidaan tukea joukkoja lähes reaaliaikaisesti. [TVC] [FM3-34]

Tietojen esittämistä korostetaan tärkeimpänä tekijänä prosessissa. Visualisointi on tapahtunut vasta siinä vaiheessa, kun käyttäjä on ymmärtänyt oikein tuotetun informaation, joka on siis muuttunut tiedoksi. Tapahtumat halutaan esittää aikaan sidottuina "sarjakuvina" tai animaatioina käyttäjän valitsemalla tavalla, joko perinteisen referenssikartan avulla, 2½D "fly through" esityksenä ilma- tai satelliittikuvan ja korkeusmallin avulla tai 3D-ympäristössä. Esitystapa valitaan kuvattavan ilmiön mukaisesti, siirtyminen kohti pienempiä joukkoja korostaa 3D-esitysten käyttöä. Eroa simulaattoreiden maailmojen ja karttojen välillä ei tulevaisuudessa enää ole. [TVMP] Taustalla on täydellinen koulutuksen uudistaminen, jonka tavoitteena on opettaa paikkatietoaineistojen ja järjestelmien perusymmärrys kaikille upseereille, hyvä analyysitulosten lukutaito kaikille pioneeriupseereille ja korkea numeeristen aineistojen ja analyysien ammattitaito topografijoukkojen sotilaille. [USM01] [TVMP]

2.1.3 Maantieteellisen¹⁴ tiedon kokonaisrakenne

Geographical Information Infrastructure Master Plan [GIIMP97]¹⁵ on yli 900 sivuinen neliosainen asiakirja, joka asetti maastoon liittyvän paikkatiedon tavoitteet siirryttäessä uuteen digitaalisen taistelukentän konseptiin. Sarja käsittää yleiskatsauksen, teknisen osan, teknologian kartoituksen ja asianosaisten¹⁶ (stakeholders) kannanotot. Julkaisun on koontanut National Imagery and Mapping Agency (NIMA), joka perustettiin vuonna 1996 vastaamaan kaikkien Yhdysvaltojen turvallisuusviranomaisten maantieteellisen informaation tuottamisesta maan rajojen ulkopuolella. NIMAn suurimpia asiakkaita ovat puolustusministeriö ja tiedustelupalvelut, sillä on maailman laajuinen organisaatio ja useita tuhansia työntekijöitä. [NIMA]

GIIMP:n tavoitteena on muodostaa uusi tietokantaperusteinen ratkaisu kaikelle maantieteelliselle tiedolle. Tulevaisuudessa perinteisten tuotteiden sijasta asiakkaille tarjotaan ajan tasalla oleva ja koko ajan täydentyvä tietovaranto, maailma, josta kukin voi itse muodostaa tarvitsemansa näkymät ja toteuttaa analyysit. Tietojärjestelmien maailmasta tulee näin reaaliaikainen ja kaikille toimijoille yhtenevä (consistent). Ohjelma on kokonaisuus, joka käsittää ihmiset, toimintatavoitteet, toimintatavat, arkkitehtuurit, standardit ja teknologiat. [GIIMP97]

Ohjelmassa luetellut tärkeimmät muutokset aiempaan verrattuna ovat: [GIIMP97]

1. Perustan tiedolle muodostaa luja (robust) tietomalli.
2. Perinteinen kartta on tiedoksi muutettuna ja yhdistettynä paikannustekniikkaan kaiken johtamistoiminnan perusta. Digitaalinen taistelukenttä vaatii perustavanlaatuisia muutoksia kaikilla tasoilla ja toiminnoissa.
3. Sovellusperustainen ja tuotteisiin perustuva toimintatapa ei vastaa tulevaisuuden haasteisiin sen tärkeimmän tekijän eli yhteentoimivuuden (interoperability) osalta. Tästä luovutaan tulevaisuudessa.
4. Perinteinen kartanvalmistus ei vastaa reaaliaikavaatimuksiin. Tulevaisuudessa käyttäjät tekevät itse tarvittavat tulosteet kentällä, tavoitteena on kuitenkin tulevaisuudessa täysin digitaalinen tietojen käsittely ja esittäminen.
5. Käytössä oleva kaupallinen paikkatietoteknologia (COTS) vastaa ominaisuuksiltaan pääosaan tarpeista ja sitä käytetään lähtökohtana sotilassovelluksille

¹⁴ Maantieteellä käsitetään tässä kaikkea ympäristöön liittyvää. Rinnakkaisena terminä on geografinen.

¹⁵ Asiakirjakokonaisuus kuvaa useampivuotisen laajan tutkimusprojektin tulokset ja se luo perustan myös koko NIMAn toiminnalle. Osa 3 sisältää COTS-ohjelmistojen vertailun ja perusteet tehdyille valinnoille.

¹⁶ Laajuuden ymmärtämiseksi asianosaisia ovat asiakirjassa US Navy, US Army, US Air Force, US Marines, Iso-Britannia, University Consortium UCGIS, Yhdysvaltojen Federal Geographic Data Committee FGDC, alan teollisuus Open GIS konsortio sen lähes 40 jäsenen puolesta, National Security Agency NSA, National Imagery and Mapping College sekä Defence Advanced Research Projects Agency DARPA.

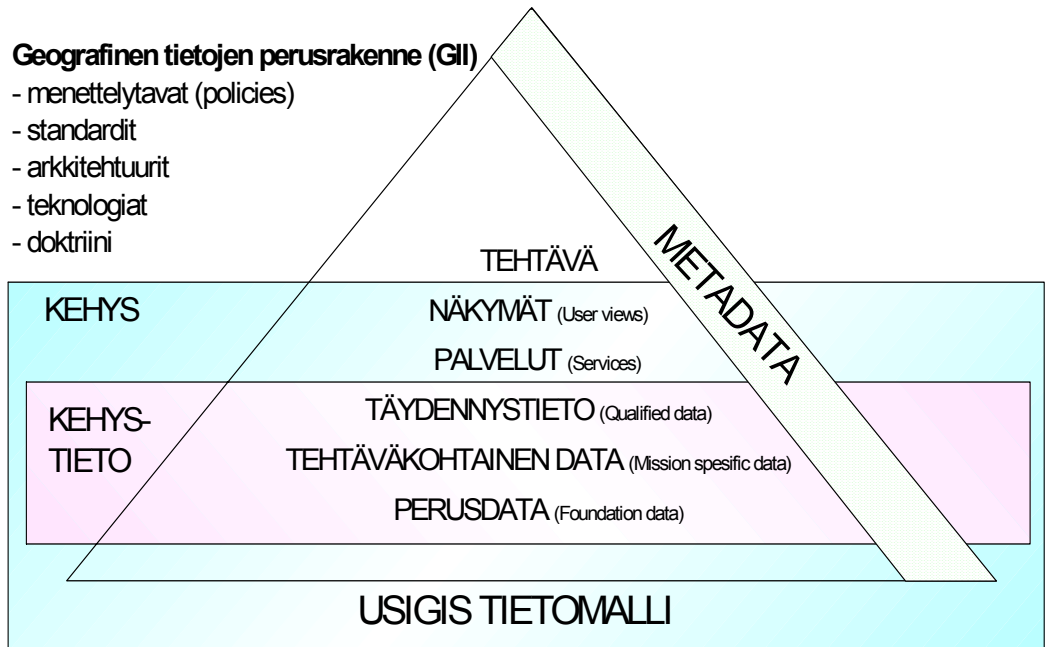
(GOTS). Suurin puute vuonna 1997 nähtiin siinä, että kaupallisia ohjelmia ei voi verkottaa standardien puutteen takia.

6. Paikkatietoteknologia kehittyi hankintasyklejä paljon nopeammin, joten sen käyttöönottoa pitää hallita vakaan, luotettavan ja kilpailukykyisen kokonaisuuden muodostamiseksi.
7. Kaistanleveys ja kriisinsietoisuus tulevat myös tulevaisuudessa olemaan rajoitettavia tekijöitä alan kehitykselle erityisesti taktisella tasolla.

Yhteinen tietomalli on tärkein tekijä. Kaikki tuleva tieto ilmakuviin karttoihin ja tiedustelutietoihin on tarkoitus purkaa sen avulla yhdeksi jättimäiseksi tietokannaksi. Vaatimus on toteutettavissa, kun ottaa huomioon käytössä olevat valtavat resurssit ja tavoitteen tuottaa suurin osa tiedosta vasta kriisin aikana. Erilaiset tietojärjestelmät saadaan ymmärtämään maailma samalla tavalla ja toimimaan siinä järkevästi: tämä tarkoittaa kaikkea strategisen johdon järjestelmistä risteilyohjuksiin, sensoreihin, robotteihin, jopa yksittäisiin kranaatteihin saakka. Toinen kohta on vastaus uuteen taisteludoktriiniin, jonka toimeenpano on tällä hetkellä käynnissä osassa Yhdysvaltojen joukkoja, myös kohdilla kolme ja neljä kuvataan uutta toimintatapaa. Ainakin paikkatiedon osalta on tapahtumassa revoluutio, jossa kartta muuttuu koneiden tietoon ja käsitteisiin perustuvaksi maailmaksi. Viidentenä on trendi, joka näkyy useilla tavoilla. Yhdysvallat on erittäin aktiivinen toimija standardoimisjärjestöissä: ISO kokonaisuuden, OGC yhteensopivuuden, W3C internet-tekniikan, DGIWG tietomallien, OMG mallinnuksen sekä SEDRIS ja HLA simuloinnin yhteensovittamisen kannalta. Luettelo on pelkistys, kyseiset hankkeet ja niiden tavoitteet esitetään perusteellisemmin seuraavassa luvussa. Kaupalliset ohjelmat on otettu laajasti kehitystyön perustaksi: eri johtamisjärjestelmien GOTS analysointikirjastoksi kehitetty Joint Mapping Tool Kit kaupallistetaan JMTK (C) muotoon vuodesta 2002 alkaen, myös raskain kenttäjärjestelmä DTSS on lähes täysin COTS-perustainen oman sovelluskehityksen osuuden ollessa lähinnä ohjelmien integroinnissa ja sotilasformaattien sekä -tietomallien käsittelyssä. Kuudennessa on lähtökohtana COTS:in kehittyminen kaupallisista perusteista niin nopeasti, että sen käyttö on pakollista tietoylivoimaan pyrittäessä. Toisaalta kohta asettaa rajoituksen tekniikan käytöllä: huolimatta siitä, että kaupallisen toiminnan tai itsenäisten puolustushaarojen toiminnan rajoittaminen on vastoin Yhdysvaltojen perusideologiaa, nähdään tarve kehityksen kokonaisvaltaiseen hallitsemiseen teknologiahyppyin, jotta käytössä on koko ajan vakaa ja toimiva ympäristö. Samassa kehyksessä mainitaan myös sovellusten ja komponenttien yhteiskäyttöisyys. Toisaalla on todettu [JV2020], että kaupallisen teknologian saatavuus myös vastustajille pakottaa muita nopeampaan

kehityssykliin ylivoiman ylläpitämiseksi. Viimeinen kohta on merkittävä siksi, että edes Yhdysvalloissa ei uskota rajoittamattomaan datan vaihtoon internetin tavoin kuin ylimpien tason esikuntien kesken. Taktisen tason joukoissa, joita tässä työssä käsitellään, tietojen sisällöllinen tehokkuus on edelleen tavoiteltava seikka.

Kokonaisuuden toteuttamiskehys (framework) kuvataan seuraavasti:



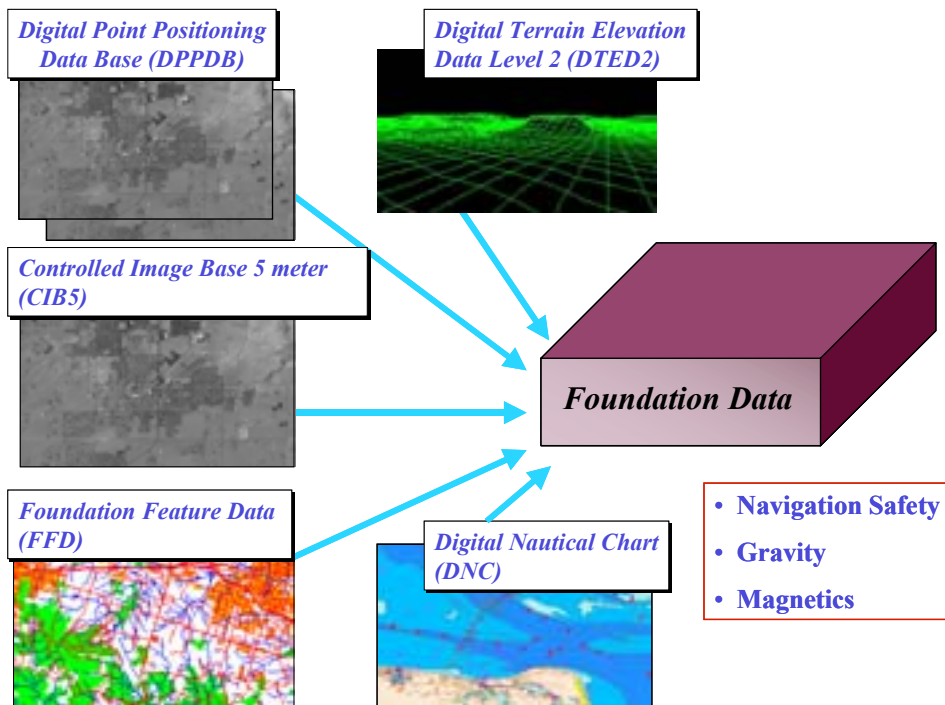
Kuva: Yhdysvaltojen näkemys maantieteellisen tiedon kokonaisuudesta. [GIIMP97].

Perustan muodostava USIGIS-tietomalli perustuu yhteistyöhön eri standardien kehittäjien kanssa. Tavoitteena on rakenne, joka mahdollistaa maailman kuvaamisen sotilaallisesti riittävällä ja tarkoituksenmukaisella tavalla. [GIIMP97]

Lähtökohdan valmiudelle toimia missä tahansa päin maailmaa muodostaa **perusdata (Foundation data)**, jolle on asetettu vaatimuksiksi: [GIIMP97]

- Jatkuva maailmanlaajuinen saatavuus operatiivisen suunnittelun mahdollistavalla tasolla. Tämä muodostaa valmiuden peruslähtökohdan.
- Riippumattomuus tehtävästä (mission independency).
- Suhteellinen vakaus ja pitkäaikaisuus tai ulkopuolinen päivittäminen ajantasaisuuden varmistamiseksi esimerkiksi navigoinnin turvallisuuden osalta.
- Standardoitu rakenne, johon kuuluvan datan laatutekijät tunnetaan.
- Yhtenäistäminen WGS-84 koordinaatistoon.

Perusdatan vaatimusten hallinta ja muutosten käsittely on ohjeistettu erikseen. Lähtökohta on luoda rakenteella kaikkien turvallisuusviranomaisten tietojärjestelmille samat toiminnan perusteet suunnittelun yhdenmukaistamiseksi.



Kuva: Perusdatan rakenne, muokattu TPIO-TD ohjelman esittelymateriaalista [USM01]

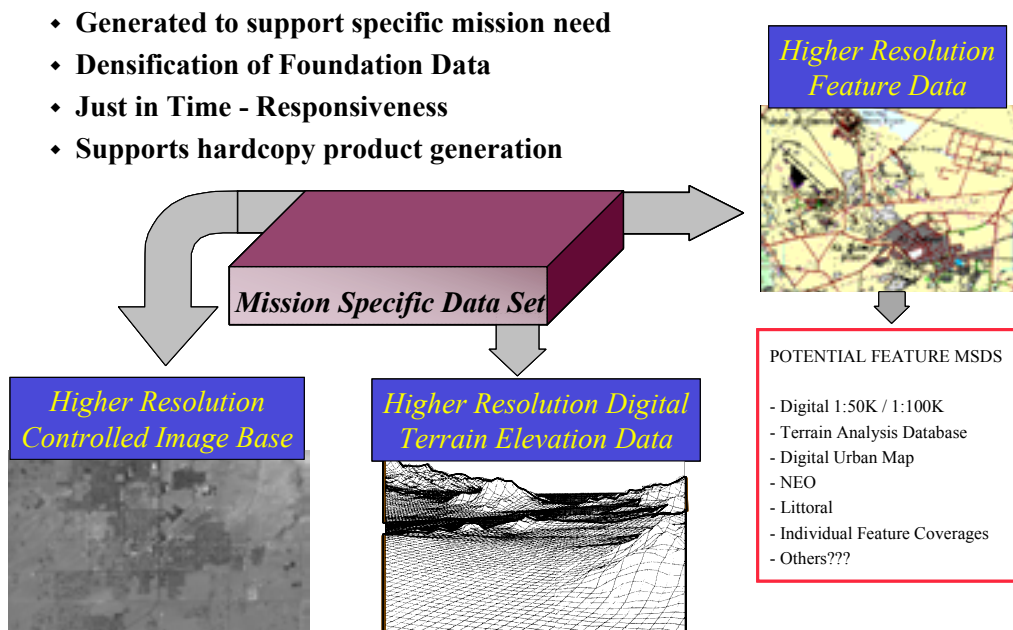
Tavoiteltava mittakaava-alue FFD-vektoritiedoissa on 1:50..1:100k [GIIMP97], lähitulevaisuudessa päästäneen 1:250k luokkaan [USM01] eli operatiivisen suunnittelun edellyttämälle VMAP1¹⁷-tasolle. Korkeusmallia varten laaja data kerättiin vuonna 2000 tutkimuksella¹⁸. Muut tiedot hankitaan joko itse kartoittamalla satelliiteista tai hankkimalla tiedot muilta. Kiinteiden kohteiden maalituksen mahdollistava salainen DPPDB ja päivitysperustana oleva julkinen CIB5 kyetään hankkimaan nopeasti laajaltakin alueelta satelliittikuvauksella. Merkittävä lisätekijä on nimistön ja hallinnolliset rajat sisältävä päivittyvä tietokanta (Geo Names Database), jonka tarve huomattiin Bosnian ja Kosovon operaatioiden yhteydessä. Perusdata mahdollistaa 2½D ja 3D visualisoinnin sekä rasteri- ja vektorimuotoisen datan yhteiskäytön tietojärjestelmissä. Sen perusteella voi myös tehdä rajoitettuja analyysejä kuten maahanlaskualueiden valintaa tai

¹⁷ VMAP tarkoittaa standardoitua Vector MAP muotoista numeerista karttatuotetta. Perässä oleva luku kuvaa mittakaava-alueen, 0 vastaa 1:1M, 1 noin 1:250k ja 2 noin 1:50k mittakaava-alueita.

¹⁸ Pohjoisessa niin sanottu radar mission mittasi vain 60 leveyspiirin eteläpuolisen alueen, jolloin esimerkiksi pääosa Suomesta jäi kartoituksen ulkopuolelle.

maaston sotilaallista luokittelua. Maalittamisessa tieto on tarpeeksi tarkkaa esimerkiksi risteilyohjusten käyttämiseen. Suomessa FD-tasoinen tieto on ollut suunnittelun perustana koko maan laajuudessa jo vuosia ja Maanmittaus- sekä Merenkulkulaitos toimivat jo NIMAn kanssa saman tyyppisellä tietokantaperiaatteella.

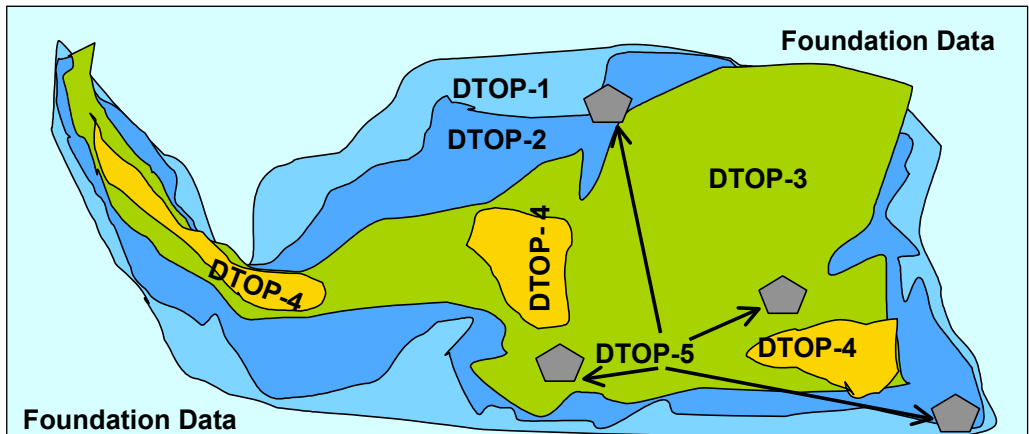
Seuraavan tietotason muodostaa **tehtäväkohtainen data (Mission Specific data)**, jonka rakenne perustuu kunkin tehtävän asettamiin vaatimuksiin. Koska tilanteen mukainen tietojen määrittely on todettu hitaaksi ja ristiriitaiseksi, sen hallitsemiseksi on kehitetty viittä tehtävän perusprofiilia: kriisinhallinta, ilmaperustainen valmiusoperaatio (contingency)¹⁹, maasotatoimi (mechanized), asutuskeskussotatoimi (urban) ja rannikosotatoimi maihinnousuineen (littoral). Profiileista huolimatta komentaja määrittää aina tarkennetun vaatimuksen aineistoille kolmea tärkeysluokkaa (Priority Scheme) käyttäen: oleellinen (Mission essential), tärkeä (necessary) ja tarpeellinen (prudent). Määrittely tehdään toimintamaastoon sitoen. [USM01]



Kuva: Tehtäväkohtaisen datan muodostumisen periaate. Kuva on muokattu TPIO-TD ohjelman esittelymateriaalista [USM01].

Tehtäväkohtaisessa datassa on kyse tiedon tihentämisestä määritellyltä alueelta. TVMP-asiakirjassa on arvioitu, että vuonna 2010 maavoimien johtamisjärjestelmien edellyttämänä tarkkuustasona on yhden metrin resoluutio vektoritietojen kattaessa noin 200 eri tietoluokkaa. Tihentämisen periaate selviää seuraavasta kuvasta.

¹⁹ Suomessa tätä kutsuttaisiin maalin kannalta uuhkamallina ilmasta tapahtuvaksi strategiseksi iskuksi.



Kuva: Tiedon alueellisen tihentämisen periaate tehtävän asettamien vaatimusten mukaisesti, luvun suureneminen tarkoittaa resoluution paranemista. Kuva on muokattu TPIO-TD ohjelman esittelymateriaalista [USM01].

Kuvatun datan käyttö on esitetty seuraavassa taulukossa.

FFD/DTOP Continuum	Resolution	Intended Use	Current NIMA Product	Comments
FFD	Variable 1:50 – 1:250K	Initial Planning	----	-----
DTOP Level 1	1:250K	Initial Analysis	PITD & VMAP1	Crisis Response capability
DTOP Level 2	1:250 – 1:100K	Map Background some Analysis	VMAP 1	1:250K – 1:100 TLM production
DTOP Level 3	1:100 K	Analysis and Map background	ITD 1:100K TLM MEDS3	Satisfies Tactical Decision Aids
DTOP Level 4	1:50K	Map background Some analysis	VMAP 2	1:50K TLM production
DTOP Level 5	1:50K	Analysis and Map background	DTOP	Full terrain analysis and TLM production

Taulukko: Datan tihentymisen skaalautuminen ja sen mahdollistamat toiminnot. Tiedot on poimittu TPIO-TD ohjelman esittelymateriaalista [USM01].

Taulukon perusteella voi päätellä, että:

- Nykyisen tyyppinen karttatuotanto on mahdollista aloittaa VMAP1 tasolla lähes pelkän FD-tiedon perusteella.
- Level 3, joka vastaa karttamittakaavaa 1:100k, tyydyttää taktisen pataljoona - pikaatitason päätöksenteon tarpeet ja maaston arviointiin (evaluation).
- Level 4 mahdollistaa nykytasoisien 1:50k vektorikartan tuottamisen.
- Level 5 mahdollistaa täydelliset analyysit topografijoukkojen toteuttamana.

Vaikka lähtökohta on tietokanta, ei aineistotuotteista olla vielä kokonaan luopumassa. GIIMP:n teknisessä osassa luetellaan 20 tuotetta, joiden muodostaminen FD ja MSDS kannoista valmistellaan [GIIMP97c]. Tuotteistuksessa kyse ei ole perinteisestä kartan-tuotannosta, vaan lähes täysin automatisoiduista prosesseista, jotka perustuvat dynaamiseen tietokantaan. Tietojen muodostamiselle on asetettu vaatimukseksi mahdollistaa maataistelu MSDS-tason tiedolla 20 km x 20 km alueella 18 tunnissa, 90 km x 90 km alueella 72 tunnissa ja 300 km x 300 km alueella 12 vuorokaudessa. Lisäksi vaaditaan 2 .. 20 yksityiskohtaista tulenkäyttöaluetta. [TVMP] [USM01] Tämä edellyttää tietojen tuotannon nopeuttamista nykyisestä yli kymmenkertaiseksi.

Kolmantena tiedon tasona on **täydennystieto (Qualified data)**²⁰. Tällä tarkoitetaan tietotuotteita, joiden laatuominaisuudet tunnetaan ja jotka täyttävät sotilaalliset vaatimukset. Perustan muodostaa NIMAn tämän hetkinen tuotevaranto, jota täydennetään kaupallisista ja viranomaislähteistä saatavalla tiedolla. Metadata on avain tiedon hallitsemiseen ja käyttöön, lisäksi NIMA toimii myös tietojen välittäjänä (information broker) sellaiselle tiedolle, jota ei ole virallisesti hyväksytty, mutta joka voi tuottaa lisäarvoa käyttäjille. [GIIMP97]

Palvelutason (framework services) tavoite on tukea käyttäjien datan saantia. Arkkitehtuuri kuvaa tiedon tasolla datan käytön ja prosessit käyttäjien sekä tehtävien vaatimusten ohjaamana. Teknisellä arkkitehtuurilla asetetaan käytettävät standardit ja mahdollistetaan tekninen yhteensopivuus. Systeemiarkkitehtuurissa kuvataan tietoliikenne, tietokoneet ja käytettävät ohjelmat, joilla tietoa käsitellään. Tietojen jako- ja hallintayksikkönä on kaikilla tasoilla 1° x 1° solut [GIIMP97], joka Suomen alueella tarkoittaa noin 111 km x 54 km aluetta. Tämä vastaa suuruusluokaltaan meillä käytettävää pelastuspalveluruutujakoa, jossa perusyksikkö on 80 km x 80 km.

Tiedon määrästä digitaalisella taistelukentällä on esitetty seuraava arvio: [USM01]

- Liikkuvilla käyttäjillä laptop-tasolla on yli 1 GB maantieteellistä dataa.
- Pataljoonataso maastotietokannan koko on 18 GB.
- Prikaatitasolla maastotietojen määrä ylittää 100 GB.
- Divisioonassa muodostuu 250 GB tietokanta.

²⁰ Terminä Qualified tarkoittaa GIIMP:ssä käyttöön hyväksyttyä muuta kuin perusrakenteen omaista tietoaineistoa. Koska aineistoa käytetään nimenomaan täydentämään tai jopa korvaamaan perus- ja tehtäväkohtaisia aineistoja, on tässä päädytty käyttämään termiä täydennystieto.

Kun otetaan huomioon tietojen jatkuva päivittäminen ja jalostaminen analyysituloksi, on pakko suunnitella rakenne tietojen määrän hallitsemiseksi ja suodattamiseksi eri johtamistasojen välillä.

2.1.4 Simulointi osana päätöksentekoa ja johtamista

Tärkeä osa uutta sodankäyntitapaa on tehtävien analysointi ja harjoittelu tietokoneavusteisesti. Taktisista simulaattoreista on johtamisjärjestelmiin kytkettyinä stimulaattoreina kehittymässä tietojen taistelun avainteknologiaa. Kun tieto on kerätty, taistelumallit ja simulointi auttavat ymmärtämään, mitä on tapahtumassa ja mitä on mahdollista tehdä. Erityinen merkitys simuloinnilla on Yhdysvaltojen kaltaisille maille, joille taistelun voittaminen on ennen muuta aikautukseen ja resurssointiin liittyvä kysymys: halutaan tietää, ehditäänkö, toimiiko sotakone kuten on suunniteltu ja riittääkö suunniteltu voima. Alivoimaiselle simulointi on vähintään yhtä tärkeää, kysymys vain on erilainen: missä olisi edes pieni mahdollisuus onnistua, missä pitää valmistautua käyttämään syntyneitä tilannetta hyväksi, miten muodostaa toimiva epäsymmetria. Simulointi on myös koulutuksen ja harjoittelun apuväline. Taktisen simulaattorin avulla voidaan virtuaalisessa²¹ maailmassa saada kuva taisteluista ja harjoituttaa johtajille tilanteen mukaista päätöksentekoa sekä taistelun johtamista. Pian saman voi tehdä myös kriisin aikana.

Simulointi jaetaan kolmeen tyyppiin: [RTO01]

1. Toimintasimulaatio (live), esimerkiksi laserlähettimellä varustettu rynnäkkökiivääri. Ihminen käyttää laitteita, järjestelmä laskee osumat ja kerää tiedot.
2. Virtuaalinen simulointi (Virtual), jota käytetään motoristen taitojen ja laitteiden käytön opetteluun. Ihminen on käyttäjänä, laite simuloidaan.
3. Rakenteellinen simulointi (Constructive), jossa sekä laitteet että käyttäjät simuloidaan, ihminen voi ohjata toimintoja komennoilla, esimerkiksi esikuntien kouluttaminen ilman joukkoja. Tässä työssä käsitellään vain tätä osa-aluetta.

Simulaattorilla tarkoitetaan tässä tutkimuksessa järjestelmää, joka simuloi pelaajan päätösten perusteella taistelukentän tapahtumia. Toimintaa voidaan kutsua kokonaisuudessaan sotapeliksi (wargame). Teknisesti simulaattori on tietojärjestelmä, joka on toteutettu joko client-server arkkitehtuurilla tai kokonaan keskuskonemaisesti. Taktisella simulaattorilla tarkoitetaan konstruktivistista simulaattoria, jota käytetään maavoimien taistelujen kuvaamiseen pataljoonatasolta yhtymätasolle. Päätöksenteon tukena sota-

²¹ Virtuaalisella tarkoitetaan vakiintuneessa käytössä fyysisen oleskelun tunnetta tietokoneen luomassa maailmassa. Johtajalle taktinen simulaattori luo joko oman käyttöliittymänsä tai stimuloitun johtamisjärjestelmän välityksellä ikkunan tarkastella simuloitua taistelua täsmälleen samalla tavalla kuin hän tarkastelisi oikeaakin taistelua esikunnastaan.

peiliä voidaan käyttää tilanteen kehittymisen arvioimiseen, vaihtoehtojen vertailuun, päätösten testaamiseen ja tehtävien harjoitteluun. Koulutuksellisissa simulaattoreissa on tärkeää mahdollisuus puuttua mallien toimintaan pelin aikana. Näin esimerkiksi liian suuret hetkelliset tappiot, avainhenkilöiden kuolema tai avainkalustojen tuhoutuminen voidaan joko estää tai aikaansaada, jotta harjoituksen opetustarkoitus kyetään saavuttamaan. Suuri satunnaisuuden määrä koetaan usein hyväksi, jotta koulutettavat saavat paljon käytännön johtamistilanteita ratkaistavakseen. Ideaalisessa simulaattorissa on mahdollisuus säätää satunnaisuuden astetta [RTO01].

Yhdysvalloissa on käytetty taktisia simulaattoreita 1970-luvun lopulta saakka, jolloin JANUS-järjestelmä otettiin käyttöön. Alun perin tavoitteena oli tehdä simulointia käyttävä analysointiohjelma taktisten ydinaseiden käyttötilanteiden tutkimiseen, mutta pian JANUS (T) järjestelmä laajeni kuvaamaan kaikkia maasotatoimia. Uusissa koulutusversioissa on mahdollista käyttää neljää eri osapuolta, joten myös rauhanturvatehtävien (OOTW, Operations Other Than War) pelaaminen on mahdollista [RMCS]. Järjestelmä on käytössä yli kymmenessä maassa sekä koulutus- että tutkimuskäytössä. JANUS-järjestelmän vahvuuksia tutkimuksessa ovat yksityiskohtaiset asemallit, monipuoliset raportointiominaisuudet sekä pitkän ajan kuluessa validoidut ja verifioidut päättelymallit, joiden käyttäytyminen tunnetaan. Suuri käyttäjä- ja tutkijamäärä mahdollistaa tulosten vertailun. Järjestelmään voi ohjelmoida itse lisää ominaisuuksia, virheet on korjattu ja kokonaisuus on vakaa. JANUS on tarkkuudeltaan asetasoinen ja parhaimmillaan panssaroitujen joukkojen kaksintaistelun kuvaamisessa. Yksiköillä ei ole sisään rakennettua älykkyyttä, joten käyttö vaatii paljon pelaajia. Sopiva käyttötaso on taisteluosasto eli noin 1000 miestä ja 100 .. 200 raskasta asetusta, tutkimuskäytössä komppania eli noin 100 miestä. Taistelumalli on täysin stokastinen ja parametrien osalta hyvin yksityiskohtainen. [KESI99b] [RMCS] [KESI02]

Yhdysvalloissa on maavoimien käytössä kaksi ylemmän organisaatiotason simulaattoria. Myös Brigade Battle Simulation (BBS) toimii asejärjestelmätasolla mutta helpommin yleistettävillä malleilla, jotta prikaatitasoisten taistelujen simulointi on mahdollista. Corps Battle Simulation (CBS) toimii myös asejärjestelmätasolla, mutta siihen on kehitetty kyky yleistykseen (aggregation). Näin on päästy järjestelmään, joka kykenee kuvaamaan divisioona ja armeijakuntatason taisteluita sekä kolmea eri osapuolta. Mallinustapa käsittää joukoilla myös automatisoituja toimintoja, joten osa matalamman tason taktiikasta kyetään automatisoimaan. Järjestelmä pystyy myös rajoitetusti stimuloimaan johtamisjärjestelmää. [KESI99b] Sotatoimista Persianlahden sotaa tuettiin CBS-simuloinnilla, Kosovon operaatiota JANUS-järjestelmällä ja Somalian vetäyty-

mistä kaupunkimaaston takia JCATS-simuloinnilla. Tätä on tarkoitus tehdä tulevaisuudessa entistä enemmän. [USM01]

RAND on ei-kaupallinen tutkimuslaitos, joka tekee tutkimuksia muun muassa järjestyksenvalvontaan, koulutukseen, ympäristöön, kansainväliseen politiikkaan, väestöön ja teknologiaan liittyen. Laitoksessa on uusien sotavarusteiden taktisen tason tutkimukseen korkearesoluutioista kaksintaistelumallia (force-on-force) käyttävä simulointiympäristö, jonka ytimenä on JANUS-järjestelmä. Kokonaisuus voi kuvata yhdenaikaisesti 1500 erillistä ja 250 erilaista kohdetta 200 km x 200 km alueella. Ydintä on laajennettu ja tarkennettu erillisillä, uusia asejärjestelmiä käsittelevillä taistelumalleilla. Tyypillinen skenaario on taisteluosasto vastaan prikaati tai prikaati vastaan divisioona. Kerrallaan simuloidaan noin 60 minuuttia reaaliaikaa, ja jokainen skenaario toteutetaan vähintään 30 kertaa tilastollisen validiteetin aikaansaamiseksi. Vaikka kyse on puhtaasti tutkimuksesta, voi vastaava ympäristö tukea tulevaisuudessa esimerkiksi suunnittelijaa, joka valitsee sotatoimen johtajan toimeksiannosta oikeaa taisteluvälikkokonaisuutta uutta, epäsymmetriaan pyrkivää omaperäistä vastustajaa vastaan.

Pelaajamäärän vähentämiseksi on simulaattoreissa ja simuloinnissa voimakkaan tutkimuksen alla tietokoneen operoima ”älykäs” joukko (Computer Generated Forces), joilla pelaajien määrää kyetään vähentämään, simuloinnin nopeutta kasvattamaan ja lisäämään taistelun realistisuutta sekä vaihtelun kuvaamista. Lupaavia uusia tekniikoita ovat muun muassa neuroverkot (neural networks), säädettävät säännöstöt (adjustable rule sets), tekoäly (artificial intelligence), systeemidynamiikka ja soluautomaatit. [RTO01] [RMCS]

”CGF is generic term used to refer computer representation of entities in simulations which attempts to model human behavioral sufficiently so that forces will take some actions automatically without requiring man-in-the-loop interaction.” [MSMP98].

Lupaavasta kehityksestä huolimatta yhtymätasolla mallinnus vaatii paljon laskenta-tehoa pystyäkseen riittävään analysointinopeuteen. Yhdysvaltojen kannalta kehitys on kuitenkin helppoa ymmärtää, koska suuria joukkoja ei halutakaan käyttää, jolloin joukkuetasosta tulee tärkein alayksikkö entisen pataljoonan sijaan.

NATO Allied Command Europe on kehittänyt Joint Theater Level Simulation eli JTLS-järjestelmää vuodesta 1991 lähtien. Järjestelmän testaaminen päättyi vuonna 1999 ja ensimmäiset harjoitukset on pidetty. Kyseessä on hyvin laaja, satoja pelaajia vaativa koko sotänäyttämön tasoinen ja kaikki puolustushaarat yhdistävä koulutusjärjestelmä. Tavoitteena on ollut käyttää julkisia parametriarvoja ja malleja sekä taata niin suuri

avoimuus, että laajat monikansalliset harjoitukset ovat mahdollisia. HLA-standardin käyttö on integroinnissa avainasemassa. JTLS käyttää determinististä lanchester-mallinnusta. Parametriarvojen muokkaamista varten on käytössä erillinen ohjelma (LDT, Lanchester Development Tool), jolla kertoimet voidaan määrittää käänteisellä periaatteella: käyttäjä asettaa lähtöarvoiksi taistelutilanteen halutun lopputuloksen ja kestoajan, järjestelmä laskee käytettävät kulutuskertoimet. Tämän jälkeen on mahdollista analysoida taistelua pitemmälle ja verrata määritettyjä kertoimia muihin vastaaviin. [RTO01] Vaikka kyseessä on koulutusväline, mikään ei estä käyttämästä järjestelmää suunnittelun laajan kriisinhallintaoperaation harjoitteluun ja testaamiseen.

Yhdysvaltojen National Simulation Centerin tehtävänä on järjestää maavoimien rakenteellinen simulointikoulutus erilaisissa harjoituksissa ja tehtävien arvioinnissa. Keskuksessa oli noin 300 työntekijää vuoden 2000 lopulla, joista viidennes sotilaita. Uutta on simulointiupseerien kouluttaminen FA57 kurseilla, joka osoittaa simuloinnin kasvavaa merkitystä tulevaisuudessa. Murroskohta siirryttäessä uuteen digitaalisen armeijan konseptiin oli vuoden 1997 kokeiluharjoitus (AWE, Advanced Warfighting Experiment), jonka tulosten perusteella aloitettiin kehitystyö. Ensimmäiset Master Plan -tasoiset asiakirjat laadittiin muutaman seuraavan vuoden aikana, sen jälkeen asioiden kehitysykli on hidastunut ja suunnitellut päivitykset eivät ole valmistuneet aikataulussa. Keskuksella on käytössä CBS operatiivisella tasolla sekä JANUS, BBS ja JCATS -järjestelmät taktisella tasolla. Spectrum-järjestelmällä harjoitellaan PSO / OOTW -tilanteita (Peace Support / Operations Other Than War). Nykyisen simulaattoriperheen järjestelmiä ei ole suunniteltu toimimaan yhdessä, eivätkä niiden parametrit tai paikkatietoaineistot ole yhteneviä. [USAM1] [Lee99]

Simulaattoreista on tarkoitus muodostaa vuonna 2002 kaksi siirtymäajan järjestelmää (Interim Tools) CBS RTM ja DBST, jotka kehitetään edelleen kokonaan uuteen arkkitehtuuriin WARSIM ja ONESAF järjestelmiksi. Aselavettitasolle tehdään CATT-järjestelmä, jossa esimerkiksi pataljoonatasolla on 102 simulointiasemaa aselavettieina tai vastaavina. Uutta on järjestelmien kytkeminen samaan maailmaan yhteisen integrointialustan (Synthetic Environment Core), HLA-arkkitehtuurin ja SEDRIS-standardin avulla. Tavoitteena on, että koko harjoitteluympäristö on integroitu ja käytössä vuoteen 2010 mennessä. Rakenteelliset simulointijärjestelmät on tarkoitus liittää saumattomaksi osaksi ABCS-johtamisjärjestelmää mukaan lukien yhteinen tietokanta. Tällöin käytetään myös termiä stimulointi (Stimulation) simuloinnin rinnalla. Simulaattori ottaa myös merkittävän vastuun tilannekuvan (Battlefield Visualization) esittämisestä. Visio on, että vuodesta 2010 eteenpäin *"eversti johtaa joukkueen kokoisia nykyisen pa-*

*taljoonan tulivoiman omaavia osastoja tietokoneavusteisesti siten, että tehtävät on jo harjoitettu ja analysoitu tietokoneella*²². Robotiikan simuloinnille ja sen käytön harjoittelulle osana taistelukenttiä 2010 ja 2020 on koko ajan kasvava tarve. Aiheesta tehdään tarkan tason välinetutkimuksia sekä taktisten periaatteiden ja uusien toimintatapojen tutkimuksia. [USM01] Henkilökohtaista oppimista varten järjestelmät viedään myös verkkoon. Käytössä on myös useita kaupallisia sotatelejä, joihin armeija on luonut maastoja ja skenaarioita. [Sii98] Jatkossa uudet tekniikat mahdollistavat myös "oikeiden" järjestelmien käytön tietoverkkojen välityksellä.

Simulaattoreiden tapa käyttää paikkatietoa on pitkään toiminut nopean laskennan ehtoilla: mallit ja maailmat on toteutettu siten, että jatkuva interaktio paikkatiedon ja laskennallisten mallien välillä sekä nopea tilanteen visualisointi on ollut mahdollista. Yksityiskohtaisten maailmojen rakentamiseen on ollut aikaa eikä yhdenmukaisuus todellisuuden kanssa ole ollut tärkein tekijä: tietyn tasoinen tunnistettavuus on riittänyt, maailmoihin on jopa lisätty yksityiskohtia pelaajien mielenkiinnon kasvattamiseksi. Tilanne on nyt muuttumassa ratkaisevalla tavalla ainakin taktisissa simulaattoreissa. Kun järjestelmällä halutaan harjoitella "tositilanteita" ja aineistojen tuottajana toimiva NIMA on yksiselitteisesti ilmaissut uuden aineistostrategian koskevan myös simulaattoreita, on pakko mukautua tilanteeseen²³. Maastotiedoissa nyrkkisääntönä on, että tietokannan luominen nykysimulaattoreihin vie aikaa noin 6 kuukautta. Kun tämä yritetään pudottaa tulevaisuudessa noin viikkoon, paljon kehitystä täytyy tapahtua [USM01]. Lisäksi on huomioitava, että stimulaattori -ajattelutapa vaatii samojen lähtöaineistojen, samojen tietokantojen ja samojen analyysien käyttöä johtamisjärjestelmän kanssa. Oman lisävärinsä muutokseen tuo ajatus kaupallisten paikkatietoalustojen käytöstä. Aiemmin simulaattorin vaatima laskentanopeus on edellyttänyt kaiken tapahtuvan suoraan tietokannassa, joka tarkoittaa korkeatasoista paikkatiedon topologiaa. Nyt tietokoneiden laskentanopeus näyttää saavuttaneen rajan, jolla ainakin yleisemmän tason malleja käyttävät simulaattorit kyetään rakentamaan valmiille alustalle.²⁴ Simulointivaatimus ei siis sinällään estä COTS-tekniikan käyttöä.

²² Sitaatti on simulaatiokeskuksen apulaisjohtajan Matthew Belfordin haastattelusta ja kuvaa tietyllä tavalla uutta ajattelutapaa: koska tappiota ei haluta kärsiä, taistelukentällä olevien joukkojen määrä yritetään minimoida. Tosiasiassa laajamittaista sotaa tuskin voi käydä näin, mutta Afganistanin tyypisissä rajoitetuissa sodissa menettelytapa on jo käytössä.

²³ Asiasta käydään kovaakin väittelyä. "Huonoilla" aineistoilla nähdään tapahtuvan kehitys, joka aiheuttaa simulaattoreiden taantumista nykytilasta. Toisaalta tunnustetaan, että lähinnä DFAD-aineistojen laadinta vaatii sellaisen työmäärän, ettei simulaattorilla pystytä tukemaan nopeita kriisejä. Kolmenkymmenen vuoden aikana on lisäksi syntynyt suuri aineistopääoma, jonka jatkuvuutta nyt pohditaan: esimerkiksi JANUS-järjestelmään on valmiina yli 100 testattua maailmaa.

²⁴ Ruotsalainen TYR / CWS ja Iso-Britannian Commander SE on jo toteutettu näin. Yhdysvalloissa ei vielä ole tämän tyyppistä kehitystä, mutta on hyvä syy olettaa tämän olevan mahdollista ainakin yleistetyllä tasolla.

2.2 Ruotsalainen kokonaismaanpuolustuksen näkökulma

Ruotsia pidetään yhtenä verkottumisen ja taistelukentän digitalisoinnin johtomaana sen korkean teknologian tason ja tavoitteiden kokonaisvaltaisuuden takia. Suomen kannalta maan ratkaisuihin ja visioista tekee kiinnostavia samankaltainen tilanne: liitoutumattomuus, korkea teknologia, kokonaismaanpuolustuksen konsepti, kansainvälisten tehtävien vaatimukset ja toiminnan perustaminen jo olemassa olevan datan vaaraan. Merkittävin eroavuus paikkatiedon osalta on sovellusten rakentaminen kaupalliseen paikkatietoteknologiaan perustuen. Toinen merkittävä ero on resursseissa: kun Yhdysvalloissa ne ovat monisatakertaiset, Ruotsissa ero on ehkä kymmenkertainen²⁵ Suomeen verrattuna. Lisäksi päätös uudesta "digitaalisesta" tulevaisuudesta tehtiin viime vuosikymmenen puolivälissä, joten maa on tässä suhteessa meitä edellä.

2.2.1 Verkottuneen taistelukentän kokonaisvisio

Försvarets Forskningsanstalt FOA julkaisi vuonna 1996²⁶ tutkimuksen "Teknisk-Strategisk Studie av Det Digitala Slagfältet", jossa visioitiin uutta kokonaisuutta vuoteen 2015 ulottuvalla perspektiivillä. Käsite rajattiin koskemaan "*informaatiotekniikan vaikutusta sotateknisen ja taktisen tason johtamiseen ja tulenjohtoon.*" Tutkimus tehtiin laajana sotilaiden ja siviiliyritysten yhteistyönä ja se rajattiin armeijakunnan viitekehykseen. Muutoksina tunnistettiin reaktioajan dramaattinen lyhentyminen verkottumisen kautta ja tietojen integrointi yhdeksi kokonaisuudeksi. Esiin nostettiin haaste päättäjän ja tietokoneen vuorovaikutuksesta, johon vastausta haettiin muun muassa jäljempänä kuvatussa ROLF-projektissa. Virtuaalitodellisuus, synteettiset ympäristöt ja vahvistettu todellisuus (enhanced reality) nähtiin simuloinnin lisäksi keinoina, joilla päätöksentekoa kyetään tukemaan. Tietotekniikka koettiin uutena vahvuutena, vaikka sen uudet riskit tunnustettiin ja mahdollisuutta hyötyä COTS-ohjelmistokehityksestä pidettiin tärkeänä, koska Ruotsi on alan kehityksen kärkimaita. [DigS96]

Verkottuminen on Yhdysvaltojen tavoin edellytyksenä väliportaiden vähentämiselle, jota matala, hierarkkisista sotilasorganisaatiosta poikkeava organisaatorakenne edellyttää. Siirtämällä päätöksentekoa alaspäin ja mahdollistamalla päätösten tekeminen osin automatisoidusti arvioidaan päästävän tilanteeseen, jossa taistelun tempo voidaan oleellisesti nostaa. [DigS96] Tietojärjestelmillä pitää kyetä nopeasti arvioimaan tuen suuntaaminen tilanteen mukaisesti, tässä työssä tätä kutsutaan resurssianalyy-

²⁵ Suhdeluvut ovat viitteellisiä. Ruotsin puolustusbudjetti on meihin verrattuna noin nelinkertainen ja kohdistus uuteen tekniikkaan merkittävästi suurempi. Yhdysvalloista on vaikea saada kokonaiskäsitystä, koska varsinkin paikkatieto koskee koko turvallisuussektoria ja avaruushallintoa. DTSS-järjestelmien viiden vuoden kokonaisbudjetti \$1 mrd antaa jonkinlaisen suhdeluvun.

siksi. Niiden on myös pystyttävä automatisoinnilla suodattamaan tietoa siten, ettei päätöksentekijä ylikuormitu sirpaletiedoista. Koska kyse on tulen ja voiman kohdistamisesta tietyssä paikassa olevaan vihollisjoukkoon, on tässä paikkatietoanalyysillä suuret mahdollisuudet tukea nopeaa tilannesidonnaista päätöksentekoa perinteisen resurssisuunnittelun sijasta. Lopullinen päätös verkkotaistelun doktriinin käyttöön otosta tehtiin Ruotsissa vuonna 2000. Kenraaliluutnantti John Kihlin²⁷ mukaan *"jokaiselta hankittavalta järjestelmältä on sen jälkeen vaadittu kyky tukea visiota täydellisesti verkottuneesta taistelukentästä"*. Tavoitteena on *"enemmän kuin tiedustelu- tai tulenkäyttöjärjestelmä, se on kyky valita oikea järjestelmä oikeaan paikkaan ja siten mahdollistaa epäsymmetrinen taistelu."*

Puolustusvoimien kehitystavoitteet konkretisoitiin vuonna 2001 julkaistussa "Försvarsmaktsidé och målbild" asiakirjassa, jossa kuvattiin strategisen tason uhkakuvat ja niiden asettamat vaatimukset. Verkottuneelle taistelulle asetettiin yksi Yhdysvalloista selvästi poikkeava vaatimus, *"kyky toimia oman siviiliyhteiskunnan sisällä siten, että taisteluja käydään omien siviilien kattamalla alueella näitä samalla suojaten"*. Samalla nostettiin uudet matalamman tason uhat (breddad hot- och riskbild) yhdeksi viidestä tyyppitilanteesta. Johtamisjärjestelmän on kyettävä toimimaan myös "hajoavan Venäjän" aiheuttamassa lähialuekriisissä, Euroopan Unionin johtamassa rauhaan pakottamisessa (Peace Enforcement) ja kansainvälisessä rauhanturvatehtävässä (Peace Keeping) yhteensopivasti muiden kanssa. [Års01] Seuraavassa raportissa linjattiin verkottuneen johtamisen tutkimuskohteiksi esikuntatyömenetelmät (LedsystM), tekniset apuvälineet (LedsystT), organisaatiokehitys (LedsystO) ja henkilöstön koulutus (LedsystP), joiden kokonaisuutta esitetään demonstraatioissa vuosina 2004-2005 perustana lopullisille päätöksille johtamisjärjestelmästä. [Års02] Lähestymistapa kuvaa Ruotsin perusteellisuutta, holistisuutta ja tutkimuksellisuutta muutoksen toteuttamisessa. Kyse on murroksesta, jossa myös paikkatiedon käytön osalta on huomioitava kaikki neljä johtamisen osa-alueita. Lisäksi puolustusvoimien on osana kokonaismaanpuolustusta kyettävä kohtaamaan maan elektronista infrastruktuuria vastaan toteutettu hyökkäys konventionaalisemman sotilaallisen uhkan rinnalla; korkeateknologista ja informaatiosta riippuvaista maata pitää puolustaa osin toisin keinoin kuin tänä päivänä.

²⁶ Vertaa Yhdysvaltojen visio samaan aikaan.

²⁷ Referaatin lähteenä on Defence News March 18-24 / 2002 haastattelu, joka perustuu Asian Aerospace -konferenssiesitelmään 25.2.2002. Tähän tietoon on poimittu siksi, että se kuvaa hyvin kirjoittajalle viimeisten viiden vuoden kuluessa muodostunutta käsitystä useiden käyntien ja yhteistyön perusteella.

2.2.2 Ruotsin paikkatiedon kokonaisstrategia

Ruotsi muodosti ensimmäisen sotilaallista paikkatietoa ohjaavan kokonaisstrategian vuonna 1995 [GISS95]. Asiakirjassa määritellään paikkatieto oleelliseksi osaksi sekä C2I / C3I²⁸ että kaikkia asejärjestelmiä. Ensimmäinen linjaus on keskitetty tiedonhankinta, joka on määritetty materiaalilaitoksen eli Försvarets Materielverkin geografisen informaation sektorin ohjausvastuulle GIS / GIT sektorin toteutettavaksi. [FMVGI] Käytännössä aineistoja ylläpitää Ag geodata -projektissa kehitetty GeoSE -osasto, joka on Ruotsin maanmittauslaitoksen liikelaitostetun Metria-osan yhteydessä. Kymmenessä vuodessa on Metriaan muodostettu 35 työntekijää käsittävä GIS-Centrum yksikkö, joka tukee myös sovelluskehitystyötä. Kokonaisuutta johtaa pääesikunnan yhteydessä oleva KRI LED Geoinfo. [Geoinfo02] Osana strategiaa tehtiin myös turvallisuussektorin paikkatietoalustavalinta.²⁹ Geoinfo studyn tehtävänä on määrittää maantieteelliselle tiedolle vaatimukset ja metodit, joilla tiedot palvelevat parhaalla tavalla puolustusvoimia ja muita kokonaismaanpuolustuksen osa-alueita.

Ruotsin näkökanta on alusta saakka ollut kokonaismaanpuolustuksellinen. Taistelujoukoille paikkatietojärjestelmä mahdollistaa ajantasaisen tiedon saannin, ympäristön oleellisten piirteiden arvioinnin, integroinnin C3I / C4I järjestelmiin ja luo siten perustan päätöksentekojärjestelmille. Rinnalle on ympäristöuhkiin vastaaminen ja oman kiinteistövarallisuuden sekä alueiden hallinta. [GISS95]

Keinoina tilanteen hallitsemiseksi määritettiin muun muassa: [GISS95]

- Kehitettävien sovellusten riittävä standardeille perustuva dokumentointi.
- Sovelluspoolin muodostaminen päällekkäisen työn välttämiseksi.
- Saman paikkatietoalustatekniikan integrointi kaikkiin järjestelmiin.
- Sovelluskehitystä tukevan ja roolitetun organisaation luominen.
- Vapaan käyttöoikeuden hankkiminen kehitettyihin sovelluksiin.

Sovelluskehitystyö tapahtuu kahdella tasolla. Aselajissa tai joukko-osastossa tehdään paikallisesti prototyypityö, johon käytetään sekä omia että keskitettyjä resursseja ja työn tulokset dokumentoidaan keskitettyyn tietovarastoon.³⁰ Varsinainen sovelluske-

²⁸ C2I on Command. Control and Intelligence eli johtamis- ja tiedustelujärjestelmä, C3I sisältää myös viestijärjestelmän (Communication) osana kokonaisuutta. C4I lisää tähän vielä vastatoimet (Countermeasures).

²⁹ Suomessa vastaavat päätökset tehtiin muutamaa vuotta myöhemmin. Tuolloin päätettiin kehittää sotilaalliset järjestelmät kotimaiselle ja puolustusvoimien kokonaan omistamalle Teklan C3-alustalle ja toteuttaa kartantuotanto ja kiinteistönhallinta Intergraph / Bentley MicroStation -perustaiselle teknologialle. Varsinaista kokonaisstrategiaa ei päätöksiä lukuunottamatta kuitenkaan muodostettu kuin määräystasolle. Lähtökohdat siis ovat meillä lähes samanlaiset.

³⁰ Suomessa paikallinen kehitystyö on kiellettyä, mutta keskitetyn ohjaus- ja tukiorganisaation puuttuessa voisi väittää, että kehitystä tehdään vain tällä tasolla. Ideointi on ollut eri sovelluksissa vapaata, paikkatietoperustaa ei ole määritelty eikä tiedonvaihtotapaa ole kyetty standardoimaan. Myös keskitetty tieto kehitetyistä sovelluksista paljolti puuttuu. On kuitenkin todettava, ettei Ruotsissakaan hallinnassa ole täysin onnistuttu, sovelluskehitystyö on tosin Suomeen verrattuna huomattavasti systemaattisempaa ja järjestelmän antama tuki kokonaan toisella tasolla.

hitys päätetään joko suoraan tai tehtyjen prototyypin perusteella, ja sen tavoitteena on yhteiskäyttöinen keskitetysti ohjattu sovellus. Prototyypikehityksen vapautta rajoittaa lähinnä saman kaupallisen alustan käyttö. Kehitystyötä tuetaan mallinnusasian-tuntemuksella, STANLI-standardoinnilla, kokemusten jakamisella, ohjelmisto- ja kone-suosituksilla, valmiilla tietokannoilla, täsmä- ja käyttäjäkoulutuksella sekä keskitetysti hankitulla konsultoinnilla. [GISS95] Kehitystyön käynnistäminen on Ruotsissa tehty helpoksi. Alusta ja lähtöaineistot on vakioitu ja projektipäälliköille sekä muulle henkilöstölle järjestetään heti täsmäkoulutus sen lisäksi, että heistä useimmat ovat käyneet alustaohjelmiin liittyvät peruskurssit. Tavoitteena on keskitetysti kilpailutetun ulkopuolisen yrityksen toteuttama prototyyppi projektille osoitettujen työtuntiresurssien puitteissa, jolloin kilpailuttamiseen ja erilaisiin valintoihin ei kulu projektin aikaa eikä kehittäjien resursseja. Varsinainen sovelluskehitys kilpailutetaan erikseen, jotta kokonaisresurssit saadaan määritettyä ja vältetään ikuisuustyöltä. Tietoliikenteen minimointiin pyritään yhtenäisellä aineistopohjalla ja tietomalleilla, jolloin kehys- tai referenssitietoa ei tarvitse siirtää järjestelmien välillä.

Numeerisiksi perustiedoiksi on määritetty:³¹ [GISS95]

- DFAD tyyppiset 1:20k, 1:50k ja 1:100k referenssikartat.
- DTED-muotoinen korkeusmalli ja käyrästöt, joka vastaa level 2 tarkkuutta.
- Maankäyttö- ja maaperäaineisto 1:50k mittakaavaluokassa.
- Satelliittikuvatietokanta.
- Meren syvyyssietokanta, merikortit ja maaperätiedot.
- Ilmaliikenteen mahdollistavat kartat.

Tietojen systemaattinen kerääminen ja ylläpito aloitettiin vuonna 1995 ja niiden jakelu on toteutettu tarvitsijoille. Lisäksi listattiin toistakymmentä tietoluokkaa, joiden hankinta selvitettiin. Strategia sisältää myös perustan puolustusvoimien omaa, evaluoidun tiedon keruuta varten.³² [GISS95]

³¹ Vertaa tämän työn lukuun 4 Suomen osalta.

³² Vertaa Yhdysvaltoihin. Suomesta vastaava kokonaisstrategia ja sitä ohjaava elin vielä puuttuu.

Yhteensopivuus nähdään Ruotsissa portaattaisena: [GeoInfo02]

1. tasolla ei ole yhteensopivuutta, tiedon vaihto räätälöidään tapauskohtaisesti.³³
2. tasolla on yhteisesti sovitut tiedonvaihtoformaatit.³⁴
3. tasolla käytetään yhteisiä tietomalleja.³⁵
4. tasolla on yhteinen ympäristö kuten tietokanta.³⁶
5. tasolla on yhdessä kehitettyjä ja yhteiskäyttöisiä työkaluja.³⁷
6. tasolla on kaikille yhteinen johtamisjärjestelmä (utopia).

Visio on paljon Yhdysvaltoja vastaava. GeoSE toimii keskuksena, joka hankkii tiedon ja muodostaa siitä yhden yhtenäisen jakelukannan, josta käyttäjät lataavat tiedot tarpeidensa mukaan. Poikkeuksena on, että tiedot pääosin puretaan tuotteista, jolloin pääpaino on Qualified data -tyyppisessä toiminnassa tiedon tuottamisen sijaan.³⁸

2.2.3 GeoPres kokonaiskonsepti

GeoPres® on Ruotsin puolustusvoimien tekemä laajennus ESRI:n MapObjects™ ja ArcView™ teknologioiden pohjalta. Kehitystyö aloitettiin vuonna 1990, jonka jälkeen toteutettiin laaja testiohjelma ja lopullinen kehityspäätös tehtiin vuonna 1995. [ESRI98] Tavoitteena oli kehittää tuote, joka mahdollistaa riittävällä tasolla kaiken sovelluskehityksen johtamisjärjestelmiä sekä muita paikkatietosovelluksia varten ja jolla on yritystason lisenssi koko maanpuolustussektorilla [vrt Hel95 ja Chan98]. Laajennukset ovat GeoPres -komponentteja yhtenä ESRI:n kolmannen osapuolen tuotteena, joka on myyty takaisin ESRI Sweden AB:lle. Tuoteperustaa laajennetaan vuonna 2002 siten, että perustana on uusin MapObjects 2.1 kehitysympäristö. [GeoPres] Päätöksiä uuden ArcGIS 8 mukaisen komponenttitekniikan käytöstä ei ole tehty³⁹.

Kehitystyö aloitettiin tekemällä useita aineistojen käyttöä ja esitystapaa helpottavia komponentteja, jotka yhdistettiin Geodictionary Administrator otsikon alle. Lisäksi kehitettiin SitMapEditor -sovellus taktisten merkkien modulaariseen piirtämiseen. Kun normaalit piirtotyökalut kuuluvat perustuotteeseen, saatiin nopeasti yhtenäinen perusta

³³ Monessa suhteessa tämä on Ruotsissakin edelleen pakon sanelemana käytössä, koska esimerkiksi useat integroidut taistelujärjestelmät vaativat räätälöityjä tietoja. Kaupallinen alusta kuitenkin poistaa osan ongelmista automaattisesti.

³⁴ Tämä on määritetty alustavasti Suomessa vuonna 2001.

³⁵ Vertaa Yhdysvaltoihin. merkittävä osa tästä on esimerkiksi ATCCIS-tyyppinen standardointi.

³⁶ Vaatimus edellyttää keskitettyä jakelua, joka on sotilaallisesti osin vastakkainen varmuus ja tiedonsiirtovaatimusten kanssa muissa kuin kiinteissä esikunnissa.

³⁷ Tähän Ruotsi on osin päässyt, koska GeoPres on MapObjects laajennus, jolloin sillä tehty kehitystyö voidaan liittää myös muihin saman alustan sovelluksiin. Komponenttiarkkitehtuuri pyrkii juuri tähän.

³⁸ Vision esitti GeoSE:n Leif Sundgren ESRI:n Euroopan alueen sotilaskäyttäjäpäivillä maaliskuussa 2002 Gävlessä ja sitä voidaan pitää tietyllä tavalla yksityisenä visiona. Visiota ei vielä ole puettu hyväksytyksi suunnitelmaksi.

³⁹ Asiasta keskusteltiin usean kehittäjän kanssa em. päivillä. Lähtökohtana on ilmeisesti se, että uuden teknologian annetaan ensin vakiintua ja päätökset tehdään Yhdysvaltojen tapaan hyppynä. Tähän voi vaikuttaa myös se, että uudesta teknologiasta on vielä irrottamatta MapObjects-tyyppinen puhdas kehitysympäristö.

sovellusten kehittämiseksi sekä esityksien laatimiseksi. Järjestelmä ei tue tilannekuvan päivittämistä eri esikuntien välillä muuten kuin siten, että tiedot voidaan siirtää alustan tukemilla formaateilla vektorikuvina. Yksi alustalle kehitetyistä sovelluksista tehtiin pa-perikarttojen jakelun ohjaamiseen liikkuville yhtymille. Se tekee jakelu- tai painatus-listat tarvittavista kartoista vastuualueen ja joukkotyypin perusteella. Toimintatapaa on viime vuosina kehitetty kohti nopeaa kartan painamista valmiuskarttavaraostoinnin si-jaan. [ESRI98] [GeoPres] Osana uutta toimintaperiaatetta merkkien piirtämistä varten on kehitetty parannettu GeoPres Symboler -komponentti. [GeoInfo02]

Pioneeritoimintaa tukeva päätöksentekojärjestelmä (Beslutsstöd Fältarbeten ver 1.2) päätettiin kehittää ArcView 3 teknologialle, koska se vaatii analyysiominaisuuksia. Pääosin kyse on kohdetietojen, johon käytetään MS Access relaatiokantaa. Sovellus on stand alone tyyppinen ja tietojen vaihto tapahtuu tietokantatasolla. Yhteensä ohjel-misto ja referenssikartat vaativat tilaa vähintään 1,3 Gb⁴⁰ siitä huolimatta, että käytös-sä ovat teknologian kannalta optimoidut tiedostomuodot. Käyttöliittymä vastaa lähes täysin normaalia ArcView-ohjelmaa muutamaa painonappia ja valikkoa lukuun otta-matta [vrt Dav96], mutta käyttäjien saatua armeijan kurssin itse alustan käytöstä op-piminen on nopeaa räätälöimättömyydestä huolimatta⁴¹. Merkittävä osa käyttöä on tiedon syöttöä, hakua ja käsittelyä lomakkeilla sekä niiden esittämistä ja hakua kartta-käyttöliittymältä. Sovelluksen pääpaino on pioneeritoimintaan liittyvien materiaalien ja niiden käyttökohteiden spatiaalisessa hallinnassa ja linkityksessä sekä suunnittelun et-tä valvonnan ja seurannan aikana. [GPEng98] Kehitystyö versioon 1.2 toteutettiin vuo-sina 1995-98 ja se tuotti toimivan sovelluksen. Vuonna 1999 prototyypikehityksenä harkittiin myös laajempaa analyysisovellusta, jossa olisi käsitelty kulkukelpoisuutta, linnoitettavuutta ja maastouttamista sekä näiden tulosten yhdistämistä. Projekti-päällikkö Jan Weinmar piti keskitettyä tukea ja koulutusta riittävänä.

Osana pioneeritoimintaa tukevaa sovellusta tehtiin alueellinen kehitysprojekti yleisen näkemäanalyytikomponentin muodostamiseksi. Perustana oli Arc/Info-alustalla toteu-tettu helikoptereita tukeva vastaava analyysiprototyyppi. Työn osana kehitettiin myös yleisempää mallia komponenttikehityksen toteuttamiseksi ja siihen osallistui Metrian asiantuntijoita keskitetyn sovelluskehitystuen kautta. Tuloksena oli kymmenvaiheinen

⁴⁰ Määrä on ilmoitettu, jotta lukijoilla on mahdollisuus verrata tätä nykyisiin kevyisiin käsitietokoneisiin ja kehitysmahdolli-suuksiin esimerkiksi kymmenen vuotta sitten.

⁴¹ Toisaalta tämä ei vanhassa ja monoliittisessa, omaa Avenue-ohjelmointikieltään vaativassa alustaympäristössä olisi kovin pitkälle ollut edes mahdollista. Alustan perusominaisuuksien evaluointi tehtiin osana PionJohlan alustavalintaa vuonna 1998, jossa päädyttiin tekemään sovelluskehitys MapObjects tai mahdollisesti sen GeoPres-laajennuksella ja vain analyyseissa käyt-tämään ArcView-tekniikkaa taustalla. Toteutus arvioitiin varsin riskittömäksi ja suoraviivaiseksi. Valinnassa päädyttiin kuiten-kin koko sovellukseen liittyvistä kaupallisista syistä kokonaan toiseen alustayhdistelmään.

metodi, joka sidottiin käytettävään tekniikkaan. [Nil99]⁴²

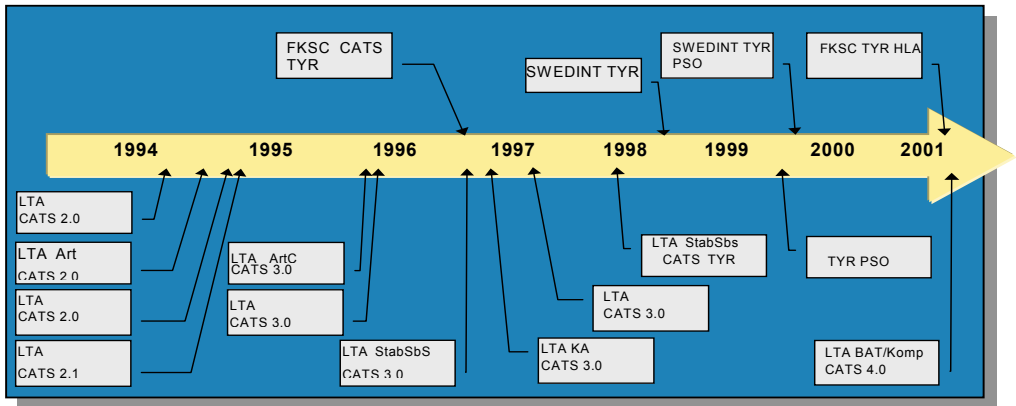
Osoitus kaupalliseen tuotteeseen perustuvan konseptin nopeasta reagointiajasta on GIS IM -sovellus (Geografisk Informationssystem för Internationella Missioner), jonka kehitystyö aloitettiin syyskuussa 1997. Versio 1.0 otettiin käyttöön seuraavan vuoden syyskuussa mukaan lukien karttadata, joka sisältää 1:50k, 1:100k ja 1:250k rasterikartat, tiestön, vesistöt ja symbolit sekä maankäytön vektoriaineistot, Landsat-satelliittikuvat, DTED level 1 ja 2 tason korkeusmallit ja erilliset kaltevuusaineistot WGS84 datumissa pataljoonan yli 5000 km² toiminta-alueelta. Sovelluksella voi ylläpitää aluerajatietoja (ZOS, Zone of separation), omaa tilannekuvaa esitystarkoituksiin, kerätä paikkaan sidottua kuva- ja tekstimateriaalia kohdetietokantaan sekä tehdä näkemäanalyysia korkeusmallia käyttäen. [GISIM98] Vaikka vain osa datasta on NIMAn tuottamaa, voi sovelluksen sopivuutta kansainvälisten tehtävien tukemiseen pitää varsin hyvänä. COTS-perustaisen kehitystyön nopeus mahdollistaa räätälöinnin, jolloin hankalilta turvallisuuskysymyksiltä omassa maassa käytettävien johtamisjärjestelmien viennistä ulkomaille vältytään. Sovellusta on lisäksi nopea oppia käyttämään, kun käyttäjät ovat saaneet alustan peruskoulutuksen osana normaalia sotilaskoulutusta.

EOD IS on räjähtämättömien ammusten raivaamisen asiantuntijajärjestelmäksi kehitetty sovellus. Sen ensimmäinen versio otettiin käyttöön Bosniassa vuonna 1996, jonka jälkeen kehitystyötä on jatkettu pääpainon ollessa välinekohtaisen validoidun ja hyväksytyin raivaamiskirjaston keräämisessä. Suunnittelu- ja raportointiominaisuuden perustana on käytetty GeoPres-alustaa. [EODIS]

CELL on Ruotsissa kehittänyt ja toimittanut eri tasoisia simulointijärjestelmiä lähes vuosikymmenen ajan. Järjestelmistä lähinnä TYR vastaa tässä työssä käsiteltyjä johtamisjärjestelmiä päätöksenteon tukijärjestelmän ominaisuudessa. Kehitystyö perustuu CATS-alustaan, joista uusin komponenttiperusteinen versio 4.0 skaalautuu ase-
tasalta suuriinkin joukkoihin. Järjestelmäpalvelimen maailma perustuu omaan teknologiaan, johon kartat muokataan ESRIn työkalujen avulla. Pelaajapäätteet on rakennettu ESRIn MapObjects komponenttikirjaston avulla käyttäen Ruotsin puolustusvoimien kehittämää GeoPres 1.2 tai 2.0 -laajennusta. Näin käyttötekniinen koulutus voidaan keskittää itse simulointiin eikä käyttöliittymän opetteluun, samalla kun voidaan olla varmoja siitä, että laajimmillaan koko maan kattavat paikkatietoaineistot ovat jous-

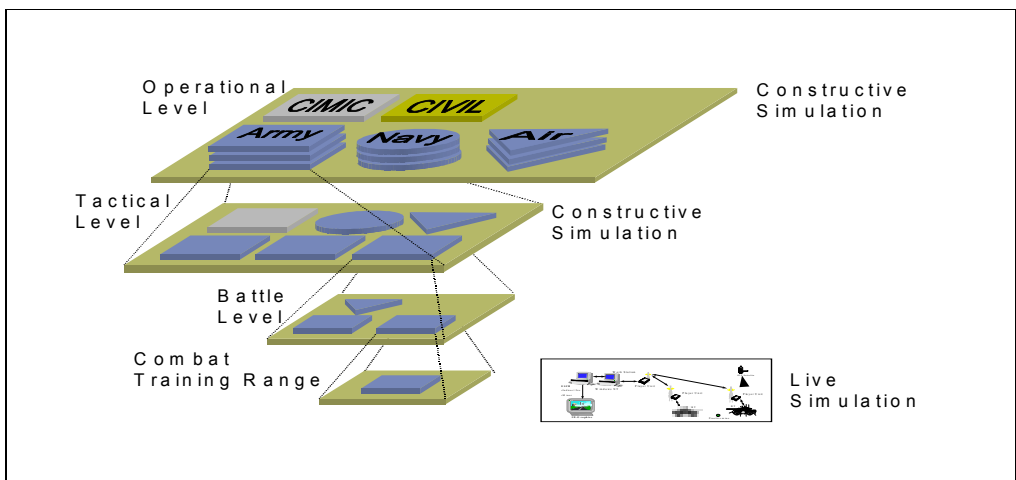
⁴² Tässä suhteessa Ruotsin prototyypikehityspäätteen mukainen malli kykenee tuottamaan huomattavasti nopeammin ja systemaattisemmin sovelluksia kuin meille valittu perinteisempi vesiputousmalli, jonka kaikki vaiheet lisäksi joudutaan kilpailuttamaan. Tilannetta on auttanut myös se, että itse "alusta" eli ESRIn teknologia on tukenut koko ajan myös vanhaa kehitystyötä eikä sen toimivuutta ole tarvinnut testata, eikä se myöskään ole "elänyt" perusteiltaan armeijan vaatimusten mukana kuten C3-rakenne. Tässä suhteessa tietty joustamattomuus on ollut myös eduksi.

tavasti käytettävissä. Tämä tekee referenssikarttojen käyttämisestä ja karttakäyttöliittymän räätälöinnistä yksinkertaista ja mahdollistaa joustavasti myös kansainvälisten tehtävien harjoittelun. [KESI]



Kuva: CELL simulaattoreiden kehityskaari. Copyright CELL.

TYR-simulaattoreissa tarve suureen alueen kokoon ja nopeaan laskentaan on huomioitu jakamalla maailma kymmeneen osa-alueeseen, joissa kussakin on 200 x 200 pikseliä. Järjestelmä kykenee skaalautumaan siten, että harjoitusalueen yleinen osa voidaan mallintaa suuremmalla ja varsinainen taistelualaue pienemmällä pikselikoolla, jolloin myös eriskaalaisten taistelumallien käyttäminen on mahdollista. Pienin pikselikoko on 1 m², rauhanturvatehtävissä käytetään 1 km² tai jopa 10 km² pikselikokoa. [KESI] Pikselikokojen ja sotilaalliseen toiminnan suhteesta näkyy idea maailman ja tarkasteltavan ilmiön samanskaalaisuudesta.



Kuva: CELL simulaattoreiden tasoittainen kehitysmalli. Copyright CELL.

Ruotsissa on kolmen tyyppistä GIS-koulutusta. Käyttäjätasolla oli vuonna 1999 viestiaselajin pitämä kolmen päivän B-tason peruskoulutus ja sitä seuraava kolmen viikon A-tason koulutus. Nykyisin käytössä on viikon erikoiskurssi ja sitä seuraava neljän viikon täydennyskurssi sekä erillisenä kolmen päivän kurssi ilmakuvien käytöstä. Näiden lisäksi Metria järjestää täsmäkoulutusta projektihenkilöstölle.

Ruotsissa on GeoPres-konseptin voimassaoloaikaanakin kehitetty räätälöityjä sovelluksia ja toimitettu aineistoja niihin. COTS-perusta ei ole kaikenkattava, mutta edellä kuvatut esimerkit antavat kuvan siitä, kuinka laajalle kaupallinen valinta voi skaalautua ja mitä etuja sillä voidaan saavuttaa.

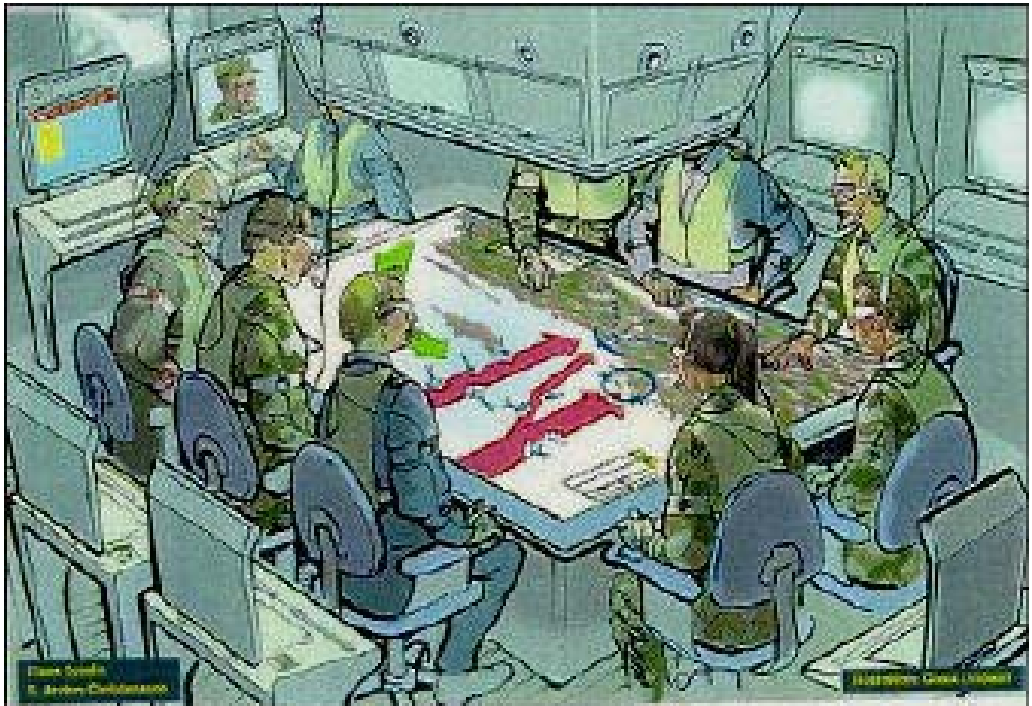
2.2.4 ROLF visiona uudesta johtamisympäristöstä

ROLF -projekti käynnistyi vuonna 1995 Ruotsin sotakorkeakoulun (FHS), materiaalilaitoksen (FMV) ja tutkimuslaitoksen (FOA) saatua tehtävän kehittää visio liikkuvasta johtamisjärjestelmästä vuodelle 2010. Vuonna 1997 projektiin oli eri tavoin osallistunut yli kaksikymmentä henkilöä sekä useita ulkomaisia tutkijoita. [ROLF98] Vuonna 1999 projekti siirtyi osaksi puolustusvoimien pitkän ajan suunnittelua tavoitteena vuosi 2020, tuolloin mukaan otettiin myös siviilikriisinhallinnan asiantuntijoita yhteistyössä SWEDEN-projektin kanssa. [ROLF99]

Konseptin tärkeimpinä lähtökohtana olivat: [ROLF98]

- Päätöksenteon nopeuttaminen.
- Esikuntien koon pienentäminen verkottuneessa johtamisessa.
- Suojan hankkiminen liikkuvuudella kiinteiden suojatilojen sijaan.
- Kokonaisuun puolustus: päättäjinä voivat toimia myös muut kuin sotilaat.
- Yhteen sovitettu tekninen infrastruktuuri eri viranomaisten kesken.
- Käsiteltävän alueen suuri maantieteellinen koko.
- Useiden toimijoiden yhdenaikainen vaikutus ja koordinoinnin tarve.

Osa konseptia on AQUA-työpöytä, jonka ääressä päättäjille luodaan kolmiulotteinen tilannekuva ja annetaan mahdollisuus tarkastella aiempaa tapahtumien kehittymistä aikaan sitoen, laatia ennusteita ja tehdä simulointeja. [ROLF99]



Kuva: ROLF / AQUA -projektin johtamisympäristö antaa kuvan koko päätöksenteko- ja johtamisrakenteen muutoksesta. Verkottuneet asiantuntijat analysoivat ja tekevät päätökset yhteistoiminnassa, selän takana on yhteys omaan tietojärjestelmään ja alaisiin [ROLF99b]. Näyttöön ei vaadita erikoislaseja ja temporaalisuus tekee siitä 4D näytön. Kaupallisena nimityksenä on Visioscope™. Kontin kaikille seinille kyetään myös heijastamaan erilliset kuvat (looking out). [ROLF98]

Johtokeskus koostuu kolmesta keskenään samanlaisesta kontista: taistelunjohtokeskuksesta, suunnittelukeskuksesta ja komentopaikasta tai johtamisreservistä sekä noin neljästäkymmenestä henkilöstä, joiden johtajana on kenraalitasoisen upseeri.⁴³ Järjestelmiä on tarkoitus hankkia sellainen määrä, joka nähdään mahdolliseksi yhdenaikaiseksi sotatoimialueiden määräksi. [ROLF98] Vuonna 1999 konttien määrä lisättiin neljään, uudessa on tilannekeskus varustettuna Visionarium™ ja Visioscope™ tekniikalla tukemaan tiedottamista, fyysisiä käskynantoja sekä yhteistoimintaa liittolaisten ja muiden kanssa. [ROLF99] Sitä voisi kutsua informaatioodankäynnin asemaksi.

⁴³ Suomessa konsepti vastaa tasoltaan lähinnä maanpuolustusalueen erillistä komentopaikkaa.

Esimerkkejä miehitysvaihtoehdoista on esitetty seuraavassa taulukossa.

Sodan ajan esikunta		Kansainvälinen humanitäärinen tehtävä	
Komentaja / kenraali	1	Johtaja / siviili	1
Varakomentaja / amiraali	1	Apulaisjohtaja / kenraali	1
Esikuntapäällikkö / kenraali	1	Esikuntapäällikkö / siviili tai eversti	1
Oikeudellinen neuvonantaja	1	Oikeudellinen neuvonantaja	1
Medianeuvonantaja	1	Etninen neuvonantaja	1
Operaatiopäällikkö / kenraali	4	Informaatikko	2
Kokonaismaanpuolustuksen yhteyshenkilö tai yhteistoimintapuseeri / prikaatikenraali	5	Operaationjohtaja (siv.)	4
Maataisteluoperaattori / eversti	4	Siviiliyhteistoimintahenkilö	4
Meritaisteluoperaattori / kommodori	4	Sotilasyhteistoimintapuseeri / eversti	4
Ilmataisteluoperaattori / eversti	4	Pelastusjohtaja	4
Tiedusteluoperaattori / eversti	4	Tekninen johtaja (försörjning)	4
Logistikko / eversti	5	Terveysjohtaja	4
Johtamistaisteluoperaattori / everstiluutnantti	4	Järjestyksenpitojohtaja	4
Meterologi / everstiluutnantti	2	Tiedusteluoperaattori / eversti	4
		Meterologi / everstiluutnantti	2
Yhteensä henkilöä	41		41

Taulukko: Esimerkki ROLF-esikunnan miehityksestä. [ROLF97]

Päätöksenteossa suunnitelmien arvioidaan toimivan kunnes taistelevat joukot kohtaavat, jolloin tärkeää on saavuttaa hyvä alkuasetelma. Sen jälkeen tilanteen mukaista johtamista voidaan nopeuttaa ainoastaan kokoamalla oikeat asiantuntijat komentajan käyttöön ja tekemällä päätökset tilannekuvan perusteella reaaliaikaisesti.⁴⁴ Verkottuneen johtamisen doktriinin mukaisesti alajohtoportaiden tasojen määrää vähennetään siten, että päättäjillä on suuri määrä pieniä joukkoja käskettävänä verkottumisen mahdollistaessa organisoitumisen tehtävän vaatimusten mukaisesti. Päätöksentekoa tuetaan visualisoinnilla, jossa tiedot ovat luokiteltuja sekä aikaan ja paikkaan sidottuja, analyysit tuottavat simulointia, ennusteita, riskien arviointia ja toiminnan rajoituksia. Riskeinä ovat viestijärjestelmän asettamat rajoitukset datan keräämiselle, reaaliaikaisuuden aste ja verkkosodankäynti sekä ennen kaikkea ihmisten oppiminen uuteen toimintatapaan. Henkilöstö toimii noin neljän tunnin kiihkeissä intervaleissa, jonka jälkeen on mahdollisuus lepoon. [ROLF98] Vuonna 1999 koulutusta tuettiin simuloinnilla virtuaalisten vastustajien avulla ja verkkomaisen organisaation rakenteita oli täsmentynyt. [ROLF99] Kokonaisuudessaan päätöksenteon tukijärjestelmää kutsutaan nimellä STRATMAS ja kokonaismaanpuolustuksen verkottunutta viestijärjestelmää nimellä TODAYINFO. [ROLF99b]

Johtamisen kannalta AQUA-tyyppisen ympäristön uskotaan antavan mahdollisuus yhteisen vision muodostamiseen ja ihmisten tehokkaaseen yhteistoimintaan, jota tietojär-

⁴⁴ Metodi on ajatukseltaan pääpiirtein samanlainen kuin Yhdysvaltojen tällä hetkellä käyttämä. Suurin ero on, että Ruotsissa korostetaan kokonaismaanpuolustusta ja tietyn tyyppistä koottua päätöksentekoa, mikäli aika sen mahdollistaa.

jestelmät tukevat. Kyse on uudesta kokonaisuudesta, ei vanhan kehittämisestä. Työtapana on skenariointi ja vaihtoehtojen kehittäminen, joiden avulla arvioidaan mahdollisia tuloksia ja syntyviä riskejä. Päätöksenteko perustuu vaihtoehtojen valintaan ja tilanteen mukaiseen johtamiseen. Tavoitteena on yhteiseen päämäärään pyrkivä teamwork, ei perinteinen ryhmätyö (group work) ja ryhmäpäättös, jossa tavoitteena on kompromissi. Korostetusti esillä ovat yhteinen keskustelu, kaikkien oikeus esityksiin myös oman erityisalan ulkopuolelta ja tiedon oleminen kaikkien ulottuvilla. Professori Berndt Brehmer esittää asian näin: "*The purpose of the members of a staff is to serve as living decision aids to the commander.*" Mikäli aika ei salli, käytetään komentajakeskeistä mallia. Looginen ongelma on tiedon yleistäminen päätöksenteon mahdollistamiseksi, jossa hankala rajapinta on siirtyminen komppaniasta pataljoonaan.⁴⁵ Toisena tekijänä on oikea aikaskaala, jotta johtaminen ja käskyt ehtivät vaikuttaa ennen uusia ohjausliikkeitä. Kun näihin liitetään lisääntynyt, muttei täydellinen, tieto tapahtumista, päättäjät ovat uuden tilanteen edessä. [ROLF98]

Esikuntien suoja hankitaan pääosin liikkuvuudella ja maastouttamisella sekä valmisteluilla asemilla, jotka voivat olla joko kenttälinoitettuja⁴⁶ tai esimerkiksi rakennuksien sisällä tai siltojen alla. Suojaa voidaan lisätä valelaitteilla ja hajauttamisella, jossa esikuntaosat sijoittuvat muutaman kilometrin päähän toisistaan. Ruotsin laaja paikallispuolustus vastaa lähisuojasta ja kontit suojataan BC-sodankäyntiä vastaan. [ROLF98] Siirtymisajaksi yhdelle kontille on asetettu jatkuva 15 minuutin liikkeellelähtövalmius ja koko esikunnalle 30 minuutin valmius sekä kyky liikkua 70 km/h nopeudella tiestöllä tai helikopterikuljetuksena. [ROLF99]

Vaikka konseptin toteutuminen on epävarmaa, tutkimuksen kokonaisuus ja laaja-alaisuus antaa kuvan ruotsalaisesta ajattelusta: tietotekniikkaa ei nähdä ainoastaan uutena välineenä vanhassa toiminnassa, vaan sen arvioidaan hyödyttävän vasta kokonaan uuden toimintatavan kehittämisen ja hyväksymisen jälkeen. Kun tähän lisätään ajatus verkottuneesta taistelusta, Ruotsissa voi arvioida olevan käynnissä suuren muutoksen ainakin taistelun johtamisen ja organisoimisen alalla.

⁴⁵ Tämä raja nousee esiin koko väitöskirjan ajan. On kuitenkin mietittävä, miten matala organisaatorakenne tulee vaikuttamaan, yleistetäänkö tällöin jopa joukkueita jotta dataa ei tule päättäjille liikaa. Ilmeisesti rajapinta yleistykselle on kuitenkin komppaniatasolla kuten simulaattoreissakin.

⁴⁶ Paikkoja esitetään [ROLF97] olevan noin 250 valmisteltuna, sähköistettynä ja linoitettuna sekä esitettynä tietokannassa.

2.3 Suomalainen viitekehys

Suomessa tietotekniikan käyttäminen taistelun johtamisen tukena alkoi samaan aikaan Ruotsin kanssa. Taistelun kuvan muutos näkyi jo puolustusselonteossa vuonna 1997 ja erityisesti sen tarkistuksessa vuonna 2001. Tätä ennen oli viidentoista vuoden aikana jo kehitetty tekstiperusteinen sanomalaite m90, sanomalaitteet verkottava keskussanomalaite, hankittu YVI 1 kenttäteleverkko ja aloitettu YVI 2 järjestelmän hankinta⁴⁷ sekä kehitetty useita eri tasoilla käytettäviä johtamisjärjestelmiä. Onko jokin mennyt Suomessa pahasti vikaan verrattuna esimerkiksi naapurimaahamme Ruotsiin? Tuskin, kokonaisuutena ottaen olemme saaneet kehitettyä ensimmäisen toimivan johtamisjärjestelmäsukupolven kaikille puolustushaaroille ja useimmille aselajeille pienillä resursseilla ja armeija on siirtymässä digitaaliseen johtamiseen myös liikkuvissa yhtymissä. Tämä ei tarkoita, etteikö montaa asiaa olisi kannattanut tehdä toisin, menneisyyden ratkaisuja on aina helppo kritisoida. Perusta on luotu, Suomi ei missään tapauksessa ole digitaalisen taistelukentän sivuraiteella, mutta paljon jo 1990-luvun alussa ajatellusta on vieläkin tekemättä.

Suomalaisessa kehityshistoriassa on käytetty yhtä ohjelmaa [Tie95]⁴⁸ ja kahta työryhmätyötä [MAS95] [Dig99] puolustusselontekojen lisäksi. Tekstiä on elävöitetty myös muutaman keskeisen henkilön julkisesti esitetyistä visioista käsin, tällä ei kuitenkaan ole haluttu henkilöidä kehitystä. Meillä käytössä olevista järjestelmistä on kerrottu se, mikä julkisesti on mahdollista ja tarkoituksenmukaista.

2.3.1 Digitaalisen taistelukentän ideoita Suomessa

"Tietoyhteiskunnan maavoimat 2020" [Tie95] linjasi maavoimien kehittämisohjelman vuonna 1995 seuraavaksi neljännesvuosisadaksi. Julkista ohjelmaraporttia edelsi pitkäaikainen selvitystyö. Tutkimuksen johtaja, maavoimapäällikkö kenraaliluutnantti Ilkka Ilmola esitti tapahtumassa olevan muutoksen näin: "*Sotien luonteessa ja sotalaitosten kehittämisessä on tapahtumassa suurin muutos sitten toisen maailmansodan .. tietotekniikan kehitys on edennyt räjähdysmäisesti myös sotatekniikassa. On nähtävissä, että tietotekniikka tunkeutuu kaikkiin johtamis-, tiedustelu- ja asejärjestelmiin. Automaattinen tiedonkäsittely lisää valtavasti järjestelmien tehoa. On käynnistettävä keskustelu järjestelmistä, joissa nopeasti kehittyvä tietoteknologia yhdistää aseita ja osa-*

⁴⁷ YVI 1 järjestelmän koulutus aloitettiin jo vuonna 1991 ja YVI 2:n hankintasopimus tehtiin vuonna 1993. Molemmista näistä kenttäteleverkoista on mahdollisuus kapeakaistaiseen dataliikenteeseen. Kaikki kuvatut järjestelmät on kuitenkin kehitetty kylmän sodan laajamittaisen sodan lähtökohdista. JOTI-järjestelmän kehitystyö alkoi määrittelynä jo vuonna 1989.

⁴⁸ Tietoyhteiskunnan maavoimat on monivuotisen ja laajan kehittämisprojektin julkinen viitteistämätön loppuraportti, jossa kuvataan asetetut tavoitteet. Se kuvaa hyvin tämän tyyppisen työn hankaluutta: kolmenkymmenen vuoden kuluttua asiasta saa myös tieteellisesti hyväksyttävää julkista tietoa, mikäli tämä asetetaan pääkriteeriksi.

järjestelmiä." Ajatusten perustana oli turvallisuuspoliittinen selonteko [Sel95] samalta vuodelta. Tietokoneen aiheuttama muutos näkyy esimerkiksi siinä, että se mainitaan lähes jokaisella raportin sivulla ja lopun yksisivuisesta neljäntoista kohdan tiivistelmästä sille on varattu kuusi; esimerkiksi paljon huomioita herättäneet helikopterit pääsivät yhden rivin maininnalla. Otsikot kuten *"Tiedon vallankumous on käynnissä"* yrittivät iskeä ajatteluun. Suomalainen sovellutus taistelutilan hallinnasta painotetaan integroituun tiedustelujärjestelmään ja johtamisen tukijärjestelmien automatisointiin, joiden tavoitteena on mahdollistaa ennakoiva johtaminen, näiden edellyttämään digitaaliseen tiedonsiirtoon sekä myös hyökkäyksellisen elektronisen sodankäynnin kyvyn rakentamiseen. Jokaisen aselajin kohdalla painotetaan asiantuntija- ja johtamisjärjestelmiä. Simulointikoulutus on edellytyksenä uusien oppien omaksumiselle. [Tie95]

Verkottuneen taistelun ensimmäisiä suomalaisia visionärejä on everstilutnantti Sakari Ahvenainen, jonka kirjoitukset vaihtuivat jo 1990-luvun alkupuolella viestijärjestelmien integroinnista verkottuneeseen johtamiseen. Hänen kymmenet artikkelinsa ja julkaisunsa ovat suunnanneet ja suuntaavat edelleen suomalaista ajattelua: näkökulma on pitkään painottunut johtamisen ja ajattelun muutokseen pelkän tekniikan sijasta. Tällä hetkellä se on edennyt verkottumisen perusteisiin saakka ja näkyvät Rauno Kuisiston konkretisoimina kirjoittajankin omassakin visiossa, joka esitetään viimeisessä alaluvussa. Everstilutnantti Markku Koli visioi viime vuosikymmenen puolivälissä: *"Johtamis- ja valvontajärjestelmissä kootaan useista lähteistä saatavat tiedot, jotka edelleen prosessoidaan tarkaksi ja ymmärrettäväksi tilannekuvaksi ... mitattujen ja prosessoitujen tietojen perusteella voidaan ennustaa maalien ja maaliryhmittymän toimintaperiaatteet, toimenpiteet ja haavoittuvuus. Kun tilannekuva on täysin muodostettu, tarkka kokonaistieto mahdollistaa optimoidun maalinosoituksen eri asejärjestelmille. Toiminta-alue on hallittavissa jatkuvasti yhdistämällä eri sensoreiden havaintosektorit ja toiminta-ajat"*. [Koli95] Koli oli itse tutkinut kenttätykistön tulen käytön optimointia [Koli87], joka asetettiin myös tykistön johtamislaitteen yhdeksi tavoitteeksi sekä käsitelty tulevaisuuden korkean teknologian taistelukenttää lukuisissa kirjoituksissa [Koli92]. Hän sai yleisesikuntaupseerikoulutuksen myös Yhdysvalloissa. Tällä hetkellä hän on Puolustusvoimien tietotekniikkapäällikkö.

Johtamisen ja tiedustelun tietojärjestelmän tutkiminen ja määrittelytyö aloitettiin 1990-luvun alussa osana koko esikuntatyörakenteen kehittämistä.⁴⁹ Sotilasaikakauslehdessä 4/1992 [SAL92a] sen aikaiset keskeiset tekniset kehittäjät visioivat järjestelmästä: *"Useasta eri lähteestä koottu ajantasainen tieto tarjoaa paremman perustan päätök-*

⁴⁹ Asiaa on käsitelty yksityiskohtaisemmin luvussa 5.

senteolle ... yksityiskohtaisilla analyyseilla voidaan rajatuilla osa-alueilla päästä ihmistä parempiin lopputuloksiin ... tulevaisuudessa voidaan myös yksittäisten taistelujen ja operaatioiden lopputuloksia arvioida luotettavammin." Analyyseista kuljetusten ja siirtojen suunnittelu nähtiin lupaavana esimerkkinä, joka "nopeuttaa suunnitteluprosessia huomattavasti tai mahdollistaa sellaisten asioiden arvioimisen ja suunnittelun, jotka aikaisemmin on täytynyt ajan tai ongelman laajuuden vuoksi jättää ratkaisematta tai joissa on jouduttu tyytymään vakioituihin ratkaisuihin." Visualisoinnin merkitystä ihmisen päätöksenteon tukena korostettiin. Suunnitteluketjua ei arvioitu pystyttävän kokonaan automatisoimaan eikä tietokoneella nähty korvattavan inhimillistä päättäjää edes tulevaisuudessa, kyse oli vuorovaikutuksesta ja lisäarvosta.⁵⁰

Vaihe	ajantasaisuus	automatisointi	visualisointi	analyysi
Tehtävä				+
Tilanteen arviointi	++		++	++
Vaihtoehtojen arviointi		+	++	++
Päätös	+			
Esikäskyt	++	+		
Suunnittelu	+	+	+	+
Käskytyk	++	+		
Valvonta	++	+	++	+

Taulukko: Näkemys tietokoneen mahdollisuuksista tukea sotilaallista johtamisprosessia [SAL92a] kehitystyön alkuvaiheissa. Taulukossa merkitsee + hyödynnettävyyttä ja ++ merkittävää lisäarvoa.

Kehitystyö alkoi yhdenmukaisen tilannekuvan saamisesta jokaiselle puolustushaaralle erikseen. Liikkuvan yhtymän johtamisen tueksi kehitettiin ylempien (maavoima)esikuntien kanssa sama lähiverkkoon perustuva ja karttakäyttöliittymällä varustettu JOTI-järjestelmä⁵¹. JOTI tarjoaa muun muassa yhdenmukaisen tilannekuvan ylläpidon ja jakelun sekä päivittämisen joko sanomapohjaisesti tai tietokantapöimintoina esikuntien välillä, ryhmätyön omaisen suunnittelun ja joukkojen ominaisuuksien ylläpidon. Järjestelmää piti myöhemmin laajentaa kunkin aselajin osalta yhteiseksi aselaji-JOTiksi. Pian kuitenkin todettiin tämä lähestymistapa mahdottomaksi ja aloitettiin aselajikohtaisten johtamislaitteiden⁵² kehitystyö kenttätykistön johtamislaitteesta, jossa paikkatietoanalyyseistä käytetään näkemäanalyysejä. Paikkatietoanalyysisovelluksista ensimmäisenä toteutettiin juuri reittioptimointi sekä keskityssiirtoihin että logistiikkaan liittyen.

⁵⁰ Kirjoittajat Petri Karlsson, Juha Lintula ja Timo Sartjärvi ovat tehneet merkittävän työn nykyisen toimivan järjestelmäsukupolven kehittämiseksi ja myös toteuttaneet monet visioistaan.

⁵¹ JOTI eli JOhtamisen ja Tiedustelun tietojärjestelmä on tällä hetkellä käytössä puolustusvoimien C2-järjestelmänä.

⁵² Nimitys johtamislaitte voi olla hivenen harhaanjohtava, mutta se on ymmärrettävissä sotavaruste-käsitteen kautta. Laite ei ole pelkkä ohjelmisto, vaan se käsittää projektina esimerkiksi tykistön osalla myös johtamiskontin kalusteineen.

Myös muut puolustushaarat saivat omat johtamisjärjestelmänsä, lisäksi operatiiviseen käyttöön kehitettiin useita OPJOn⁵³ liittyviä ei-paikkatietosovelluksia. Rannikolla RAVAL-valvontajärjestelmä oli otettu käyttöön jo 1980-luvulla.

Julkista keskustelua jatkoi vuonna 1993 majuri Kyösti Halonen, joka varoitteli liiasta koneuskosta artikkelissa *"Ei lyijykynästä suinpäin lähiverkkoon maasto-olosuhteissa"*. Hän kiinnitti huomiota laitekantaan: toimistokoneet, kömpelö lähiverkko ja huonot näytöt eivät mahdollistaneet Suomen resursseilla liikkuvan yhtymän esikunnan varustamista tietotekniikalla. Artikkelin taustalla näkyi pelko entistä paksumpien kirjallisten operaatiokäskyn laadintaan⁵⁴ - tauti, joka vaivaa edelleen, mutta johon syytä on toimistotietotekniikka eikä graafinen JOTI. Useimmat kuvatuista tekijöistä ovat nyt muuttuneet, toki aikaakin on kulunut pian kymmenen vuotta. [SAL93]

Ruotsin esimerkki sai myös meillä aikaiseksi julkaisun "Digitaalinen taistelukenttä" päätoimittajana Mikko Heiskanen. Työhön osallistui 13 alan suomalaista asiantuntijaa, viisi sotilasta ja yhdeksän insinööriä. Teoksessa analysoitiin Yhdysvaltojen, NATOn, Iso-Britannian, Saksan, Ranskan ja erityisesti Ruotsin näkemyksiä ja todettiin, että *"suurimpana haasteena on kehittää järjestelmät sellaisiksi, että niiden tuottama informaatio on hyödyllistä ja muodossa, että se on välittömästi käytettävissä päätöksentekijällä. Yhteisen tilannekuvan luomisessa erilaiset sensorit ja niiden tuottamien tietojen yhdistäminen datafuusiolla ovat keskeisessä roolissa ...Vahva johtamisjärjestelmä sisältää tarkkaan harkitun ja analysoidun johtamisrakenteen, siihen soveltuvan viestijärjestelmän sekä sen päälle rakennetut tietojärjestelmät. Johtamisjärjestelmän on mahdollistettava hajautettu toiminta."* [Dig99]

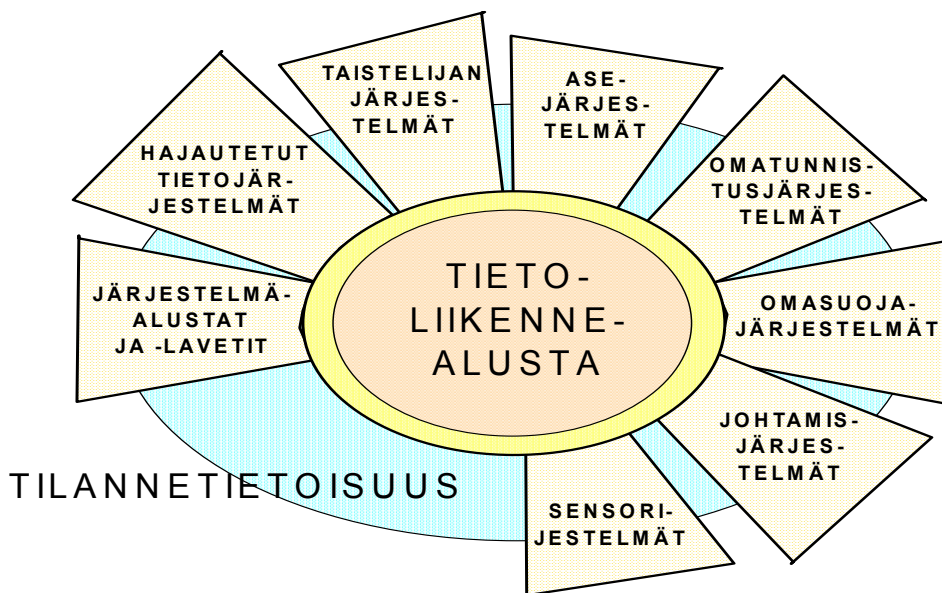
Datafuusio käsitetään joukkoa informaation käsittelyprosesseja, jossa useista eri sensoreista saatua epävarmaa, epätäydellistä ja mahdollisesti ristiriitaista informaatiota yhdistetään siten, että tuloksena on parempi ja varmempi tieto todellisuudesta. Datafuusio esitetään tasoittain seuraavasti: [Dig99]

1. Monisensoridatafuusio, jolla useasta sensorista tuleva raakadata yhdistetään.
2. Tilanneanalyysi, jossa useasta eri lähteestä saatava informaatio yhdistetään tilannekuvaksi. Jatkuvan datavirran avulla voidaan tehty olettamus joko vahvistaa tai muokata paremmin lisätietoja vastaavaksi.
3. Uhka-analyysi, jossa tilanneanalyysi yhdistetään erilaisiin uhkamalleihin. Analyysi tuottaa tuloksena joukon mahdollisia toimenpidevaihtoehtoja.
4. Päätöksenteko, joka perustuu alempien tasojen tietojen käyttöön.

⁵³ OPJO eli OPERatiivisen JOhtamisen tietojärjestelmä koostuu lukuisista sovelluksista, joita käytetään ylemmän tason esikunnissa muun muassa resurssien suunnitteluun ja hallintaan.

⁵⁴ Halonen, Kyösti: On kuitenkin todettava, että tämäkin kirjoitus oli tietojärjestelmille myönteinen, ja että sääntö lähikehityksen nopeuden liittelusta piti paikkansa: JOTI 2 on siirtymässä lopullisesti vuonna 2002 operatiiviseen käyttöön käytettä-

Edellisessä raportissakin kirjoittajana ollut Jyri Kosola kirjoitti NATOn RTO-raportin Land Operations in the Year 2020 [Kos00a] käännöksessään system-of-systems ajattelusta näin: "digitoinnin tarkoituksena on linkittää tietoliikenne- ja johtamisjärjestelmän avulla ne taistelukentän järjestelmät, jotka keräävät, varastoivat, prosessoivat, lähettävät tai käyttävät informaatiota, erityisesti sensorit ja asejärjestelmät ... informaatioteknologia mahdollistaa pitkän kantaman täsmäasevaikutuksen, verkottuneiden sensoreiden ja tietojärjestelmien yhdistämisen yhdeksi kokonaisuudeksi ... etusija annetaan sellaisille teknologioille, jotka tuovat mukanaan radikaalin ja laajalle ulottuvan vaikutuksen suorituskykyyn ohi sellaisten teknologioiden, jotka lisäävät jonkin verran joidenkin järjestelmäalustojen suorituskykyä ... vallankumouksellinen muutos kulminoituu tiedon automaattiseen käsittelyyn, analysointiin ja jakeluun." Kosola jatkaa Tero Solanteen kanssa kirjassa "Digitaalinen taistelukenttä - informaatioajan sotakoneen tekniikka" [Kos00b], että "asetetut järjestelmävaatimukset voidaan toteuttaa vain automaattisella (automatic), saumattomalla (seamless), läpinäkyvällä (transparent) ja reaaliaikaisella (real-time) sekä kaikkien järjestelmien kesken yhteentoimivalla sensori-, ase-, tieto- ja tietoliikennejärjestelmällä."

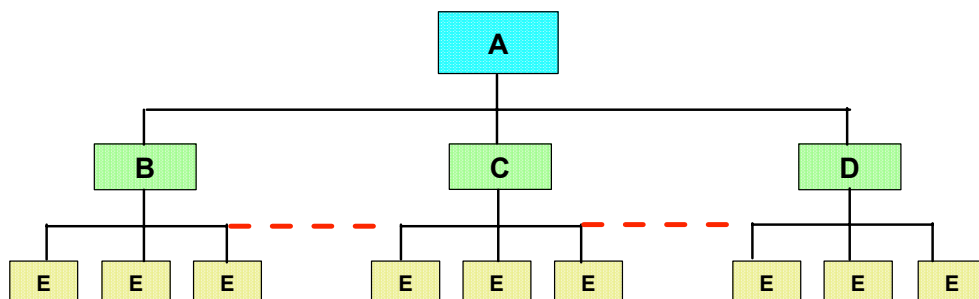


Kuva: Digitaalisen taistelukentän rakenneosat [Kos00b] mukaan.

Puolustusvoimien selonteko eduskunnalle vuonna 2001 esitti puolustusjärjestelmän kehittämisen painopistealueiksi johtamisjärjestelmän, maavoimien valmiusyhtymät, yh-

teentoimivan sotilaallisen kriisinhallintakyvyn ja tietoyhteiskunnan sotatalousjärjestelmän. Puolustusvoimien johtamisjärjestelmän toimintavarmuutta ja yhteensopivuutta esitetään kehitettävän sekä kansalliset että kansainväliset yhteistoimintatarpeet huomioon ottaen, jossa tavoitteena on kaikkien puolustushaarojen suunnittelun sekä johtamis- ja tiedustelujärjestelmien yhdistäminen varmennetuksi kokonaisjärjestelmäksi. Lisääntynyt yhteistoiminnan tarve kaikkien hallinnonalojen kesken muun muassa erilaisissa häiriötilanteissa asettaa osaltaan lisävaatimuksia johtamisjärjestelmän ja erityisesti sen teknisen toteutuksen kehittämiseksi. Lisäksi nähtiin, että asevoimien kehitys turvallisuusympäristössämme edellyttää myös Suomen puolustukselta panostamista uusiin teknologioihin. [Sel01] Tavoiteasettelu on myös virallisella tasolla olemassa. Suomalainen näkemys verkottuneen taistelukentän ideasta on paljolti samanlainen kuin muuallakin, lähinnä kyse on siitä, miten asia meillä tullaan toteuttamaan. Selonteko 2004 antanee siihen perustan - aivan kuten Ruotsissakin.

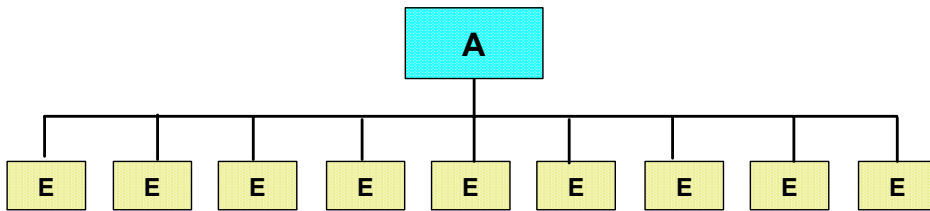
Ruotsissa tutkitaan voimakkaasti matalia organisaatorakenteita [DigS96]. Vuoden 2001 puolustuselonteossa operatiivisten maajoukkojen taistelun arvioidaan tapahtuvan prikaati - taisteluosasto tasolla. Alueellisen puolustuksen runko muodostuu Ruotsissa jo nyt 159:n kodinturvapataljoonasta [Års01] [Års02]. Suomessa johtamisen muutosta kohti verkottumista käsiteltiin muun muassa "Digitaalisessa taistelukentässä" [Dig99]. Sotilasorganisaation perusrakenne on hierarkia, jossa tietojen vaihto tapahtuu vertikaalisesti. Tämä johtaa johdonmukaisuuteen ja tehtävien selkeyteen, toisaalta tiedon ja tehtävien käsittely jokaisessa portaassa vie aikaa sekä aiheuttaa jäykkyyttä tilanteissa, joissa taistelujaotusta pitäisi muuttaa. Yksi tapa tehostaa informaation käsittelyä on käyttää hierarkkista verkkoa.



Kuva: Hierarkkinen verkko. [DigS96] [Dig99]

Hierarkkisessa verkossa sekä käskyt että informaatiovirta kulkevat vertikaalisesti, mutta myös horisontaalisessa suunnassa on yhteistoimintaa ja informaatiovirtoja. [Dig99]

Luonnollinen tapa horisontaalisten yhteyksien syntyamiseen on sijainti tai yhteinen tehtävä. Rakenne vahvistaa kokonaisuutta lisäten tappionkestokykyä ja nopeuttaen toimintaa: vaikka ylempiä johtamistasoja tuhoutuisi, alayksiköt kykenevät edelleen alueelliseen yhteistoimimaan. Haittoina ovat datan kokonaismäärän kasvu ja yhdenmukaisuuden väheneminen, joka johtaa tulkintojen kautta erilaisiin tilannekuviin. Organisoitumisperiaate on tietyiltä osin käytössä ja sitä kyetään tukemaan jo nykyisillä alueellisilla viestijärjestelmillä. Maastoon liittyvien paikkatietojen osalta on vastaavia ongelmia, mikäli tietoja päivitetään maastossa.



Kuva: Litteä eli matala verkko [DigS96] [Dig99].

Litteässä eli matalassa verkossa pääosan päätöksistä tekevät autonomiset paikalliset yksiköt, jotka ovat rakenteen alimmalla tasolla. Toimivuuden vaatimuksena on tiedon muokkaus hajautetusti tai sensoreiden välittömässä läheisyydessä. Jotta rakenne toimisi, voidaan sitä tukea seuraavilla menettelytavoilla: [Dig99]

- Kehitetään automaattisia rutiineja raporttien vastaanottamiseen, poikkeamista hälyttämiseen, tilannekuvan päivitykseen ja informaation edelleen jakeluun. Yhtenä perustana voisi toimia paikkaan tai toiminta-alueisiin perustuva push-tyyppinen jakeluperiaate.
- Luodaan hälytystoiminteita, mikäli tilannekuva poikkeaa normaalista, arvioidusta ja suunnitellusta, tai jos tunnistetaan tiettyjä tilannetyyppejä. Tätä käsitellään enemmän jäljempänä.
- Alijohtajille annetaan suuri itsenäisyyden aste vastualueellaan ja pitkäkestoiset toimintaohjeet sekä heille luodaan mahdollisuus päästä tehokkaasti käsiksi sensoreiden tuottamaan tietoon. Tällä tarkoitetaan internet-tyyppistä pull-lähestymistapaa.

Matalaa organisaatiota voidaan käyttää kahteen suuntaan. Jos esimiehellä on paremmat suunnitteluperusteet ja tilannekuva kuin alaisella, varmennetut yhteydet ja sellainen päätöksenteon tukijärjestelmä, joka automaattisesti ja nopeasti esittää ehdotuksen kommentoituksi, parantuvat mahdollisuudet hyödyntää keskitettyä johtamista. Jos informaatiovirta sensoreilta taas kasvaa liian suureksi ja vaarana on ylemmän joh-

toportaan ylikuormittuminen, voidaan tehtävätaktiikalla vähentää näin syntyvää ongelmaa. Jos myös alijohtajilla on hyvä yleiskuva tilanteesta, parantuvat mahdollisuudet käyttää tehtävätaktiikkaa.[Dig99] Pääsy suureen tietomäärään mahdollistaa jokaiselle solmulle itsenäisen toiminnan edellyttäen, että se kykenee prosessoimaan tiedosta itselleen oleellisen. Toisaalta se pahimmillaan lisää moninkertaisesti siirrettävän datan määrää ja voi aiheuttaa suuria ongelmia yhdenmukaisuudessa. Maastoon liittyvien paikkatietojen osalta jakelun olisi oltava joustavaa ja kaikkien saavutettavissa, jotta suurista datamääristä johtuen voidaan ainakin vielä pitää utopiana.

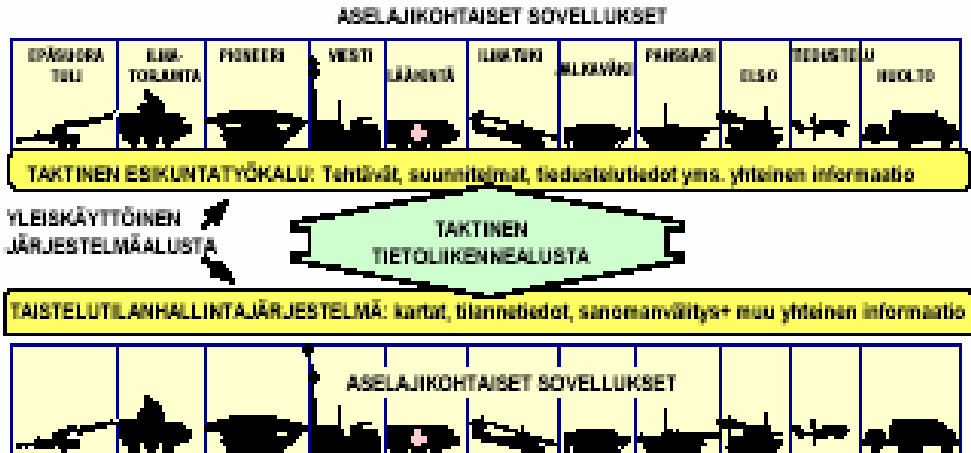
Maavoimien simulointikoulutus eli MASIKO-työryhmän raportti [MAS95] linjasi tarpeet eri tasoilla. Tilannejohtamiseen kehitetty taistelutekniikan opetus- ja simulointiohjelman prototyyppi TATSI oli jo valmis, mutta komentaja- ja esikuntakoulutuksen mahdollistama ja kehitteillä olevaan JOTI-järjestelmään liitettävä simulointijärjestelmä puuttui.⁵⁵ Tavoitteeksi asetettiin esikuntien äksiisinomainen harjaantuminen muuttuvien tilanteiden johtamiseen erityisesti pataljoona- ja prikaatitasoilla. Päätöksenteon tukeminen nähtiin vain mahdollisena lisäarvona ja simulaattori sodan ajan johtamisesta erillisenä. Simuloinnin kehittämisen alkuaikoina Esa Einola kirjoitti Sotilasaikakauslehdessä vuonna 1995 [SAL95] artikkelissa "*Vain pelkoa ei voi simuloida*" skaalautuvan simulaattoriperheen tarpeesta erityisesti koulutuksen tehostamiseen. Instrumentointi Oy:n epäsuoran tulen ja panssarintorjunnan tulenkäyttösimulaattorit sekä eri asejärjestelmien simulaattorit ovat jo pitkään olleet palveluskäytössä, ensimmäinen taktinen simulaattori KESI on yhteishankinnassa ulkomailta ja yritys on nyt saanut integrointialustan aitoine 3D-visualisointineen valmiiksi.

Mitä kuvastusta kehityksestä voisi oppia: kehityksen uskottiin olevan nopeaa, mutta perustan rakentamiseen kului kuitenkin kymmenkunta vuotta. Siinä ajassa ehtii tietotekniikassa tapahtua paljon, varsinkin paikkatietotekniikassa joka kuvattuna aikana on siirtynyt kartoittajilta ja tutkijoilta tavallisiin tietokoneisiin ja on juuri valloittamassa myös puhelimet ja internetselaimet - tähän asti visiot eivät kantaneet. Lisäksi merkittävä osuus jo päätetystäkin työstä on edelleen tekemättä, osa jopa kokonaan aloittamatta. Taistelun vallankumoukset eivät synny, ne tehdään.

⁵⁵ Projekti sai nimen KESI ja se aloitettiin kartoituksella jo vuonna 1996. Järjestelmän hankintapäätös tehtiin keväällä 2002 ja se saataneen käyttöön vuoden 2003 lopulla.

2.3.2 Maastotiedon rooli ja rajoitukset digitaalisella taistelukentällä

Kosola ja Solante [Kos00b] jakavat johtamisjärjestelmän kahteen erilliseen osaan, joita yhdistää tietoliikennealusta.



Kuva: Digitaalisen taistelukentän johtamisjärjestelmä [Kos00b] mukaan.

Taktisen tasan tietojärjestelmä on yhtymän taistelun johtamisväline, jonka tehtävinä ovat omien joukkojen taistelujaotuksen, ryhmyksen ja liikkeen hallinta, tiedustelutietojen kokoaminen ja vihollistilannekuvan muodostaminen, tulitukijärjestelmien ja ilmapuolustuksen ryhmyksen ja toiminnan suunnittelu, suluttamisen ja liikkeen edistämisen suunnittelu sekä huollon materiaali- ja logistiikkasuunnittelu. Taistelutilanhallintajärjestelmä (BMS, Battlespace Management System) on reaaliaikaiseen taistelutekniseen johtamiseen tarkoitettu osio, joka on integroitu lavetteihin ja jolla on paljon horisontaalisia yhteyksiä muihin vastaaviin järjestelmiin. Suurin ero eri tasojen välillä on toiminnan reaaliaikaluonteessa ja informaation käsittelytarkkuudessa. Digitaalinen kartta, kolmiulotteinen skaalautuva kuvaus maastosta, on tilannekuvan esitysjärjestelmänä ja paikannustekniikan yhteisenä referenssinä. [Kos00b] NATOn näkemys digitaalisen kartan roolista on myös visualisointipainotteinen, vaikka sen merkitys tilannetietoisuudessa, tulitukipyynnöissä sekä suunnittelu ja logistiikkatoiminnoissa mainitaankin. Sotapelit ovat lisäksi vahvasti esillä. [Kos00a]

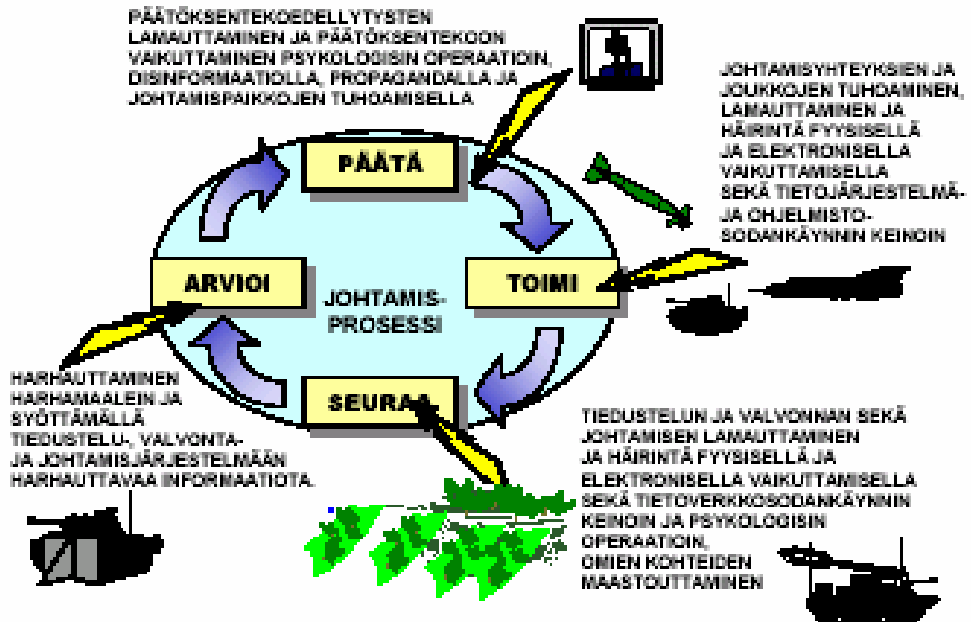
Viestijärjestelmässä on myös tulevaisuudessa otettava huomioon rajoitettu kaistanleveys. Siirrettävä data on priorisoitava ja tiivistettävä, jotta siihen voidaan lisätä redundanttisuutta ja käyttää virheenkorjausta. [Dig99] Maastotieto on varsinkin rasterimuotoisena paljon tilaa vievää ja myös herkkää sisäisille virheille. Lisäksi sen priori-

teettiarvo on tietomäärän kannalta vähäinen muuhun siirrettävään informaatioon verrattuna. Tämä edellyttää vain informaation siirtämistä: tekniikka, jossa analyysi ensin toteutetaan palvelimessa ja sen tulos lähetetään tilaajalle liitettynä taustakarttaan, ei ole mahdollista. Vaatimus tarkoittaa vektorimuotoisten formaattien käyttämistä ja sitä, että jokaisella toimijalla on yhdenmukainen referenssikartta valmiina käytettävissään.

Digitaalisen taistelukentän [Dig99] tilanneskenaarioissa on seuraavia tekijöitä:

- Sensorit on ryhmitetty alueellisesti, jolloin on tärkeää saada käsitys niiden kattaman alueen laajuudesta ja peittävydestä.
- Tieto olemassa olevista tietoverkoista ja siviiliväestöstä on valvonnan, suunnittelun ja tulen käytön kannalta tärkeää. Maastoa ovat myös alueen infrastruktuuri kuten televerkko ja siviiliväestö
- On osattava laatia ennusteita liikkuvan vihollisen käyttäytymisestä. Tästä käytetään termiä "automaattinen maastoanalyysi."
- Maalien priorisointi ja tulen tehokas käyttö vaativat päätöksenteon tukijärjestelmää.
- Simuloinnilla on merkittävä rooli osana päätöksentekoa ja harjoittelua.

Koli [Koli92] on käsitellyt maaston käyttöä abstraktimmalla tasolla: "Rajoitetuilla resursseilla ei kannata tavoitella symmetrisiä malleja, vaan etutekijät on löydettävä olemassa olevista perusrakenteista ja pitkälle kehitetyistä omintakeisista toimintamalleista. Suomen kohdalla nämä rakenteet ovat alueen laajuus, maasto, sääolot ja suuret maavoimat ... perustekijöitä (onnistumiselle) ovat hyökkääjän liikkeen suuntaaminen ja jähmettäminen, sen voimien jatkuva kuluttaminen ja toimintamallien rikkominen sekä omien joukkojen suojaaminen. Näiden perustekijöiden ylläpitämiseksi on kyettävä väistämään yhä tehokkaammaksi muuttuvaa tiedustelua." Miten nämä vahvuudet osataan käyttää tiedon tasolla hyväksi? Sotilaallinen päätöksenteko kuvataan prosessina, jossa tilanteen seuraaminen, arviointi, päätöksenteko ja toteutus seuraavat kehässä toisiaan. Usein tehostaminen tulkitaan siten, että kuvattu kehä saadaan pyörimään vastustajaa nopeammin, jolloin hitaampi joutuu reagoivaan asemaan.



Kuva: Sotilasjohtamisen päätöksentekoprosessi, niin sanottu OODA-loop ja siihen vaikuttamiskeinot [Kos00b] mukaan.

Päätöksenteon tukijärjestelmien voima piilee niiden kyvyssä luokitella luokiteltavissa olevaa dataa helposti ymmärrettävään muotoon. Tässä piilee myös niiden suurin riski, sillä virheellinen tieto aiheuttaa virheellisen päätöksen. Päätöksentekoajan lyhentäminen pakottaa välttämättä automaation kasvattamiseen, jolloin virhemahdollisuus kasvaa: kyse on oikean yhdistelmän löytämisestä. Digitaalinen taistelukenttä [Dig99] muotoilee asian näin: "Useiden tulevien vuosien ajan ihmiset tekevät todennäköisesti suurimmat päätökset. Myös niissä tapauksissa, joissa ihminen tekee päätökset, voi tekninen järjestelmä tukea esimiestä ja ehdottaa ratkaisuja. Vaikka informaatiotekniikka kehittyy, johtajuus, motivaatio ja moraalit tulevat olemaan ratkaisevia taistelun lopputulokselle niin kauan kun ihmisillä on keskeinen rooli organisaatioissa. Jos tämä tosiasia kielletään, on vaarana saada vääriä johtopäätöksiä."

Johtamisjärjestelmät päätettiin Suomessa 1990-luvun puolivälissä toteuttaa kotimaiselle Tekla Oy:n erikseen sotilaskäyttöön kehittämälle C3-alustalle ja sen variaatioille. Tuolloin vertailtiin myös Intergraphin ja ESRIn kaupallisia alustoja. Pääpaino oli paikkatietotekniikan kannalta karttakäyttöliittymässä, merkien ja alueiden piirtämisessä ja tietokantaperusteisessa jatkuvasti päivitettävien tilannetietojen hallinnassa sekä virtuaalikantaratkaisun mahdollistamassa käyttäjien samanaikaisessa työskente-

lyssä. Varsinaiset paikkatietoanalyysit toteutettiin räätälöinteinä. Pioneeritoiminnan johtamislaite teki paikkatietoanalyysien osalta ensimmäisen poikkeuksen, kun perusvaatimukseksi asetettiin rasterimuotoinen overlay-tyyppinen raskas laskenta. Vuonna 1998 järjestelmä sai luvan poiketa tehdystä alustaratkaisusta ja valinta kohdistui Bentley GeoOutLook alustaan yhdistettynä ERMapper rasterianalyysiohjelmistoon⁵⁶. Vastaava kytkös olisi ollut teknisesti mahdollista tehdä myös C3-alustalle. Saman aikaisesti käynnistettiin projekti niin sanotun GIS-analyysialustan valitsemiseksi.⁵⁷

Topografikunnassa pääpaino on ollut viime vuosiin saakka kartantuotannossa ja siihen tarvittavien aineistojen hankinnassa ja hallinnassa. Käyttöön valittiin vuonna 1995 Intergraph - Bentley MicroStation teknologia. Johtamisjärjestelmien valmistuminen viime vuosikymmenen lopulla sai aikaan kuvaruutukarttojen toteuttamisen manuaalisia karttoja vastaavaksi. Lisäksi laitteisiin tuotettiin korkeusmalleja ja muun muassa peitteisyys- ja maaperäkartat referenssiaineistoiksi. Lisääntynyt numeerinen aineistomäärä johti PUUPATI eli Puolustusvoimien paikkatietokannan⁵⁸ muodostamiseen. Samalla aloitettiin kehitystyö 190-vuotiaan laitoksen muuttamiseksi karttojen tuottajasta kohti koko puolustusvoimien paikkatietokeskusta.

Tällä hetkellä puolustusvoimat on paikkatiedon kannalta murroksessa. Ensimmäinen laitesukupolvi on pian käytössä ja massan siirtyminen digitalisointiin alkaa, samalla kun toinen polvi pyrkii referenssikartoista kohti tietokoneen sisäistä maailmaa. Lisäksi GIS halutaan myös omalle virkatyöpöydälle. Hallittu kaupallistaminen lienee myös meillä ainoa realistinen jatkovaihtoehto, mikäli aiomme pysyä kehityksessä mukana. On myös opittu, että viisi vuotta on lyhyt kehitysaika.

⁵⁶ PionJohlan rakenne esitetään yksityiskohtaisemmin luvussa 7. Järjestelmässä toteutettu kahden kaupallisen ohjelman yhteen liittäminen on siinä mielessä mielenkiintoinen ratkaisu, että sitä voidaan tavallaan pitää korkean tason komponenttitoteutuksena.

⁵⁷ Nelivaiheinen projekti on edelleen käynnissä ja se esitellään tarkemmin liitteessä 2. Myös tätä työtä voidaan tavallaan pitää yhtenä ko. projektin tuotteena.

⁵⁸ PUUPATI esitellään tarkemmin luvussa 4.

3. MAASTOANALYYSIEN TEKNISET PERUSTEET

Luku käsittelee paikkatietoanalyysien menetelmätyyppejä, valmisohjelmistoja, taistelun mallintamista, maastoanalyysien toteutusta lähinnä Yhdysvalloissa¹ ja alan keskeistä standardointia. Luvun tavoitteena on kuvata lähtökohdat ja toisaalta myös reunaehdot, joille paikkatietoanalyysit teknisesti toteutetaan. Valmisohjelmien ja standardien käyttäminen on ratkaisu, johon myös alan johtavassa maassa Yhdysvalloissa on päädytty, joten sitä pidetään myös Suomelle resurssi- ja muista syistä [vrt Sel01] [Dig99] luonnollisena ja taustoitettavana valintana². Lähestymistapa on tekninen erona soveltavaan, jolla tässä työssä tarkoitetaan analyysien kiinnittämistä johtamisprosessiin.

3.1 Paikkatietoanalyysien teoriaperusteet

Lappalainen [Lap94] perustaa ideansa paljolti siihen, mikä kymmenkunta vuotta sitten oli teoriassa mahdollista. Tässäkin työssä paikkatietoanalyysien teoriaan on luotu lyhyt katsaus, jotta sen monipuolisista mahdollisuuksista voisi lukijalle syntyä tätä työtä laajempi kuva. Sotilaalliset johtamisjärjestelmät ovat yleensä paikkatietojärjestelmiä.

3.1.1 Määritelmät ja erilaiset jaottelutavat

Paikkatieto on paikannettua kohdetta tai ilmiötä kuvaava sijaintitiedon ja ominaisuustiedon muodostama looginen kokonaisuus. Paikkatietojärjestelmä (Geographic Information System, GIS) tukee paikkatietojen keruuta, ylläpitoa ja syöttöä, paikkatiedon hallintaa, paikkatietoanalyysijä ja paikkatiedon visualisointia. [PATU98]³

Sijaintitieto (spatial data) tarkoittaa tietoja kohteen sijainnista: [Lau92]

1. Topologiasta: kohteiden välisten sijaintien suhde.
2. Geometriasta eli geometrisestä yksilötyypistä: piste, viiva, alue, kappale, pikseli, vokseli.
3. Koordinaateista: kohteen sijainti koordinaatistoon sidottuna.

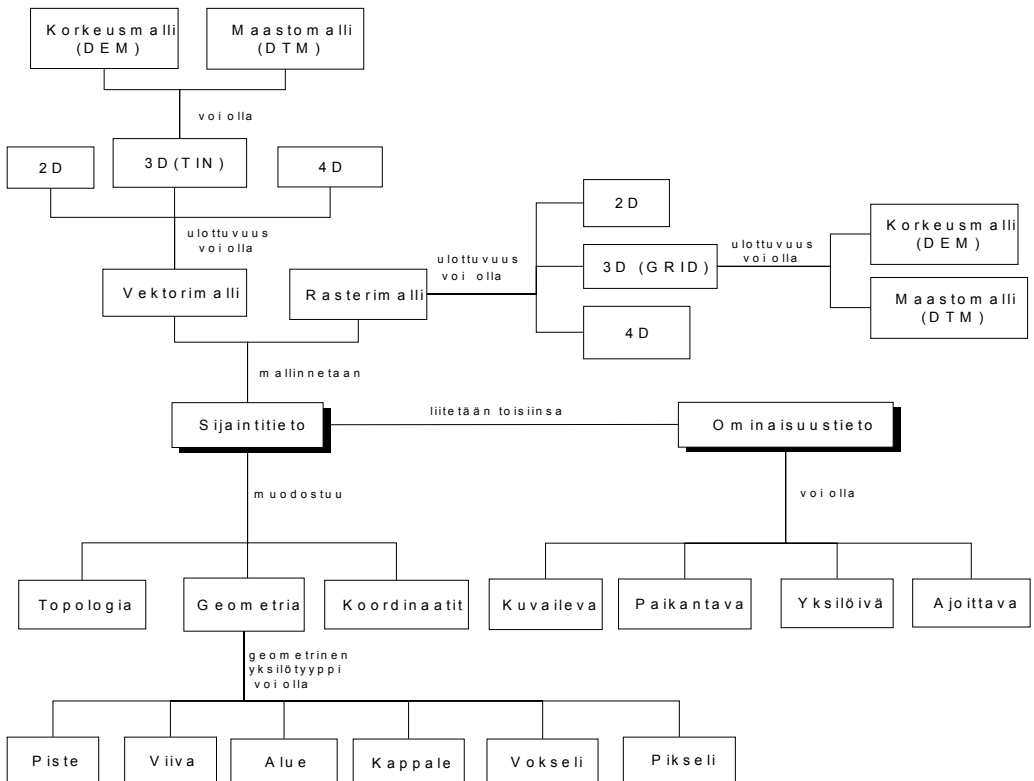
Sijaintitieto ilmoitetaan joko vektori- tai rasterimallin avulla. Ominaisuustiedot (attribute data) ovat kohteen ominaisuuksia. Tiedot voivat olla luonteeltaan kuvailevia, paikantavia,

¹ Yhdysvaltojen ohjesäännöistä ja muusta materiaalista saa kattavan kuvan erilaisista sotilaallisista maastoanalyyseistä, lisäksi materiaali on julkista ja erittäin ajantasaista. Muista maista tällaisia tietoja ei ole käytettävissä. Esittely on referenssinä tässä työssä esitetylle suomalaiselle ratkaisutavalle.

² Yhdysvalloissa päätös maastoanalyysien toteuttamisesta COTS-teknologialla on tehty vaiheittain vuosina 1997 - 2002 viimeimpänä Joint Mappin Tool Kit keväällä 2002. Pääosa armeijoista perustaa toiminnot edelleen itse kehitettyihin järjestelmiin Suomen tavoin, joten COTS teknologiasta on tehty katsaus työhön sen mahdollisuuksien osoittamiseksi.

³ [PATU98] on merkitty useassa kohdassa lähteeksi, koska siihen on koottu esitys Puolustusvoimissa käytettäviksi esitetyistä käsitteistä. Alkuperäislähteinä ovat olleet usea alan perusteos.

yksilöiviä tai ajoittavia [Lau92] [Lon99]. Ominaisuustietoja ylläpidetään yleensä tietokannan tauluissa [vrt Mol98] eivätkä ne poikkeaa luonteeltaan muista tiedoista. Niitä voidaan kuitenkin käyttää monipuolisesti yhdistettynä kohteen sijaintitietoon.



Kuva: Paikkatiedon yleinen jaottelu [PATU98] Kuva on muodostettu yhdistelemällä usean eri lähdetteen jaotteluja.

Paikkatietoanalyysille on annettu erilaisia määritelmiä.

Spatial Analysis: Analytical techniques whose results depend upon the location of the entities being studied. It Includes the study of locations, dimensions and attribute values of geographic phenomena. [Int95]

Paikkatietoanalyysi tarkoittaa paikkatiedon tarkastelua tietokoneavusteisesti siten, että pyrkimyksenä on löytää tai testata paikkatietoa hyödyntäviä malleja jonkin ilmiön esittämiseksi. Tulkinta yhdistää paikkatietoanalyysikäsitteen alle sekä paikkatietoon kohdistuvat tiedonhallinta- ja laskentaoperaatiot, tiedon ja laskentatulosten visualisoimisen kuvaruudulla että koko analysointiprosessin ja sen tulosten visuaalisen tarkastelun. [PTKper]

Paikkatietojärjestelmissä yhdistetään ja jalostetaan tietoa. Tähän käytetään mm. matemaattisia, tilastollisia, geometrisia ja topologisia (loogisia) menetelmiä ... tässä tutkimuksessa analyysi ymmärretään paikkatiedon tutkimisena käyttämällä erilaisia menetelmiä. [Lap94]⁴

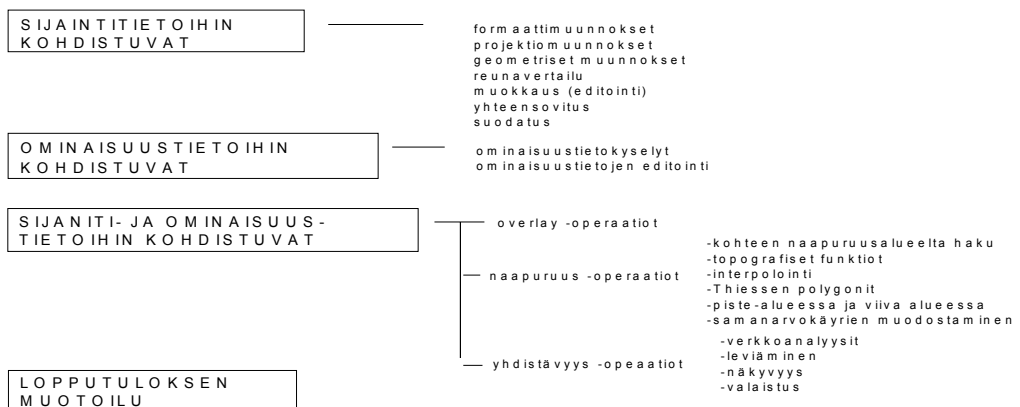
⁴ [Lap94 s.57] esittää, että sana analyysi on itse asiassa harhaanjohtava. Analyysillä tarkoitetaan hajottamista, purkamista osiin ja sen vastakohtana on synteesi, kokoaminen.

Määrittelyä vaikeuttaa se, että eri tieteenalat ja toiminnot käyttävät hyväksi paikkatietoja omilla analyysityypeissään. Maantieteilijän, tilastotieteilijän, kaavoittajan, ilmakuvi-analysoijan, markkinoijan tai sotilaan lähestymistavat paikkatietoanalyysille ovat jo lähtökohdaisesti erilaiset.⁵ Alunperin analyysin käsite paikkatietojärjestelmissä on syntynyt tarkoittamaan kvantitatiivisen maantieteen käyttämää analyysia (spatial analysis) [Hug80] [vrt Wor95].

Paikkatietoanalyysien nähdään muun muassa:

- Jalostavan paikkatietoja päätöksenteossa ja suunnittelussa paremmin käytettävään muotoon (tiedon jalostaminen) [Art95b].
- Tukevan eri alojen hyväksikäyttösovelluksia (tiedon liittäminen)
- Tuottavan lisäarvoa (paikka)tietojärjestelmille (tietotekniikka).
- Tuovan esiin uutta tietoa tarkasteltavista kohteista (tilastollinen).
- Mahdollistavan tietojen älykäs yhdistäminen (looginen).
- Mahdollistavan uusien ulottuvuuksien kuten ajan liittämisen paikkatietoon (evolutionäärinen).

Aronoff [Aro91] jaottelee paikkatietoanalyysit analyysitoimintojen mukaan huomioimatta sitä, tehdäänkö analyysit vektori vai rasteriaineistoilla. Hän esittää neljä pääryhmää: (1) sijaintitiedon analysointi, (2) ominaisuustiedon analysointi, (3) sijainti- ja ominaisuustiedon analysointi ja (4) tulostuksen muotoilu.



Kuva: Aronoffin [Aro91] luokittelutapa pelkistettynä. [PATU98]

⁵ [Lap94 s.56] toteaa, että jo 1994 paikkatietoanalyysi oli eri alojen soveltajien käyttämänä laajentunut käsittämään “melkein mitä tahansa sijainti- ja ominaisuustietojen tarkastelua”.

Sijaintitiedon käsittelyssä ja analyyseissa toteutetaan aineistojen käytettävyyteen liittyviä tehtäviä kuten formaattimuunnokset eri paikkatietojärjestelmien välillä, geometriset ja projektiomuunnokset eri koordinaatistojen välillä, aineistojen yhteensovitus ja reunavertailu, muokkaus ja suodatus. Käyttäjälle analyyseiden lopputulokset näkyvät aineisto- ja painotuotteiden visuaalisena ja numeerisena laatuna sekä yhteensopivuutena. Ominaisuustietojen käsittely ei poikkea normaaleista tietokantaoperaatioista. Muotoina voivat olla esimerkiksi editointi, kyselyt, yhdistelyt ja erilaisten tunnusten ja tunnuslukujen määrittely. Yhdistetyt sijainti- ja ominaisuustietoihin kohdistuvat analyytit sisältävät pääosan varsinaisista paikkatietoanalyyseista. Overlay -analyyseillä tarkoitetaan karttatasojen päällekkäin asettelua ja vastinkohteiden ominaisuuksien vertailua. Rasteriaineistolla tämä tarkoittaa vastinpikseleiden vertailua aritmeettisin ja loogisin operaatioin. Vektoriaineistolla overlay -analyysi johtaa alueiden leikkauspisteiden laskemiseen, muodostuneiden uusien alueiden muodostamiseen ja haluttuja ominaisuuksia edustavien alueiden etsimiseen. Analyysimenetelmä on suoraviivainen tapa yhdistää erilaisia aineistoja ja suorittaa niille operaatioita. [PATU98] Sotilaallisia esimerkkejä ovat maaston kulkukelpoisuus, helikoptereiden laskeutumisaluet ja tulialueiden yhdistely.

Naapuruusanalyyseissä analyysi kohdistuu kohteen niin sanotulla naapuruusalueella olevaan tietoon. Vektorimuotoisille kohteille naapuruusalue määritellään etäisyyden avulla puskurivyöhykkeellä (buffer), esimerkiksi pisteelle säteen avulla. Vektoriaineistoilla naapuruusanalyysi palautuu yleensä overlay -ongelman ratkaisuun. Sotilaallisia sovelluksia naapuruusanalyyseille ovat esimerkiksi maaston kohdistuvien suureiden, kuten maaston liikettä edistävän suunnan määrittely ja taistelukentän erilaisiin tekijöihin liittyvät analyytit. Naapuruusanalyysejä Aronoffin [Aro91] mukaan ovat:

- Haku/etsintä (search), jossa kohteelle annetaan uusi arvo sen naapuruusalueella olevien kohteiden arvojen käsittelyn perusteella.
- Point-in-polygon, jolla etsitään ne pisteet ja Line-in-polygon, jolla etsitään ne viivan osat, jotka ovat määritetyn alueen sisä- tai ulkopuolella.
- Topografiset funktiot (topographic functions), joilla lasketaan topografisia suureita tietyssä paikassa tai paikan naapuruusalueella.
- Thiessen monikulmiot, joilla muodostetaan kutakin pistettä lähinnä oleva alue eli vaikutusalue.
- Interpolointi (interpolation), jolla määritetään tuntemattomille pisteille arvoja naapuruusalueella olevien tunnettujen arvojen avulla.
- Samanarvokäyrien muodostaminen (contour generation), jolla havaituista tai interpoloiduista pisteistä muodostetaan samanarvokäyrät.

Yhdistävyyssanalyysit perustuvat funktioon, jolla kumulatiivisesti lasketaan ominaisuuksien arvoja kuljettaessa kohteena olevan alueen läpi. Näitä ovat: [Aro91]

- Jatkuvuusmitat (contiguity measures), joilla etsitään halutun kokoisia ja muotoisia alueita lähtöaineistoista.
- Läheisyys (proximity), joilla mitataan kohteiden välisiä etäisyyksiä.
- Verkko (network), jota käytetään reittioptimointiin, kuormituksen laskemiseen ja resurssien sijoitteluun.
- Leviäminen (spread), jolla tarkastellaan ilmiöitä, jotka kumuloituvat etäisyyden mukaan ja joiden avulla luodaan niin sanottuja kustannuspintoja [vrt Bur98].
- Etsintä (seek/stream functions), jolla etsitään kustannuspintojen avulla asetettujen kriteerien perusteella edullisimpia reittejä.
- Näkyvyys (intervisibility), jolla etsitään alueita tai kohteita, jotka näkyvät tai eivät näy katselupaikasta tai -alueelta.
- Valaistus (illumination), jolla luodaan valolähteen valaisun aiheuttama varjostus 3D pinnalle.
- Perspektiivinäkymä (perspective view), jolla tarkastellaan maanpintaa muualta kuin vertikaalisesta suunnasta, niin sanottu 2½D tarkastelu.

Lopputuloksen muotoilulla tarkoitetaan toimenpiteitä, joilla pyritään hyvään kartografiseen esitykseen [Bur98]. Näitä ovat muun muassa värien ja esitysgrafiikan käsittely, automaattinen yleistys eri mittakaavoissa ja tekstien asettelusäännöt [PATU98].

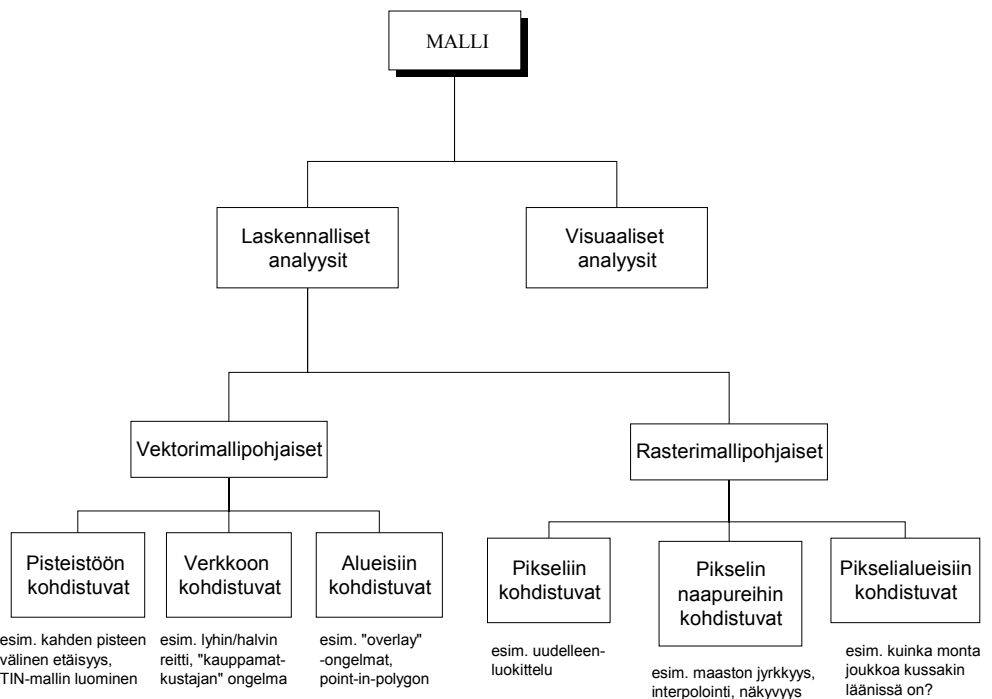
Laurini [Lau92] käyttää jaotteluperusteena verkko-, alue- ja rasterianalyyseja. Malleina ovat (1) pisteet, (2) pisteistä ja viivoista muodostuvat alueet ja aluejaot, (3) solmuista ja linkeistä muodostuvat verkot sekä (4) pikseleistä ja vokseleista⁶ muodostuvat matriisit, hiilat ja rasterit. Lähtökohtana ovat paikkatietojärjestelmät ja niiden tavat käsitellä paikkatietoa. Keskeisiä ovat topologian käsite ja tapa, jolla järjestelmä kykenee prosessoimaan tietoa. Topologialla tarkoitetaan kohteiden välisten riippuvuussuhteiden määrittämistä, joita käytetään kun sovellukset vaativat monimutkaista laskentaa verkoissa: esimerkiksi reittioptimoinnissa spagettimallisesta paikkatietoaineistosta muodostetaan ensin matemaattinen graafi, jota käytetään sitten optimoinnin toteuttamiseen erilaisilla algoritmeilla. Topologian yleiset tekijät ovat muodostuminen (bounding, co-) eritasoisten kohteiden välillä, viereisyys (adjacency) kahden samanlaisen kohteen välillä ja yhdistävyys (connectivity) verkoissa. Näiden avulla erotellaan erikseen omiksi analyysiluokikseen: (1) verkkotoiminnot, (2) alueisiin ja aluejakoihin kohdistuvat toiminnot sekä (3) rasteritoiminnot.⁷ Nämä voidaan jakaa edelleen perusoperaatioihin, niistä koottuihin varsinaisiin analyysitoimintoihin ja paikkatietosovelluksiin [Art95b]. Jaottelussa analyysitoiminnot koostuvat useita pe-

⁶ Vokselilla tarkoitetaan pikseliä, jolla on myös korkeustieto.

⁷ [PTK per] mukaan. [Lau92] ei esitä jaottelua näin pelkistetyssä muodossa vaan topologian määrittelyyn käytetään merkittävästi tilaa ja sitä pidetään keskeisenä lähtökohtana perusoperaatioille ja edelleen paikkatietoanalyysille.

rusoperaatioita yhdistelemällä älykkäällä tavalla, joten se antaa tilaa sovelluskohtaisille määrittelyille ja sopii siten tämän työn viitekehyyksi. Topologia voi olla jo valmiina tietokannassa, tai se voidaan muodostaa laskemalla kun analyysi toteutetaan.

Artimon [Art95a] [Art95b] analyysien jaotteluperusteena on käytetty tietomallia soveltaen Aronoffin esittämää yksityiskohtaista jaottelua. Lähtökohtana on analyysien jakaminen laskennallisiin ja visuaalisiin. Visuaalisessa analyysissä ihmisen silmien ja aivojen yhteistoimintaan perustuva analyysimenetelmä käyttää tietomallina analogista karttaa, eikä ole riippuvainen visualisoinnin taustalla olevan numeerisen kartan rakenteesta. Näkemiseen ja sen ymmärtämiseen liittyviä tekijöitä on huomioitava merkittävä määrä, ennen kuin analyysin tulos on edes mahdollista muodostaa oikein; kartalla on helppo valehdella. Laskennalliset analyysit jaetaan edelleen vektorimalli- ja rasterimallipohjaisiin analyysihin.



Kuva: Kuva: Artimon [Art95b] tapa jakaa paikkatietoanalyysit tietomallien perusteella. [PATU98]

Pisteistöön kohdistuvia analyysejä ovat muun muassa kahden pisteen välisen etäisyyden mittaaminen, lähimmän naapurin etsiminen, TIN-mallin muodostaminen sekä interpolointi pisteistä käyriksi [Bur98]. Pisteaineiston tilastolliseen analysointiin on sekä paikkatieto-ohjelmiin tehtyjä kolmannen osapuolen laajennuksia että omia erikoistuneita ohjelmia, jotka ovat yhteensopivia yleisimpien GIS-tuotteiden kanssa [Lon99]. Verkkoon kohdistuvat joko luonnonverkkoihin tai rakennettuihin verkostoihin, jotka voivat olla suunnattuja

tai suuntaamattomia. Verkot koostuvat solmuista ja sivuista, joilla on yleensä tietty ominaisuus kuten siirtymisaika, siirtymiskustannus, matka, nopeus tai todennäköisyys [vrt Luk94]. Verkkoanalyysit perustuvat operaatioanalyysin osana olevaan verkkoteoriaan, jossa ratkaisuna haetaan yleensä optimointia, analyysseja voidaan toteuttaa myös iteraatiivisesti käyttäjän kanssa. [Jan01] Tyypillisiä verkkoanalyyssejä ovat lyhimmän tai nopeimman reitin laskeminen, kauppamatkustajan tai sijoitteluongelman ratkaisu ja tavoitettavuusanalyysi [Lon99]. Analyysit toteutetaan usein ohjelmistoihin räätälöimällä, mutta usealta COTS-toimittajalta on saatavilla valmiita perusfunktioita käyttöön. Alueisiin kohdistuvat analyysit ovat GIS-ohjelmistojen perinteisiä analyyssejä, joista useat ovat laskentatehon lisääntyttyä korvautuneet rasterianalyysillä [vrt Mol98]. Rasteripohjaiset analyysit noudattelevat jaotellussa pääosaltaan Map Algebran [Tom90] yhteydessä esitettyjä.

3.1.2 Rasterianalyysi ja overlay-operaatio

Dana Tomlin [Tom90] kehitti 1980-luvulla niin sanotun Map Algebran. Malli ei ota kantaa tiedon tekniseen esitystapaan vektori- tai rasterimallin avulla, mutta tekniikka on vakiintunut rasterianalyysseissa käytettäväksi ja muodostunut teollisuusstandardiksi. Lähtökohtana on maantieteilijöiden tapa piirtää erilaisia tekijöitä läpinäkyville papereille samassa mittakaavassa ja tehdä niistä yhdistelmiä asettamalla paperit päällekkäin. Tekninen nimitys on Overlay-operaatio⁸, jossa eri tekijöitä nimitetään tasoiksi (map layer). Käytettävä ohjelmisto vastaa tasojen saattamisesta samaan mittakaavaan ja koordinaatistoon sekä eri karttatasojen resoluutioiden huomioimisesta. Myös vektoriaineistot voidaan huomioida rasteroimalla ne.

Funktioityypit jaotellaan niiden vaikutusalueen mukaisesti: [Tom90]

- LOCAL: kohdistuu yhteen pikseliin yhdellä tai usealla tasolla.
- FOCAL: kohdistuu pikselin määritettyyn naapuruusalueeseen yhdellä tai useammalla tasolla.
- ZONAL: kohdistuu aluejakoon (luokitteluun) ja sen perusteella tehtäviin laskutoimituksiin toisilta tasoilta.
- INCREMENTAL: kuvaa pikselin liittymistä kokonaisuuteen kuten virtausuuntaa, kenttävoimakkuutta tai vastaavaa tekijää.

Perusfunktioita on jo kirjassa määritelty lähes 70 erilaista ja eri ohjelmistoissa näitä on edelleen täydennetty ja yhdistelty. Malli ei rajaa erilaisia loogisia tietokantatyyppejä operaatioita käytön ulkopuolelle. Yhteen pikseliin kohdistuvat operaatiot (LOCAL) vertaavat yhdellä tai useammalla tasolla olevia vastinpikseleitä. Operaatiot voivat olla esimerkiksi kahden tai useamman karttatason matemaattisia tai loogisia operaatioita tai vertailumalli-

en käyttämistä. Naapuruusanalyysi (FOCAL) kohdistuu kohteen niin sanotulla naapuruusalueella olevaan tietoon. Naapuruusanalyysejä ovat muun muassa ruutumuoisen korkeusmalliin pohjautuva maaston jyrkkyyden tutkiminen, interpolointi, kustannuspinnan laskenta ja sitä kautta esimerkiksi edullisimman reitin haku. Analyysit voivat perustua geometrian lisäksi myös aikaan, yhteyteen tai vastaavaan tekijään. Aluejakoon perustuvissa analyyseissä (ZONAL) yhdistetään kaksi tai useampia karttatasoa, joista lähtötasot kuvaavat tarkasteltavia kohteita ja referenssitaso vertailun pohjana olevaa aluejakoa. Karra-algebran kuvausrakenne on otettu käyttöön useiden ohjelmistojen rasterianalyysimoduleissa kuten ESRI GRID ja Intergraph MGE Grid Analyst. Termiä käytetään kuitenkin usein harhaanjohtavasti kuvaamaan lähes mitä tahansa yksinkertaista aritmeettista rasterioperaatiota.

Kuvat muodostuvat yleensä rasterimuotoisesta tiedosta, joka on tuotettu matriisiksi "pikseli pikseliltä" kuvaamalla olemassa olevaa todellisuutta. Matriisiin sovelletaan eri tyyppisiä suodatuksia, jolla pyritään korostamaan kartoituksessa tarvittavia ilmiöitä kuten alueiden reunoja tai viivamaisia kohteita. Erilaisia funktiotyyppejä on käytettävissä useita kymmeniä, yksittäisiä funktioita satoja, joista useat soveltuvat myös rasterimuotoiseen paikkatietoanalyysiin. Yksi lähestymistapa on määrittää matriisi, jonka alueelta vaikutetaan tarkasteltavaan pikseliin. Kartankäsittelyssä yleinen matriisikoko on 3x3 pikseliä eli lähinaapuruus tai 5x5 pikseliä eli 24-naapuruus, matriiseja voi myös suunnata ja painottaa. Operaatiossa matriisin tekemä operaation tulos usein palautetaan keskimmäisen pikselin arvoksi. Menetelmällä on mahdollista esimerkiksi analysoida pikselien suuntautumista käyttämällä pääkomponenttitarkastelua eli gradienttisuodatusta, keskiarvoistaa aineistoja eri tunnusluvuilla (smoothing) ja poistaa yksittäisiä esiintymiä yleistyksessä. Näin voidaan hakea myös poikkeamia tai jakaumia suurista aineistoista sekä tehdä muutosvertailuja aineistojen välillä.⁹

⁸ Termille on esitetty suomenkieliseksi käännökseksi muun muassa päällekkäisoperaatiota, mutta termi ei ole vakiintunut.

⁹ Kuvauksessa on käytetty perustana ERDAS Imagine ja ER Mapper ohjelmien toimintaperiaatteita.

3.1.3 Pistemäiset aineistot ja spatiaalilastotiede

Pisteisiin kohdistettuja analyyseja voidaan käyttää aluejakojen johtamisen perustana. Operaatiota kutsutaan lokaaleiksi deterministisiksi metodeiksi, koska ne huomioivat aineiston luonteen vain yksittäisten pisteiden lähiympäristössä. Thiessen - Voronoi polygonoinnissa jokaisen pisteen ympärille muodostetaan polygoni, joka sisältää vain kyseisen pisteen sisältäen sen alueen, joka on lähempänä ko. pistettä kuin muita pisteitä. Perusmenetelmässä muodostetaan ensin pisteiden välille lähimmät naapurit yhdistävät janat ja näille normaalit, jotka sitten katkaistaan leikkauspisteistään [Bur98]. Koska perusmenetelmä ei huomioi ilmiön luonnetta tai pisteiden samankaltaisuutta, voidaan menetelmää kehittää painottamalla normaalien sijaintia yhdysjanoilla (inverse distance) [vrt Lau92 proximal region]. Delanay-kolmioinnissa luodaan edellisen duaali, jossa alkuperäiset pisteet pysyvät solmuina [Bur98]. Tasa-arvokäyrien (contour, spline) määrittelyssä käytetään esimerkiksi funktioita, jotka muodostavat rajoitetulta alueelta kerrallaan pisteiden arvoja kuvaavan käyrästön, joka myöhemmässä vaiheessa vielä pehmennetään (b-splines) [Lon99]. Funktiot jäljittelevät aiempaa manuaalista tapaa käyttää lyhyttä käyrästäopiirtämismallinetta. Näin saadaan syntymään muun muassa korkeuskäyrät [Bur98] [Lau92].

Spatiaalisessa tilastotieteessä käsitellään aineistoja, joilla on ominaisuustietojen lisäksi paikka- ja aikakoordinaatit. Suurin ero klassiseen tilastotieteeseen syntyy paikkaan liittyvien tietojen keskeisyydestä käsittelyssä. Lähtökohtana on näytearvojen riippuvuus sijainnistaan joko globaalisti tai suhteellisesti, jolloin spatiaalinen autokorrelaatio on olemassa. [Cre91] Päämääränä voi olla esimerkiksi estimoida muuttujien arvo koko avaruudessa käyttäen hyväksi tunnettujen arvojen tilastollista analyysia. Tyypillisiä selvitettäviä seikkoja ovat havaintopisteiden väliarvot (interpolointi), havaintojen jatkuvuus alueen ulkopuolelle (ekstrapolointi), selittävät jakaumafunktiot ja näihin liittyvien epävarmuustekijöiden arviointi, erityisesti todennäköisyys, jolla muuttujan arvo alittaa tai ylittää tietyn raja-arvon, [Bur98]¹⁰ ja pisteiden klusteroituminen [vrt Lau92]. Sotilaallisissa kysymyksissä voidaan olettaa ympäristötieteiden tapaan, että esimerkiksi joukkojen taktiikkaa ei voida mallintaa deterministisesti, mutta joukon osien välillä on olemassa organisaatiosta ja taktiikasta riippuva autokorrelaatio. Spatiaalilastotieteelliset menetelmät voivat tarjota tulevaisuudessa uudenlaisia työkaluja muun muassa vihollistilanteen arviointiin.

Spatiaalisella autokorrelaatiolla tarkoitetaan sitä, että kaksi näytearvoa lähellä toisiaan ovat yleensä enemmän samankaltaisia kuin kauempana toisistaan sijaitsevat näytearvot. Tätä ei kuitenkaan voi kuvata yhden muuttujan tilastollisilla menetelmillä, joten tyypillinen

¹⁰ [Bur98]:aa on täydennetty Eeva-Liisa Laineen luennoilla Maa 6.453 lukukaudella 2000-01. Bailey [Bai95] käsittelee tässä kohdassa lähinnä jatkuvia aineistoja.

tapa tutkia autokorrelaatiota on laskea variogrammi useaan suuntaan ja käyttämällä sitä anisotropian¹¹ määrittämiseen [Cre91]¹². Määrittämällä syntyvä kertoimen arvo eri suuntiin, voidaan määrittää arvojen anisotropia. [Bai95].

Lähtöaineistot voidaan jakaa: [Cre91]¹³

- Geostatistiset aineistot, joissa satunnaismuuttuja kuuluu yhtenäiseen alueeseen, esimerkiksi maaperäaineisto.
- Hila-aineistot [lattice data], joissa satunnaismuuttuja on säännöllisen hilan piste, esimerkiksi korkeusmalli tai satelliitti-ilmakuva.
- Pisteprosessit [point patterns], joissa satunnaismuuttuja on yksittäisen tapahtumisen sijainti, esimerkiksi havaittu vihollisjoukon osa.
- Objektit, joissa satunnaismuuttuja muodostuu itse joukosta satunnaismuuttujia [random set], esimerkiksi havaittu vihollisjoukko kokonaisuutena.

Yksittäisinä tehtävinä voidaan erotella aineiston merkittävien piirteiden kuvaus, keskiarvon estimointi globaalisti ja lokaalisti, muuttujan arvon estimointi tietyssä pisteessä, muuttujan arvon käyttö toisen muuttujan estimoinnin parantamiseksi ja arvojen jakauman estimointi globaalisti ja lokaalisti, lohkokeskiarvojen estimointi sekä eri estimaattoreiden epävarmuuden määrittäminen¹⁴. Analyysiprosessi muodostuu tyypillisesti (1) muuttujien spatiaalisen riippuvuuden kuvauksesta ja niiden suhteesta muihin aineistoihin, (2) spatiaalisen jakautumisen todennäköisyysmallin rakentamisesta, (3) muuttujien arvojen estimoinnista halutuissa pisteissä, (4) muuttujan todennäköisyysjakautumien mallintamisesta ja poikkeamariskin arvioinnista, (5) poikkeama-alueiden rajaamisesta ja (6) spatiaalisen epävarmuuden mallintamisesta [Cre91 vrt ed.]. Ryhmittymisasteessa (clustering) määritetään pistejoukolle keskiarvopiste ja kuvataan aineiston jakautuminen sen ympärille esimerkiksi normaalietäisyytenä [Bur98]. Lähimmän naapurin analyysissä (nearest neighbour) verrataan pisteen tiheyttä lähimmän naapurin etäisyyden keskiarvoon [Lau92]. Yleisin interpolointimenetelmä on Kriging¹⁵, joka on kokoelma yleistettyjä lineaarisen regression tekniikoita [Bai95] ja jonka tavoitteena on minimoida estimaation varianssi verrattuna kovarianssimalliin ja antaa näin tutkitusta muuttujasta paras lineaarinen harhaton estimaatti [Sri96]. On olemassa myös epälineaarisia Kriging-tekniikoita. Menetelmä sopii myös aineiston rakenteen tutkimiseen indikaattori Kriginginä [Goo97]. Mikäli tavoitellaan aineiston

¹¹ Anisotropialla tarkoitetaan pistejoukon ominaisuutta, jossa semivariogrammeilla määritetty spatiaalinen korrelaatio muodostaa "notkahduksen" johtuen esimerkiksi poikkeamasta näyteaineistossa. Piirrettä käytetään esimerkiksi malminetsinnässä, mutta sillä voisi määrittää myös sotilaallisesti maaston merkityksellisiä piirteitä kuten joukkojen painotuksia verrattuna perusratkaisuihin.

¹² Yksinkertaistettuna kyse on poikkeamien systemaattisesta etsimisestä spatiaalitulostollisten menetelmien avulla.

¹³ [Cre91] Täydennetty Eeva-Liisa Laineen esittämällä jaottelulla Maa 6.453 lukukaudella 2000-01.

¹⁴ Laine käyttää tätä koonnosta tehtävistä.

¹⁵ Kriging on yleisesti käytössä muun muassa korkeusmallien ja maaperäaineistojen interpoloinnissa pistehavainnoista. Pisteprosesseista esimerkkinä ovat esimerkiksi klusteroituvuus ja aineistojen korrelaatio.

oikeaa jakaumaa ja spatiaalista jatkuvuutta lokaalin tarkkuuden kustannuksella, voidaan käyttää geostatistista simulointia, jossa spatiaalinen epävarmuus määritetään laskemalla useita toisistaan riippumattomia simulointeja ja käyttämällä näiden tuloksia rakenteiden ja kynnyksarvojen määrittämiseen [Sri96]. Menetelmä voisi olla mahdollinen esimerkiksi joukkojen taisteluyhtälöiden tukena, kun joukko joudutaan "hajottamaan" maastoon alayksiköiksi ennen laskennan toteuttamista.¹⁶

3.1.4 Verkkoon kohdistuvat analyysit

Luonnossa ilmenevää verkottuvaa rakennetta [Hug80] voidaan kutsua verkostoksi (network) ja siitä tehtyä mallia verkoksi tai graafiksi (graph) [Lau92]. Verkostoissa sijaintitarkkuus on yleensä vähempimerkityksinen kuin muodostuva topologinen rakenne ja muodostuva kapasiteettiin perustuva virtaus (flow) verkon solmujen (node, vertex) välillä sivuja (edge, arc, link) pitkin [Bur98]. Verkko-ongelmiin on etsitty matemaattisia ratkaisuja 1700-luvulta lähtien ja verkkojen sovelluksia käytetään nykyisin ennen kaikkea logistiikassa, sähkönjakelussa ja tietoliikenteessä [Taha97]. Paikkatieto-ohjelmistoissa on ollut jo pitkään valmiita network-moduleita. Verkko kuvataan perinteisesti yhteys-, etäisyys- tai vastaavuusmatriisina, josta voidaan arvioida saavutettavuutta ja reittien pituuksia. Paikkatietokannassa käytössä on ohjelmakohtaisia topologisia rakenteita, joihin laskenta perustetaan [Lau92]. Verkko lasketaan ohjelmistoissa lähtöaineistojen perusteella erikseen, joten aineistojen päivittäminen edellyttää usein koko verkon laskentaa uudelleen¹⁷. Tämä aiheuttaa sen, että monimutkaistenkin optimointialgoritmien lisäksi myös uuden graafin muodostaminen kuluttaa aikaa ja laskentaresursseja.

Tyypillisiä verkossa tehtäviä analyyseja ovat: [Lau92] [Bur98] [Lon99]¹⁸

- Kustannusoptimointi: lyhimmän, nopeimman, halvimman reitin ongelma.
- Verkon virittävän minimikustannuksisen puun määrittely.
- Verkon keskuksen eli etäisyyssumman minimin määrittely.
- Kauppamatkustajan ongelma: käynti kaikissa solmuissa minimikustannuksin.
- Kiinalaisen postinkantajan ongelma: käynti kaikkia sivuja pitkin minimikustannuksin.
- Kapasiteettimääritys: maksimivirtausongelma.
- Minimikustannuksiset virtausongelmat, esimerkiksi jakeluongelma.
- Matching-ongelmat, viereisten solmujen yhteensopivuus.
- Sijoitteluongelmat: palvelupiste, jakelukeskus.

¹⁶ [Sri96] ja [Goo97] perustaa on täydennetty Eeva-Liisa Laineen luennot Maa 6.453 lukukaudella 2000-01.

¹⁷ Esimerkiksi PATU-projektissa toteutetussa verkko-optimointiprototyypissä graafin laskenta-aika on noin satakertainen optimointitehtävän ratkaisuun verrattuna.

¹⁸ Lähteitä on täydennetty Anita Lukka, luentomoniste TKK Maa 6.453 ja Maanpuolustuskorkeakoulun yleisesikuntaupseerikurssin 1994-97 operaatioanalyysin opetusaineistoilla. Merkittävälle osalle kuvattuja ongelmia on helposti löydettävissä sotilaallisia sovellusesimerkkejä.

- PERT-verkko: kriittisen polun ongelmat.
- Usean käyttäjän samanaikaiset reititysongelmat siten, ettei liike suuntaudu samoja sivuja pitkin tai samoihin solmuihin yhtä aikaa.

Laskenta-ajat ovat verkkoanalyseissa usein pitkiä. Laskennan nopeuttamiseksi verkolle voidaan laskea valmiiksi esimerkiksi lyhimät tiet solmujen välille erilaisten painotusten suhteen [Luk94]. Älykkäissä algoritmeissa voidaan myös käyttää apuna erilaisia heuristiikkoja, jotka löytävät nopeasti ainakin lähes optimaalisen ratkaisun. Näitä ovat esimerkiksi suunnatut hakualgoritmit [Bur98], joissa ratkaisua haetaan painottaen vain estimoidusta suunnasta, yhdenaikaiset haut [MORS94], joissa ratkaisua haetaan lähtien alku- ja loppupisteistä sekä tiedetyistä tai arvatuista pisteistä yhtä aikaa polkuja lyhentämällä ja ennalta laskettujen muuttumattomien pisteiden tai osapuiden käyttö [Luk94]. Reitin käsittelyä voidaan myös nopeuttaa esimerkiksi reittiä rakentavilla säästömalleilla tai reittiä parantavilla evoluutiomalleilla [Taha97], joiden perustana on jokin tiedetty ratkaisu ja jonka parannukseen määritetään esimerkiksi raja-aika tai kehityskierrosmäärä. Kaksi- tai useampivaiheisissa ratkaisuissa käytetään osareittejä ja niiden ryhmittelyä. Iteratiiviset ratkaisut, joissa voidaan käyttää tukena käyttäjän iterointia esimerkiksi välipisteiden muodossa, ovat mahdollisia ja sotilaallisesti usein käyttökelpoisia.¹⁹

Paikkatieto-ohjelmat sopivat verkko-ongelmien ratkaisuun, vaikka itse laskenta ei varsinaisesti tarvitse muita spatiaalisia ominaisuuksia topologian lisäksi. Ohjelmistot tarjoavat käyttöliittymän ja rakenteen reittiin liittyvien lähtötietojen keruuseen, tallennukseen, editointiin ja hakemiseen mukaan lukien ominaisuustietojen hallinta relaatiotietokannassa²⁰, mahdollisuuden tulosten visualisointiin ja sen kautta tapahtuvaan tulosten vertailuun ja analysointiin, mahdollisuuden kytkeä muuta informaatiota kuten osoiteyhteyksiä tai reitiohjeita²¹ tulosten hyödynnettävyyden parantamiseksi, rajoitetun määrän vakioituja ja testattuja perusalgoritmeja²² sekä vakioidun yleisen toiminnallisuuden osana sovelluksia. Sovelluksen toiminta voidaan jakaa toimintaprosessin mukaisesti (1) lähtöaineistojen muodostamiseen ja tarkistamiseen eheyden osalta, ominaisuustietojen hallintaan ja todellisuuden mallinnukseen, (2) graafin muodostamiseen ja esikäsittelyihin, (3) optimoinnin toteuttamiseen annetuilla ehdoilla sekä (4) tulosten esittämiseen ja analysointiin. Reittioptimointisovelluksia on kehitetty laajalti erilaiseen kuljetuslogistiikkaan, energianjakeluun,

¹⁹ Anita Lukka, luentomoniste TKK Maa 6.453 täydennettynä Maanpuolustuskorkeakolun yleisesikuntaupseerikurssin 1994-97 operaatioanalyysin opetusaineistoilla ja esimerkeillä. PATU reittioptimointiprototyypin 2001 kokemukset.

²⁰ Sotilassovelluksissa tämän merkitys on keskeinen, koska reitin ominaisuudet muuttuvat nopeasti. Tietilanteen ylläpito on jatkuva tehtävä esikunnassa.

²¹ Pääosa kuvatuista toiminnosta on toteutettu PATU reittioptimointiprototyypissä.

²² Esimerkiksi ESRI ArcInfo ja Intergraph MGE network-modulit.

verkostojen ylläpitotehtäviin [Lau92], liikepaikkasuunnitteluun ja yksittäisiin kuluttajille tar-
koitettuihin karttasovelluksiin.²³

Sotilaallisesti tarkasteltuna reittioptimoinnissa on otettava huomioon useita muista sovel-
luksista poikkeavia piirteitä. Verkon pohjana oleva todellisuus muuttuu nopeasti yhteyk-
sien käytettävyyden osalta: yhteyksiä tuhoutuu, niitä varataan käyttöön, reiteillä olevat ris-
kin vaihtelevat tilanteen ja esimerkiksi valaistusolosuhteiden muuttuessa ja uusia, var-
mentavia reittejä syntyy rakentamisen seurauksena. Lisäksi liike voi siirroissakin suun-
tautua tilapäisesti myös maastoa pitkin. Toisaalta normaaliaikojen järjestelyt kuten yk-
sisuuntaisuudet tai liikennerajoitukset lakkaavat merkitsemästä ja yksinkertaistavat ana-
lyysin vain kulkutekniseen toteutukseen. Lähtötietoihin liittyy suuriakin epävarmuustekijöi-
tä, joihin liittyviä riskejä on vaikea arvioida ja yhteyksien tukirakenne muuttuu dynaamises-
ti siten, että siihen voidaan myös vaikuttaa opastuksilla sekä täydennys- ja korjauspalve-
luilla. Analyyseissa käytetyt priorisointikriteerit muuttuvat tehtävän mukaisesti; tekijät kuten
uhanalaisuuden vaikutus verrattuna riskinsietokykyyn muualla, nopeuden merkitys koko
tehtävän täyttämisen kannalta, kuljetusmatkan merkityksellisyys, tavoitteen saavutetta-
vuuden varmuus ja erilaisten vaihtoehtojen määrä ovat vahvasti tilannesidonnaisia tekijöi-
tä. Koska tietojärjestelmillä voi vain harvoin olla kaikki optimointiin liittyvät tekijät syötetty-
nä ja reaaliaikaisesti tiedossa, optimointi harvoin onnistuu: maahanlaskut, miinoitteet,
kaasusaasteet ja omien joukkojen toiminta vaativat reaaliaikaista tilannekuvaa, mutta
usea tekijä ratkeaa vain ihmisen intuitiivisella päättelyllä. Lisäksi tilanteet ovat usein ainut-
laatuisia ja perusteet saattavat muuttua tulosten käytön aikana. Luetelluista syistä johtuen
optimointi jää käytännön tilanteissa aina vaillinaiseksi ja iterointi²⁴ voi usein johtaa nope-
ammin käyttökelpoisiin tuloksiin. Toisaalta optimoinnin käyttö rinnalla voi tuottaa lisäarvoa
ei-ilmeisten yllättävien ratkaisujen tuottamisessa tai riskien ja vaihtoehtojen arvioinnissa.

²³ Anita Lukka, luentomoniste TKK Maa 6.453 ja Dipoli GIS-analyysit, Virrantaus luentomoniste TKK Maa 6.453, PATU-
projekti ohjelmistoselvitykset kevät 2001.

²⁴ Iteroinnilla viitataan tässä tapaan, jossa käyttäjä määrittelee vaihtoehtoisia reittejä joko kokonaan tai esimerkiksi tietyn koh-
dan läpi ja tietokone esittää näiden reittien mallissa olevat kustannukset. Näin kaikkien reitin valintaan liittyvien tekijöiden ei
tarvitse olla tietokoneen muistissa tai edes mallinnettuna. Myös mallien kannalta reittien kustannusten lasku vertailua varten on
huomattavasti nopeampaa kuin optimointitehtävän ratkaiseminen usein siten, että esitettyä reittiä joudutaan useita kertoja kor-
jaamaan sulkemalla vain käyttäjän tiedossa olevia ei-haluttuja kohtia optimoinnin ulkopuolelle.

3.2 Kaupalliset paikkatieto-ohjelmistot

Alaluvussa on esitetty ohjelmien perusjaottelu ja yleiset ominaisuudet. Liitteessä 3 on tarkempi katsaus ohjelmistoihin, jonka tavoitteena on osoittaa valmishjelmistojen tämän hetkisiä mahdollisuuksia tukea sotilaallista suunnittelua ja johtamista.

Paikkatieto-ohjelmat voidaan jakaa kategorioihin lähtien niiden kehittymisen taustoista. Maantieteessä ongelmana olivat suuret alueet, joiden ilmiötä haluttiin tutkia systemaattisesti [Hug80]. Edellä rasterianalyysin osana kuvattu manuaalinen overlay-tekniikka oli yksi käyttökelpoisista menetelmistä. Esimerkiksi paikkatietoalan alan suurin yritys Environmental Systems Research Institute lähti liikkeelle tältä ongelmaperustalta. Kehitys johti monipuolisiin, kaksiuolotteisia vektori- ja rasteritietoja käsitteleviin ohjelmiin, joissa kartta näytteli merkittävää osaa. Myöhemmin myös korkeus 3D ja aika 4D liitettiin ohjelmiin ominaisuustietojen kautta [Lon99]. Toisaalla tietokoneavusteinen suunnittelu (CAD, Computer Aided Design) kehittyi voimakkaasti 1980-luvulla. Kyseessä oli ensin 2D-kuvien piirto, mutta tietokoneiden laskentatehon kehittyessä myös aito 3D-suunnittelu ja laskennallinen geometria²⁵ (computational geometry) tuli mahdolliseksi [Wor95]. Insinöörien vektoriperusteinen maailma skaalautui tietokoneiden kehittyessä käsittelemään entistä suurempia kokonaisuuksia kuten voimansiirtoverkkoja tai kokonaisia kaupunkeja. Perinteiset kartat nähtiin näissä järjestelmissä yleensä referensseinä, taustakuvina tukemassa orientaatiota ja visualisointia. Esimerkkejä tästä perinteestä ovat AutoDeskin ja Bentleyyn tuoteperheet. Kolmas haara syntyi ilma- ja erityisesti monikanavaisen satelliittikuvauksen kehittyessä yhdeksi paikkatiedon hankinnan valtamenetelmäksi [Mol98]. Syntyi tarve nopeaan monikanavaiseen rasterilaskentaan ja osin automatisoituun orto-oikaistuun digitointiin analyysien perusteella. Sotilaallisesti kyse on tyypillisesti tiedustelusta ja nopeasta kartanvalmistuksesta. Neljäntenä, ei perinteisenä haarana voi pitää simulaattoreita [KESI02], joissa maailma on kehys tapahtumille. Alan kehitys kulkee optimoidusta laskennasta keinomaailmassa kohti aitojen aineistojen nopeaa käyttöä, jotta simulointi voi tukea toimintaa reaalisissa tilanteissa. Taktisissa simulaattoreissa on osin siirrytty COTSGIS-alustojen käyttöön. Yhtenä lähestymistapana voidaan myös pitää spatiaaliilastotieteen tarkastelutapaa. Myös teknisen käytön ja lisenssikustannusten kannalta ohjelmat voidaan jaotella eri tavoilla. Raskaiden alustojen käyttäjät ovat alan ammattilaisia ja niiden avulla voidaan tehdä monipuolisia aineistonmuokkaus ja analyysioperaatioita usein eräajotyypillisesti sekä tuottaa karttoja erilaisten laajennusten avulla [Lon99]. Lisenssit maksavat yli kymmenen tuhatta euroa tuotteissa kuten ESRI Arc/Info ja Intergraph MGE. Seuraavalla portaalla on niin sanottu desktop GIS [Lon99], jossa ohjelmistot ovat usein yhden käyttäjän sovelluksia

ja joita voi laajentaa analyysieihin erilaisilla komponenteilla sekä kolmannen osapuolen tuotteilla. Ohjelmistot kuten ESRI ArcView 3, MapInfo Pro, Bentley MicroStation ja AutoCAD Map ovat peruskustannuksiltaan muutaman tuhannen euron luokassa, laajennusten kanssa hinta voi kohota lähelle raskaampia tuotteita. Lisäksi on erillisiä kehityskirjastoja kuten MapX ja ESRI MapObjects, jotka eivät sinällään ole valmiita ohjelmia. Uudet komponentteknologiat Intergraph GeoMedia ja ArcGIS ovat tavallaan sekoituksia kaikista edellisistä. Alimman tason muodostavat kevyet ohjelmat ja ilmaiset katseluohjelmat, joita löytyy lähes kaikilta valmistajilta. Kuvankäsittelyohjelmat ovat yleensä erillisiä, tosin ainakin ERDAS onkin kehittänyt laajennuksen myös ArcView-teknologialle. Jäljempänä kuvattu Smallword ja Oracle Spatial voidaan myös nähdä erillisinä kokonaisuuksina, kuten myös tietokantoihin liitettävät paikkatietomootorit kuten ESRI Spatial Database Engine. Oman tyyppinsä muodostavat web-palvelinsovellukset ja niiden erilaiset asiakasohjelmat. Lisäksi uutena alueena ovat PalmTop-koneisiin kehitetyt kevyet paikkatieto-ohjelmat kuten ESRI ArcPad ja räätälöidyt toiminnot Benefon Esc! puhelimesta lähtien.

Kaupalliset GIS-teknologiat ovat viime vuosien aikana nousseet vahvasti esiin myös johtamisjärjestelmien ja analyysisovellusten, jopa taktisen tason simulaattoreiden alustoina. Ainakin pienissä maissa niin sanottujen integraattoreiden kokonaan itse tekemien erillisten alustojen määrä on vähenemässä, myös Yhdysvalloissa COTS-painotus on nähtävissä. Kaupallisten teknologioiden keskeisinä etuina voidaan pitää testattua perustaa, kykyä tukea iteratiivista kehittämistä jo valmiiden ominaisuuksien avulla ja voimakasta itsenäistä kehittymistä markkinoiden ohjaamana. Yleensä eri maista löytyy useita kilpailevia kehittäjiä ainakin suurimmille teknologioille. Lisäksi järjestelmistä on saatavissa myös lisäominaisuuksia käyttäjää kouluttamalla: kaikkea uutta ei tarvitse teettää, vaan se voidaan tehdä ensin vähän kömpelömmiin valmisohjelmaa käyttäen ja tuotteistaa vasta sitten, kun hyödyt on havaittu. Näin pystytään hallitsemaan paremmin varsinaisten sovellusten jäädyttämiseen liittyvä tilanne ja sen aiheuttama sooloilu vain siksi, että kehitys on paljon muuta maailmaa jäljessä. Valinta kuitenkin edellyttää ainakin osin sopeutumista kaupalliseen valtavirtaan ja merkittävien varojen kiinnittämistä alustateknologiaan.

²⁵ Käsitettä alettiin käyttää jo 1970-luvulla.

3.3 Taistelumallien ja paikkatiedon suhde toisiinsa

Taistelumallit sisältävät holistisimman matemaattisen tavan kuvata taistelua ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Tyypillisesti malleja käytetään simulaattoreissa ja ylimmän tason päätöksenteon tukijärjestelmissä. Tästä syystä niitä voidaan käyttää perustana taktiikan teorian ja tietotekniikan sovittamisesta toisiinsa. Taistelumalli on matemaattinen esitys taisteluun vaikuttavista tekijöistä ja niiden vaikutuksesta toisiinsa. Deterministisellä taistelumallilla lopputulos on suoraan alkuparametrien funktio. Stokastisessa lähestymistavassa mallin sisään on rakennettu ilmiöiden luontaista satunnaisvaihtelua jäljitteleviä piirteitä [Leh00]. Mallin yleistyksellä (aggregation) tarkoitetaan tässä työssä mallilla kuvatun laskennallisen yksikön kokoa. Yleistämisen rinnalla voidaan käyttää myös termiä resoluutio. Sovellettu katsaus simulaattoreiden pääosin stokastisten taistelumallien ja maaston väliin suhteeseen on esitetty luvussa 7.

3.3.1 Lanchester ja Osipov

Vuonna 1916 Frederic Lanchester kehitti ilmataistelua varten matemaattisen mallin, jota sen jälkeen on laajimmin kaikista malleista sovellettu erilaisien taistelujen kuvaamiseen. [Prz90] Teorian perusajatuksena on nähdä taistelu prosessina, jossa kumpikin osapuoli pyrkii fyysisin keinoin kuluttamaan vastustajan taisteluressurssia, kunnes toisen kestävyys murtuu. Kun osapuolten voima on jakautunut riittävän pieniin yksiköihin, voidaan niiden kulumista approksimoida jatkuvilla ajan funktioilla differentiaaliyhtälöiden avulla²⁶. Yhtälöt voidaan johtaa heuristisesti, joissakin tapauksissa myös diskreeteistä stokastisista malleista kuten Markovin ketjusta. Yksinkertaisimmillaan ratkaisu voidaan määrittää suljetussa muodossa, mutta yleensä ratkaisuihin joudutaan käyttämään numeerisia menetelmiä, jolloin jokaista parametrijohdetta kohden ratkaisu määritetään erikseen ja ilmiön kokonaisluonne päätellään tulosten kautta. [Leh00] Yksi vaikeus on, että taistelujen lopputulos ja päättymiskriteerit eivät ole yksikäsitteisiä [Leh00, MORS95]. Malleilla on vaikea huomioida tutkittavien joukkojen järjestelmäluonnetta, koska joukon eri osiin kohdistuvat tappiot vaikuttavat eri tavoilla.²⁷

Lanchesterin neliölaki eli tähdätyn tulen laki olettaa, että taistelevien osapuolien joukot ovat homogeenisia ja osallistuvat kokonaisuudessaan ja jatkuvasti taisteluun, kumpikin osapuoli pystyy tähtäämään jokaista vastustajan yksikköä optimaalisella tai vakioidulla tehokkaalla etäisyydellä, jokainen osajoukko tietää, milloin on eliminoinut vastustajan eikä

²⁶ Tähän sisältyy mallin vahvin perusolettamus taistelun deterministisyydestä vastakohtana kaoottisuudelle.

²⁷ Tosin sotilasorganisaatiot on pyritty muodostamaan tappionkestoisiksi siten, ettei romahdusvaikutusta, tai edes jonkin osan lamauttamista ole helppoa saada aikaan.

päällekkäisiä tappiota esiinny eli valitsee täydellinen tappioinformaatio, vastustajan väheneminen ei aiheuta tulinopeuden muutoksia ja tulitus jakautuu tasaisesti vastustajaan eli vallitsee täydellinen maalinvalintainformaatio. Laki esitetään yleensä differentiaaliyhtälöparina. [Prz90] [Leh00] Yhtälöparista voidaan ratkaista useita tekijöitä kuten kummankin joukon voima ajan suhteen, taistelun intensiteettiä kuvaava ei-dimensionaalinen aika, joukkojen ylivoimasuhde, jäljellä olevien joukkojen puhdas määräsuhte ja voimasuhteen kehittyminen, tietyn maastokohteen valtaamiseen tarvittava aika tai aikahäviö, hyökkääjän tappiot edettyä pituusyksikköä kohden sekä vallatun alueen ala verrattuna tappioihin. [Prz90] [RMCS00] Uudemmassa älykkäiden aseiden mallissa järjestelmien suurempi teho kuvataan eksponentilla, jotta esimerkiksi ohjuksille ei tarvitse määrittää omaa tehokerrointa. [Rik93] Useat muutkin kehittelmät osoittavat alkuperäisen idean laajennettavuutta ja mukautuvuutta uusiin tilanteisiin.

Neliömalli ei sinällään huomioi maaston tai ympäristön vaikutuksia, mutta tekijä voidaan ottaa huomioon tuhoamisnopeuksien määrittämisessä [RMCS00]. Simulaattorissa ensimmäisenä tekijänä on päättää, onko laukaus, tuhoaminen, mahdollista yleensä käynnistyy eli vallitseeko näkemätilanne. Tähän on kehitetty valmiita algoritmeja, jotka määrittelevät taisteluun osallistuvien joukkojen rakenteen. [MORS94] Maasto voi vaikuttaa maalin suojan kautta osumis- ja tuhoamistodennäköisyyteen sekä maaston pieni-piirteisyyden kautta taistelun kokonaiskestoajaan. Ampumaetäisyyden suurin merkitys on epäsymmetrisissä taistelutilanteissa, kuten sinkojen käytössä panssarintorjunnassa, jolloin aseiden tehokkuusero supistuu voimakkaasti taisteluetäisyyden pienetessä. Ennakko-oletukset määrittävät tarkasteltavan joukon koon maaston näkemästä ja taktisesta liikkeestä riippuvaisiksi. Suomalaisessa metsämaastossa joukkojen pitäisi olla joukkueen kokoisia, joissakin tilanteissa voitaisiin käyttää myös komppaniaa. Toisaalta tämän tyyppinen tarkastelu toimii deterministisiä malleja vastaan, koska niissä oletetaan satunnais-tekijöiden vaikutusten kumoavan toisensa riittävän suurina kokonaisuuksina. Myös Rikkinen [Rik93] on nähnyt paikkatietotekniikan mahdollisuudet ottaa kyseinen seikka huomioon. Ardennien historiallisessa tarkastelussa [MORS95] onkin esitetty, että pirstaloituvat osataistelut pitäisi mallintaa lineaarilain avulla. Reunaehtoja on pyritty yleistämään tekemällä malleja eri puolilla taisteluun osallistuvien määrän arvioimiseksi ja epätäydellisen informaation huomioimiseksi.

Lanchesterin lineaarilain perusolettamuksena on, että tietoa vastustajan tilanteesta ei ole käytettävissä ja aseiden vaikutus yksinkertaisesti kohdennetaan alueelle, jolla vastustaja on. Näin on tilanne muun muassa perinteisen epäsuoran tulen käytössä. Laki perustuu lisa-olettamuksiin, että vastustajan väheneminen ei aiheuta tulinopeuden muutoksia, kukin

joukko on tietoinen vain vastustajan sijainnista, mutta tähytetyt tuli ei ole mahdollista, tuli jakautuu tasaisesti koko vastustajan alueelle ja kaikki maalina olevan joukon alkioit ovat tasaisesti jakautuneet alueelle. [Prz90]²⁸ Lineaarilaista voidaan määrittää aiemmin esitetyt tunnusluvut ja sitä voidaan käyttää myös tilanteissa, joissa taistelu on voimakkaasti sirpaloitunutta. Lain osalta maastotekijät vaikuttavat lähinnä latvaräjähdyksen, sirpaloituvuuden ja maalialueen suojaavuuden kautta. Kaikki tekijät ovat vahvasti yleistäviä.

Lanchester sisältää useita muunnelmia ja jatkokehitemiä. Yhdistetyssä laissa maaston merkitys voidaan huomioida edellä esitettyjen tapojen lisäksi siinä, kuinka hyvin väijyksissä oleva osapuoli pääsee siirtymällä suojaan asevaikutukselta, jolloin viimeisessä tilanteessa voidaan taistelun päättymiskriteeriksi määrittää edun käänne piste eli taistelun kullminaatiopiste. Logaritmisen lain tyyppitilanne²⁹ on motti taistelun ”tulpassa” vaikeakulkuisessa maastossa tai vastaanottopesäkkeissä, ja maastolla on oleellinen merkitys tilanteen synty misessä. Geometrisessa keskiarvossa tavoitteena on huomioida lineaarilakia paremmin joukkojen kokosuhde ja voidaan olettaa, että maaston vaikutukset on mahdollista ottaa huomioon asteluvun kautta. [Prz90] Muuttuvien kulutuskertoimien mallissa eri osapuolten kulutuskertoimet vaihtelevat joko ajan tai joukkojen välimatkan funktiona. Näin voidaan huomioida epäsymmetrisiä asevaikutuksia ja tulivoiman tyypillinen kasvu lähietäisyyksillä myös osumatodennäköisyyden muuttuessa. [Prz90] Tässä tilanteessa maastotekijöillä on ratkaiseva merkitys. Simulaattoreissa tyypillinen tapa huomioida tekijä on käyttää näkemäviiva tai -aluetarkastelua ja valita sen perusteella oikea kerroin kirjastosta. Näin voidaan huomioida myös porrasmaiset muutokset kuten mahdollisuus käyttää kokonaan uutta asetyyppiä kuten lähitorjunta-asetta.

Rikkinen [Rik93] on diplomityössään päätenyt siihen, että Lanchestermallit sopisivat täydennettynä ja taistelun osa-alueittain jaettuna myös Suomen puolustusvoimille perustaksi yhtymätasaisen päätöksenteon tukijärjestelmälle sekä taktiikan ja operaatiotaidon tutkimukseen. Haasteena on taistelukentän epäsymmetrisyys asejärjestelmiensä osalta, koska esimerkiksi vastustajan panssariaseeseen vaikutetaan panssarintorjunnalla eikä toisella panssarivaunulla. Perusjakoon suoran ja epäsuoran ammunnan aseille hän esittää lisäksi sulutteet, joiden käsittelyyn yhtälöt eivät kuitenkaan sovellu³⁰.

²⁸ Lineaarilain kohdalla tilanne on maastotietojen kannalta lähes päinvastainen edellisen kanssa. Maalin riittävän määrän ja maalialueen homogeenisuusvaatimuksen takia käytännössä tulisi käsitellä vain tilanteita, joissa tulitettavat alueet ja joukot ovat riittävän suuria.

²⁹ Voidaan myös olettaa, että tulevaisuuden ”robotitaistelukenttää” voisi osin mallintaa tällä tavalla.

³⁰ Sulutteiden vaikutus taisteluun on enemmänkin ohjaava, koska meidän tavassamme toimia pääosa sulutteista on rakennettu ennalta ja niiden sijainti on myös vastustajan tiedossa. Miinat voitaisiin huomioida osana muiden aseiden tehokertoimia, stokastisissa simulaattoreissa ohjaava vaikutus näkyy muutenkin.

Mihail Osipov julkaisi vuonna 1915 Venäjällä *Voennyi Sbornik* –lehdessä viisi artikkelia, joissa hän tarkasteli taistelua vastaavalla tavalla kuin Lanchester samoihin aikoihin. Analysoituissa 1800-luvun taisteluissa vahvempi joukko voitti suhteessa 4:1 ja yli puolessa vahvemman kokonaistappiot olivat pienemmät. Havainto sai Osipovin hakemaan korrelaatiota voimasuhteiden, voiton ja tappioiden määrän välille. Osipov käytti alusta saakka perustana epähomogeenisia joukkoja luomalla vertailuarvoja eri asejärjestelmien välille ja kehitteli mallin yhdenmukaistaa konekiväärit ja tykistö joukon kokonaistaisteluvoimaan, jotta laskenta saadaan pidettyä yksinkertaisena. [MORS95]. Myös tässä tarkastelutavassa hän oli uranuurtaja.³¹ Mielenkiintoista tämän työn kannalta on virhetarkastelu, jossa tekijät luokitellaan satunnaisiin ja systemaattisiin. Osipov ajattelee, että satunnaiset virheet kuten johtajuus, moraalit, aseiden laatu ja koulutus, kumoutuvat käsiteltäessä useita taisteluja, vaikka niillä yksittäistapauksissa onkin suuri merkitys. Systemaattisilla virheillä kuten joukkojen sijainnilla, käyttötavalla, maaston käytöllä ja tiheydellä taas on suuri merkitys kokonaisuutena, varsinkin kun monia systemaattisia tekijöitä usein pidetään satunnaisina, vaikka niitä voisi käyttää yleisinä periaatteina. Ajattelussa on nähtävissä Jominiainen ”voiton kaavaan” uskomisen. Ajattelussa kannattaa kiinnittää huomio siihen, että systemaattiset tekijät vaikuttavat aina samaan suuntaan. Esimerkiksi kyky käyttää maastoa vastustajaa paremmin tuo jatkuvaa etua. Osipovin malleja on käytetty Lanchesterin mallien rinnalla ja täydennyksenä. Yhdistelmästä käytetään nimitystä CLO-malli (Chase-Lanchester-Osipov), jossa 1800-luvun lopulla perustan laivastotaisteluille julkaissut J.V.Chase nostetaan edellä mainittujen rinnalle. [MORS95]

3.3.2 QJM, SFS ja niiden suomalaiset sovellutukset

QJM-analyysin (Quantified Judgement Method) tavoitteena on verrata taistelun kahden eri osapuolen suhteellista taistelutehokkuutta. Analyysin kehitystyön lähtökohtana on sotahistoriallinen tarkastelu, jossa suhteessa sitä voidaan pitää johdannaisena Osipovin ja Lanchesterin teorioille. Menetelmän kehittäjänä on sotahistorioitsija ja TRADOCin kehittäjä Trevor N. Dupuy, joka yritti etsiä selittäviä tekijöitä toisen maailmansodan ja Korean sodan henkilöstö- ja materiaalitappioille. Tutkimuksia varten kerättiin tietopankki, joka sisälsi yksityiskohtaiset tiedot 81:stä taistelusta. Näiden perusteella kehitettiin malli, joka sangen luotettavasti (0,9) kuvasi jokaisen taistelun vaikutukset ja lopputuloksen. Menetelmän käyttöä on laajennettu sekä vanhempien että uudempien taisteluiden analysointiin³². Muun muassa vuosien 1967 ja 1973 Lähi-idän sotien ja niissä käytettyjen nykyaikaisten

³¹ Vastaava logiikka on laajalti käytettyjen QJM- ja potentiaalimallien takana.

³² Myöhemmin hakemisto on laajennettu Dupuy'n HERO-yrityksen toteuttamana sisältämään 600 taistelun tiedot US Armeen Concepts Analysis Agencyn toimeksiannosta. [MORS95]

aseiden vaikutuksen selityskorrelaatio oli 0,98. Mallissa on 73 taistelun päätekijää, joille on esitetty laskenta- ja käsittelysäännöt. [Tek01] Menetelmällä voidaan lopputuloksen ennustamisen lisäksi testata ja analysoida erilaisten taistelun osatekijöiden vaikutusta kokonaisuuteen ja laskennan nopeus mahdollistaa mallin käyttämisen myös sodan ajan suunnittelun apuvälineenä [Vai01]. Osa operaatioanalyytikoista ei katso QJM:n kuuluvan operaatioanalyysin piiriin, koska sen lähtökohdat eivät ole matemaattisesti syöttötietojen ominaisuuksista johtuvia, vaan mallin käsittelysäännöt on määritelty tunnetuista lopputuloksista lähtien. [Tek01] Maastotekijät näkyvät sekä aetasolla että joukkotasolla erilaisina kertoina, jotka ovat hyvin yleistäviä.

Situational Force Scoring (SFS)³³ [Allen92] on RAND-yhtymässä kehitetty menetelmä, jolla on pyritty korjaamaan muissa vastaavissa menetelmissä havaittuja puutteita [Jai97]. Laskenta on tehty niin yksinkertaiseksi, että se onnistuu taulukkolaskentaohjelmalla. Aseet on jaettu kahteentoista luokkaan, joille asiantuntijaraati määrittää asetyyppikohtaiset teholut ja joiden perusteella lasketaan perustaisteluarvo. Menetelmässä kiinnitetään QJM:ää enemmän huomiota vastustajaan, taistelun intensiteettiin, hyökkäyksen valmistelu-aikaan, taistelutilanteeseen ja maastoon: jos maasto esimerkiksi sopii jonkin tietyn asetyypin käyttöön, kasvatetaan kyseisen asetyypin taisteluarvoa. Oletuksena vaikeammaksi muuttuva maasto sopii paremmin jalkaväelle ja huonommin panssareille, tykistöille ja helikoptereille. Maasto otetaan huomioon myös esteenä siten, että vain osa on joukkojen käytettävissä: avomaastossa joukko voi hyökätä tehokkaassa muodostelmasa, mutta esimerkiksi vuoristossa voidaankin käyttää vain osaa joukosta. [Met02]

Sotapeliohje 1994 [Sot94] esittää taistelujen tuloksien ratkaisemiseksi joukkojen suhteelliseen tulivoimaan perustuvan mallin, joka perustuu kapteeni Kiiskisen vuonna 1981 tekemään diplomityöhön ”Pelaajatoiminta sotapeleissä ja johtamisharjoituksissa” [Kii81]. Lähteenä Kiiskisen diplomityössä on ilmoitettu QJM-malli, mutta laskuja joukkojen taisteluarvojen määrittämiseksi ei ole dokumentoitu. Malli on kehitetty manuaaliseen tai tietokoneavusteiseen laskentaan suurien armeijakuntatasoisten sotapelien pelikeskusten apuvälineeksi.

Joukkojen tulivoimasuhteet on määritetty 300 m etäisyydeltä ja Kiiskinen totesi, että lisätäessä tarkastelu-etäisyys 500 m:iin suomalaisen joukon taisteluarvo lähes puolittuu vastustajan arvojen pysyessä käytännössä ennallaan. Tästäkin voi päätellä maaston keskeisen merkityksen suomalaisessa taktiikassa. Malli esittää myös perusteen arvioida hyökkäyksen etenemisnopeutta, jossa maasto on jaettu kolmeen luokkaan: avoimeen, keskin-

³³ Termille on esitetty suomennosta tilanteenmukainen joukon taisteluarvo [Met02].

kertaiseen tai vaikeaan³⁴ ja joukot jalkaväkeen, mekanisoituun tai panssarijoukkoihin. Näistä jokaiselle on erikseen määritetty etenemisnopeus metreinä tunnissa taisteluvaimasuhteen funktiona.

3.3.3 Neuvostoliiton vertailumalli ja sen suomalainen sovellutus

Entisessä Neuvostoliitossa matemaattisia malleja käytettiin taistelun lopputuloksen ennustamiseen tietyssä tilanteessa, tarvittavien joukkojen määrittämiseen haluttujen tulosten saavuttamiseksi ja laaditun suunnitelman optimointiin tietyssä tilanteessa. [Bla93] Mallien katsottiin soveltuvan parhaiten rintama - armeijatasoisten operaatioiden tarkasteluun. Tilanneriippuvassa taistelupotentiaalisissa on mahdollisuus huomioida taistelulajin, maaston ja olosuhteiden vähentävät tai lisäävät tekijät. Maaston vaikutus on mahdollista huomioida osatekijöissä lähinnä taktisesti käyttämällä vain sitä osaa maastosta, joka on sotatoimille edullista.

Neuvostoliittolaista mallia on kehitetty suomalaisia olosuhteita ja taktiikkaa huomioivaksi ja sitä on käytetty Maanpuolustuskorkeakoulun harjoituksissa vuodesta 1997 alkaen. Muokatunkin mallin lähtökohtana on tilannesidonnaisten taistelupotentiaalinen laskekennallinen määrittäminen, jonka jälkeen perusarvoja muokataan huomioimaan joukkojen varustamisasteet sekä koulutustasoon ja taistelutahtoon vaikuttavat tekijät. Arvoissa huomioidaan myös joukkojen erilaiset käyttöperiaatteet ja taistelun epäsymmetrisyys painottamalla puolustukseen koulutettujen joukkojen tilannesidonnaista potentiaalia tässä taistelulajissa. [Evh97]

Maaston vaikutuksissa käytettiin neljää eri maastotyyppiä³⁵. Keskivaikea maasto oli normittajana. Taktisesti vaikea, mäkinen, epätasainen, peitteinen ja vahvapuustoinen maasto tulkittiin sinisen eduksi ja helppo, avoin, pitkät tulitusetäisyydet omaava sekä heikosti kumpuileva maasto keltaiselle eduksi. Neuvostoliittolaisessa mallissa maastoa ei huomioidu lainkaan. Yksi syy voi olla se, että taistelut Keski-Euroopassa olisi käyty hyvin symmetrisillä joukoilla, jolloin tekijät vaikuttavat molempiin osapuoliin samalla tavalla. Kehitettyssä mallissa prosenttien vaihteluvälillä pyrittiin antamaan mallin käyttäjälle mahdollisuudet huomioida myös laadullisia tekijöitä ja käytettyjen joukkojen "sopivuutta" taisteluun kullakin alueella. Tässä suhteessa luokittelussa on tarkoituksella sumeutta mukana, jolloin lopullisen tulkinnan tekee pelaaja. Säästä huomioidaan pimeys, sateet, lämpötila ja näkyvyys.³⁶ [Evh97]

³⁴ Tämä on analoginen sotilasgeologiassa käytettyjen käsitteiden jalkaväki – panssarijalkaväki – panssaritaistelumaaston kanssa. Kukin maastotyyppi on arvioitu laajoina aluekokonaisuuksia taktisten ominaisuuksien kannalta.

³⁵ Vertaa seuraavaan lukuun. Asutuskeskus lisättiin vakiintuneeseen käytäntöön samalla kun tarkastelun resoluutiota parannettiin noin neliökilometrin tasolle.

³⁶ Tällä tekijällä korostettiin vastustajan paremmaksi arvioitua pimeätoimintakykyä avoimessa maastossa. Myös tämä ominai-

3.4 Sotilaallisten maastoanalyysien esittely

Sotilaalliset maastoanalyysit on esitetty käyttäen Yhdysvaltojen tapaa, koska se on selkeästi kehityksen edelläkävijä. Luvussa on ensin yhdistetty kolmen keskeisen ohjesääntö-tasoisien lähteen määrittelyt, jonka jälkeen analyysit on esitelty tyypeittäin ja valituilla sovellusesimerkeillä valaistuna.

3.4.1 Sotilaalliset maastoanalyysit ohjesäännöissä

NATOn AGeoP-1 Military Geographic Documentation (MGD) Terrain Analysis vuodelta 1988 määrittelee keskeiset käsitteet ja analyysien käytödoktriinin sotilasliitossa lähinnä aseellisissa operaatioissa. Kokonaisjärjestelmän osina ovat kattavat datavarannot, malli linkittää maastotieto sotilaallisiin toimintoihin, menetelmä muodostaa analyysitulokset ja kyky johtopäätöksiin siitä, miten ympäristötekijät vaikuttavat operaatioihin. Asiakirja määrittelee keskeiset termit seuraavasti: [AGeoP-1]

Terrain Analysis (TERA) is the process of collecting, analyzing, evaluating and interpreting geographic information on the natural and man-made features of the terrain, combined with other relevant factors, to predict the effect of the terrain on military operations.

Terrain Analysis System (TERAS) is a system to meet military requirements for quick and comprehensive information on the terrain in analog and / or digital form. It is a system in which selected data about the terrain are collected and stored in a structured way to permit their flexible exploitation in the provision of Terrain Analysis Products.

Terrain Analysis Product (TERAP) is a standardized or non-standardized product from the Terrain Analysis System normally presented in graphic form for use in military decision making.

Asiakirjasta näkyy sen ajoittuminen siihen vaiheeseen, jossa itse analyysit jo tehtiin tietokoneilla, mutta niitä käytettiin tulosteina. Näkökulma on hyvin tuotekeskeinen.³⁷ AGeoP-1:n pääpaino on lähtöaineistoissa, joita katsotaan tarvittavan analyysien toteuttamiseen. Nämä on jaettu seuraavaan yhdeksään pääluokkaan: maan muodot (9), kasvillisuus (3+29), pintavesistöt (5+32), liikenneverkosto (8+69), maaperä (7), asutut alueet (8), erikoispiirteet (7+36), maanalaiset kohteet (7) ja ilmasto (8). Suluissa on esitetty alaluokkien määrä ja jakautuminen edelleen.

Yhdysvaltojen ohjesääntö FM 5-33 Terrain Analysis vuodelta 1990 muodostaa perustan maastoanalyysien perinteiselle toteutukselle. Sen lähtökohtana on kaksi myöhemmin NI-MAan liitetyn Defence Mapping Agency'n (DMA) aineistoa, MIL-P-89305A standardin mu-

kainen Planning Terrain Analysis Data Base (PTADB) 1:250k mittakaava-alueen ja MIL-T-89304 Tactical Terrain Analysis Data Base (TTADB) 1:50k mittakaava-alueen analyysituotetta, joiden määrittelyä voidaan edelleen käyttää yhtenä referenssinä analyysissa tarvittavien lähtöaineistojen kattavuudelle. Määrittely sitoo toisiinsa maaston sotilaallisen arvioinnin (OCOKA), siihen vaikuttavat maastotekijät ja maastoanalyysituotteet seuraavalla tavalla: [FM5-33]

Maaston sotilaallinen arviointi (OCOKA)	Vaikuttavat maastotekijät	Esimerkki tuotteista
Tiedustelu- ja tulenkäyttöalueet (Observation and fields of fire)	- kasvillisuus - topografia - toiminnan vaikutukset - asutus	- näkemäviiva (line-of-sight) - näkemäalue (weapon fan) - yleisnäkemä (suitability rating)
Maastouttaminen ja suojan hankinta (Cover and concealment)	- kasvillisuus - topografia - toiminnan vaikutukset - asutus	- suojamahdollisuus (cover potential good/fair/poor) - maastouttamismahdollisuus maasta ja ilmasta (good/fair/poor)
Esteet (Obstacles)	- kasvillisuus - mikrotopografia - vesistöt (drainage) - asutus, esterakenteet - pinta ja kosteus	- olevien esteiden paikantaminen - kulkukelpoisuus (go/slow-go/no-go) tela- ja pyöräajoneuvoille
Avainmaastot (Key Terrain)	- asutus, liikenneverkko - topografia - vesistöt	- avainmaastojen paikannus kuten kapeikot, sillat, hallitsevat kohteet ja sotilaalliset rakenteet
Hyökkäysalueet (Avenues of approach)	- kasvillisuus - asutus, liikenneverkko - topografia - vesistöt - pinta ja kosteus	- yleistettyjen alueiden paikannus - nopeuden ennustaminen - maahanlaskualueet - pudotusalueet (drop zones) - maihinnousualueet ja navigointi

Taulukko: Sotilaallisten maastoanalyysien perusjako FM 5-33 mukaan.

Ohjesäännön ensimmäinen osa käsittelee yksityiskohtaisesti erilaisten kohteiden sotilaallisesti merkityksellisten ominaisuuksien luokittelua ja määrittämistä. Toisessa osassa esitetään maaston, kasvillisuuden, maaperän sekä rakennettujen kohteiden luokittelu ja perusominaisuuksien analysointi sekä kuvataan tärkeimpien maastoanalyysien toteutus ja tulosten yhdistäminen OCOKA-tekijöiksi. Näiden jälkeen on vielä perusteet ilmakuvauksen perusteista ja laskennallisista perusmetodeista. [FM 5-33]

Ohjesääntö FM 3-34.230 Topographic Operations vuodelta 2000 päivittää FM 5-33:n ja FM 5-105:n digitaalisen taistelukentän ja Army XXI rakenteen osalta. Oppaan alussa on kuvaus koko toiminnan järjestelyistä ja vastuualueista sekä instituutioiden kuten NIMA ja TEC että topografisten joukkojen osalta. Analyysit on jaettu päätöksenteon apuvälineinä (TDA, Tactical Decision Aid) seitsemään päätyyppiin: kulkukelpoisuus (mobility), korkeus-suhteet (Terrain elevation), kyselytyökalu (SPPB, Special Purpose Product Builder), näkemä (intervisibility), patoanalyysi (Tactical dam analysis), ilmasto (IMETS, Integrated

³⁷ Vertaa luku 9 laadun käsittely tässä työssä.

Meteorological System) ja ympäristötekijät (Environmental and Climatology). Jaottelu perustuu aiemmasta poiketen analyysiohjelmiin ja -tuotteisiin. Näiden lisäksi käsitellään maastonarviointityökaluja kuten näkemäviivaa ja näkemäaluetta, luokitteluvälineitä, erilaisia visualisointeja sekä mittauksia. Ohjesääntö sisältää 48 esimerkkiä erilaisista tuotteista, joilla päätöksentekoa voidaan tukea. [FM 3-34]

FM 3-34.230 ei sisällä analyysien teknistä toteutusta tietokoneavusteisesti kuin periaate- tasolla. DTSS-järjestelmien ja kehitettävien maaston arviointityökalujen käyttöönoton myötä tekninen toteutus kuvataan niiden puitteissa. Ohjesääntö kuitenkin kuvaa avainhenkilöstön tehtävät esikunnissa (koulutustyyppit suluissa): [FM 3-34]

- Pioneeripäällikkö (engineer officer) on maaston visualisoinnin asiantuntija, jonka tehtävänä on tukea komentajaa.
- Maastoanalyysiteknikko (terrain analysis technician, 215D) vastaa tietojen integroinnista ja analyysien toteutuksesta asiantuntijana.
- Topografinen analysoija (Topographic analyst, 81T) ohjaa ja/tai toteuttaa analyysitehtävät ja vastaa aineistojen ylläpidosta.
- Topografinen maanmittaaja (Topographic Surveyor, 82D) toteuttaa geodeettiset mittaukset ja muodostaa kontrollipisteet.
- Kartanpainaja (Lithographer, 81L) vastaa suurimääräisistä painotöistä.
- Topografinen ohjaaja (Topographic-engineering Supervisor, 81Z) ohjaa tietojen keruuta, kartoitusta ja painotyötä ja avustaa toimintojen suunnittelussa.

Tehtävätyypit kuvaavat hyvin paikkatiedon käytön eri osa-alueita ja rooleja osana johtamisprosessia. Pääosa analyyseista toteutetaan topografijoukoissa.

3.4.2 Maaston kulkukelpoisuus

Maaston kulkukelpoisuuden arviointi (cross-country movement, CCM) on perinteisin maaston sotilaallisen analysoinnin kohde. Tämä johtunee ainakin kolmesta tekijästä: liikesodankäynnin suuresta painoarvosta kylmän sodan aikana Keski-Euroopassa, ilmiön kohtuullisen suoraviivaisesta mallinnettavuudesta ja analyysitulosten monikäyttöisyydestä. Kaje [Kaje68] esittää perusteet manuaaliselle analyysille meillä.

Analyysin lähtökohtana on eri ajoneuvojen perustiedot mitoista ja painoista pintapaineeseen ja esteenylityskykyyn. Yleensä tekijöitä käsitellään vastaavien maastotekijöiden kanssa samalla tavoin luokiteltuina. Perusaineistoina käytetään rinnekaltevuutta, maaperää mukaan lukien vetisyyden vaikutukset ja kasvillisuutta. Manuaalisessa analyysissä 1:50k mittakaavassa käytetään neljänneshehtaarin minimikokoa kuitenkin siten, että yhtenäisissä käytävissä minileveytenä on sata metriä. Muunneltavana arvona on ajoneuvon nopeus ja asteikko on tyypillisesti joko kolmiportainen tai viisiportainen lisättynä vesistöillä

ja analysoimattomilla alueilla. FM 5-33 kuvaa menettelyn manuaalisesti toteutettuna yhdeksänportaisena prosessina. [FM 5-33]

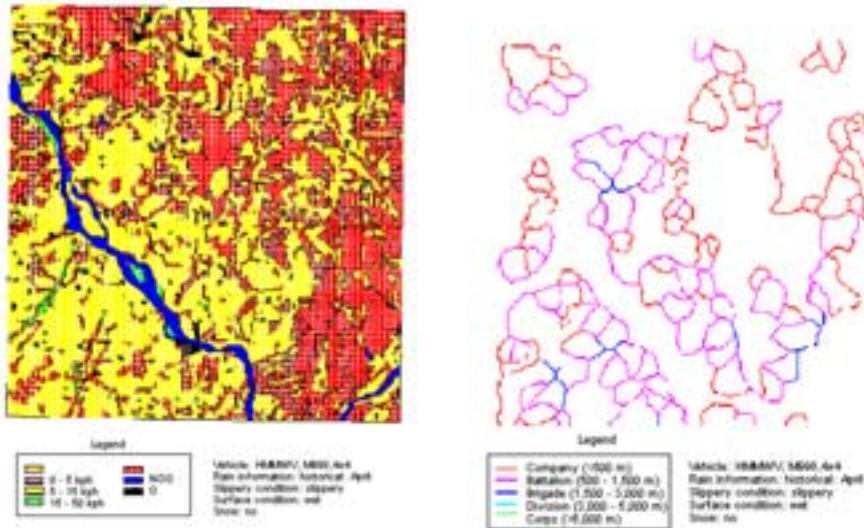
nopeus km / h	kuvaava termi / luokka
> 30	GO
15 ... 30	RESTRICTED
5 ... 15	SLOW
1,5 ... 5	VERY SLOW
< 1,5	NO GO
---	OPEN WATER
---	NOT EVALUATED

Taulukko: Yleisesti käytetty kulkukelpoisuuden luokittelu [FM 5-33]

Kehittynyt algoritmi kulkukelpoisuusanalyysia varten on esimerkiksi NATO Reference Mobility Model II (NRMM II) ja sitä täydentävä WES talvitekijöiden algoritmi. Tietokoneessa on mahdollista käyttää eri ajoneuvotyyppäjä ja määrittää kulkukelpoisuuksien erotuskarttoja, jolloin kyetään hahmottamaan suhteellisia etuja. [FM 3-34]

Omana kokonaisuutenaan arvioidaan tiestöä ja muita kulkuyhteyksiä. Näistä käytetään termejä Lines-of-communication (LOC) tai trafficability analysis. Manuaalisesti toteutettuna kyse on paljolti eri tekijöiden kuten tieluokkien, siltojen ja tunneleiden luokittelusta ja visualisoinnista. Sekä kulkukelpoisuus- että kulkuyhteyksianalyysiin voidaan liittää erillisiä estetarkastelut. [FM 5-33] Esteiden ylityksen analysointia varten on myös kehitetty erilaisia algoritmeja kahlaamisesta uimiseen, lauttaamiseen ja sillanrakennukseen. [MORS94] [FM 3-34]

Hyökkäysalueanalyysissa (Mobility corridors) yhdistetään kulkukelpoisuus- ja kulkuyhteyksianalyysien tuloksia sekä estetarkasteluja yleistäen sellaisessa toiminnallisessa mitataavassa, joka vastaa tarkasteltavien joukkojen taktisia käyttöaloja. Analyysi toteutetaan manuaalisesti [FM 5-33], tosin siihenkin on jo käytössä kokeellisia menetelmiä. [USA01] Mikäli käytössä on valmis analyysituloks, voidaan sitä käyttää myös reittien optimointiin tiettyjen alueiden välille taktisesti määritetyn painovoimamallin (Tactical Movement Cost, TMC) tai verkon muodostavan thinning-algoritmin avulla. On myös mahdollista etsiä kapeikkoja (choke points) määritetyiltä hyökkäyskäytäviltä tai arvioida niiden luonnetta joko suoraviivaisuuden (spatial roundaboutness) tai nopeuden vaihtelun perusteella (temporal roundaboutness) . Analyysihin on myös mahdollista kytkeä yhteen yleistettyjä näkemäanalyysia taistelumahdollisuuksien hahmottamiseksi. [MORS94]

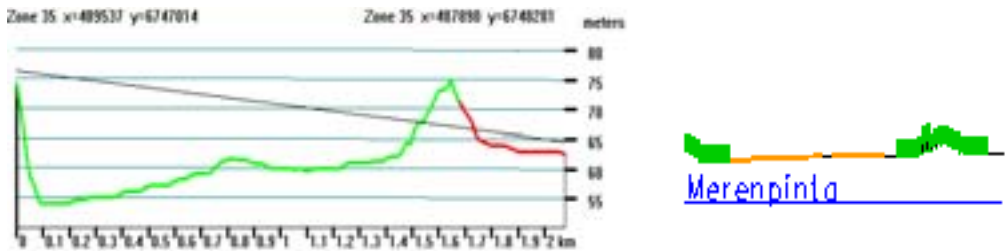


Kuva: Esimerkki kulkukelpoisuusanalyysistä (Terrain movement) sekä siitä tiestön ja esteiden perusteella johdetusta liikekäytäväänalyysistä (Mobility corridors). [FM 3-34]

Teknisesti kulkukelpoisuusanalyysit toteutetaan overlay-analyyseina joko rasteri- tai vektorimuotoisilla aineistoilla. Tyypillinen ongelma syntyy eri aineistojen spatiaalisista virheistä ja epä johdonmukaisuuksista, joiden takia algoritmeissa syntyy vaihteleva määrä tulkitsemattomia pisteitä: esimerkiksi sama kohta voi olla maankäyttöaineistossa peltoa, maaperäkartalla vettä ja puustoaineistossa metsää johtuen erilaisista resoluutioista ja tulkinnoista. Toinen ongelma on aineistojen ominaisuustietovirheiden käyttäytymisen estimointi, koska mahdollisia virheyhdistelmiä on yksinkertaisessakin algoritmissa satoja. Mikäli käytössä on molempia aineistotyyppisiä, vektoriaineistot yleensä rasteroidaan ennen lopullista laskentaa. Kulkukelpoisuusanalyysien etuna on, että niiden tulokset ovat testattavissa joko maastossa tai hyökkäysalueanalyysissa myös simuloimalla. Lisäksi tuloksia voidaan verrata kohtuullisen yksinkertaisesti ihmisen tekemään arviointiin. Hankalin käsiteltävä tekijä on ilmastotekijöiden vaikutusten huomiointi.

3.4.3 Näkemän analysointi

Näkemäanalyysi kuuluu teknisesti yhdistävyysanalyysiin. Algoritmista muodostetaan määritettyjen kohteiden välille kolmiulotteisessa avaruudessa suora, jolle projisoidaan lähtöaineistoista saadut korkeustiedot. Asejärjestelmissä lähtötietoina käytetään tähtäimen ja maalin korkeustietoja ja kantamaa sekä kehittyneemmissä algoritmeissa myös väliaineen vaimennusominaisuuksia. Pisteiden välillä tapahtuvasta analyysistä käytetään nimitystä näkemäviiva (line-of-sight).



Kuva: Esimerkki näkemäviivasta. Vasemmalla Terrabase II, oikealla kenttätykistön johtamislaitteen yksinkertaisempi esitystapa. [Nen02]

Mikäli analyysia tehdään useaan maastopisteeseen ja / tai useasta maastopisteestä, käytetään nimitystä näkymäalueanalyysi (viewshed, weapons fan). Yksinkertaisimmillaan voidaan näyttää sarja näkemäviivoja, monimutkaisemmin näkemä lasketaan halutulla tiheydellä ja esitetään yhtenäisenä kuvana. Vaikka tietokoneiden laskentateho on jo nyt suuri, hyvä näkemäanalyysi vie edelleen kohtuullisen ajan. Näkemäanalyysin perusongelma on maastokohteiden läpinäkyvyyden huomiointi. Jos analyysi tehdään maastomallin avulla, kohteet on normaaleissa algoritmeissa oletettava läpinäkymättömiksi. Yleensä analysoijaa kiinnostavat vain maan pinnalla olevat kohteet, joten tulosta on vielä käsiteltävä poistamalla siitä "näkyvät puiden latvat".



Kuva: Esimerkki näkemäalueanalyysistä. Vasemmalla Terrabase II toteutettuna pelkällä korkeusmallilla ja oikealla kenttätykistön johtamislaitteen näkemäviivasarja laskettuna maastomallista. [Nen02]

Tarkastelijan osalta kehittyneemmissä algoritmeissa on mahdollista määrittää säde, jota ennen esteitä ei huomioida, puut "hakataan digitaalisesti" pois lähialueelta. Maalin kannalta näkemäviivassa voidaan menetellä samalla tavalla, mutta näkemäalueessa maalien sijaintia ei tunneta. Ratkaisua voidaan osin hakea määrittämällä erilaisille maastotyypeille läpinäkyvyysarvoja ja puskuroimalla niiden avulla maastomallia tekijöiden reuna-alueilta. Ongelmaksi tulee metsässä puiden latvusto, koska näkemä on erilainen vaakatasossa runkojen läpi kuin esimerkiksi helikopterista vinosti latvuston läpi katsottuna. Myös eri koiset maalit ja sensorit näkyvät eri tavoin erilaisissa metsätyypeissä, lisäksi on huomioitava tähystäjän tai maalin pyrkimys paikkansa lokaaliin optimointiin: ampuja etsii ryhmittyneestä metsästä aukon, maali taas pyrkii suojaan ryhmien sisään. Asiaa on käsitelty laajemmin luvussa 8.1 näkemäanalyysiprototyypin kehitystyön kuvauksessa.

Näkemäanalyysi on herkkä käytettävän maastomallin resoluutiolle ja mallin muodostavalle algoritmille. Yleisesti pidetään enintään 100 m pikselikokoa miniminä näkemäanalyysille. Willardin tutkimuksessa selvitettiin Poisson-approksimaatioilla ³⁸tyypillisimpien korkeusmallien resoluution vaikutusta analyysin antamiin tuloksiin panssarintorjuntaohjusten osalta. [MORS94]

resoluutio	avoin maasto			vaihteleva maasto		
	N (seg)	M (m)	P	N (seg)	M (m)	P
jatkuva	7,43	261	0,607	10,22	141	0,485
25 m	6,86	285	0,607	8,56	168	0,479
50 m	5,00	396	0,614	6,11	231	0,471

Taulukko: Willardin tutkimustulokset lähtöaineiston resoluution vaikutuksesta näkemäanalyysin tuloksiin. N (seg) kuvaa merkityksellisten tulialueen muodostavien segmenttien lukumäärää, M keskimääräistä maksimietäisyyttä segmenteissä ja P näkemän todennäköisyyttä kyseisellä keskietäisyydellä. Karkearesoluution aineisto antaa vähemmän tulialueita mutta liioittelee ampumaetäisyyksiä. [MORS94] Lisäksi on huomattava, että esimerkiksi aseiden ja maalien korkeudet pitää skaalata aineiston kanssa yleensä kokeellisesti, mitatut arvot eivät sellaisenaan anna oikeita tuloksia.

Nenonen [Nen02] vertaili tutkimuksessaan pelkän korkeusmallin ja kahden erilaisen maastomallin avulla tehtyjen näkemäalueiden pinta-aloja taktisissa esimerkkitalanteissa maasta maahan tapahtuvassa tähystyksessä ja suora-ammunnassa. Kun vertailuarvona käytetään pelkkää korkeusmallia, läpinäkymätön maastomalli pudotti pinta-alat keskimäärin 40%:iin vaihteluvälin ollessa kertoimena 0,06 .. 0,76. Korjatulla, osin läpinäkyvällä mallilla ala oli keskimäärin 44% vaihteluvälin ollessa 0,17 .. 0,76. Kun kaikkien mallien resoluutio oli sama, voidaan peitteisyyden hallintaa ainakin suomalaisissa olosuhteissa pitää

³⁸ Menetelmässä korkeusmalliin generoitiin Poisson-prosessilla häiriöitä, jotka kuvasivat erilaista pientopografiaa ja kasvillisuusluokkia. Näin kyettiin simuloimaan vaikutukset, vaikka karkearesoluutioisia aineistoja ei tuolloin ollutkaan saatavilla.

tärkeänä tekijänä analyysien kannalta. Nenonen päätyi tutkimuksessaan siihen, että näkemäanalyysi on tärkeä tulen käytön suunnittelun apuväline. Nilsson [Nil99] testasi GeoPre-konseptiinsa kehittämäänsä näkemäanalyysia 36 satunnaisesti valitussa pisteessä maastossa ja totesi suurimman virhelähteen olevan kasvillisuuden luokittelussa. Lisäksi pelloilta puuttuivat pienet, ojen ja teiden varsilla kasvavat puu- ja pensasrivit, joilla kuitenkin oli merkitys näkemään ja varsinkin ohjustuleen. Alueelta-alueelle analyysissa osa virheistä poistui, eikä yksittäisen näkemäpisteen digitoinnissa resoluution takia näkymättömän esteen taakse enää ollut merkittävää haittaa. Näkemäanalyysitulosten testaaminen maastossa on erittäin aikaa vievää ja vaikeaa systematisoida.

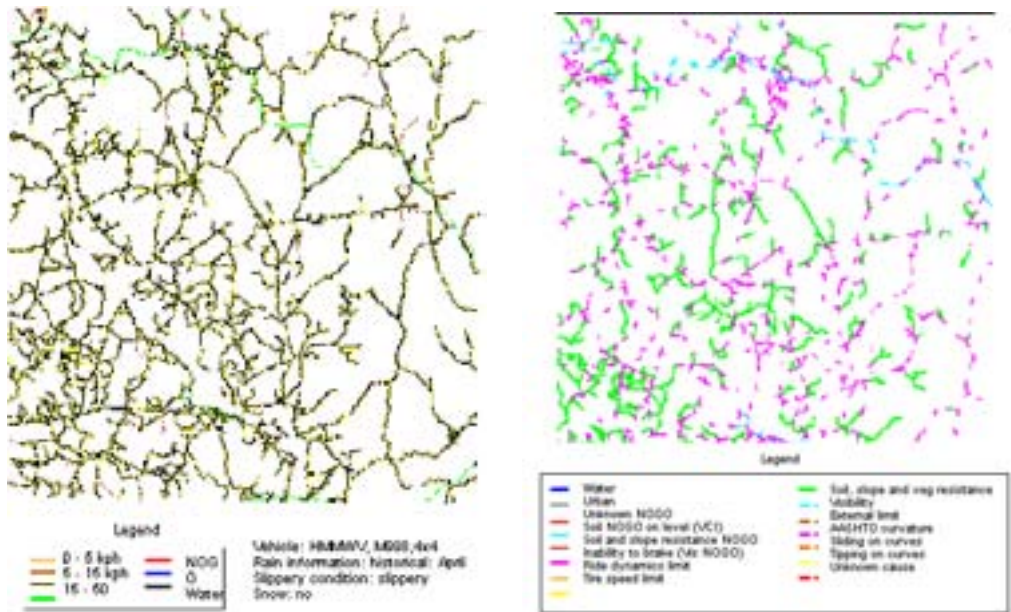
Näkemäalueanalyysi voidaan tehdä myös manuaalisesti. Kaje [Kaje63] esittää analyysin toteuttamisen topografisen kartan avulla. Yhdysvaltojen maastoanalyysiohjesääntö [FM 5-33] kuvaa hieman yksinkertaisemmän tavan analyysin toteuttamiseen. Todellisuudessa näin voidaan analysoida lähinnä yksittäisiä näkemäviivoja tai enintään tietyn aseman näkemäviivasarjoja.

Lappalainen [Lap94] esittää käytettäväksi alueelta-alueelle tyyppisiä analyysieja laajassa mitassa siten, että näkemää analysoidaan etenemisurilta ja joukkojen käyttöalueilta. Hänen lähtökohdanaan on analyysien toteuttaminen jo rauhan aikana, jolloin pitkät laskentaajat voidaan hyväksyä ja tietoja voidaan käyttää suunnittelun alusta saakka hyväksi. Myös tämän tyyppistä toteutusta on esitelty tarkemmin luvussa 8.3. Topographic Engineer Centerissä [USA01] vastaava analyysi oli tehty laskemalla tuhansia yksittäisiä näkemäalueita yhteen (Cumulated visibility) käyttämällä ArcInfo-luokan verkkoa ja työasemia laskentaan. Tämän tyyppinen analyysitulokset voidaan yhdistää esimerkiksi reittioptimointiin suojaisten reitin määrittämistä varten tai kulkukelpoisuusanalyysiin joukolle parhaiten sopivien taistelualueiden määrittämiseksi.

Jos näkemäalueanalyysi liitetään osaksi tilannetietokantaa, voi johtamisjärjestelmä antaa koko ajan arvioita tiedollisesti hallinnassa olevalta alueelta. Analyysia voidaan käyttää joustavasti myös uhka-alueiden määrittelyyn, joka on esitetty laajemmin luvussa 8.3 helikoptereiden käytön suunnittelun kannalta.

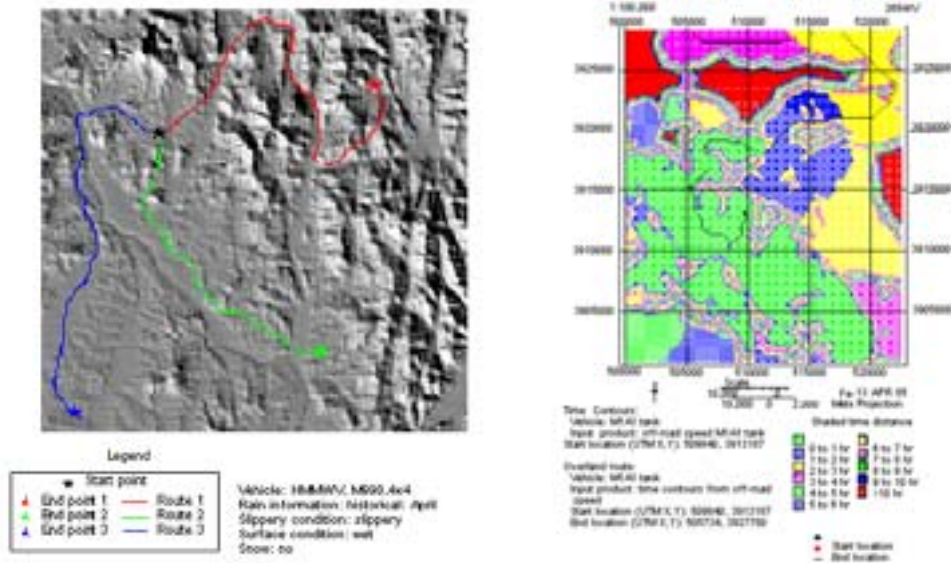
3.4.4 Logistiikka tieverkoilla ja maastossa

Tieaineisto on luonnollinen lähtökohta reittioptimoinnille. Paikkatieto-ohjelmien moduulit tarkastavat ja korjaavat yleensä ensin verkon topologian ja muodostavat sitten sen perusteella laskennallisen graafin, jossa optimointi toteutetaan. Vakioituja toimintoja ovat nopeimman ja lyhimmän reitin etsintä joko kahden pisteen välille tai valittujen välipisteiden kautta. Sotilaallisista tekijöistä myös suojaisuus on merkittävä optimointia ohjaava tekijä. [FM 5-33] [FM 3-34] [PATU]



Kuva: Esimerkki reittioptimoinnin lähtöaineistosta. Vasemmalla analysoitu ajonopeus tiestöä pitkin, oikealla liiketekijäanalyysituloks. [FM 3-34]

Tiestön pituus hallitaan järjestelmissä luonnostaan. Käytettävä ajonopeus voidaan yleensä asettaa sekä ajoneuvo kohtaisesti että päätellä yleensä tieluokan mukaisesti. Yhdysvalloissa analysointia on jatkettu liiketekijäanalyysillä [on-road reason], jossa käsitellään muun muassa mutkaisuutta, mäkisyyttä, liukkautta, näkemää ja kasvillisuutta. Yhtenä tekijänä voisi olla reitin kumulatiivinen eksymistodennäköisyys ja sen edellyttämä opastuspisteiden tarve. Myös pimeyden ja sääolojen muutosten vaikutukset voidaan huomioida. Näiden avulla voidaan sekä vaikuttaa ajonopeuksiin, että liittää tiestön ominaisuudet ajoneuvon suorituskykyyn.



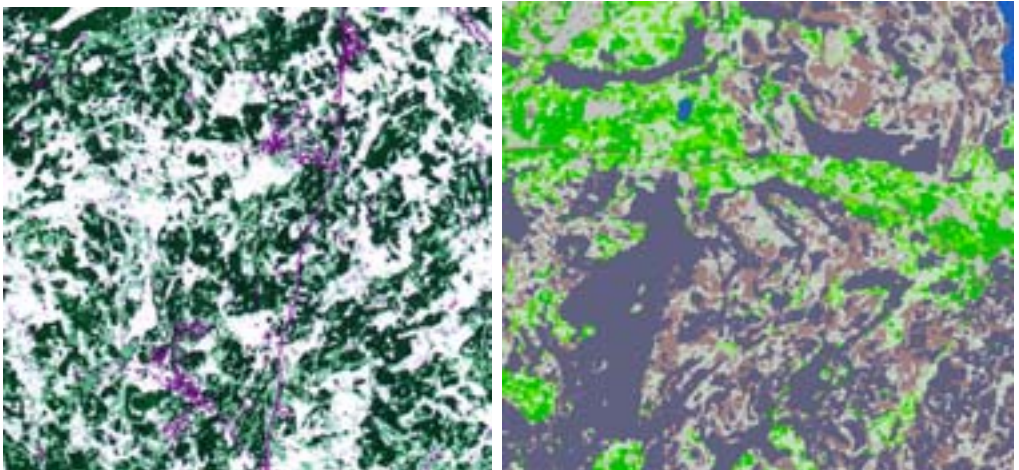
Kuva: Esimerkki vasemmalla reitin optimoinnista maastossa ja oikealla siirtymisaikakartta. [FM 3-34]

Pysyvä suojaisuustekijä voidaan muodostaa tieaineistolle erillisellä analyysillä, jossa kullekin segmentille annetaan arvo sen ympäristön perusteella. Näin meneteltiin esimerkiksi paikkatietoanalyysitutkimuksen [PATU] reittioptimointiprototyypissä. Toinen vaihtoehto on käyttää näkemäanalyysin tulosta, jolloin analyysi voidaan sitoa joko pysyvään kumulatiiviseen tulokseen tai tilanteeseen sidottuun vaara-alueeseen, esimerkiksi maavalvontatutkalentokoneen³⁹ valvontakykyyn. Vastaavalla tavalla voidaan painottaa myös muita uhkatekijöitä kuten maastokaasua tai säteilyä. Pioneeritoiminnan johtamislaitteessa tiestölle muodostetaan palvelun intensiteettiä kuvaava tienpitotaso, jolla häiriöihin, kuten tie- tai silta-aurioihin ja siroteiminoitteisiin pyritään vastaamaan. Myös palvelutaso voi muodostaa yhden optimoitavan tekijän. Lisäksi on huomioitava reittien todellinen katkeaminen taistelutoiminnan seurauksena ja uusien reittien rakentaminen sekä sotilasajoneuvojen kyky kiertää esteitä maastoitse. Tällä hetkellä vastaaviin rauhan ajan reittioptimointipalveluihin ollaan liittämässä dynaamista ruuhkaisuuden huomioivaa parametriä. Vastaava tilanne on sotilaallisessa toiminnassa, tosin tiestön käytön suunnittelulla myös ruuhkat kuten marssirivistöt voidaan ennakoida ja reitit varata tiettyyn käyttöön. Ongelmana kaikissa dynaamisissa tekijöissä on graafin muodostamisaika. Osa tekijöistä voidaan toteuttaa painottamalla, mutta osa on pakko laskea osaksi graafia. Tieverkon erikoiskohteiden ominaisuudet, kuten siltojen kantavuus tai tunnelien korkeus, on mahdollista jo nyt huomioida algoritmeissa. Suomessa on muodostumassa tähän soveltuva aineisto Digiroad-projektin tuotteena.

Maastossa esimerkiksi kulkukelpoisuusanalyysin tulos yhdistettynä tiestöä vastaavaan liiketekijäanalyyysiin ja estekarttaan⁴⁰ antaa mahdollisuuden kustannuspinnan määrittämiseen. Tämän jälkeen reitti voidaan optimoida esimerkiksi rasterilaskennalla, tosin sen vaatima aika on merkittävästi tiestöllä tapahtuvaa reittioptimointia pidempi. On myös mahdollista ottaa tiestö mukaan osaksi kulkukelpoisuutta, jolloin voidaan käsitellä liikennöitävyyttä (trafficability). Kustannuspinnan avulla voidaan myös muodostaa siirtymisaikakarttoja (time distance), joita Lappalainen [Lap94] pitää tärkeinä sotilaallisen suunnittelun kannalta.

3.4.5 Suojan hankintaa tukevat maastoanalyysit

Yhdysvalloissa passiivisessa suojassa korostuvat panssarointi ja liikkuvuus, joten maaston tarjoaa fyysistä suojaa lähestytään lähinnä suora-ammuntatulen kannalta. Eroteltavina tekijöinä ovat pienet panssarille suojaa tarjoavat maastoleikkaukset ja esimerkiksi siirtolohkareet. [FM 5-33]. Lappalainen painottaa linnoittamismahdollisuuksia, koska meillä merkittävä osa suojasta hankitaan siten. [Lap94] Vastaava lähestymistapa on myös Pioneeritoiminnan johtamislaitteessa, jossa toiminnan lisäksi analysoidaan myös maaston aiheuttamaa kaivuvastusta. [PionJohla]



Kuva: Vasemmalla maastouttamisanalyysitulokset [MATI01b], joka kuvaa suojautumismahdollisuuksia ilmasta tapahtuvalla tiedustelulla, oikealla Pioneeritoiminnan johtamislaitteen linnoitettavuusanalyysitulokset.

Maastouttaminen nähdään yleensä maastotekijöistä riippuvana toimintana. Tekijöitä ovat latvuspeittävyys (roof coverage) ja kasvillisuustyyppi. [FM 5-33] Analyysi on mahdollista

³⁹ Tällä tarkoitetaan Joint Stars tyyppistä SAR-tutkalla varustettua lentokonetta.

⁴⁰ Asiaan liittyvä tutkimustyö vastaavista estevaikutuksista eläinten liikkumiseen ekologisissa verkostoissa on käynnissä. Siinä Jukka Krisp on lähestynyt asiaa visualisoinnin kautta, jolloin syntyvä kokonaisuus on eri eläinlajien kannalta helpompi hahmottaa.

tehdä kohtuullisen suurella luotettavuudella myös suoraan satelliittikuvista, jolloin voidaan huomioida myös tutkan käyttömahdollisuudet. [MATI01b] Kokonaisuutena paras tulos saadaan useita eri menetelmiä yhdistämällä ja tuntemalla tarkasti sekä sensorin että maalin ominaisuudet.

Teknisesti sekä linnoitettavuus- ja maastoutettavuusanalyysit ovat toteutettavissa overlay-analyysina. Niiden tulokset voidaan kulkukelpoisuuden tavoin tarkistaa maastossa ja pyrkiä siten optimoimaan algoritmeissa käytettävät parametrit. Maastoutettavuus on tavallaan käänteinen yleistetyille näkemäanalyysille, joten ongelmaa voidaan lähestyä myös tätä kautta.

3.4.6 Muita mahdollisuuksia

Useita muitakin sotilaallisia toimintoja voidaan tukea paikkatietoanalyyseilla. Taisteluaineiden leviämisen ennustaminen ja pysyvyys eri maasto- ja sääolosuhteissa on käytössä erityissovelluksissa.⁴¹ Radio- ja linkkiyhteyksien arviointia varten on itse järjestelmiin liitettyjä maastoanalyysisovelluksia, joissa maan pinnan kaarevuus ja erilaiset esteet sekä aallon vaimeneminen etäisyyden funktiona on huomioitu. Vastaavalla tavalla voidaan mallintaa radiohäirintää kenttävoimakkuuksia vertailemalla.⁴² Yhdysvalloissa on tehty kehitystyötä patojen sortumisen tulosten ennustamiseen. [FM 3-34] Maastotekijät vaikuttavat myös asejärjestelmien käytettävyyteen ja tulen tehoon maalissa.

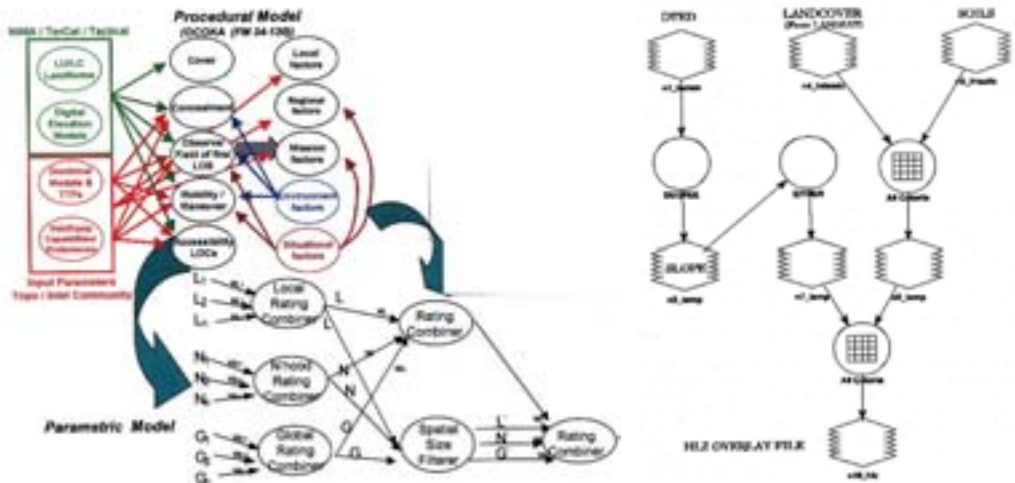
Eri aineistojen tietoja yhdistelemällä ja vertailemalla voidaan tehdä kymmeniä erilaisia analyysieja. Näistä yleisimmin esitettyjä ovat helikoptereiden laskeutumisalueiden, maa-hanlaskualueiden ja maihinnousualueiden määrittely, joissa tavoitteena on etsiä useita lähtöaineistoja käyttäen kohteita, jotka täyttävät tietyt ehdot. Helikoptereiden laskeutumisaluita on käsitelty tarkemmin luvussa 8.3. Yhdistämällä poimintojen tuloksia reittianalyysiin voidaan tukea esimerkiksi tuliasemien vaihtojen suunnittelua.

Maastoanalyysien käytön lisääntyessä ja tekniikan kehittyessä on tavoitteeksi noussut erillisten tekijöiden kuten liikkeen tai suojan kannalta tehtyjen analyysien yhdistäminen vastaamaan suoraan sotilaallisiin kysymyksiin kuten maaston käytettävyyteen tietyn joukon taktiseen toimintaan. Lappalainen [Lap94] esittää prosessin overlay-tyyppisenä siten, että tekijöitä yhdistellään vaiheittain ja johtopäätökset tekee ihminen visualisoinnin perusteella. Tavoitteena on ryhmitysten suunnittelun lisäksi löytää ne maastonkohdat, avainmaastot, joita hallussa pitämällä koko taistelutila voidaan hallita. Prosessi voidaan myös yrittää automatisoida siten, että myös vastustajan mahdollisuudet huomioidaan ja etsitään

⁴¹ Meillä kokeiltavana on esimerkiksi ABC Analysis, joka huomioi muun muassa tuulen vaikutukset.

⁴² Meillä kokeiltavana on esimerkiksi Warfare-analyysiohjelmisto.

niitä kohtia, joissa maasto- ja ympäristötekijöiden vaikutus kokonaistoimintaan on erotuksena suurin. [USA01]



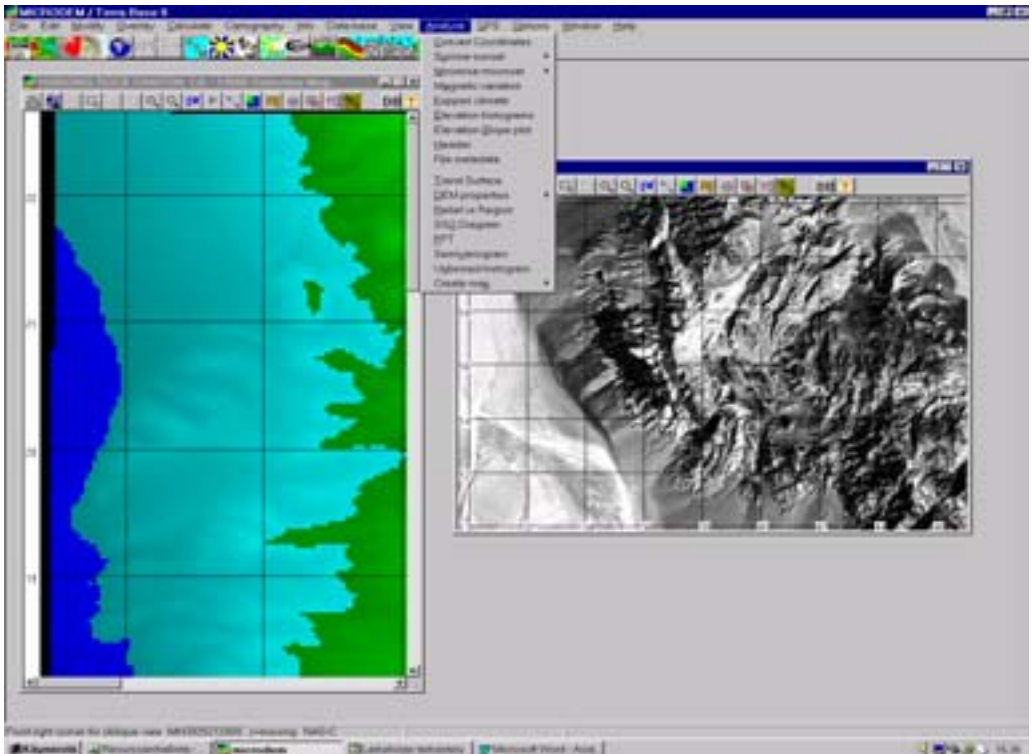
Kuva: Esimerkkejä analyysien yhdistämisestä. Vasemmalla Topographic Engineer Centerin hahmotelma OCOKA-prosessin kytkemisestä kokonaisuutena analyysiin [USA01]. Oikealla ERDAS Imaginen helikoptereiden laskeutumisalueanalyysin malli.

3.4.7 Esimerkki kevyestä maastoanalyysiohjelmasta: TerraBase

TerraBase on Yhdysvaltojen pioneeriaselajin käyttämä ohjelma, jonka kehitystyö on aloitettu 1990-luvun alkupuolella West Pointin ja Naval Academyn opetuksen tarpeista. Ohjelmaa on rahoitettu usean vuoden ajan osana pioneeriaselajia ja sitä käytetään maastoanalyysien ja visualisoinnin opetusvälineenä kaikilla kurssitasoilla. Huolimatta DTSS-järjestelmien käyttöönotosta TerraBase on edelleen pataljoonatasolla ja sen alapuolella tärkeä väline myös digitaalisissa joukoissa, lisäksi sitä käytetään kaikissa vanhan tyyppisissä organisaatioissa. [USA01]

Sotilaallisten analyysien kannalta ohjelma on siinä mielessä mielenkiintoinen, että professori Peter L. Guth on sotakoulun opettajana kehittänyt sitä jo kymmenen vuotta täyttämään sotilaiden tarpeita. Lähtökohtana on kyky käyttää NIMAn aineistoja sekä satelliittikuvia, viimeisessä versiossa on myös AutoCAD Design File (DXF) ja ESRI Shape File (SHP) vektoriformaattien tuki. Lisäksi ohjelmassa on melko monipuoliset koordinaatistomuunnosominaisuudet. [Terra]

Maastoanalyyseissa ohjelma keskittyy näkemäanalyyysiin useassa eri muodossa. Toinen pääalue on 2½D visualisointi, jota tuetaan viisto- ja perspektiivinäkymin sekä fly through -tyyppisellä tarkastelulla. Korkeusmallin lisäksi ohjelma kykenee käsittelemään yhtä rasteriaineistoa ja useita vektoriaineistoja kerralla ja siinä on valmiit taktiset symbolit käytettäväksi sotilaallisten tilanteiden esittämiseen. Uusimmat versiot pystyvät käyttämään GPS-dataa ja seuraamaan kohteen liikettä.



Kuva: Terrabase 5.2 ohjelman käyttöliittymä. Napeilla käynnistetään aineistojen käsittely- ja analysointitoiminnot. [Terra] Copyright.

3.4.8 Esimerkki raskaasta analyysijärjestelmästä: DTSS

Digitized Topographic Support System (DTSS) on kehitetty uuden tyyppisten Army XXI prikaatien, divisioonien, armeijakuntien ja sotatoimialueiden topografiseen tukemiseen digitaalisella taistelukentällä. Järjestelmä on osa Combat Terrain Information System (CTIS) ohjelmaa, jolla on pyritty korvaamaan vuosina 1985-86 kehitetty vanha, paperikarttojen tuotantoon tarkoitettu topografinen tukijärjestelmä (Topographic Support System, TSS). DTSS-kokonaisuuden kehittäminen aloitettiin vuonna 1995, nyt käytössä on versio 7 ja testauksessa versio 8. [USA01]

Lähtökohtana on yhteinen ohjelmistoperusta, joka koostuu sekä kaupallisista (COTS) että valtion omistamista (GOTS) osioista. Perustana on Windows NT 4.0 käyttöjärjestelmällä ESRI ArcInfo 8 ja ERDAS Imagine 8.4, joita täydentää katselussa ArcView 3.2 ohjelma. Versiossa 8 on käytössä Informix / ArcSDE tietojenhallinta. Yleiset tehtävät toteutetaan MS Office ja Adobe Photoshop valmishjelmilla. GOTS perusta muodostuu johtamisjärjestelmän yhteensovittavasta ja turvapalvelut tarjoavasta Army Battle Command System DII COE modulista, Joint Mapping Tool Kit (JMTK) tuotantojärjestelmästä ja Common Message Processor viestipalvelusta (CMP). Nämä on yhdistetty DTSS rungolla (Core), joka sisältää tietomallit ja editoinnin, tietokannan hallinnan, julkaisuominaisuudet, NIMAn formaattien muunnosohjelmat sekä kulkukelpoisuuteen ja näkemään liittyvät analyysiominaisuudet. [DTSS00]

DTSS-järjestelmät päivitetään NIMAsta satelliittivälitteisesti. Jokainen järjestelmä kykenee päivittämään ABCS-johtamisjärjestelmän varsinaista tietokantaa ja toimimaan tarvittaessa sen varmentajana. Kyky internet-tyyppiseen julkaisuun kaikille käyttäjille tapahtuu ABCS-järjestelmän kautta. [USA01]

DTSS vastaa uudessa joukkotyyppissä paikkatietojen keräämisestä ja luomisesta, karttatietokannan luomisesta ja hallinnasta, tietojen käsittelystä, analysoinnista ja esittämisestä, geodeettisten mittaustulosten prosessoinnista ja tulostamisesta. Kokonaisuuteen kuuluu kuusi erilaista kokoonpanoa: [DTSS00]

- DTSS-B (Base) asennettuna kiinteisiin tiloihin topografisille pataljoonille sota- toimialueen toimintojen tukemiseen ja sisältäen laajamittaisen tulostusmahdollisuuden. Suunniteltu hankittavaksi 3 kappaletta.
- DTSS-H (Heavy) asennettuna 5 tonnin maastokuorma-autoalustalle topografikomppanioiden kalustoksi. Toimitettu 8 kappaletta, loput suunniteltu korvattavaksi kevyemmällä asemilla.
- DTSS-L (Light) asennettuna suojatulle HMMWV-alustalle. Tavoitemäärä yli 150 kappaletta ryhmille prikaatista topografikomppaniaan. Sisältää rajoitetun tulostusmahdollisuuden.
- DTSS-D (Deployable), rakkiasenteinen kokonaisuus, jota voidaan käyttää tilapäisissä kuivissa tiloissa. Tavoitemäärä 115, mahdollisesti otetaan käyttöön myös muissa kuin Force XXI joukoissa.
- DTSS-HVMP (High Volume Map Printer), 5 tonnin kuorma-autoasenteinen tulostusyksikkö maastossa tapahtuvaan kartantuotantoon, kapasiteetti A0 tulosteina yli 5000 kappaletta vuorokaudessa. Suunniteltu 16 kappaletta armeijakuntaa tukeville topografikomppanioille.
- DTSS-S (Survey) geodeettisten mittauksen tukemiseen asennettuna HMMWV-alustalle, suunniteltu 24 kappaletta sotatoimialue ja armeijakuntatasoille.

Kokonaisuudessaan vuoteen 2007 mennessä Yhdysvaltojen on tarkoitus hankkia yli kolmesataa asemaa, joiden yhteishinta on noin miljardi dollaria. [DTSS00]



Kuva: Vasemmalla sisätiloihin asennettava DTSS-D ja oikealla HMMWV ajoneuvoalustalle asennettu DTSS-L asema. [DTSS00]

Verrattaessa järjestelmien käyttöajatuksia Suomeen voi todeta, että meillä vastaava toteutus ei resurssi- ja koulutusyistä ole mahdollista. Järjestelmiä ja niitä käyttävää joukkorakennetta voi kuitenkin käyttää referenssinä arvioitaessa digitaalisen taistelulentän vaatimaa paikkatietomäärää ja tehtäessä yritysvarauksia.

3.5 Standardit kehitystyön ohjaajana

Kun paikkatietojärjestelmät alkoivat siirtyä 1970-luvulla tutkijoilta operatiiviseen käyttöön, ne olivat pääosin suljettuja ja yhteen tarkoitukseen kehitettyjä. Tietokoneiden kehitys seuraavina vuosikymmeninä toi kevyitä PC-pohjaisia järjestelmiä, samalla kun tietojen siirto järjestelmien välillä lisääntyi. Ongelma tietojen hajautetulle käsittelylle ja jalostukselle ovat olleet toisaalta järjestelmäkohtaiset formaatit, toisaalta heterogeeniset tietomallit ja topologiat. Tulevaisuuden verkottuneessa maailmassa näin ei enää voi olla. Standardoinnilla pyritään vastaamaan näihin haasteisiin.

International Standardisation Organisation (ISO) Technical Committee 211 on laajin käynnissä oleva paikkatietojen standardointihanke, jonka tavoitteena on luoda kattava sarja paikkatietoaineistojen laatumäärittelyjä ja menettelytapoja. Standardit käsittelevät paikkatiedon hallintaa (management) mukaan lukien määrittely (definition) ja kuvaus (description), hankintaa (acquiring), käsittelyä (processing), analysointia (analyzing), käytettävyyttä (accessing), esittämistä (presenting) ja siirtoa (transferring). Kokonaistavoitteina on edistää paikkatietojen ymmärtämistä ja käyttöä, lisätä tietojen saatavuutta ja yhdistettävyyttä, tehostaa tietojen ja tietojärjestelmien käyttöä sekä luoda yhteinen lähestymistapa

globaaliin esittämiseen. [TC211] Useat muut jäljessä luetellut standardointielimet työskentelevät osana TC211 prosessia. Standardi tulee koskemaan Puolustusvoimia myös siksi, että merkittävä osa aineistojen toimittajista ottaa sen käyttöönsä. Lisäksi se tullaan implementoimaan ohjelmistoihin, tästä vahvana esimerkkinä on Oracle.

Digital Geographic Information Working Group [DGIWG] tavoitteena on DIGEST-standardoinnilla tukea kansainvälistä paikkatietoaineistojen vaihtoa liittyen sotilaallisiin operaatioihin. DGIWG on ollut alusta saakka voimakkaasti mukana ISO työssä ja sen tavoitteena on saattaa laatimansa standardit täysin yhteensopiviksi sen kanssa komponenttitasolla. Näin pyritään aikaansaamaan tilanne, jossa myös kaupallisia ohjelmia voidaan käyttää ilman erillisiä rajapintojen määrittelyjä ja sovittamista. [DGIWG]

World Wide Web Consortiumin (W3C) tehtävänä on yhdenmukaistaa kaikkien tietojen käsittelyä ja esittämistä internetissä ja sillä on yli 300 jäsentä. Paikkatiedon kannalta tärkein järjestön kehittämä standardi on Scalable Vector Graphics (SVG), joka on tapa kuvata kaksiulotteista grafiikkaa XML:n osana sekä vektoreina, kuvina että tekstinä. Vaikka SVG ei ole varsinainen paikkatiedon esitystapa, se kykenee sisällyttämään merkittävät osat tarpeellisista elementeistä ja hallitsemaan visualisoinnin toteutuksen järjestelmien välillä. [W3C] [Lehto]

Open Gis Consortiumilla (OGC) on keskeinen merkitys avointen paikkatietorajapintojen toteuttamisessa käytännön tasolla. OpenGIS määritellään kyvyksi *"jakaa heterogeenisia paikkatietoja ja käsittelykapasiteettia läpinäkyvästi verkottuneessa ympäristössä."* Pääpaino on yhteisten rajapintojen määrittelyssä. Järjestö tekee intensiivistä yhteistyötä ISO TC211 määrittelyn sekä DGIWG:n ja OMG:n kanssa. [OGC] Tietojen laajempaa siirtoa varten W3C on standardoinut XML-perusteisen Simple Object Access (SOAP) protokollan, jonka tavoitteena on tukea tietojen hallintaa verkottuneessa ympäristössä.

High Level Architecture (HLA) on tapa erilaisten simulaattorien kytkemiseksi yhteiseen tapahtumatilaan siten, että yhdessä järjestelmässä tapahtuva toiminta voidaan huomioida myös muissa. Näin vastuuta simuloinnista voidaan jakaa teoriassa saumattomasti ja skaalattomasti eri tyyppisten ja eri tasoisten mallien välillä. Arkkitehtuuri ei ota kantaa eri simulaattoreiden maailmojen rakenteeseen, se antaa ainoastaan perustan simuloitujen objektien paikkojen, liiketilan ja toiminnan kuvauksen siirrosta eri järjestelmien välillä. [HLA]

Paikkatiedon merkityksen lisääntyminen simulaattoreissa tekniikan kehittyessä ja tarve simuloida toimintoja ”oikeassa maastossa” ovat tekemässä taktisista simulaattoreista dynaamisia paikkatietoaineistojen suhteen. Järjestelmien integroitu käyttö on luonut uuden tarpeen yhteiselle tiedon esittämistavalle, koska jaettavat kohteet toimivat samoissa paikoissa useassa eri järjestelmässä saman aikaisesti: esimerkiksi tilanne, jossa helikopteri kulkee lentosimulaattorissa näkymättömän, mutta taktisessa simulaattorissa näkyvän kohteen läpi on erittäin epäuskottava. **Synthetic Environment Data Representation and Interchange Specification [SEDRIS]** on standardointihanke koskien simulaattoreiden käyttämiä paikkatietoaineistoja, joka antaa tavan määrittellä simulaattorin maailman muodostava informaatio yhdenmukaistetulla tavalla. Osana standardia on myös yhteinen tiedonvaihtoformaatti. [SEDRIS]

Object Management Group [OMG]⁴³ kehittää välitason standardeja komponenttiperusteisten tietojärjestelmien yhteen liittämiseksi ja kuvaamiseksi. [OMG] [SovA] Unified Modelling Language (UML) on tietojärjestelmien suunnittelukieli, joka on saanut käytännön standardin aseman tietojärjestelmien mallintamiskielenä [vrt Tol98]. Common Object Request Broker Architecture (CORBA) on OMG:n toimittajariippumaton avoin välitason standardi, joka mahdollistaa alustariippumattoman komponenttikehitystyön. CORBAn rinnalla on kaksi kilpailevaa standardia. (1) Component Object Model (COM+) on Microsoft-standardi ohjelmistokomponenttien väliselle tiedonvaihdolle ja käytössä useissa kaupallisissa GIS-komponenttitekniologioissa ja Distributed COM (DCOM) on sen laajennus, joka toimii hajautettuna olioväylänä vastineena [Uus98] [SovA] Remote Method Invocation (RMI) on Sunin oliohajautustekniologia avoimeen laiteympäristöön pelkästään Java-kielisille sovelluksille ja Enterprise JavaBeans (EJB) on palvelinkomponenttien rakentamiseen tarkoitettu CORBAA vastaava arkkitehtuuri. [Uus98] [SovA] [NCOE201] Teknologian valinta on puolustusvoimissa vielä kesken. Uusin OMG:n kehitystavoite on Model Driven Architecture (MDA, jonka tavoitteena on määrittellä niin korkean tason malli, että sen avulla voi vastata myös tulevaisuuden komponenttikehitystekniologioihin.

⁴³ Myös Suomen puolustusvoimat osallistuu järjestön työskentelyyn.

3.6 Tekniikan tarjoamat mahdollisuudet paikkatietoanalyysien ja järjestelmien toteuttamiselle osana digitaalista taistelukenttää

Teoriaperusteet maastoanalyysien toteuttamiselle on pääosin kehitetty jo 1980-luvulla. Sen jälkeen kehitys on tapahtunut paljolti ohjelmistotoimittajien innovoimana, samalla kun tietokoneiden kyky käyttää suuria aineistoja ja monimutkaista laskentaa on kehittynyt valtavasti. Haasteena on edelleen eri perustalta lähteneiden mallinnustapojen yhteen liittäminen, näistä uusimpana on simulointi. Kolmiulotteinen mallinnus hallitaan jo kohtuullisen hyvin myös perinteisissä maantieteen lähestymistavan ohjelmistoissa, uutena haasteena on ymmärtää neliulotteista paikkaan sidottua temporaalista tietoa. Taistelumallit ja jo kehitetyt sotilaalliset maastoanalyysit antavat hyvän perustan paikkatietotekniikan hyödyntämiselle operatiivisen ja taktisen päätöksenteon tukena. Tätä edesauttaa myös simulaatioissa tapahtuva kehitys koulutusvälineistä kohti päätöksenteon tukijärjestelmiä.

Kaupalliset paikkatieto-ohjelmat ovat saavuttaneet tason, jolla jopa Yhdysvallat on päättänyt perustaa tulevaisuuden kehitystyönsä ainakin analyyseissa ja aineistojen käsittelyssä niihin. Useat pienemmät maat ovat jo siirtyneet käyttämään COTS-tuotteita myös johtamisjärjestelmälustoina [vrt Huh00]. Kaupallisten teknologioiden pohjalle on myös rakennettu joitakin taktisen tason simulaattoreita [KESI02]. Uudet komponenttiperusteiset teknologiat tullevat lopullisesti kääntämään kehityksen tähän suuntaan. Ideaalitulanteessa kunkin sovelluksen ja komponentin COTS-teknologia voitaisiin valita vapaasti sitoutumatta tiettyihin toimittajiin, käytännössä esimerkiksi Ruotsin valinta [GeoPres] osoittaa tiettyä realismia. Suomen puolustusvoimien osalta päätös on vielä tekemättä. Helokunnas [Hel95] on esittänyt kuusitoistakohtaisen vertailun oman kehittämisen, ohjelmakirjaston, valmiin GIS-tuotteen ja tuotteiden yhdistämisen osalta oliokehitystyössä. Hänen mukaansa COTS-tuotteiden ja komponenttien etuja ovat nopeampi kehityssykli, pienempi työmäärä ja valmiiden tietorajapintojen olemassaolo. Heikkoutena ovat hinta suurilla sovel-lusmäärillä, räätälöitävyyden ja suorituskyky. Rakenne muodostaa edelleen hyvän vertailu-pohjan, vaikka COTS-tuotteet ovat ominaisuuksiltaan kehittyneetkin.

Lähinnä kuluttajamarkkinoiden paineesta internetin ja mobiilin paikkatietojen käytön alueil-la aiempien vuosien GIS-ohjelmistojen yhteensopimattomuus toimittajakohtaisine suljet-tuine formaatteineen alkaa olla historiaa. 1990-luvulla käynnistynyt standardointi on tuot-tanut ensimmäisen avoimen ja yleisesti käytetyn formaatin GML:n muodossa. Välitiasorat-kaisut ovat mahdollistaneet näihin yhdistettynä tehokkaan komponenttikehitystyön myös paikkatietojen osalta.

4 MAASTOANALYYSIEN LÄHTÖAINEISTOT SUOMESSA

Luku kuvaa aineistot suuruusjärjestyksessä lähtien suomalaisesta aineistokannasta päätyen sotilasaineistojen kautta kohdetason tarkkoihin tietoihin. Ensimmäinen alaluku on kartoittavaa, toinen ja kolmas kuvaa asian käytännön tason tutkimus- ja kehittämisprojektien kokemusten kautta. Neljäs alaluku on johtopäätös aineistokannasta.

4.1 Suomalaiset maavoimien lähtöaineistot

Luvussa esitetään suositellun aineistojaottelun mukaisesti se aineistokanta, jolle paikkatietoylivoima voidaan perustaa. Aineistot on esitelty perusteellisemmin liitteessä 6. Paikkatietoydin -hankkeen kokonaistavoitteena on ollut luoda perusteet yhteiskunnan koordinoitulle tuelle taata keskeisten paikkatietoaineistojen laatu ja saatavuus käyttäjien kannalta sekä pyritty välttämään päällekkäistä työtä. Työ on ollut pitkäjänteistä, sen perusteet asetettiin LIS-projektissa 1980-luvulla [LIS91].¹ Tärkein tulos on vuonna 1998 ilmestynyt raportti [PTY97] ja sitä edeltänyt esitutkimus. Projektin osatavoitteina olivat:

- Kokonaisstrategian näkökulmasta määritellä suomalaisen yhteiskunnan tarvitsemat peruspaikkatiedot.
- Koordinointinäkökulmasta tunnistaa olemassa olevista tietoaineistoista ytimeen kuuluvat aineistot sekä niiden mahdolliset puutteet ja päällekkäisyydet.
- Kehitysnäkökulmasta tunnistaa puuttuvat ytimeen kuuluvat tietoaineistot.
- Laatusnäkökulmasta esittää peruspaikkatietoihin liittyvät tiedon tuottajan ja ylläpitäjän vastuut.
- Toimenpide-ehdotuksien tekeminen.

Paikkatietojen yhteiskäyttöprojektin osana tietoisuus metadatan merkityksestä on kasvanut ja tulevaisuudessa tähän tullaan myös Puolustusvoimissa kiinnittämään erityistä huomiota.²

Ydinaineistojen muodostamiskriteereitä ovat aineistojen monikäyttöisyys ja merkitys yhteiskunnan kannalta, aineiston tietojen sijainnin esittäminen koordinaatein tai tunnuksen välityksellä, jotta käsittely sijainnin perusteella on mahdollista, mahdollisuus aineiston tietojen sisällölliseen yhdistämiseen toisiin paikkatietoihin, aineiston laadun tunnettuus ja sen kuvaus sekä se, että aineiston tiedot on saatavissa tietopalvelun kautta. Lisäksi suositellaan aineiston valtakunnallisuutta, kuvatus ilmion tai kohdetyypin pysyvyyttä ja aineiston jatkuvaa tai säännöllistä ajantasaisuutta. Viime aikoina työ on ollut vastatulessa,

¹ Kehitystä on kuvattu esimerkiksi Positiassa 1/1998 artikkelissa Paikkatietoydin yhteiskunnan kulmakivenä

² Metadatala tarkoitetaan paikkatietoaineiston tai tietotuotteen tuoteselostetta, joka kuvaa aineiston keskeiset laatu- ja käytettävyysominaisuudet. Puolustusvoimissa on käynnissä yhteinen tutkimusprojekti Teknillisen Korkeakoulun kanssa metadata-rakenteen määrittämiseksi. Rakennepäätöksen jälkeen aineistohankintoihin tullaan liittämään myös tuottajan laatima metadatakuvaus. Asiaa on käsitelty laajemmin luvussa 9.

mutta se muodostaa jo selvityksenä perustan Puolustusvoimien aineistokannan arvioinnille. Aineistot jaetaan yhdeksään aiheryhmään. [PTY97]

Suomessa Julkisen Hallinnon Standardi JHS137 käsittelee tietotuoteselosteita ja sen tarkennus JHS137a erityisesti paikkatietoa. Suositus määrittelee yhtenäisen tavan kuvata kaikkia numeerisessa muodossa olevia tietotuotteita, havainto- ja tutkimusaineistoja, perusrekistereitä sekä muita tietojärjestelmien tietoaineistoja. Seloste antaa tiedon tuottajalle mahdollisuuden kuvata tietotuote niin, että tiedon mahdollinen käyttäjä voi ymmärtää tietotuotteen sisällön rajoituksineen ja arvioida sen soveltuvuutta tarpeisiinsa. Lähestymistapaa voidaan kuvata asiakaslähtöiseksi. [JHS137a]

Geodeettiset paikantamistiedot muodostavat perustan kaikille sijainniltaan tunnetuille tietoaineistoille. Niihin kuuluvat koordinaatistojärjestelmä, geoidimalli, kiintopisterekisterit.

Viitteelliset paikantamistiedot ovat tietoja, joiden sijainti voidaan osoittaa koordinaatistossa ja joiden avulla muita kohteita ja ilmiöitä voidaan välillisesti paikantaa. [PTY97] Näitä ovat muun muassa paikannimi- ja karttanimirekisteri [MML] ja rakennusten osoitetiedot [PTK] Rekistereillä ovat etuina ajantasaisuus ja ominaisuustietojen määrä, haittana Puolustusvoimien kannalta pienehkö kattavuus, vaihteleva laatu ja yhdistämisen monimutkaisuus.

Maastotiedoista laajin on maastotietokanta sisältäen pääpiirtein ne tiedot, joita käytetään topografisten maastokarttojen laatimisessa [PTK] ja joka muodostaa Yhdysvaltojen FFD-aineistoa vastaavan luonnollisen perustan digitaalisille paikkatietojärjestelmille. Korkeusmalli kuvaa maanpinnan muodot, mutta siitä puuttuvat muun muassa jyrkänteet ja vastaavat suurimittakaavaiset tekumuodot. [PTK] [MML] Maaperäkartan kattavuutena on eri mittakaavaaluokissa koko maa. [GTK] [PTK] SLICES-maankäyttöaineisto on muodostettu useasta eri paikkatietoaineistosta ja se muodostaa referenssin rasterimuotoisen tiedon esittämiselle. [MML] [SLICES] Maankäyttö- ja puustotulkinta (MaPuTu) on pääosin puustoa käsittelevä laaja aineisto. [MetLa] [PTK] [MML] Maastoanalyysien kannalta maastotiedot muodostavat tärkeimmän lähdeaineistoryhmän korkeusmallin ohella.

Maan hallinta ja sen yksiköt muodostavat kiinteistötietoina taloudelle tärkeimmän tietoympäristön. Sotilaallisesti maanhallintatiedoilla on merkitystä lähinnä niin sanotun harmaan vaiheen aikana, jolloin toimivaltuuskysymykset ovat korostetusti esillä.

Maankäytön oikeudet ja rajoitukset antavat perusteet kiinteistöjen käytön hallinnalle ja ympäristön suojelulle. Laajemman rekisterin muodostavat pohjavesialuerekisteri ja pohjavesialueet. [SYKE] [PTY97] SLICES aineiston tavoitteena on muodostaa yhtenäinen perusta myös näille aineistoille. Maastoanalyysien kannalta tämä aineistoryhmä omaa

vain vähän merkitystä. Kokonaismaanpuolustuksen kehyksessä sen merkityksen voidaan kuitenkin arvioida kasvavan tulevaisuudessa.

Rakennukset muodostavat lähes puolet koko Suomen varallisuudesta ja tärkein valtakunnallinen rekisteri on rakennus- ja huoneistotiedot (RHR). [PTK] Pääkaupunkiseudulla on käytössä merkittävästi laajempi tietoaaineisto SeutuCD:n nimellä. [YTV98] [SeutuCD] Rakennusrekisterin käytettävyyttä maastoanalyysien lähtöaineistona ei tämän työn puitteissa ole ehditty kokeilemaan. SeutuCD:n käytettävyys on arvioitu luvussa 8 osana Pelastuslaitoksen riskianalyysityötä.

Väestö ja elinkeinot jaottelu sisältää yritys- ja toimipaikkatietoja. [PTK] Sotilaallisesti aineistot mahdollistavat esimerkiksi haittavaikutus- tai riskianalyysien laadinnan. Myös väestörekisteriä voidaan paikantaa asuinpaikan osoitetietojen perusteella. Puolustusvoimilla on viranomaisluonteensa takia mahdollisuus myös tarkan tason tietoon, joka voi toimia esimerkiksi riskianalyysien lähtöaineistona.

Verkostot kuten tiestö, rautatiet, lentokentät, sähkönsiirto- ja maakaasuverkko sekä sillat muodostavat nykyaikaisen yhteiskunnan keskeisen infrastruktuurin. [PTK] Uuden lähtökohdan tiestöä koskeviin aineistoihin muodostaa Liikenneministeriön TETRA-hankkeen osana käynnistetty laaja Digiroad-projekti, jonka aineisto on valmis vuoden 2003 loppuun mennessä. [Digiroad] Sotilaallisesti varsinkin tiestöllä ja silloilla on suuri operatiivinen merkitys.

Hallinnolliset ja toiminnalliset aluejakoon kuuluvat muun muassa valtakunnan-, läänin- ja kunnanrajat [PTY97] sekä näitä täydentävä sotilaallinen aluejako. Kriisiaikana vastualuejaolla on myös hallinnollista merkitystä. Hyvin toteutettu topologia mahdollistaa esimerkiksi viranomaisyhteistoimintojen alueellisen koordinoinnin.

4.2 Esimerkkejä sotilaallisten paikkatietoaineistojen muodostamisesta

Luku on osa väitöskirjan empiiristä osaa, jossa kuvataan metamallin toteutusta eri tasoilla. Siltarekisterin poiminta ja siirto käyttöön todettiin toimivaksi, tosin sen kokoamista muilta kuin Tielaitokselta ei päästy käytännössä kokeilemaan Digiroad -hankkeen käynnistyttyä. Routa-, lumi ja jäätiedot ovat käytössä ja sotilasmetsän määrittely johtanee aineistoprojektin käynnistymiseen. Viimeisenä kuvattu SALPA on käytössä joukoissa.

4.2.1 Tavoitteena yhtenäinen siltarekisteri

Osana PuuAine -aineistonhankintaprojektia³ selvitettiin vuonna 1999 mahdollisuutta saada kerättyä silloista tärkeimmät tiedot ja siirrettyä ne Pioneeritoiminnan johtamislaitteen kohdetietokantaan käytettäväksi suunnittelun ja analyysien lähtöaineistoina. Osana tutkimusta pidettiin usean toimijan välinen kokous, jossa kartoitettiin tietokantojen ja tietomallien tilanne. Osallistujia oli Metsähallituksesta, Metsäkeskus Tapiosta, Ratahallinnosta, Helsingin ja Tampereen kaupungeilta ja Tiehallinnosta. Kerääminen todettiin periaatteessa mahdolliseksi, mutta käytännössä päätettiin jäädä odottamaan Digiroad-projektin toimia asian suhteen.

Tutkimuksessa todettiin, että ainoa tapa saada kerättyä ominaisuustiedoiltaan yhtenäinen aineisto on käyttää Tielaitoksen tietomallia, jonka perusteella tehtiin vuoden 2000 aikana kokeellinen poiminta sotilaallisesti merkittävien ominaisuustietojen osalta. Käytännössä tiedonsiirto kokeiltiin Tiehallinnon kanssa, jonka rekistereissä on noin puolet maamme silloista. Kokeilussa toteutettiin myös tietojen kiinnitys MML:n tietokannan kanssa. Aluksi lähdettiin siitä, että aineisto kootaan Topografikunnassa. Menettelyssä kuitenkin todettiin olevan kaksi merkittävää ongelmaa. Puolustusvoimilla ei ole järjestelmää, jossa ylläpidettäisiin tämän tyyppistä reaaliaikaista tietokantaa. Päivitykset onkin tehokkainta toteuttaa kertaluontoisina siten, että operatiivista suunnittelua varten tiedot saadaan kierroksen alussa ja kriisiaikana ne päivitetään tilanteen mukaisesti. Mikäli pyritään reaaliaikaiseen tietoon, pitää kaikilla johtoportilla olla reaaliaikaiset yhteydet kantaan, joka on mahdottomuus. Koska näin ei ole, lopputuloksena ovat toiminnan tasolla epäyhteneväiset tiedot, mitä ei voida sallia. Pääosalla tiedon käyttäjistä ei myöskään ole tietokantaa, vaan he näkevät tiedot aineistotuotteiden kautta. Päivitys muodostaa samalla referenssin muutoksille ja helpottaa tietojen vaihtoa molempiin suuntiin. Saman voisi tuki toteuttaa myös aikaleiman avulla.

³ PuuAine -projekti käynnistettiin Topografikunnan noin 50 Gb:n paikkatietokannan täydentämiseksi PionJohlan vaatimien lähtötietojen hankkimiseksi.

Toinen tekijä todettiin edellistä tärkeämmäksi. Yhteiskunnan kannalta kaikkien osapuolten yhteinen tietokanta voi muodostaa merkittävän resurssin esimerkiksi siltojen kunnossapidon tai liikenteen suunnittelulle, kuten Digiroad osoittaa. Jos tiedot kerätään Puolustusvoimille ja vain sen tarpeista, ne eivät ole muun yhteiskunnan käytössä turvaviranomaisia lukuun ottamatta, ja veroilla rahoitetun tiedonkeruun spin off vaikutukset jäävät hyödyntämättä. Hyvä ratkaisu saavutetaan hallitulla yhteistoiminnalla, puolustuksen kannalta kriittiset ja muille toimijoille tarpeettomat tiedot kuten panostilat voidaan hallita jakeudessa. On myös mahdollista kontrolloida, ettei tietoja jaeta koko valtakunnan laajuudessa kuin perustelluista syistä. Koko aineiston turvaluokittelua tulisi välttää.

Tietomalli muodostettiin siten, että osana poimintaa tiedot myös tulkittiin käyttäen tietokannan raportointiominaisuutta, jolloin Puolustusvoimien käyttäjien ei tarvitse osata Tietolaitoksen käyttämää luokituskoodistoa. Tietomallin noin kahdestasadasta tietoluokasta poimittiin yhdeksäntoista sotilaallisesti merkityksellistä. Lisäksi määritettiin kolme pioneeritoiminnan suunnittelua tukevaa lisätietokenttää.⁴

tunnus	tyyppi	mkiä	tulkinta	sisältö
SILLAN_REKISTERI.TUNNISTE	char	7	ei	yksilöivä tunnus
SILLAN_REKISTERI.NIMI	char	60	ei	sillan nimi
SILLAN_SKT.KAYTTOT	number	2	kyllä	käyttötarkoitus
joka korvautuu	char	20?	ei	käyttö tulkittuna
SILLAN_REKISTERI.XKOORD	number	5	ei	x-koordinaatti
SILLAN_REKISTERI.YKOORD	number	4	ei	y-koordinaatti
SILLAN_REKISTERI.SLIIKENT	pp.lk.www	8	ei	liikenteelle ottopäivämäärä
SILLAN_REKISTERI.POISPM	pp.lk.www	8	ei	liikenteestä poistamisppm
SILLAN_REKISTERI.KTPT	number	3	ei	kierotiepituus km
SILLAN_ST.STPIL	char	6	kyllä	sillatyyppi
joka korvautuu	char	120?	ei	tyyppi tulkittuna
SILLAN_TTILAM.JMSELV	char	140	ei	jätteet summalauskeena
SILLAN_REKISTERI.KANPIT	number	7,2	ei	kannen pituus m
SILLAN_REKISTERI.HL	number	7,2	ei	kannen leveys
SILLAN_PKT.PKTT	number	2	kyllä	kaapelin tyyppi
joka korvautuu	char	20?	ei	kaapelityyppi tulkittuna
SILLAN_PKT.PKKUV	char	25	ei	kaapelin kuvaus
SILLAN_PKT.PKOM	char	25	ei	kaapelin omistaja
SILLAN_REKISTERI.AJONPR	number	3	ei	max ajoneuvopaino tn
SILLAN_REKISTERI.YHDPR	number	3	ei	max yhdistelmäpaino tn
SILLAN_REKISTERI.AKSPR	number	3	ei	max akselipaino tn
SILLAN_TARKAS.YKLAS	number	1	kyllä	yleiskunto hyvä .. huono
joka tulkitaan itse auki	char	10?	ei	sama tekstinä

Kuva: Projektissa määritetyt sotilaalliset siltatiedot. Korvautumisella tarkoitetaan ko kentän tulostamista sanallisena eikä numerokoodina.

⁴ Poiminnasta vastasi kirjoittaja ja se toteutettiin kehitystehtävää varten. Esitetty luettelo on tutkimuksellinen eikä kaikilta osin vastaa tietojen nykyistä käytätapaa.

Tietomallin muodostamisessa jouduttiin harkitsemaan kolmea lähestymistapaa. Koodien avaaminen kuvatulla tavalla tulkinnaksi lisää kannan kokoa ja vaikeuttaa osin laskennallista käsittelyä. Tässä tapauksessa avaamattomuus olisi kuitenkin vaatinut tulkintasovelluksen rakentamista tietojen yhteyteen, eikä sitä pidetty toiminnallisesti järkevänä: PionJohlassa asia olisi ollut hallittavissa, mutta tiedoille on nähtävissä myös useita muita käyttäjiä. Toisaalta molemmat vaihtoehdot voidaan toteuttaa myös yhtä aikaa. Kolmas tekijä liittyy tiedon sotilaalliseen tulkintaan. Tielaitos voisi muodostaa laskennallisesti esimerkiksi sotilaalliset painoluokat omien tietojensa perusteella suuremmalla luotettavuudella kuin Puolustusvoimat. Näin menetellen siirrettäisiin vain oleellinen tieto, jonka tuottajana käytetään parasta mahdollista asiantuntemusta. Toisaalta osaa analyysien raakatiedoista voidaan käyttää myös muun suunnittelun tukena, jolloin ne pitää sisällyttää kantaan. Lisäksi muutos sotilaallisessa ajattelussa, kuten esimerkiksi rinnankäyttö tai siirtyminen NATO:n MLC-siltaluokitukseen (Military Load Class) voidaan toteuttaa itse, eikä asiaa tarvitse muuttaa toimittajan järjestelmässä. Näin voidaan myös valmistautua tulevaisuuden tarpeisiin, asiaa on käsitelty enemmän osana yhteismäärittelyä. Siltojen osalta paras ratkaisu olisi prosessoida tiedot sotilaallisiksi aineiston tuottajalla, mutta siirtää sen lisäksi tärkein raakatieto sellaisenaan.

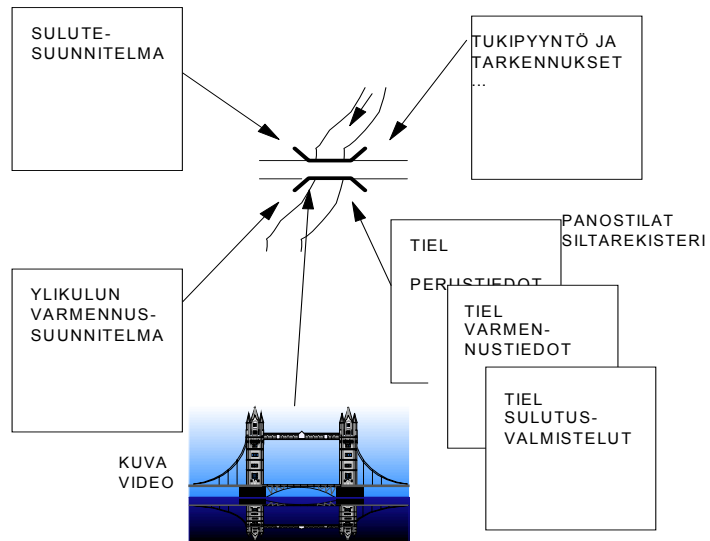
Pioneeritoiminnan johtamislaitteessa otettiin käyttöön kolmitasoinen tietomalli. Siltojen osalta ensimmäisen tason muodostaa paikka ja sellainen tunnistetieto, joka mahdollistaa visualisoinnissa sopivan taktisen merkin valinnan ja poiminnan tyyppin perusteella tietokannasta. Tiedot voisivat olla esimerkiksi MLC ja sillan tyyppi. Nämä tiedot voidaan myös integroida osaksi sotilaallista tieaineistotuotetta, reittioptimoinnissa pitäisi lisäksi huomioida ainakin liikenteenvälityskyky ja ajonopeus. Seuraavalla tasolla esitetään tiedot, joita käytetään toiminnan suunnittelussa, siltojen osalta näitä ovat esitetty luettelo yhdistettynä kunnossapito ja panostilätietoihin. Kolmannelle tasolle kerätään siltaan liittyvät maastosuunnitelmat.

1.TASO**tunnistetiedot
visualisointi**

- paikka
- relaatio
- tyyppi
- MLC
- välityskyky

2.TASO**suunnittelu-
tiedot**

- pituus
- leveys
- kaapelit
- panostilat
- jne

3.TASO maastosuunnitelmat

Kuva: Esimerkki kohdetietojen hierarkkisesta rakenteesta sotilaallisten siltatietojen osalla. Maastosuunnittelua on käsitelty seuraavassa alaluvussa.

Tärkeimpiä aineiston laatuun ja metadataan liittyviä havaintoja olivat:

- Paikantamistavan erilaisuudet. Tie- ja Ratahallinto käyttävät tieverkko-paikannusta, molemmilla on käytössä myös likimääräiset YKJ-koordinaatit. Muut määrittävät koordinaatit KKJ-järjestelmässä vaihtelevalla tarkkuudella. Osa aineistoista on niin vanhaa, ettei sen paikannustarkkuutta tunneta.
- Tietomallien epäyhteneväisyys. Sotilaallisten tarpeiden osalta tärkeimmät ominaisuustiedot löytyvät, mutta kunnossapidon kannalta monen rekisterin tiedot ovat puutteellisia. Kunnossapitoa pidettiin lupaavimpana syynä pyrkiä yhteisen rekisterin muodostamiseen. Ongelmallisimpana pidettiin sillan kantavuuden määrittelyä, jolle Tiehallinnollakin oli neljä erilaista määrittäystapaa.
- Tietojen päällekkäisyys. Useassa rekisterissä voi olla poikkeavia tietoja koskien samaa kohdetta, esimerkiksi radan yli menevän yksityistien sillan tietoja voi löytyä alueen kunnan, Tielaitoksen, Ratahallinnon ja kunnossapitopalveluja tarjoavan yrityksen rekistereistä. Ainoa tapa yhdistää tiedot on käyttää referenssinä esimerkiksi tietietokantaa ja yhdistää tämän jälkeen samaan siltaan kohdistuvat tiedot toisiinsa. Ominaisuustietojen osalta voitaneen käyttää lähinnä aikaleimaa yhdistettynä toimijapainoihin.
- Tietojen erilainen päivitysrytmi. Esimerkiksi metsäautoteiden osalta päivittäminen tapahtuu, kun tietä tarvitaan metsätalouden käyttöön. Siltojen ylläpitäjät päivittävät tietoja painopisteisesti vauriohavaintojen jälkeen ja kunnossapitotoimenpiteiden tapahduttua. Lisäksi tietojen keruu maastosta on hoidettu monessa rekisterissä tien käyttäjän ilmoitusten kautta.

Vaikka yhtenäistä siltarekisteriä ei projektissa kyetty muodostamaan, sen aikana hankitut kokemukset ja toimintamalli antavat perusteet tietokannan muodostamiselle Digiroad-hankkeen valmistumisen jälkeen.

4.2.2 Routa, lumi ja jää maastoanalyysien lähtöaineistoksi ja tuotteiksi

Suomalaisessa maastossa roudan, lumen ja jään vaikutukset sekä liikkumiseen että kaimamiseen ovat merkittäviä. Aineistoja ei kuitenkaan ole sellaisenaan saatavissa, joten osana PionJohlan PuuAine-projektia päätettiin muodostaa tarvittavat lähtöaineistot yhteistoiminnassa Suomen Ympäristökeskuksen kanssa. Lähtökohtana oli muodostaa prosessi, jota käyttäen pystytään tuottamaan sekä tilastolliset arvot rauhan ajan operatiivisen suunnittelun tukemiseksi että reaaliaikaiset arvot kriisiajan käyttöön. [PJohla]

Routa- ja lumitietoja kerätään systemaattisesti 41 havaintopaikalta maan eri osista ja osa asemista on automatisoitu. Jään paksuus mitataan kymmenen päivän välein sopimustaajien toimesta. Tiedoista muodostetut rekisterit käsittävät kymmeniä tuhansia havaintoja eri pituisilta ajanjaksoilta ja erilaisella peittävyydeltä. [Ora99]⁵ Mittaustavalla käytään saamaan keskimäärin noin viikon vanha tilannetieto, joka Ympäristökeskuksen asiantuntemuksella voidaan estimoida suurella luotettavuudella ainakin reaaliaikaiseksi, tiettyinä vuodenaikoina myös ennusteksi. Reaaliaikaista päivitystä varten mittauspisteistöä on mahdollista tihentää ja mittausaikojen välejä lyhentää tilanteen vaatimusten mukaisesti sekä Ympäristökeskuksen että Puolustusvoimien toimesta.

Tilastollisissa aineistoissa päädyttiin jakoon kesä - talvi sekä näitä tukevaan muutosaineistoon syksyn ja kevään osalta. Operatiivista suunnittelua varten on turha tuottaa esimerkiksi kuukausittaista aineistoa, koska suunnittelussa käsitellään vain päälinjoja. Seuraavaksi määriteltiin esitetyt neljä vuodenaikakäsitetä päivämäärinä eri ilmiöitä ja josta mittauspistettä kohti. Tämä toteutettiin tilastollisella analyysillä siten, että kevät ja syksy erotettiin jaksoiksi, joissa nopein muutos keskimäärin tapahtuu. Kullekin pisteelle generoitiin tämän jälkeen tilastolliset keskiarvot ja saatiin aikaan yksi pisteaineisto, joka kuvaa keskimääräisiä olosuhteita esimerkiksi ajanjaksolla "talvi", jonka pituus vaihtelee maan eri osissa. [PJohla] [Ora99]

Jään osalta käytetään teräsjään efektiivistä paksuutta virtaamattomassa vedessä, joka kuvaa jään maksimaalista kantokykyä. Paksuus saadaan muodostettua mittauspisteiden välialueille interpoloimalla TIN-mallin mukaisesti ja poistamalla syntyneestä rasteriaineistosta muut maaluokat kuin vesi. Näin saadaan verrannollinen jää, jonka käytössä on lokaalisti huomioitava virtaamat, lähteet ja muut vastaavat tekijät. Jään ylitys tiedus-

tellaan aina maastossa, joten aineistolla lähinnä tuetaan suunnittelua ja kuvataan mahdollisuuksia. Tulevaisuudessa voidaan huomioida myös tilastolliset hajonnat, jolloin kyky ylitykseen voidaan määrittää todennäköisyytenä. [Ora99] [PJohla]

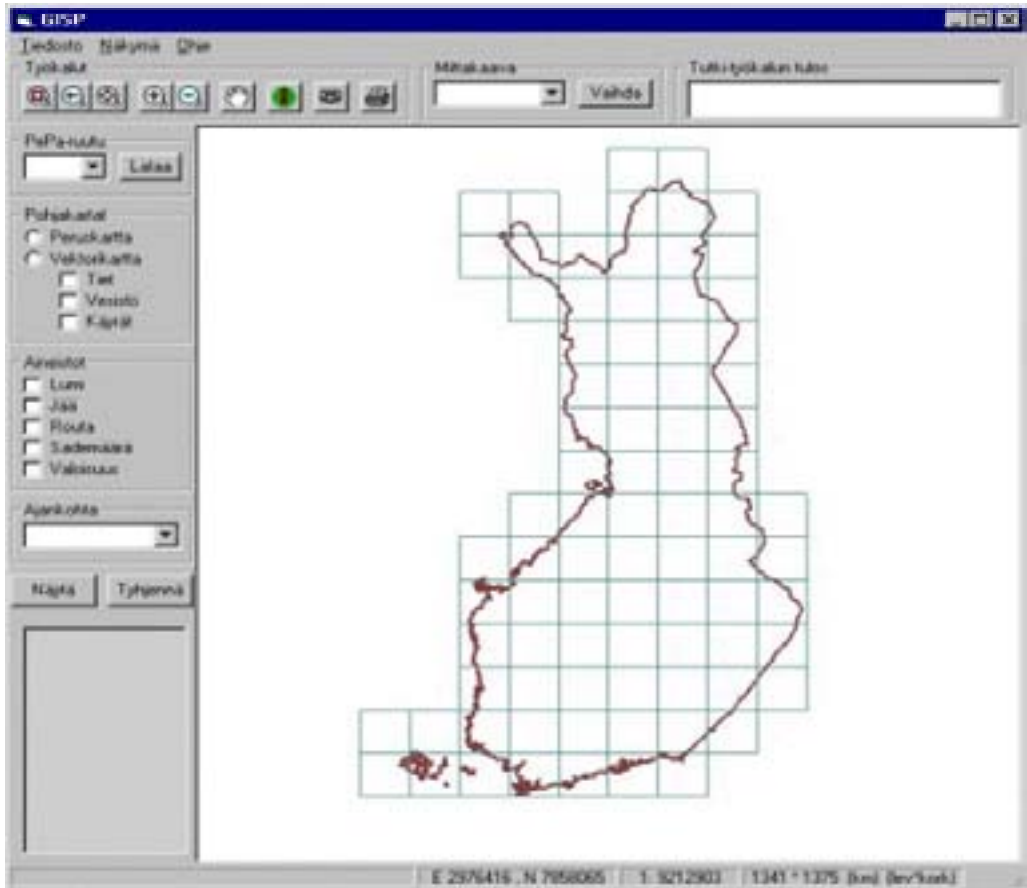
Lumen osalta mittaus tehdään sekä aukealta että metsämaastosta. [Ora99] Myös nykyisessä PionJohlassa käytetään tätä luokitusta, vaikka lähtöaineistot antavat mahdollisuuden tarkempienkin luokitusten muodostamiseen peitteisyystietojen perusteella osana interpolointia. Lumessa huomioidaan paksuutena sen efektiivinen vaikutus lähinnä liikkuvuuteen, joka pitää huomioida maastomittauksissa. Myös lumen vesipitoisuus olisi mahdollista saada lähtöaineistoista. Tulevaisuudessa myös tulvia voidaan pyrkiä ennustamaan. [PJohla]

Roudan syvyyteen maassa vaikuttavat erityisesti maalaji, peitteisyys ja lumen paksuus. Mittauspisteissä routa määritetään tietyissä maalajeissa, joita käyttäen muodostetaan efektiivinen routa vertausmaalajissa. Tämän jälkeen tulos interpoloidaan rasteritasoksi, jonka jälkeen roudan paksuus eri pikseleissä voidaan muodostaa maalajin ja peitteisyyden huomioivalla mallilla. [Ora99] Interpolointialgoritmi todettiin riittävän tarkaksi pisteiden välialueilla, mutta sen käyttäytyminen ekstrapoloinnissa aiheutti epäohdonmukaisuuksia. Ongelma päädyttiin ratkaisemaan siten, että Ympäristökeskus generoi maan rajojen ulkopuolelle sopivan määrän virtuaalipisteitä, joille se arvioi tarvittavien parametrien arvot oman asiantuntemuksensa perusteella. Roudan syvyys korreloi lineaarisen interpoloinnin lisäksi seitsemän suuralueen kanssa, esimerkiksi Salpausselän vaikutus ilmastoon ja sitä kautta routaan on merkittävä. Tekijä voidaan huomioida osana algoritmia. [PJohla]

Luvussa 7 tarkemmin esiteltävä PionJohlan perusanalyysi generoi kuvatut routa, lumi ja jäätasot osana analyysiprosessia. Näitä käytettiin Teknillisen korkeakoulun lukukauden 1999-2000 GIS ohjelmatyössä⁶ aineistoina kaikille sotilassuunnittelijoille kohdennetussa prototyypissä, jonka tehtävänä oli muodostaa helppokäyttöinen katselusovellus kyseisiin aineistoihin. Tietoihin lisättiin kuukausittaiset sateisuus- ja valoisuustiedot. Ohjelma-vertailun jälkeen päädyttiin ESRIn MapObjects LT 1.2 komponenttitekniikkaan ja sen avulla tehtävään räätälöintiin. Vaihtoehtoina tutkittiin muiden GIS-komponenttien lisäksi ilmaisten katseluohjelmien käyttöä, mutta näitä ei tuolloin pystytty räätälöimään riittävässä määrin. Vertailuperusteena oli GeoOutLook-tuotteelle räätälöitävä sovellus, koska teknologia oli tuolloin laajimmin Puolustusvoimilla käytössä. Prototyypin tietokanta toteutettiin Access-pohjaisesti. [GISP00]

⁵ [Ora99] kuvaa aineistoja ja itse prosessia laajemmin. Aineistoseelvitys tehtiin vuosina 1997 ja 1998 Pioneerikoulussa.

⁶ Kirjoittaja asetti tehtävän ja toimi työssä osallistuvana ohjaajana.



Kuva: GISP-prototyypin käyttöliittymä. Sovellus käsittelee neljä taustakarttaa ja viisi tarkasteltavaa teemaa. [GISP00]

Prototyypin toteutuksessa todettiin, että aineistot soveltuivat hyvin käytettäväksi sellaisinaan. MapObjects LT 1.2 ei tukenut Tagged Image File 6.0 muotoisen rasteritiedon pikseliarvojen kyselyä, mutta tähän löydettiin sopiva freeware-komponentti kehitysfoorumilta. Muutoin kehitystyö oli suoraviivaista ja nopeaa. Ohjelmiston käyttö on sikäli perusteltua, että siinä kustannuksia aiheuttaa vain kehityslisenssi, tehtyjä sovelluksia saa jakaa vapaasti ilman lisenssimaksuja. Esitettyjen tietojen käyttöön ei ole vielä toteutettu varsinaista sovellusta.

4.2.3 Tavoitteena sotilasmetsä

Maaperäaineiston kanssa tärkeimmän PionJohlan lähtöaineiston muodostaa puustoa käsittelevä maankäyttö- ja puustotulkinta (MaPuTu). Rasteriaineisto kuvaa alueiden käyttötarkoitusta ja kasvillisuutta ja kattaa yhtenäisenä koko maan 25 m x 25 m pikselikoossa. Tulkinta perustuu Landsat TM- ja SPOT XS –satelliittikuviin sekä ajantasaisiin karttatietoihin. Ensimmäinen tulkinta valmistui koko Suomesta vuonna 1991 ja vuodesta 1997 alkaen metsätiedot on saatu Metsäntutkimuslaitoksen valtakunnan metsien inventoinnista (VMI). Metsäluokat on jaoteltu erikseen kangasmaa- ja suoalueille puulajeittain neljään luokkaan ja tilavuusluokkia on 50 m³ luokkavälein, jolloin metsäluokkia on yhteensä 40. [Ora99] [MML]

Puolustusvoimissa käytettävä puuston pituusaineisto on Metsäntutkimuslaitoksen tuote. Se perustuu tunnettuihin tilastotietoihin puun pituuksista suhteessa maaperätietoihin ja puuston hehtaarikohtaisiin keskikuutiotilavuuksiin, jotka saadaan MaPuTusta. Mallissa Suomi on jaettu neljään kasvuyöhykkeeseen, joiden avulla on määritetty puuston keskipituudet. Koska aineisto on johdettu laskennallisesti puuston tilavuudesta, sen tarkkuus ei vastaa tarkassa analyysissä vaadittua tasoa. Tilavuuden ja pituuksien avulla johdetaan analyysissä mallilla edelleen puiden tiheys ja paksuus, joita käytetään muun muassa kulkukelpoisuuden määrittelyssä. Orava [Ora99] toteaa "*Voidaan helposti osoittaa, että kahden viereisen puustotilavuudeltaan toisiaan vastaavan alueen keskimääräinen puustopituus voi vaihdella huomattavastikin. Esimerkiksi keskitilavuudeltaan 100 m³/ha oleva alue voi olla joko harvaa tukkimetsää tai tiheämpää kasvatusmetsää.*" Asiaa selviteltiin Pioneerikoulussa jo vuonna 1997, eikä malleja pystytty parantamaan. Lisäksi jo alkuperäisen MaPuTun ilmoitettu yhden pikselin keskivirhe tilavuudessa on 60% luokkaa. Pituusaineisto on analyyseissa helppo korvata paremmalla, kunhan sellainen saadaan käyttöön.

MaPuTun korvaajaksi kehitetyn SLICES-aineiston alkuperäisenä tarkoituksena oli käsittää myös metsätiedot, mutta tällä hetkellä niiden muodostamisesta ei olla päästy sopimukseen. VMI-kierrosta jatketaan ja kehitetään koko ajan edelleen. Aineiston vanhentuminen pakottaa Puolustusvoimat lähitulevaisuudessa ratkaisemaan lähtötietojen tarpeeseen vastaamisen. Ongelma esitettiin MATINEn seminaarissa keväällä 2000 ja mahdollisuuksien kartoittamiseksi toteutettiin kesällä 2001⁷ esitutkimus Metsäntutkimuslaitoksen ja Puolustusvoimien välillä.

Sotilasmetsä -esitutkimuksen tavoitteena oli määritellä sotilaalliset vaatimukset metsään

⁷ Syksyllä 2000 NovoSat Oy oli asiassa aloitteellinen. Esikartoituksen perusteella kuitenkin todettiin, että tuotteistettavia aineistoja ei vielä ole käytössä ja asia vaatii perustutkimusta. Hankkeesta tehtiin hakemus MATINELLE vuodeksi 2002, mutta rahoitusta ei myönnetty. Tutkimus pyritään käynnistämään muuta kautta, koska esiselvityksessä todetuilla parametreilla on muutakin kuin sotilaskäyttöä, vertaa siltatietojen vastaava tilanne.

liittyville paikkatietoaineistoille sille tarkkuudelle, että kyetään arvioimaan mahdollisuudet tarpeiden täyttämiseksi Metsäntutkimuslaitoksen nykyisten tietovarastojen avulla sekä suunnittelemaan tarvittavat jatkotoimet. Lisäksi pyrittiin tuottamaan yhteinen käsitelmä sotilaiden ja metsäammattilaisten käyttämien termien välille. [Sotm01]⁸ Sotilaalliset tarpeet pyrittiin kuvaamaan usealta eri näkökannalta käyttäen perustana luvussa 8.1.1 esitettyä yhteismäärittelyn periaatetta.⁹ Tekijät jaettiin neljään kokonaisnäkökulmaan, tavaltaan analyysin peruskuvauksiksi.

(1) Kulkukelpoisuusanalyysin tavoitteena on määrittää kullekin pikselille arvo, joka kuvaa suotuisuutta liikkua maastoajoneuvolla kyseisessä kohdassa. Ajoneuvoluokkina käytetään taistelupanssarivaunua (paino 40..50 tn, pystyy kaatamaan erikoisjärjestelyin suurenkin puun ja ajaessa noin 20 cm puun), rynnäkkö- tai kuljetuspanssarivaunua (15..25 tn, kaataa noin 15 cm puun), panssaroitua pyöräajoneuvoa (15 ..20 tn, kaataa pienet puut), telakuorma-autoa (kiertää, kaataa pienet puut) sekä maastokuorma-autoa ja traktoria (puut kaadettava ennen ajamista). Näistä jokaisella on toisistaan poikkeava kyky kiertää tai kaataa puustoa. Luokat voidaan myös yhdistää panssaroiduiksi tela- ja pyöräajoneuvoiksi olettaen, että telakuorma-auto kykenee liikkumaan suurimmassa osassa maastoa. Suuret yksittäiset puut pyritään kiertämään, yksittäisenä voidaan pitää puuta, josta etäisyys toiseen vastaavaan on yli 15 m. Vastaavalla tavalla kierretään pienemmistä puista muodostuvat rypypäät. Vaikka ajoneuvo pystyisi kaatamaan yksittäiset puut, jatkuva puiden kaataminen tiheässä puustossa ajamalla on epätodennäköistä, koska vaurioiden todennäköisyys myös panssarivaunuihin kasvaa suureksi. Tällöin metsä muodostuu esteeksi. Käsite ”tiheä” onkin keskeisiä määriteltäviä suureita. Oleellimmat puustotunnukset ovat puuston keskiläpimitta ja runkoluku. Kuitenkin samalla runkoluvulla puusto voi olla sijoittunut spatiaalisesti eri tavoin, esimerkiksi ryhmiin. Tämän vuoksi tulee selvittää metsikön tilajärjestyksen vaikutus kulkukelpoisuuteen. Lisäksi on huomioitava puuston kokojakauma.

Tiheyttä eli runkoluvun ja tilajärjestyksen vaikutusta yhdessä voidaan lähestyä ajoneuvon ajajan kannalta. Kun ajoneuvolle on hyökkäyksessä määritetty kulkusuunta, ei siitä voi poiketa kovinkaan paljon. Voidaan siis olettaa, että kulkureitti puustoisesta alueen läpi on löydettävä esimerkiksi 50 metrin levyiseltä alueelta ilman, että ajoneuvo joutuu samalle alueelle naapurinsa kanssa. Toisaalta ajaja optimoi reittiään korkeintaan saman matkan verran eteenpäin. Ratkaisu voidaan määrittää siten, että syntyvältä alueelta, esimerkissä 50 m x 50 m eli neljä pikseliä, projisoidaan puut ”aidaksi” tilajärjestyksen huomioiden. Mikäli

⁸ Osa tekstistä on lainattu asiakirjasta melko suoraan ilman kursivoitua, koska se on kirjoittajan omaa tekstiä.

⁹ Tässä kirjoittaja pyrki tavoitteeseen itsenäisesti, koska asiantuntijaryhmän kokoaminen ei aikataulusyistä ollut mahdollista. Määrittelyn tämän vaiheen tarkastivat Maanpuolustuskorkeakoulusta valitut eri aselajien ammattilaiset.

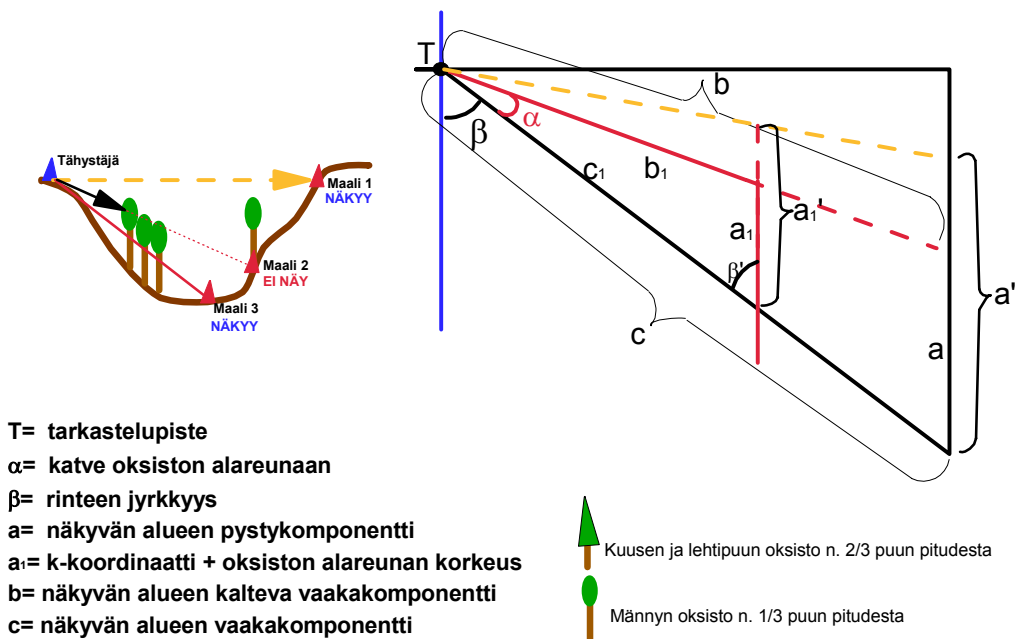
aidasta todennäköisesti löytyy riittävän leveä aukko, voidaan olettaa kuljettajan huomauttaa sen ja kykenevän ajamaan alueen läpi. Aukon koon kasvaessa lisääntyy vastaavasti myös toiminnan vapaus ja puuston aiheuttama estearvo vastaavasti vähenee. Esitettyä menetelmää käyttäen voidaan kokeellisesti etsiä sellaisia runkolukuja ja tilajärjestyksiä, joilla kuvattu vaikutus syntyy. [Sotm01]

Puista tehdään murresteita kaatamalla isoa puustoa tielle tai kulku-uralle tai niistä syntyy murresteita puiden kaatuessa kranaattitulen vaikutuksesta. Suluttamisoppaan 1992 mukaan *"100 m:n puumurresteissa pitää olla 15..20 kpl yli 20 cm:n läpimittaista puuta"*. Myös tämä tieto tulee sisältyä aineistoon.

(2) Maastoutettavuudella tarkoitetaan metsän kykyä tukea ajoneuvojen ja kalustojen saamista ilmasta tapahtuvalta tiedustelulta. Tiedusteluvälineet ovat optisia tähtäimiä, infrapunaan perustuvia tähtäimiä ja kameroita, ilmakehän mukana olevien ultravioletti-alue ja tutkiin perustuvia. Maastouttamista tuetaan maaston valinnan lisäksi naamio- ja maalauskella ja naamioverkoilla. Keskeiset suojaavat tekijät ovat latvuspeiton osuus maasta, latvusten aiheuttama herätteen vaimennus, puulaji ja latvuksen koko, pääseekö ajoneuvo kokonaan piiloon vai jääkö sen osa näkyviin. Tekijöiden vaikutus voidaan määrittää kenttäkokeilla. Suuri merkitys on vuodenajalla, koska lehdeettömänä aikana lehtipuiden suojaava vaikutus on selvästi pienempi. Alle kaksimetrinen puusto ja jäljet taimikossa paljastavat ajoneuvon ilmasta hyvin, tekijän voidaan olettaa pysyvän maastouttamiselle epäedullisena noin viiden metrin korkeudelle saakka. Puiden tiheys suojaa välillisesti tiedustelulta, koska merkittävä osa maan pinnasta jää sensorille näkymättä ja paljastuvat kohteen osat sekoittuvat näin helposti taustakohinaan. Toisaalta ajoneuvot ja kalustot pyritään aina hajauttamaan vähintään 50 m päähän toisistaan, jolloin suojaksi sopiva kohde voi myös olla puuryhmä. Puustotunnuksista tarvitaan keskipituutta rajamaan liian lyhyet puustot maastouttamiseen sopivien alueiden ulkopuolelle. Samalla rajataan pois ne alueet, joiden yksittäisten puiden latvukset ovat vielä liian pieniä. Latvuston kokoa ja laatua kuvaavat parhaiten latvuspeittävyys, puulajisuhteet ja latvuspituus. Metsikön tilajärjestyksen tuntemisesta on hyötyä, koska harvemmassakin metsässä ryhmitäinen puusto antaa jo suojaa. Puulajisuhteissa lehtipuiden yhdistäminen yhdeksi luokaksi lienee järkevää. [Sotm01]

(3) Näkemää käytetään arvioitaessa mahdollisuuksia tähtäystä ja valvoa eri sensoreilla, ampumiseen tykeillä ja ohjuksilla sekä ilmatorjunnan ja helikoptereiden käytön suunnittelun tukena. Maastoutettavuudessa ja näkemässä on kyse samankaltaisista asioista. Näkemässä erotetaan näkemä maan ja ilman välillä sekä näkemä kahden maapisteen välillä ja siihen vaikuttavat tekijät voidaan jakaa maaston topografian ja puuston vaikutuk-

seen. Puuston vaikutuksessa voidaan lisäksi erottaa kaksi tasoa: katsojan välittömässä ympäristössä oleva puusto sekä muu puusto. Katsojaa tai maalia ympäröivä puusto rajaa näkemää voimakkaammin, toisaalta sen vaikutusta voi muuttaa helpommin liikkumalla, ja pienikin siirtyminen maastossa voi parantaa joko näkemää tai suojaa huomattavasti. Muun puuston osalta läpinäkyvyyteen vaikuttavat muuttujista ainakin puulajisuhteet ja puuston tiheyttä kuvaavat tunnuksot kuten latvuspeittävyys, latvuspituus ja alikasvoksen määrä. Katsomispaikan puustossa merkittävä tekijä on ilmamaaliin ja osin myös muualle maastoon katsottaessa latvuspeittävyys.



Kuva: Puuston latvusten huomioiminen rinnetarkastelussa. [PATU]

Puuston pituudella ja puulajilla on merkitystä. Pituudeltaan alle 1,5-metriset taimikot eivät haittaa näkyvyyttä. Kaikki muu puusto luokitetaan pituuden, latvuspeittävyden ja puulajin mukaan, joten puustosta tarvitaan pääosin samoja metsätunnuksia kuin aiemmin kuvattuun läpinäkyvyydenluokitukseen. Maastoutettavuuden tavoin tärkeä näkemään vaikuttava tekijä on vuodenaika. [Sotm01]

(4) PionJohlassa määritetään linnoittamiseen soveltuvan puun määrä ryhmittyvän joukon vastuualueelta. Soveltuva puutavara on läpimitaltaan 10-25 cm ja pituudeltaan noin kolmimetristä. Puutavaraa käytetään pääasiassa kaivettujen ase- ja suojapoteroiden kattamiseen, tekijästä käytetään nimitystä rakennettavuus. Metsäaineiston on pystyttävä antamaan tieto siitä, paljonko määritetyltä alueelta on mahdollista saada linnoit-

tamispuutavaraa juoksumetreinä. Arvoa voidaan verrata joukon tarpeeseen ja tukea soveltuvien lisähakkuualueiden etsimistä. Joukolle voidaan myös tarvittaessa tuottaa puutavaraa kauempaa. Puustotunnuksista tarvitaan ainakin puuston keskiläpimitta. Puutavaran määrä metreinä voidaan arvioida puuston keskitilavuuden, mutta myös keskiläpimitan ja runkoluvun perusteella puulajeittaisia runkokäyriä apuna käyttäen. Puuston kokojakauman tunteminen parantaisi arviota. [Sotm01]

Pääteemojen lisäksi tunnistettiin teknisempiä tekijöitä kuten metsän vaikutus ilmakaasusaasteen leviämiseen ja maastokaasujen pysyvyyteen sekä radioaaltojen vaimenukseen. Ilmiöiden luonne metsän suhteen arvioitiin kuitenkin siinä määrin yleistäväksi, että niiden oletetaan olevan johdettavista tarkemmista tunnuksista.

Esitetyt vaatimukset yhdistettiin tämän jälkeen kohdennetuiksi VMI-luokituksen mukaiseksi aineistovaatimuksiksi: [Sotm01]

puustotunnus	teemat	luokka lkm	Yhdistetty luokittelu
keskiläpimitta	kk, ra	5	<1, 1-6, 6-12, 12-22, >2 cm
Runkoluku	kk	5	<400, 400-1000, 1000-2500, 2500-10000, >10000 kpl / ha
tilajärjestys	kk, nä, ma	2	tasainen, ryhmittynyt
kokojakauma	kk, ra	?	vaatii jatkotutkimuksen, lupaava
keskipituus	ma, nä	7	<1½, 1½-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, >25 m
latvuspeittävyys	ma, nä	7	<10, 10-30, 30-60, 60-70, 70-80, 80-90, >90 %
puulajisuhteet	ma, nä	5	kuusi, mänty, lehti, havuseka, lehtiseka
latvussuhde	ma, nä	3	pieni, normaali, suuri
puutavaran määrä	ra	4	<5, 5-10, 10-15, >15 jkm / ha
Puujaksot	nä	2	<1000, >1000 kpl / ha

Taulukko: Sotilasmetsään tavoiteltavat puustotunnukset yhdistelmänä. [Sotm01]

Lähtöaineiston tuottava VMI-Inventointi suoritetaan systemaattisena koko maan kattavana ryväsoitana, jossa vierekkäisten koelarypäiden vastinpisteiden väli on sekä pohjois-etelä että itä-länsi suunnassa 6-7 km. Rypäät jaetaan 14-18 koelaa sisältäviin kertakoealarypäisiin ja 10-14 koelaa sisältäviin pysyviin rypäisiin, joista joka neljäs rypäs on pysyvä. Koealoilta mitataan yhteensä yli 150 eri tunnusta. [VMI00]¹⁰

Monilähdeinventoinnin avulla yleistetään maastoinventoinneista saadut tulokset koko maahan yhdistämällä maastotietoihin satelliittikuvilta saatava informaatio, numeeriset kartat pelloista, soista, teistä, rakennuksista ja taajamista sekä maaston korkeusmalli. Karttatietoa käytetään myös laskentayksiköiden rajaamiseen. Satelliittikuvana on Land-

sat TM, joka oikaistaan karttakoordinaatistoon ja alkuperäinen 30 m x 30 m pikselikoko muutetaan 25 m x 25 m hilaksi. Maastomittauksista saadut tiedot liitetään muuhun aineistoon yhdistämällä maastokoealan keskipiste lähimpään kuva-alkioon ja hakemalla sitä vastaavat eri kanavien intensiteetit. Metsätalousmaan pikseleille annetaan metsätunnukset k:n lähimmän naapurin menetelmällä, kokemusten perusteella on päädytty käyttämään k:n arvoa 5-10. Tunnettujen pikseleiden arvoja painotetaan niiden etäisyyksillä analysoitavasta kuva-alkiosta piirreavaruudessa. Pelkästään maastomittauksia käyttäen voidaan laskea harhattomat estimaatit yli 200 000 hehtaarin suuralueille ja yhdistämällä maastotiedot muuhun aineistoon saadaan tuloksia pienemmille alueille. Näin saadaan myös paikkaan sidottua tietoa – pienin yksikkö, jolle lasketaan tuloksia, on yksittäinen pikseli. Tulosten luotettavuus riippuu käsiteltävän alueen koosta. Tilavuuden keskivirheen estimaatti on yksittäisen pikselin tasolla 50-75 % alueesta riippuen, mutta virhe pienenee melko nopeasti, esimerkiksi 100 hehtaarin alueella keskivirheen estimaatti on enää 20 %. Koko maan puustolle laskettu tilavuuden keskivirhe on 0,6 %. [Tom98] Vuodesta 2001 alkaen koealat on paikannettu DGPS-mittauksella.

Esitutkimuksessa todettiin, että tarvittavat puustotunnukset voidaan suurelta osin saada joko suoraan tai johtamalla muista tunnuksista VMI:n maastotiedoista. Poiketen aiemasta tavasta nyt osa parametreista yritetään määrittää suoraan kuva-aineistoista, eikä kaikkia tarvittavia tekijöitä johdeta puulajin ja hehtaarikuutiotilavuuden perusteella malleilla. Suoraan saatavia eli metsässä mitattuja tai arvioituja tunnuksia ovat keskiläpimitta, keskipituus, puulajisuhteet ja puujaksot. Muista maastotiedoista johdettavia tunnuksia ovat latvussuhde, latvuspeittävyys ja puutavaran määrä. Runkoluku voidaan määrittää osalle puustoa suoraan ja muulle osalle johtamalla muista tunnuksista. Tilajärjestyksen arvioimisen todettiin vaativan lisäselvityksiä, vaihtoehtoina ovat eri mallit, pysyvien koealojen hyödyntäminen ja muualta saadun tiedon hyödyntäminen. Lisäksi osa tunnuksista voidaan todennäköisesti yhdistää siten, että regressiomalleilla päästään riittävän tarkkoihin tuloksiin. Näin päädyttäisiin noin 7-8 maastotunnukseen. [Sotm01] Jotkut tekijät vaativat lisää sotilaallisia kenttäkokeita, jotta lopulliset luokkarajat voidaan määrittää.

Laadullisesti lopputuotteelle asetettiin tavoitteeksi, että luokituksen 95 %:n vaihteluväli pysyy naapuriluokissa. Näin voidaan minimoida riski, että väärä luokitus vaikuttaa kaikilla analyysitasoilla usean luokan virheeseen. [Sotm01]

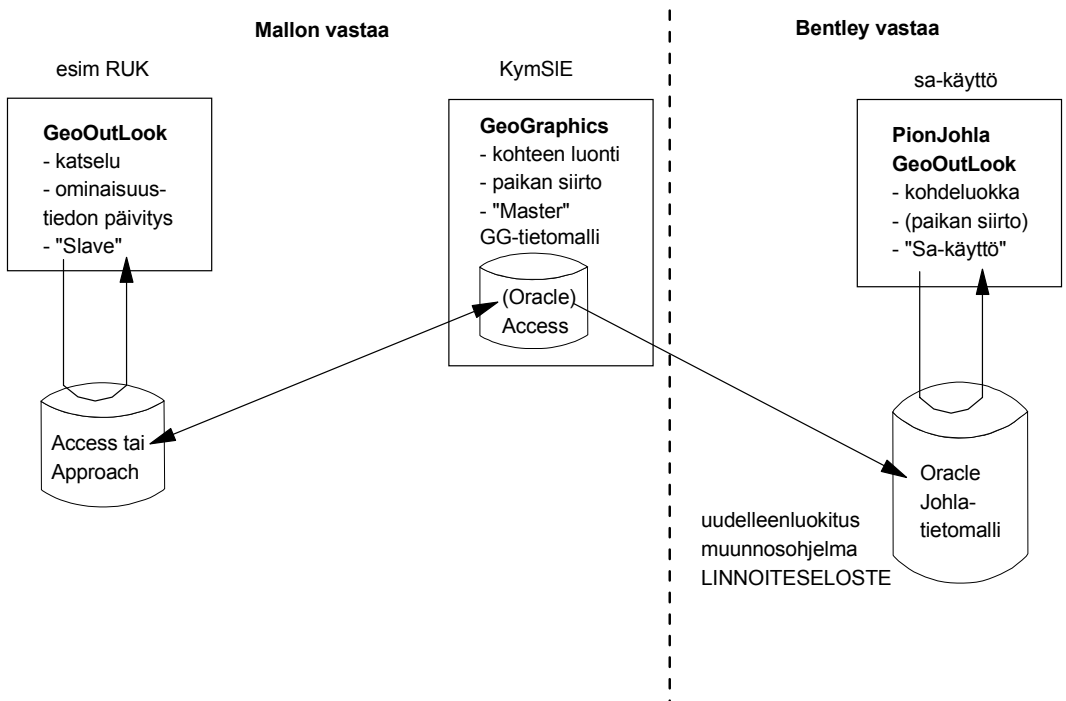
¹⁰ Tässä työssä esitetyt tekijät on arvioitu myös maastossa osallistumalla kesän 2001 VMI-inventointiin yhdessä ryppäessä.

4.2.4 Digitointityönä SALPA

Osana PionJohla projektia päätettiin keväällä 1999 digitoida osa vuosina 1940 - 44 rakennetun Salpa-aseman linnoitteet erilliseksi paikkatietokannaksi väliltä Suomenlahti - Kerimäki. Aineisto oli kuvattu tussipiirroksina ja sen tietosisältö oli heikkenemässä. Asemien kunnossapito ja kunnan seuraaminen on Puolustusvoimien vastuulla. Aineistoa voitiin myös käyttää PionJohla-sovelluksen kohdetietokannan testaamiseen. [SALPA]

Laitteiden sijainti oli merkitty 1:10k (40 kpl), 1:20k (12 kpl), 1:100k karttalehdille (2 kpl) tai oikaistuille ilmavalokuville (10 kpl), jotka oli kiinnitetty noin 50 cm x 50 cm kovalevyille kunkin lehden ollessa 1/4 .. 1/2 peruskarttalehdestä. Lisäksi oli erillisiä 1:20k peitepiirroksia kelmuilla (17 kpl). Levyille kartta oli muodostettu paloista, joten sen sijaintitarkkuus oli huono. Kartta-aineistot ja kuvat olivat 1940-luvulta. Yksittäisiä digitoitavia kohteita oli 719 betonista kantalinnoitetta (piste), 2945 kenttälinoitetta (piste), 350 kilometriä taisteluhautaa (viiva) ja 355 kilometriä kivi- ja kaivantoestettä (viiva). Jokaiseen kohteeseen haluttiin liitettäväksi täytetty linnoitekortti, josta ilmenee linnoitteen numero, tyyppi, henkilöstön koko ja varusteet. Kestolaitteisiin liittyi myös skannattava piirustus, joita oli 54 erilaista. Uutena tietona haluttiin kaikkiin kohteisiin liittää pohja tarkastusraportille eri muotoisena kestolaitteille, kenttälinoitteille ja kiviesteelle sekä mahdollisuus digitaalisten kuvien liittämiseen. Alun perin tekniseksi vaatimukseksi asetettiin PionJohlan kanssa yhteinen MicroStation GeoOutLook-ohjelmisto. Ylläpito päädyttiin kuitenkin tekemään lisenssoinniltaan raskaammalla GeoGraphics ohjelmalla. [SALPA]

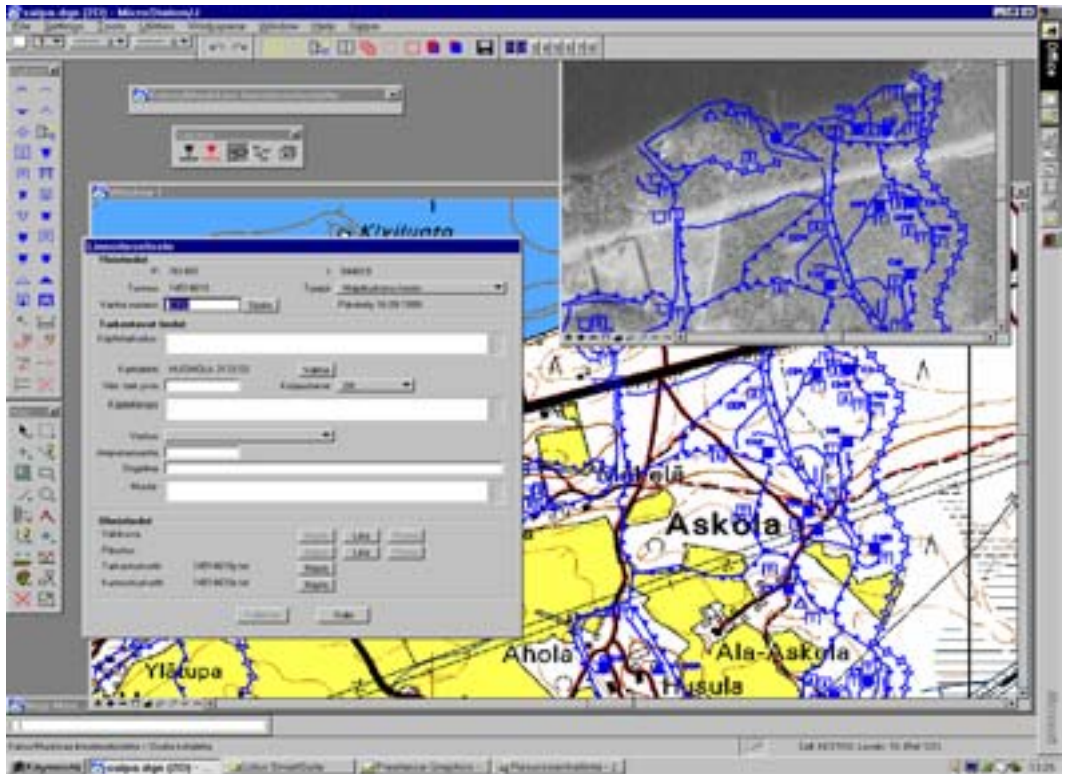
Tarjouskilpailun jälkeen työn teki Mallon Oy syksyllä 1999. Siihen sisältyi levyjen skannaus ja oikaisu nykyisten aineistojen perusteella, symbolikirjastojen luonti, tietojen digitointi ja ohjelmointi käyttö- ja asennusohjeineen. Projektin kokonaisuus oli tarjouksen hyväksymisestä noin neljä kuukautta. Toiminnallisessa määrittelyssä ja toteutettavuustarkastelussa päädyttiin ratkaisuun, jossa toteutetaan kaksi erillistä sovellusta, näiden välinen tietojen replikointi ja erillinen tietojen siirto PionJohlan kohdetietokantaan. Tietokannaksi valittiin Access sen keveyden ja monipuolisuuden takia, vaihtoehtona oli Puolustusvoimien toimisto-ohjelmistona käytettävä Lotus Approach. Oraclen käytöstä luovuttiin tietomäärän pienen määrän takia, tosin PionJohlan käyttää Oracle-kantaa.



Kuva: Salpa-sovelluksen yleistason arkkitehtuuri. Aineistojen katselu ja kunnostustietojen kerääminen on hajautettu, varsinainen ylläpito on keskitetty aseman kunnosta vastaavaan johtoportaan. [SALPA]

Sovellus sisältää symboloitujen kohteiden lisäksi taustakarttoina 1:20k ja 1:50k referenssikartat, maaperäkartat, korkealentoilmakuvat ja skannatut oikaistut originaalit, joita voidaan käyttää apuna sijainnin määrittämisessä. Tavoitteena oli päästä noin 30 metrin sijaintitarkkuuteen, joka mahdollistaa kohteiden löytämisen yksiselitteisesti maastosta. Merkit ja tietotyypit supistettiin määrittelyvaiheessa symbolikirjaston osalta viiteentoista eri tyyppiin.

Digitoinnin tarkkuus todettiin kokemukseen perustuvilla arvioilla käyttäen nykyisiä referenssikarttoja sekä paikantamalla osa kohteista maastosta DGPS-mittauksella ja vertaamalla tuloksia. Joistakin referenssipistevaikeuksista huolimatta, kyseessä olevat kartathan olivat ehtineet muuttua yli puolen vuosisadan ajan ja ne oli tehty eri menetelmillä, päästiin myös sijaintitarkkuudessa tavoiteltuun lopputulokseen.



Kuva: SALPA sovellus, esillä linnoitekortti sekä 1:20k referenssikartta ja korkealentoilmakuva. [SALPA]

SALPA on projektina esimerkki suuren, pääosin kohdetietotasaisen tietomäärän tuottamisesta Puolustusvoimien ulkopuolella. Siirryttäessä digitaaliseen taistelukenttään on merkittävä määrä tietoja, joiden osalla voidaan käyttää apuna projektissa kehitettyä menettelyä. Mikäli aineisto olisi ollut salaista, työ olisi voitu tehdä myös Puolustusvoimien tiiloissa.

4.2.5 Kokemukset aineistojen muodostamisesta

Kokonaisuutena arvioiden aineistojen muodostaminen on sotilasviranomaiselle Suomessa ajatuksellisesti helppoa: kokonaismaanpuolustuksen näkökulma on niin vahva, että yleensä yhteistyötahtoa ja aloitteellisuutta löytyy. Tätä edesauttaa se, että puolustusvoimia ei koeta millään alalla kilpailijaksi. Samalla kuitenkin voi syntyä ongelmia siinä, että puolustusvoimat ei yleensä luovuta aineistoja eteenpäin, jolloin viranomaisrahoituksella kerätty muuallakin hyödyllinen tieto voi jäädä käyttämättä.

Siltarekisterin yhdistämispyrkimys osoitti, että kerääminen kannattaa organisoida asiasta vastaavan viranomaisen tehtäväksi. Yhteisellä suunnittelulla on mahdollisuus päästä tilanteeseen, jossa kerättävää ja yhdistettävää tietoa voidaan käyttää viranomaisyhteis-

työn edesauttajana samalla, kun muodostuu yhtenäinen kuva koko maan tietyn infrastruktuurin rakenteesta. Tielaitoksen siltoja koskeva tietomalli todettiin niin laajaksi, että se kattaa kohtuudella myös muiden tarvitsijoiden tarpeet. Ideaalitalanteessa tietomalli voisi vielä perustua kansainväliseen tai kansalliseen standardiin. Osana yhdistelyä muodostuu myös aineistoja ristiin vertaamalla käsitys eri osien tietojen laatutekijöistä ja epäjohdonmukaisuuksista.

Sotilasmetsähankkeessa alkuperäinen tavoite oli valmis tietotuote. Osana esitutkimusta kuitenkin todettiin, että merkittävä osa halutuista parametreista on todennäköisesti mahdollista prosessoida VMI-aineistoa käyttäen suoraan, jolloin tietojen luotettavuus samalla oleellisesti paranee. Yhteismäärittelyrakenne myös paljasti, että sotilaallisesti kovinkin erilaisilta tuntuvat vaatimukset kyetään yhdistämään ja pelkistämään metsäammattilaisen termistössä rajattuun määrään luokkia. Oma merkityksensä on myös sillä, että esitutkimuksessa rinnastetaan sotilaalliset ja metsätieteelliset käsitteet toisiinsa. Koska tietoluokka käytännössä puuttuu tämän hetken SLICES-tuotteesta, on kehitettävällä aineistolla todennäköisesti myös laajempaa käyttöä. Lisäksi osana tutkimusta huomattiin, että osa sotilaallisista metsään liittyvistä tekijöistä on osin samoja metsien moninaiskäyttöseikkojen kanssa - varsinkin näkemän osatekijät kuten tarkennettu puulajisuhde, alupuusto, ryhmittäisyys ja latvuspeitto korreloivat ekologisen rakenteen kanssa. Näin on mahdollista tuottaa myös tietoja, jotka puhtaasti taloudellisesti näkökulmasta katsoen eivät välttämättä käynnistäisi kehittämistä.

Tuotteistamiskokeilu osoitti, että lähtöaineistettu data on myös mahdollista pienin resurssein tuotteistaa, jolloin sen tarjoamat tiedot saadaan suuremman käyttäjäkunnan ulottuville. Käytetty MapObjects LT tarjosi riittävät ominaisuudet, nykyisellään perustana voisi käyttää saman valmistajan selainversiota, jolloin perustoiminnallisuus on vielä nopeampaa implementoida. Lisäksi käytettävyys paranee sitä kautta, että käyttäjät ovat jo tottuneet selainversioon muissa yhteyksissä. Kun aineistoja käytetään ilman konversioita, voidaan kevyitä ohjelmia käyttää myös kriisin aikana reaaliaikaisten tietojen selaamiseen.

SALPA oli projektina suoraviivainen ja sen toteutus antoi puolustusvoimille samalla kovan sekä alkuperäisen että tuotetun aineiston yllättävänkin korkeasta laadusta. Lisäksi muodostettiin työskentelyprosessi, jota käyttäen voidaan toteuttaa myös luottamuksellisuudeltaan vaativampia digitointitöitä.

4.3 Sotilaallinen pioneerialan kohdetietojen keruu maastosuunnittelulla

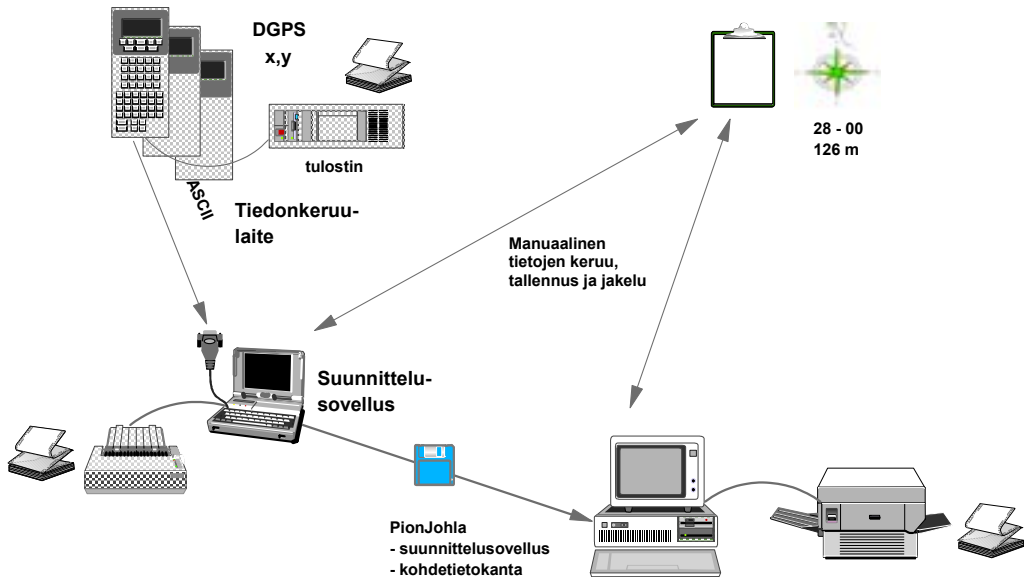
Alaluvussa esitellään pioneeritoimintaa esimerkkinä käyttäen neljän vuoden aikana kehitetty konsepti kerätä yksityiskohtaista tietoa maastossa. Ensimmäisen tutkimusosan aikana kehitettiin linnoittamisen avulla yleisarkkitehtuuri GPS-mittauksen hyväksikäyttöön, toisessa osassa paneuduttiin suluttamisessa tiedon keräämistapaan ja mittaustarkkuuteen perinteisellä mittaustavalla, kolmannessa muodostettiin perusta maastosuunnittelun tausta-aineistoille ja neljäs toimi referenssinä kehitetylle tavalle.

4.3.1 Linnoittamisen maastosuunnittelu: periaatteen muodostaminen

Operatiivista suunnittelun osana suunnitellaan tärkeimpiin kohteisiin rakennettavien linnoitteiden yksityiskohtainen sijainti maastossa. Yleensä tämä tehdään kokonaan reservin rakennusalan ammattilaisista muodostettavien linnoitustoimistojen ja rakentajapataljoonien esikuntien kertausharjoituksissa. Aiemmin mittaaminen tehtiin käsisuuntakehällä ja mittavaijerilla, jonka jälkeen maastossa hahmotellut sijaintipiirrokset piirrettiin käsin linnoitusuunnitelmalomakkeelle. Majuri Jussi Lukkari kehitti jo 1980-luvun lopulla Lotus 123 ja Generic Cadd ohjelmiin perustuvan sovelluksen, joka kykeni tulostamaan linnoitusuunnitelman piirroksen käsin syötettyjen tietojen perusteella. Sitä ei kuitenkaan otettu laajamittaiseen käyttöön ja idea syntyi uudelleen Kouvolassa, jossa vuonna 1996 reservin ylläluutnantti ja insinööritoimiston johtaja Matti Pitkänen toteutti vastaavan PC-version suunnitelmalomakkeesta. Vuonna 1997 versio AutoCAD 10 ohjelmistolle oli jo varsin toimiva, kun se päätettiin ottaa Pioneeritoiminnan johtamislaitteen ensimmäisen maastosuunnittelu-sovelluksen perustaksi. Kehitystyön tavoitteiksi asetettiin suunnittelun tarkentaminen ja nopeuttaminen, konseptin luominen kriisiajan pioneeritoiminnan kohdetietojen keruulle sekä jakelulle digitaalisesti ja siten "rusinapullatekniikan" mahdollistaminen osana päätöksentekoa ja toiminnan suunnittelua. Toiminnallisen ja tietoteknisen arkkitehtuurin perusteina olivat:

- Tietojen keruun maastossa on tapahduttava käyttäjälle luonnollisessa järjestyksessä ja laitteen on neuvottava käyttäjää keräämisen aikana.
- Sovelluksen on sisällettävä sellainen määrä tarkistuksia, että kerätyn tiedon oikeellisuudesta ja riittävydestä voidaan olla varmoja.
- Tiedonkeruulaitteen on oltava kevyt ja kohtuullisen hintainen.
- GPS-tekniikan käyttömahdollisuus mittaamisessa rauhan aikana.
- Mahdollisuus manuaalisesti kerätyn tiedon syöttöön kaikissa vaiheissa.
- Mahdollisuus käyttää sekä koordinaatteihin perustuvaa PI-menetelmää että suuntiin ja etäisyyksiin perustuvaa SE-menetelmää rinnakkain.
- Sellaisen suunnitteluohjelmiston valinta, joka on lisenssikustannuksiltaan edullinen ja rakentajoukkojen reserviläiskäyttäjille tuttu.

- Evolutionäärisen prototyypikehityksperiaatteen käyttäminen, jotta eri versioita voidaan testata kertaus- ja vapaaehtoisissa harjoituksissa esikuntien toimesta.



Kuva: Linnoittamisen maastosuunnittelun perusrakenne. [LiMaSu]

Tiedot kerätään maastossa joko tiedonkeruulaitteella PI¹¹ tai SE¹²-menetelmällä tai manuaalisesti SE-menetelmällä lomakkeille. Tiedonkeruulaite on rakennettu roiskevesitii- viiseen Psion Workabout käsitietokoneeseen, joita on Suomessa käytössä tuhansia kap- paleita. Laitteen näyttö on merkkipohjainen, karttanäytön omaavat laitteet ovat edelleen ohjelmiseen liian kalliita asetettuun kehykseen. Tiedot siirretään suunnittelu-sovellukselle joko tiedonkeruulaitteen ASCII-tiedostona tai syöttämällä ne käsin täytetyltä lomakkeelta. Suunnittelu-sovellus toteuttaa muunnoksen PI ja SE-menetelmien välillä, piirtää kuvan ra- kenteesta ja täyttää arkistotiedot. Siirto tehdään kaapelilla, tulevaisuudessa voidaan käyt- tää myös kenttäviestiyhteyttä. Ohjelmistoksi valittiin edellä esitetyillä perusteilla Auto- CAD LT, johon ohjelmointi toteutettiin Visual Basic -kielellä. Tiedot varastoidaan PionJoh- lan kohdetietokantaan ASCII-muotoisena tiedostona. Varastoinnin yhteydessä poimitaan sijaintikoordinaatit ja rakenteeseen sisältyvät perustiedot, kuten linnoitteiden kokonais- määrät. Jokaisessa PionJohlassa on asennettuna myös suunnittelu-sovellus, jonka avulla tietoja voidaan editoida ja tulostaa. Mikäli tiedot talletetaan AutoCAD DXF-muodossa, voi

¹¹ PI-menetelmällä tarkoitetaan paikannustietojen keräämistä koordinaatteina. Toteutustapana on tyypillisesti GPS-mittaus, mutta mittaus voidaan tehdä myös muilla tavoilla.

¹² SE-menetelmällä tarkoitetaan paikallisen koordinaatiston muodostamista mittaamalla vähintään yhdestä PI-menetelmällä määritetystä lähtöpisteestä suunnat ja etäisyydet seuraaviin paikannettaviin kohteisiin. Näin muodostuu puumainen rakenne, koska mittaus voidaan jatkaa myös SE-menetelmällä määritetyistä pisteistä.

joko itse sovellus tai PionJohla muodostaa niistä suurempia alueellisia kokonaisuuksia tarpeen mukaan. [LiMaSu]

Linnoittesuunnitelma laaditaan lähinnä rakennusliikkeitä varten, jotta ne pystyvät kriisin kehittyessä rakentamaan joukkojen määrittämät linnoitteet. Koska ei ole mahdollista taa-ta sitä, että linnoitteiden käyttäjä on rakennustyön alkaessa paikalla, on kohteiden paikannustarkkuuden oltava yksiselitteinen ainakin asepoteroiden osalta. Tämä tarkoittaa muutaman metrin virhetoleranssia, joka edellyttää differentiaalikorjatun GPS-tekniikan käyttämistä mittauksissa. Harjoituskokemusten perusteella mittaus onnistuu myös peitteisissä maastoissa. Heijastusvirheiden poistamiseksi tiedonkeruulaitteeseen ohjelmointiin ominaisuus kertoa tietoa talletettaessa matka ja suunta edellisestä kohteesta, jolloin käyttäjä pystyy huomaamaan suuret virheet.



Kuva: Linnoittamisen maastosuunnittelusovellus kertausharjoituksessa syksyllä 2001. Vasemmalla suunnittelusovellus ja A3-väritulostin, oikealla tiedonkeruulaite ja reppuun sijoitettu DGPS-vastaanotin antennineen.

Sovelluksen kehittäminen oli suoraviivaista ja asiaan sekä perehtyneiden että sitoutuneiden reserviläisten käyttäminen ohjelmien tekijöinä osoittautui hyväksi valinnaksi. Toisaalta juuri heille sovellusta kehitettiin. Osa nopeudesta johtui myös siitä, että linnoitteiden paikkojen suunnitteluun oli jo perinteisesti suhtauduttu samalla tavalla, jota uusi mittaus- ja toimintatapa edellytti. Kerätyn ja dokumenttiin täytetyn tiedon perusteella pystyttiin piirtämään seloste. Oma merkityksensä saattoi olla myös sillä, että asia oli jo ker- ran aiemmin tehty.

4.3.2 Suluttamisen maastosuunnittelu: toiminnan muutos

Sulutteella tarkoitetaan miinoitteista¹³, hävitteistä¹⁴ ja murresteista¹⁵ koostuvaa taktisesti yhtenäistä kokonaisuutta, jonka suurin koko on 500 x 1000 m². Sulutteen valmiusasteella tarkoitetaan sen rakentamsvaihetta: I asteessa se on kaikilta osiltaan valmis, II asteessa oma liike sulutteen läpi on mahdollista ja III asteessa valmistelut on tehty ja materiaali varattu kohteelle. Sulute voidaan rakentaa joko vaihe kerrallaan tai suoraan tiettyyn vaiheeseen. Sulute numeroidaan käyttäen peruskiintopisteen koordinaatteja, joka kiinnittää dokumentit tietokantaan.

Suomi ratifioi 3.4.1998 CCW-sopimukseen liittyvän 2. tarkistetun pöytäkirjan, joka käsittelee miinojen, ansojen ja muiden taisteluvälineiden käyttöä koskevia kieltoja ja rajoituksia. Sopimus astui voimaan 3.12.1998 ja se aiheutti tarkistuksia määritelmiin, jalkaväkimiinojen havaittavuusvaatimuksiin, ansojen käyttöön, käytettäviin merkintöihin ja tunnistetietoihin. Merkittäviä vaatimuksia kohdistui miinojen dokumentointiin, joka on havaittu ympäri maailmaa keskeiseksi ongelmaksi kriisin päättymisen jälkeen. Miinoitteiden huolellinen dokumentointi edesauttaa erityisesti miinoitettujen alueiden rajaamista, joka on tärkeää koko alueen käyttöön palauttamisen kannalta. Paikkatietotekniikalla ja paikannuksella on tulevaisuudessa tällä alueella merkittäviä haasteita edessä.

Miinoitteista on laadittava lomake, jossa

- alueiden sijainti määritetään tarkasti suhteessa vähintään kahden kiintopisteen koordinaatteihin (suunta ja etäisyys),
- selosteista on käytävä ilmi alueiden ulkorajat ja laajuus,
- selosteiden on sisällettävä tiedot kaikkien miinojen tai ansojen tyypistä, asentamistavasta, sytytintyypistä ja elinajasta, asentamispäivästä ja ajasta sekä käsitte-lynestolaitteista,
- selosteita laaditaan kustakin sulutteesta kolme (3) kappaletta ja
- seloste tehdään erikseen jokaisesta sulutteen osasta.

Miinojen paikantamisesta on lisäksi todettu "mikäli mahdollista selosteista on käytävä ilmi jokaisen miinan tarkka sijainti, ellei kyseessä ole miinarivit, jolloin rivin sijainti riittää. Jokaisen asennetun ansan tarkka sijainti ja toimintamekanismi on kuitenkin rekisteröitävä yksitellen." Sopimus ei määrittele, mitä sanalla "tarkka" tässä yhteydessä tarkoitetaan. Käytännössä se merkitsee mittausvälineillä normaalitilanteissa saavutettavaa tarkkuutta, joka mainitulla kiintopistemennetelmällä, mitattavien etäisyyksien ollessa sadan metrin luokkaa ja kulmamittausvälineen tarkkuuden noin 10 piirua tarkoittaa joidenkin kymme-

¹³ Miinoitteita ovat miinaesteet, miinaryhmät ja miinanauhat. Lisäksi on erillisiä varamiinoitteita.

¹⁴ Hävitteitä tehdään taitorakenteisiin kuten siltoihin ja tierakenteisiin yleensä räjäyttämällä.

¹⁵ Murrestaminen tarkoittaa kallion, puuston tai rakennuksien kaatamista tai sortamista liikereiteille.

nien metrien paikannusvirhettä. Vaikka Suomessa miinojen dokumentointiin on kiinnitetty jo perinteisesti paljon huomiota¹⁶, joitakin muutoksia jouduttiin tekemään välittömästi. Osana muutokseen vaikuttaa myös pioneeritaktiikan muuttuminen liikettä korostavaksi suluttamisen sijaan.

Sulutesuunnitelman tehtävänä on siirtää maastossa hankittu tieto sulutteen rakentajan ja päättäjän käyttöön. Lähtökohtana on, että:

- Suunniteltu rakenne on sovitettu alueella olevan joukon taisteluaumatukseen ja ryhmitykseen. Tämä säästää rakentajan aikaa yhteydenottoina tunteja ja mahdollistaa tuettavalle tulen kokonaiskäytön suunnittelun.
- Miinamäärä on maastoon ja sulutteelta haluttuun vaikutukseen verrattuna sopiva. Tätä varten on analysoitava maaston piirteet vastustajan liikkeen kannalta ja sovitettava ne laskennalliseen miinaan ajon todennäköisyyteen. Vaikka päättely voidaan tehdä myös kartalta, on maastotyö tarkempaa ja mahdollistaa miinojen kokonaiskäytön optimoinnin paremmin.¹⁷
- Taitorakenteiden, kuten siltojen ja kalliomurrosteiden, osiot ovat tarkasti suunnitellut ja panokset lasketut. Näin on mahdollisuus siirtää asiantuntemusta rakentajalle, parantaa ennakkovalmisteluja ja saada suunnittelutietoa siitä, kuinka vaikeaa ja aikaa vievää sulutteen rakentaminen on.¹⁸

Tielaitoksen työosasto ja sulutetta valmisteleva koneosasto tarvitsevat lisäksi tiedot siitä, missä tarkalleen tarvitaan tienpinnan repimistä ja minne sillan panostamista helpottavat rakenteet halutaan. Valmisteluista tehdään oma valmistelusuunnitelma.

Kun sulute tai sen osa on rakennettu, se luovutetaan aluevastuussa olevalle joukolle. Samalla luovutetaan vastuu miinoista, merkinnöistä, vartioinnista, opastuksista ja tiedottamisesta. Uudessa toimintamallissa on mukana käsite "omistaja", jolla tarkoitetaan vastuuta pitää sulutetta koskevat tiedot ajan tasalla. Omistajuus siirtyy joukolta toiselle aluevastuun muuttuessa. Oman liikkeen mahdollistamiseksi ja vahinkojen välttämiseksi selosteet tehdyistä sulutteista kopioidaan niitä tarvitseville. Nämä ovat tiedoksisajaan kappaleita, joita myös seurataan uudessa selosteessa. Samalla muodostetaan varataltio omistajan kappaleen rinnalle. Tavoitteena on myös tiedottaa sulutteelle tapahtuvista muutoksista kuten vastustajan raivaamisesta, tulen käytöstä alueelle tai omasta läisämiinoittamisesta. Mikäli tiedoksisaja saa tällaista tietoa, on hänen velvollisuutensa heti

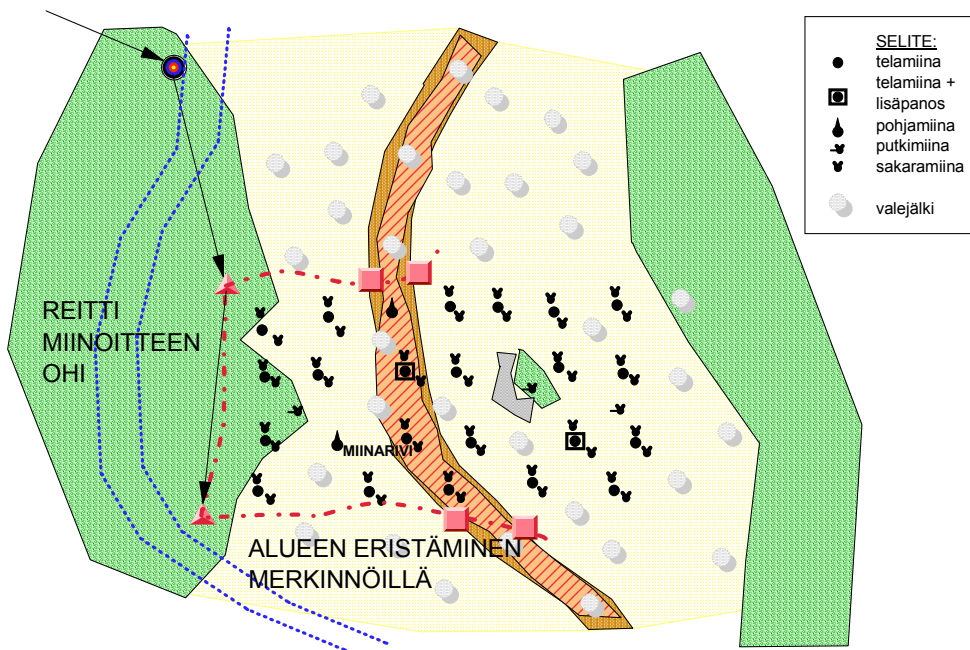
¹⁶ Sotakokemuksien perusteella dokumentointi on perinteisesti opetettu kaikille reservin upseereille ja vakiomuotoiset lomakkeet ovat olleet käytössä pian viisikymmentä vuotta. Me miinoitamme omaa maaperäämme ja vastaamme myös miinojen rai-vaamisesta kriisin jälkeen – riippumatta siitä kumpi osapuoli voittaa.

¹⁷ Tällä tarkoitetaan, että miinojen ollessa rajallinen resurssi sekä määrän että asennusajan suhteen kokonaisvaikutuksen voidaan arvioida olevan 10..30% suuremman maastosuunnittelun avulla. Mikäli tekijää vertaa sirotemiinoittamiseen, paranee tehokkuus 50 .. 200% maastosta ja tavoiteltavasta miinaanajotodennäköisyydestä riippuen.

¹⁸ Suunnittelijana voi vaativissa kohteissa olla ammattisotilas tai hyvin koulutettu reserviläistiedustelija. Lisäksi perusvalmiudessa on mahdollisuus käyttää mm. Tielaitoksen asiantuntijoiden apua vaativissa kohteissa.

ilmoittaa muutokset tiedon omistajalle, jonka tietoa taas kaikki muut pitävät oikeana. Kriisin jälkeen selosteet kerätään ja niitä käytetään raivaamisen lähtökohtana. Tässä vaiheessa on tärkeää löytää kaikki samaa sulutetta koskevat asiakirjat, koska näihin on eri tahoilla saatettu lisätä sellaista tietoa, jota ei näy muista selosteista, perustana on viimeisen omistajan kappale. Keräily on mahdollista tehdä yhdenkin lomakkeen perusteella, koska siinä näkyy aina osa lomakkeen muuta jakeluketjua.

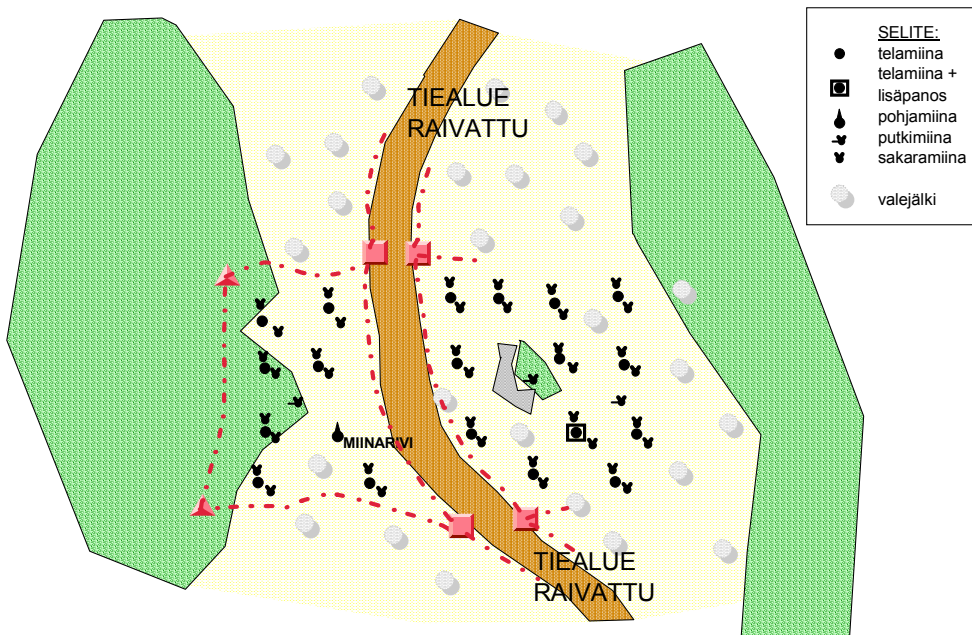
Suluteseloste on raivaamisen lähtökohta. Kolmannen tason raivaaminen tarkoittaa aukon tekemistä sulutetun alueen läpi jalkaväki- tai panssari-iskuportaalle. Oikein laadittu suluteseloste yhdistettynä sen perusteella löydettäviin kulmapistemerkkeihin antaa mahdollisuuden aidata oman sulutteen osat ja ohjata liike näiden välistä. Samalla minimoidaan omien tappioiden vaara. Liikkeen ohjaamiseksi sulutteen osien paikantamisen ei tarvitse olla kovin tarkkaa. Usein selosteesta etsitään mahdollisimman leveä kulkukelpoinen käytävä ja merkitään sen reunat niin leveältä, kuin oma liike vaatii, miinojen ja kulkutien väliin voi jäädä leveitäkin aukkoja.



Kuva: Iskuporrasta tukeva raivaaminen (3.taso).

Toisen tason raivaaminen tarkoittaa liikennereitin avaamista sulutetun alueen läpi. Koska juuri teitä on sulutettu, miinojen raivaamiselta tuskin vältytään. Raivaajan on ensimmäiseksi paikannettava tiealueelta tasa, jolta miinoite alkaa ja aloittaa miinojen poistaminen. Tästä syystä kaikki tiealueella olevat lisäpanokset ja käsittelynestolaitteet sekä pohjamiinat merkitään yksilön tarkkuudella. Tieto on peruste myös raivausmenetelmän valinnalle.

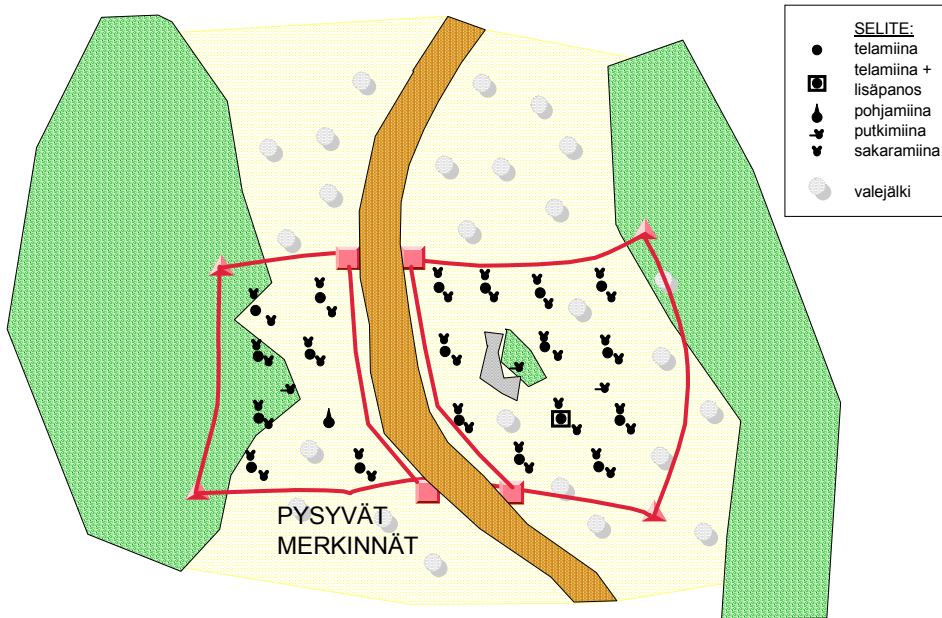
Toiminnan laadun parantamiseksi selosteeseen merkitään, montako ja millaista miinaa tiealueelle on asennettu. Raivaustehtävän jälkeen on tarkastettavissa, että kaikki miinat on löydetty ja tien käyttö on siten turvallista. Tätä varten kukin miinoite jaetaan tarvittavaan määrään osa-alueita.



Kuva: Kulkuväylän raivaaminen (2.taso).

Ensimmäisen tason raivaamisella alue tehdään turvalliseksi käyttää omille joukoille. Toiminta edellyttää vähintään miinoitteiden aitaamista, yleensä myös liikennereittien avaamista. Joitakin miinoitteita tai niiden osia voidaan joutua myös raivaamaan kokonaan. Tämä vaatii selosteelta, että sen esittämät osat on kohtuullisen nopeasti löydettävissä maastosta, vaikka puolustaja olisikin poistanut merkinnät. Lisäksi rakentamisen yhteydessä tehdyt harhautusjäljet sekä taistelun jättämät merkit vaikeuttavat paikannusta.

Miinoitteen jokaisesta kulmasta noin 10 metriä lävistäjän suuntaan ulospäin asennetaan metallitapit. Miinoitteen paikantaja voi ensin etsiä turvallisesti miinahravan avulla tapit, joita apuna käyttäen miinoite on tarkasti paikannettavissa ja alue rajattavissa. Kun kiintopisteisiin sidotut tapit on löydetty, niiden avulla paikannetaan kaksi muuta kulmaa ja sulute merkitään käyttäen tappeja kulmapisteinä. Syntyvä noin 7 metrin levyinen kaulus turvaa kiemurtelevalta laitimmaiselta miinariviltä, mutta aiheuttaa kasvun alueen koossa, miinaesteellä se on noin puolet. Kriisin jälkeen tiedetään nopeasti myös maastossa, millä alueilla omat miinat ovat ja ennen kaikkea, millä alueilla niitä ei ole. Väestö voi siten turvallisesti palata ainakin niille alueille, joilla taisteluja ei ole kovin paljon käyty.

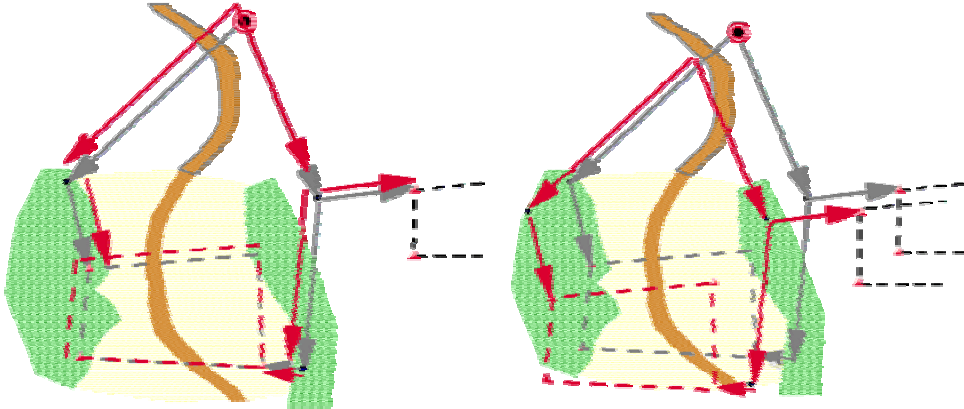


Kuva: Alueraivaamisen alkutilanne (3.taso).

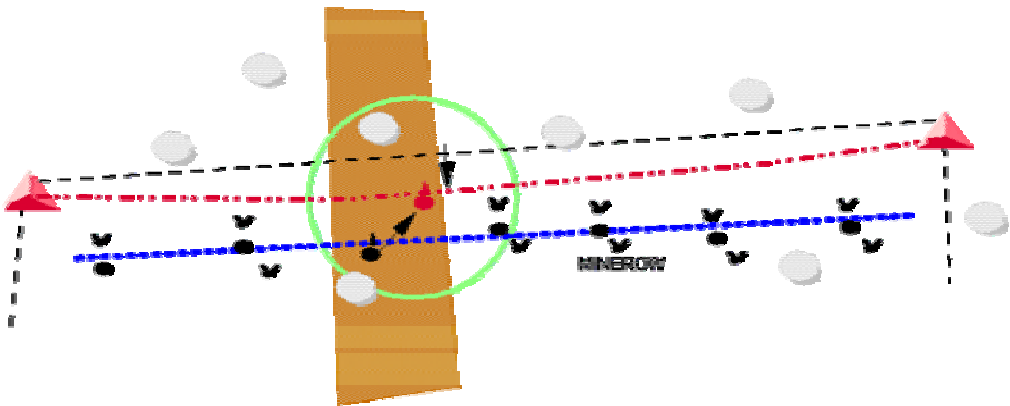
Täydellisessä raivaamisessa lopputuloksena on 99,8% todennäköisyys sille, että kaikki miinat on löydetty. Tämä on mahdollista eri tekniikoilla, esimerkiksi raivaamisajoneuvolla usealla ajokerralla. Ongelmia aiheuttavat erilaiset ansaratkaisut ja syvälle haudatut miinat. Meidän miinoittamistavassamme miinanauha ja miinaryhmä ovat helppoja miinojen paikantamisen osalta: nauhassa miinat ovat riveissä säännöllisin välimatkoin, ryhmässä taas jokaisen miinan paikka on merkitty selosteeseen erikseen. Miinaesteen osalta tilanne on hankalampi. Miinat merkitään selosteeseen riveittäin, mutta niiden välit vaihtelevat ja alueelle yleensä osuva tie tekee maastosta epätasaisen. Osa miinoista, käsittelynestolaitteelliset ja pohjamiinat, merkitään myös yksilöinä. Kun alue on jaettu osiin, esimerkiksi tie, vasen ja oikea puoli, paranee paikannustarkkuus oleellisesti. Jos miina jää raivausta löytymättä, käytettävissä on esimerkiksi tieto "vasen puoli, rivi 3", jonka jälkeen tarkasti etsittävä alue on huomattavasti pienempi. Jotta tieto siitä, mistä miinat on jo poistettu, olisi käytössä puuttuvien etsimisessä, merkitään jokainen raivattu miina raivausselosteeseen yksilönä. Tätä varten raivaaja tekee löytämistään miinoista yksilöidyn selosteen, jota sitten verrataan alkuperäiseen. Mikäli raivaaminen jää kesken, lisäsivu liitetään alkuperäisen selosteen osaksi raivausselosteena.

Sovelluksen rakentamisen kannalta on merkityksellistä ymmärtää vaatimukset paikannuksen tarkkuudelle. Yleensä koko sulute sidotaan vertailukoordinaatistoon yhdellä pis-

teellä, joka on löydettävissä 1:50k taktiselta kartalta. Tätä apuna käyttäen muodostetaan lokaali koordinaatisto joko PI- tai SE-menetelmällä ensin apukiintopisteisiin ja niistä miinoitteiden kulmiin, joiden avulla edelleen paikannetaan kaksi muuta kulmaa. SE-menetelmän käyttö luo sulutteen alueelle tavallaan suunnistusradan, jossa jokainen maastoon merkitty löydetty kiintopiste tai kulma nolaa virheen. Tapa voi aiheuttaa merkittävän epä johdonmukaisuuden tietojärjestelmässä.

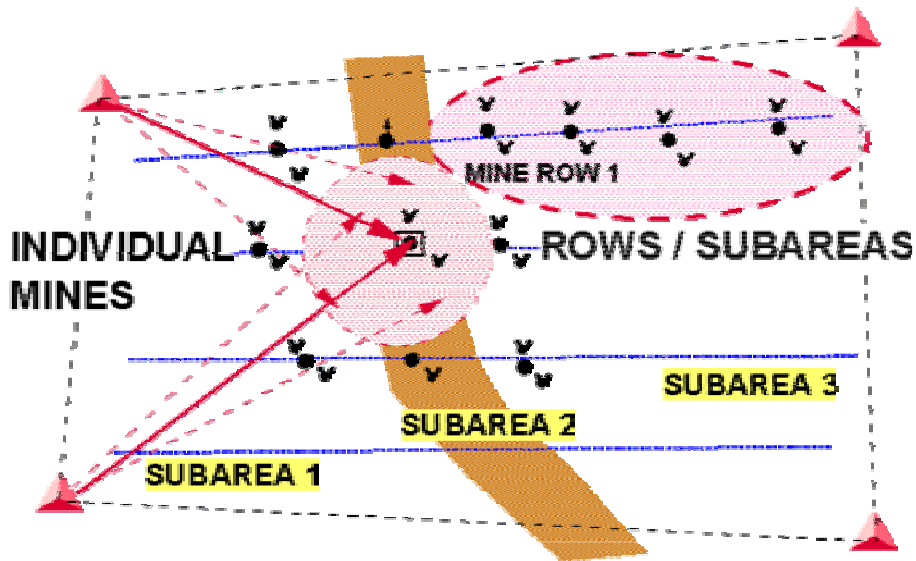


Kuva: Sijaintivirheen käyttäytyminen. PI-menetelmällä virhe on pistekohtainen, oikealla kuvatulla yleisemmällä SE-menetelmällä kumuloiutuva.



Kuva: Miinoitteen varokauluksella huomioidaan sekä laitimaisen miinarivin kaareutumisessa että paikannuksessa tapahtuvat virheet.

Miinaesteen sisällä on kolminkertainen paikannusjärjestelmä. Jokainen miina kuuluu aina esteen alueelle, osa-alueelle ja riviin, lisäksi osa on paikannettu yksilöinä. Tarkkuudessa pyritään siihen, että löydetty miina tunnistetaan yksiselitteisesti, joka tarkoittaa noin kymmenen metrin paikannustarkkuutta miinoitetun alueen sisällä.

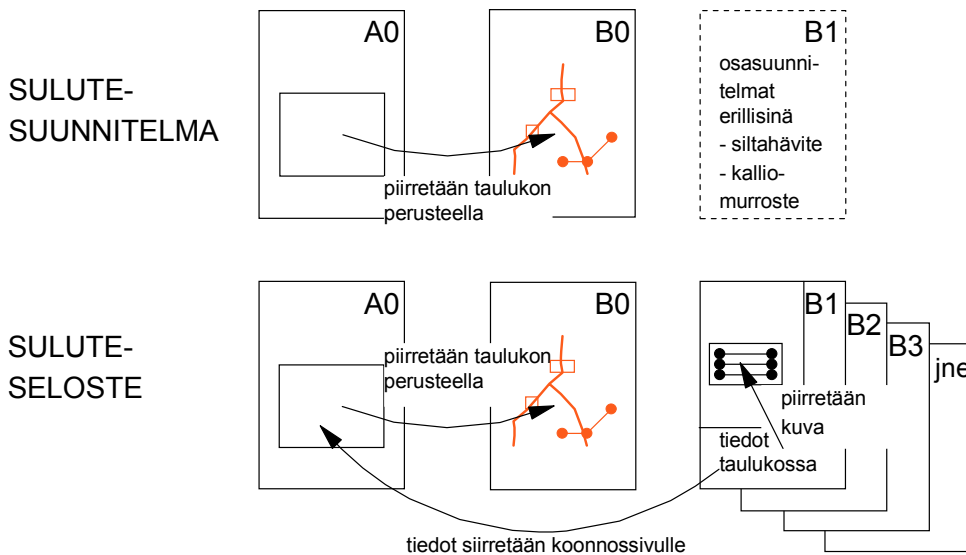


Kuva: Miinaesteen kolminkertainen paikannusjärjestelmä.

Hyökkäävän prikaatin vastuualueella voi olla useita kymmeniä sulutteita. Tämä tarkoittaa nykytilanteessa eri mittakaavaisia, osin päällekkäisiä selostelomakkeita, jotka ovat usein "kopion kopioita" piirrettynä eri tyyleillä. Ratkaisua lähdettiin hakemaan vuonna 1999 Li-MaSun viitoittamalta tieltä seuraavin poikkeuksin:

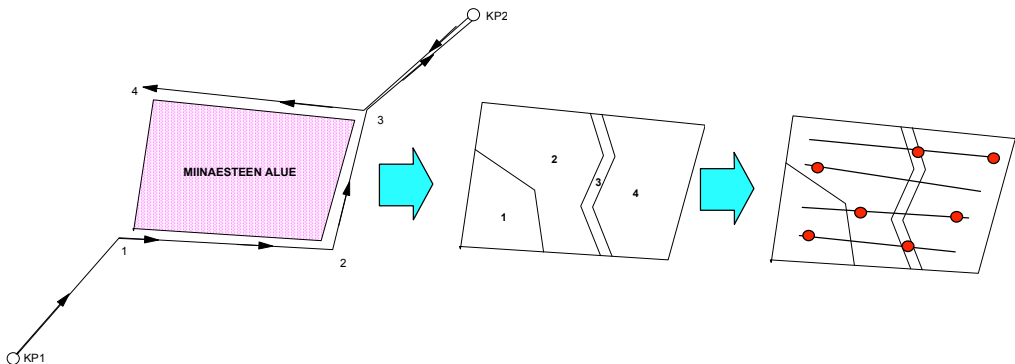
- Paikannustapana on lähtökohtaisesti SE-menetelmä, ainoastaan rauhan ajan suunnittelussa voidaan käyttää GPS-laitteita.
- Suunnitteluovellus tehdään Bentley GeoOutLook ohjelmistolle, jotta se on täysin yhteensopiva PionJohlan kanssa.
- Suunnitteluovelluksen on pystyttävä yhdistämään yksittäiset selosteet kokonaiskuvan muodostamiseksi.
- Paperimenetelmä säilyy rinnalla varmentajana, seloste tulostetaan ainakin omistajan osalta ja talletetaan erilleen. Näin tietoa voidaan myös jakaa niille taisteleville joukoille, joilla ei ole digitaalisia apuvälineitä.

Kehitystyötä jatkettiin prototyypiperiaatteella. Jo ensimmäisellä kehityskierroksella huomattiin, että uudet vaatimukset täyttävä, vuonna 1998 kadettikurssin tutkimustyönä kehitetty lomake vaati muutoksia. Tämä johtui siitä, että suluteselosteessa paljon informaatiota merkittiin suoraan piirroksen, eikä sitä dokumentoitu taulukoksi linnoiteselosteen tavoin.



Kuva: Sulutesuunnitelman ja -selosteen looginen lomakerakenne. Nollalla merkityt lomakkeet sisältävät kokonaistiedot, muut kukin yhden sulutteen osan.

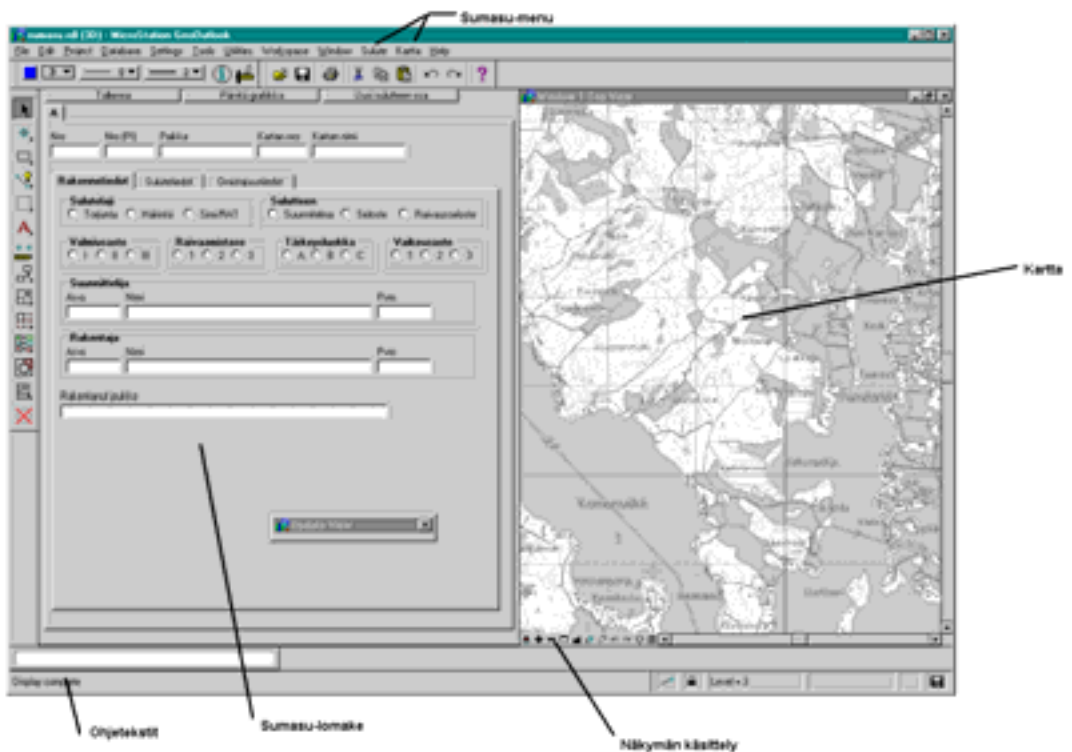
Kehittäminen aloitettiin tiedonkeruusta. Vuoden 2000 aikana toteutettiin useita iteraatiokierroksia, joilla pyrittiin optimoimaan tietojen kerääjän liike maastossa kuitenkin siten, että tiedoista muodostuu yksiselitteinen kokonaisuus.



Kuva: Sulutteen osan tiedot kerätään maastossa kolmessa vaiheessa, esimerkkinä miinaeste. Vasemmalla on kuvattu kiintopisteet ja tiedonkerääjän reitti.

Ensimmäisenä kerääjä kiertää miinoitetun alueen aloittaen toisesta kiintopisteestä. Sovellus neuvoo järjestyksen ja tarkistaa annettujen tietojen johdonmukaisuuden. Seuraavaksi käyttäjä jakaa esteen osa-alueisiin määrittämällä osa-alueita esteen sisällä rajaavat linjat. Mikäli käyttäjä antaa linjalle leveyden, se tulkitaan tieksi ja piirretään alueena. Linja määritetään kiinnittämällä sen alkupiste johonkin kulmaan ja määrittämällä käännealueet, joita voi olla enintään kaksi. Ohjelma jakaa rajojen piirron jälkeen alueen

osa-alueiksi, numeroi ne ja esittää näytöllä. Alueita voi olla enintään kuusi. Numeroinnin jälkeen käyttäjä nimeää ne ja antaa kullakin alueella olevien miinojen lukumäärät miina-tyypeittäin taulukkoon. Ohjelma laskee tämän jälkeen kokonaismiinamäärät ja esittää ne käyttäjän hyväksyttäväksi. Seuraavaksi käyttäjä kertoo esteessä olevien miinarivien lukumäärän ja kullakin rivillä olevien miinojen määrän tyyppittäin. Ohjelma vertaa tietojen syötön jälkeen riveittäin laskettua kokonaismäärää edellisessä vaiheessa määritettyyn ja huomauttaa virheistä. Kolmantena vaiheena käyttäjä ilmoittaa ansoitettujen telamiinojen ja pohjamiinojen sijainnit kiinnittämällä ne kahteen miinoitteen kulmaan ristisuuntina. Ohjelma varmistaa, että näin paikannettu miina osuu kokonaisalueen sisään ja päätelee käytetyt kulmat. Lopuksi käyttäjältä kysytään purkamista ehkäisevien sakaramiinojen sijainti suhteessa telamiinoihin, pohjamiinoille säädetty varmistus- ja toiminta-aika sekä laskurien asetukset.



Kuva: Suunnittelusovelluksen käyttöliittymän yleiskuva. Manuaalisen lomakkeen osiot on pilkottu seitsemään valikkoon vasemmalle puolelle. Toteutus Bentley Finland.

Yhdessä suluteselosteessa voi olla kymmenen erilaista osaa, joista jokaisella omat kiinnituspisteet ja rajat. Kukaan osa voi koostua jopa sadasta eri kohteesta. Tästä huolimatta tiedon keruu maastossa kestää 1½ .. 2½ tuntia ja siirtotiedostojen koko on 10 .. 30 kb mittaluokassa. Sovellus on kokeilukäytössä.

4.3.3 Kohdetietojen asettamat vaatimukset paikkatietoaineistoille

Maastosuunnittelusovelluksia käyttävät pääasiassa varusmiehet ja reserviläiset. Tiedonkeruulaitteita on pioneeri- ja raivaajajoukkueilla, pioneeritiedusteluryhmillä ja rakentajayksiköiden maastosuunnitteluryhmillä. Suunnittelusovelluksia on käytössä pioneerikompanioilla, rakentajakompanioilla ja osalla pioneerijoukkueita. Lisäksi suunnittelusovelluksia on PionJohla-tietokoneissa pioneeri- ja rakentajapataljoonien esikunnilla sekä yhtymien esikunnilla. Yhden tiedonkeruulaitteen ja yhden suunnittelusovelluksen tyypillinen toiminta-alue on $160 \times 160 \text{ km}^2$, joka vastaa neljää pelastuspalveluruutua. Maastosuunnittelusovelluksia käytetään kaikkialla Suomessa.

Sovellusten luonteesta johtuen käytettävien kartta-aineistojen on katettava koko maa. Ajantasaisuusvaatimuksena käytettäville aineistoille riittää pääosin käytettävien paperikarttojen taso. Poikkeuksena on kriisiaikana roudan paksuustieto, joka pyritään päivittämään 2 - 3 viikon välein. Käytettävän aineiston bittisyys ja rasteridatan pikselikoko on oltava sellainen, että aineiston kokonaismäärä on toiminta-alueelta enintään 5 GB. Aineiston jako-osana on käytettävä perusteena pelastuspalveluruutua tai sen osaa, jolla mahdollistetaan jakelu Topografikunnasta. Koordinaatistona on käytettävä yhtenäiskoordinaatistojärjestelmää (YKJ), koska se on koulutettu käyttäjille ja yhdenmukainen manuaalisen paikannuksen kanssa; mikäli pienimittakaavaisuus ei tätä mahdollista, on kartatokoordinaatistojärjestelmästä (KKJ) toteutettava muunnokset laitteissa. Tulevaisuutta silmälläpitäen on varauduttava EUREF / WGS-84 datumien käyttöön, jolloin myös jako-osa on määritettävä uudelleen.

Suunnitelman taustakartta on kokonaisuudessaan suunniteltava siten, ettei se häiritse suunnitelmainformaation välittymistä. Suunnitelmien piirrosvärinä käytetään lähinnä mustaa, sinistä, vihreää tai punaista perusväristä yhtenäistä viivaa, joka on yhtenevä peitepiirrostussien kanssa. Kohteet merkitään joko viivamaisina, aluemaisina tai pistemäisinä symboleina ja ne voidaan tarvittaessa kätkeä taustakartan taakse, mikäli niillä on ilmentymä taustakartalla. Tällöin kohteeseen viitataan hiirellä rasterikartan läpi.

Sovelluksessa laaditaan kohteista sijaintipiirros, jonka sijaintivirhe 90% tasolla on DGPS-mittauksella noin 2 m, GPS-mittauksella noin 5 m, SE-mittauksella noin 10 m suhteessa kiintopisteeseen paikalliskoordinaatistossa ja paikannettaessa koordinaatit 1:50k taktiselta kartalta noin 25 m. Kohteiden mittaustarkkuus edellyttää, että käytettävien kartta-aineiston sijaintitarkkuus on 5 metrin luokkaa, vähimmäistarkkuus on 25 m. Mikäli aineiston sijaintitarkkuus on vaadittua merkittävästi huonompi, ei mitattu kuva vastaa kartalta välittyvää.

Kartta-aineistoa käytetään sovelluksessa:

- Käyttäjän orientaatioon.
- Suunnittelua tukevan informaation siirtämiseen mittajalle.
- Mittauksen oikeellisuuden visuaaliseen varmistamiseen.
- Kiintopisteiden koordinaattien määrittämiseen SE-menetelmässä.

Käyttäjän orientaatiota {O} eli kohteen yleistä paikannusta varten kaikissa suunnitelma-lomakkeissa on erillinen ikkuna, jonka perusteella kohde on löydettävissä 1:50k taktisen kartan erikseen ilmoitetulta lehdeltä. Paikannuskartalle merkitään suunnitelman perus-kiintopiste kiintopistemerkillä ja kokonaisalue ääriiviivoina. Lisäksi käyttäjän orientaatiota tuetaan käyttämällä kartta-aineistoa laadittavan suunnitelman taustakartana, jonka kuva-ala tulosteessa on noin 15 x 15 cm² ja tulostusmittakaava kohteen laajuudesta riippuen joko 1:10k, 1:5k, 1:2k tai 1:1k. Käytettävän aineiston on oltava koulutettavuusvaatimusten takia selitteiltään ja väreiltään yhtenevä koko maassa.

Suunnittelua tukeva informaatio {T} on tietoa, joka ei selviä maastossa ilman erillistä tutkimista. Tällaista ominaistietoa linnoittamisen kannalta ovat maaperä maalajin kaivettavuuden ja lakoavuuden osalta, pohjaveden ja märkärajan syvyys vuodenajoittain ja tarkasteluhetkellä, maapeitteen paksuus kokonaisuutena ja maalajeittain sekä roudan syvyys tilastollisena ja reaaliaikaisena. Suluttamisen kannalta lisätietoa ovat siltojen erikoisrakenteet ja panostilat, tien erikoisrakenteet kuten panosputket ja tien alittavat viemäriputket sekä maaston kulkukelpoisuuteen liittyvät analyysitulokset. Ylimenon kannalta lisätietoa ovat vesistöjen rantojen kantavuus ja jyrkkyys mukaan lukien vedenalainen osa, vesistöjen syvyys, karikot, väylästä ja virtaama, tiestö rantojen läheisyydessä, siltojen kantavuus ja maaperätietona rakennettavuus urien teon kannalta. Suunnittelua tukevassa informaatiossa aineiston tärkein ominaisuus on temaattinen tarkkuus, koska tieto yleensä tulkitaan visuaalisesti.

Mittauksen oikeellisuuden visuaalisessa varmistamisessa {V} ajatuksena on esittää suunnitteluovelluksen tiedonkeruun perusteella piirtämä kuva ja verrata sitä käyttäjän laatimaan luonnokseen. Tämän tyyppistä tietoa on linnoittamisessa maaston korkeus-suhteet, jolta on mahdollista tarkastella asemien muotoutumista maastoon ja tätä tukeva maankäyttötieto, suluttamisessa tiestöä, siltoja ja vesistöjä koskeva tieto ja ylimenossa vesistöjen rantoja ja tiestöä koskeva tieto. Myös mittauksen oikeellisuuden varmistavassa informaatiossa aineiston tärkein ominaisuus on temaattinen tarkkuus ja tietojen eheys. Lisäksi on tärkeää riittävän hyvä paikannustarkkuus.

Kiintopisteiden koordinaattien määrittämisen tukena {K} voidaan käyttää joko ennalta mitattuja ja maastoon merkittyjä kiintopisteitä tai 1:50k taktiselta kartalla esitettyjä yksiselit-

teisesti maastosta paikannettavia kohteita. Tyypillisiä kiintopisteitä ovat ison kiven keskipiste, siirtolohkareen nimetty kulma, supan keskipiste, jyrkänteen nimetty pää, rakennuksen perustuksen nimetty kulma, yksilöity sähkölinjan pylväs, maastoalueen kuten pellon määritetty kulma, ojan määritettävissä oleva mutka ja tien risteyksen nimetty sisäkulma. Kiintopisteeseen liittyy aina tarkentava selite. Tarkin paikannustieto saadaan kiintopisteluettelosta, jolloin tarkkuus on senttimetriluokkaa. Sotilaallisia kiintopisteitä on käytettävissä 83.000 kpl ja tasokiintopisteitä [MML] 22.000, joka vastaa noin yhtä kolmea neliökilometriä kohden. Pisteet on pääosin määritetty tien läheisyyteen. Sovelluksen on kartta-aineiston perusteella esitettävä ainakin kohteen tyyppi (feature type) ja kohteen koordinaatit.

Aineistojen vaatimusten esittämisessä on käytetty tärkeysjärjestystä minimiaineisto {M}, suositeltava aineisto {S} ja lisäaineisto {L}. Aineistojen käyttö esitettyihin tarkoituksiin {O, T, V, K} on koottu seuraavaan taulukkoon.

AINEISTOSISÄLTÖ	TÄRKEYS	TARKOITUS
Rasterikartta 1:50k "taktinen"	M	O (V)
Maaperäkartta	M	T
Tarkka maastotieto: - siirtolohkare, rakennus	S	K (V)
Kiintopisteluettelo	S	K
Tiestön tarkka sijainti (kaikki luokat)	S	V (O)
Maapeitteen paksuus	L	T
Linnoitettavuusanalyysitulokset	S	T (V)
Kulkukelpoisuusanalyysitulokset	S	T (V)
Maankäyttö- ja puustotulkinta	L	T
Ilmakuvat	S	V
Korkeusmalli	L	V (T)

Taulukko: Maastosuunnittelua tukevien lähtöaineistojen tärkeys ja käyttötarkoitus käyttäjän kannalta esitettyinä.

Paikannuskartta sitoo paikkatietosovelluksen ja painetun karttatuotteen toisiinsa. Koska painettu kartta on myös tulevaisuudessa yleisin väline orientoitua, tulee käytettävän numeerisen karttatuotteen olla sama 1:50k taktinen kartta. Sovelluksen on pystyttävä poimiin lomakkeelle kartta-aineiston metadatatista karttalehden numero, nimi ja painovuosi. Koordinaatistona tulee käyttää YKJ-jakoa. Aineiston kuvaruutukäyttöä voidaan rajoitusti parantaa.

Maastosuunnitelman taustakartta on väline sekä mittauksen oikeellisuuden varmistamiseen että orientaatioon. Paikannuskartta voi toimia tietyin rajoituksin myös suunnitelman taustakarttana, vaikka sitä ei ole varsinaisesti suunniteltu suurelle mittakaavalle. Taktisen 1:50k kartan valintaa kuitenkin tukevat aineiston koon hallittavuus, jakelun ja päivityksen yksinkertaisuus sekä aineiston käsittely sovelluksessa koulutuksen kannalta. Toisaalta seuraavassa alaluvussa esitetyssä testauksessa havaittiin, että 1:20k peruskartta sopii tähän käyttöön paremmin. Osittain läpinäkyvällä esitystavalla voidaan käyttää useita rasteriaineistoja saman aikaisesti. Käyttäjälle tulisi tarjota mahdollisuus käyttää myös ajanmukaisia ja oikaistuja ilmakuvia taustakarttana, jolloin hänellä on mahdollisuus nähdä maasto "kuten luonnossa" eikä yksinkertaistettuna karttaesityksenä, saada reaaliaikaisempaa informaatiota ja arvioida esimerkiksi kohteen ilmasuojaisuutta puuston latvuspeiton avulla. Vaatimukset täyttävä aineisto on Topografikunnan OrtoCD, jonka ylläpito on jatkuvaa ja reaaliaikaisuus muutaman vuoden luokkaa. Lisäksi kriisiaikana voidaan pyrkiä avainalueilta toimittamaan karttaa reaaliaikaisempaa tietoa suunnittelun tueksi. Erityinen arvo ilmakuvalla on tilanteessa, jossa aineisto esitetään korkeusmallin päällä 2½D esityksenä.

Tärkein pioneeritoiminnan suunnittelua tukevaa informaatiota tarjoava tuote on maaperäkartta. Valmiit perusanalyysitulokset maaston linnoitettavuudesta, kaivettavuudesta ja kulkukelpoisuudesta eivät vielä ole riittävän tarkkoja tähän käyttöön suurien temaattisten pikselivirheiden vuoksi. Maapeitteen paksuuden ja vesirajan syvyyden osoittavat aineistot ovat vasta kehitysvaiheessa, ne voidaan kokeilujen perusteella muodostaa lentomittauksin ja tarkentavalla maastotyöllä ainakin tärkeimmille ja suotuisimmille alueille. Routaa, lunta ja jäätä on tarkasteltu muualla tässä tutkimuksessa samoin siltoja. Vesistöjen rantatietoja ei ole tällä hetkellä saatavissa, mutta aineisto voitaisiin yrittää muodostaa maastoanalyysillä.

Tarkka paikannus voidaan perustaa laajan kiintopisterekisterin käyttöön. Maastotietokannasta voi tuottaa poimintoja, joiden koordinaattitiedoilla voidaan tukea käyttäjää.

4.3.4 Liikkeen edistämisen maastosuunnittelu vertailukohtana

Liikkeen edistämässä tietojen keruu painottuu linnoitteiden tapaan suunnitteluun, mutta tietoja hyödynnetään ja täydennetään painopisteisesti kriisin aikana ja siten SE-menetelmällä. Myös tietomäärien osalta kyse on edellisten välissä olevasta tarpeesta. Tietojen käyttöä on tutkittu päätöksentekotasolla osana Pioneeritoiminnan johtamislaitteen kehitystyötä [Pjohla] ja osatutkimusten tuloksia on julkaistu majuri Marko Alamäen tutkimus- [Ala98] ja diplomityössä [Ala99]¹⁹ sekä teknisellä tasolla luutnantti Hannu Tasulan luutnanttikurssin tutkielmassa²⁰ [Tas99].

LeMaSu-sovelluksesta päätettiin tehdä ensin prototyyppi, jonka tavoitteena oli kokonais- tutkimuksen kannalta selvittää ensisijaisesti käyttöliittymään ja taustakartoihin liittyviä tekijöitä. Sovelluksen toimintalogiikka päätettiin pitää suluttamisen maastosuunnittelua vastaavana. Prototyyppi toteutettiin Teknillisen korkeakoulun GIS-ohjelmatyönä [LeMaSu01] vuosina 2000-2001 MicroStation alustalle käyttäen sen MDL-ohjelmointikieltä.²¹ Ylimenossa uuden vaatimuksen edellisissä luvuissa kuvattuihin suunnittelutehtäviin aiheuttaa se, että yksittäiseen ylimenopaikkaan pitää pystyä liittämään rakennettavat tieurat, joiden on puolestaan verkotuttava olemassa olevan tieaineiston kanssa. Kun linnoitteessa mittaluokkana on joidenkin hehtaarien alue ja suluttamisessa alle neliökilometri, ylimenosuunnitelmassa alueelta vaadittava koko voi olla joitakin neliökilometrejä.

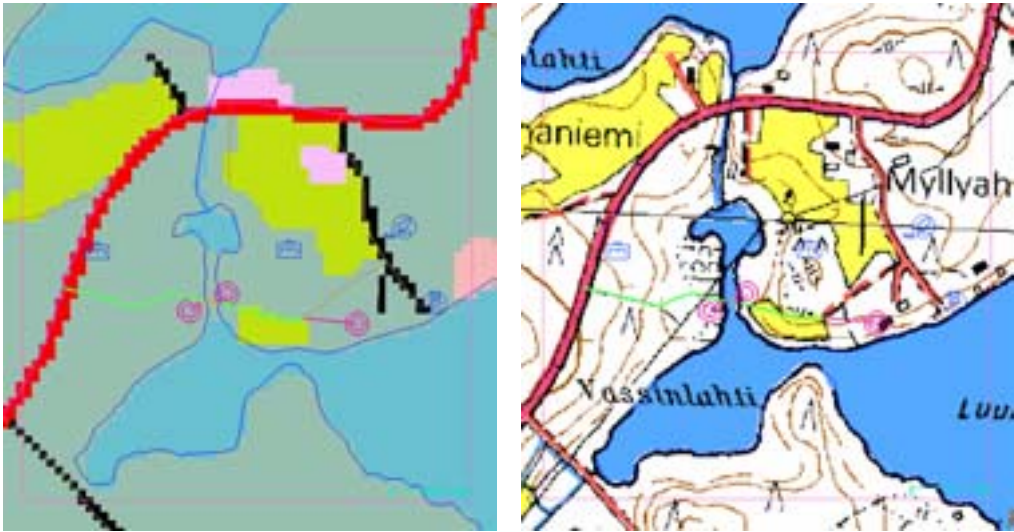
Käyttöliittymässä päädyttiin myöhempää sulutesovellusta vastaavaan lomaketekniikkaan ja työ oli varsin suoraviivaista laadittujen esitutkimusten ansiosta. Tiedot kyettiin kuvaamaan siten, että ASCII muotoinen keruu ja tallennus onnistuu, itse tiedonkeruulaitetta ei kuitenkaan protoiltu erikseen. Näiden osalta voidaan tehdyn työn kannalta pitää selvänä, että valittu tapa ja alusta mahdollistaa varsinaisen sovelluksenkin kehittämisen.

Taustakarttojen kokeilussa 1:50k taktinen kartta oli nykymuodossaan huono sekä paikannukseen että maastosuunnitelman taustana. Edelliseen paremmaksi osoittautui 1:250k operatiivinen kartta ja jälkimmäiseen 1:20k peruskartta. Kompromissin mahdollistamiseksi nykyinen 1:50k taktinen kartta siis vaatii merkittävää kehitystyötä kuvaruutu- karttana, periaatteessa sen käytölle ei nähty esteitä. Visualisointia kokeiltiin myös käyttäen SLICES-aineistoa yhdistettynä vektorimuotoisiin tie- ja vesistötietoihin.

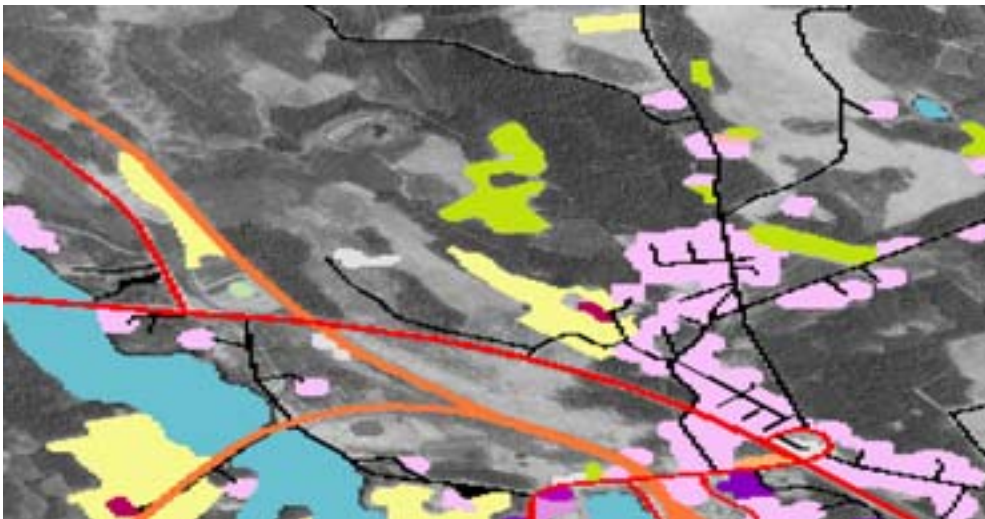
¹⁹ Kirjoittaja toimi molempien töiden asiantuntijaohjaajana.

²⁰ Työ vastaa tasoltaan lähinnä insinöörityötä.

²¹ Kirjoittaja toimi työn määrittäjänä ja ohjaajana.



Kuva: Ylimenosuunnitelma visualisoituna LeMaSu-protossa, vasemmalla SLICES-aineisto ja oikealla 1:20k peruskarttarasteri. [LeMaSu]



Kuva: Visualisointi käyttäen SLICES-aineiston metsämaskin tilalla korkealentoilmakuvaa. Varsinkin 2½D tarkastelussa tapa olisi havainnollinen.

Prototyypissä ei ollut mahdollista kokeilla paikannusta tai suunnittelua tukevia aineistoja. Valmis toimintakonsepti ohjelmistoineen kuitenkin mahdollisti toimivan suunnitteluvel-
luksen koodaamisen jopa oppilastyönä.

4.4 Tavoitteena paikkatietotuote

4.4.1 Paikkatietotuotteen perusajatus

Paikkatietotuotteella tarkoitetaan tässä tutkimuksessa Puolustusvoimissa käyttöön hyväksyttyä yhtenäistä paikkatietoja sisältävää tietokokonaisuutta. Karttatuote on visuaalinen paino- tai kuvaruutukartta. Molempia voidaan nimittää yhdessä tietotuotteiksi. Tietoineistolla tarkoitetaan tässä työssä hankittua tai muodostettua tietovarantoa, jota käytetään tuotteiden valmistamiseen.²²

Tietotuotteella pitää olla ainakin seuraavat ominaisuudet:

- Tuotteen tietomalli on kuvattu ja yhtenäinen koko Puolustusvoimissa.
- Tuote on kuvattu valitun standardin mukaisesti tietotuoteselosteena.
- Tuote muodostaa yhden sotilaallisen tietokokonaisuuden yhdistettynä ja yhdenmukaistettuna tarvittaessa useasta lähtöaineistosta.
- Tuotteen tietoja ei ole muissa vastaavissa aineistoissa kuin referenssinä, jonka lähde on mahdollisimman yhtenevä.

Tällä hetkellä paikkatietoaineistot hankitaan pitkälti projektilähtöisesti, joka johtaa päällekkäiseen ja suunnittelemtomaan työhön sekä epäyhtenäiseen ja epäjohdonmukaiseen aineistokantaan eri järjestelmien välillä. Lisäksi aineistojen päivitys aiheuttaa ongelmia budjetoinnissa: hankinnat ja päivitykset rahoitetaan puolustusvoimissa eri tavoin. Ongelmaan esitetään ratkaisuksi tietoaineistojen keskitettyä hankintaa ja käyttäjille jaettavien tietojen muodostamista tietotuotteiksi.

Tuotteistaminen aloitetaan kaikkien tiedon tarvitsijoiden tekemällä tarvemäärittelyllä, josta yksi sovelluskohtainen esimerkki on esitetty sotilasmetsää koskien. Yksittäisten määrittelysten perusteella kootaan vaatimukset tietomalliksi, ajantasaisuudeksi, kattavuudeksi ja muiksi laatutekijöiksi. Yhdistettyjä ja priorisoituja vaatimuksia verrataan tämän jälkeen keskitetysti jo käytössä olevien tietotuotteiden ja sen jälkeen hankittavissa olevien valmiiden aineistotuotteiden kanssa. Lähtökohtana on, että Puolustusvoimat ylläpitää jatkuvaa tietoa maan aineistotilanteesta. Yksi menettelytapa tähän on muodostettu aineistokoealue, jolta kaikki tiedot hankitaan esimerkkiluontoisina automaattisesti.

Kehitettävä tietotuote pyritään aina rakentamaan jonkun valmiin ja kattavan aineistotuotteen muodostamalle rungolle, johon lisätään muualta saatuja tietoja. Mahdollisuuksien mukaan pyritään silta-aineiston tavoin tilanteeseen, jossa keräilystä ja ylläpidosta vastaa

²² Käsitteistö on tältä osin vakiintumatonta. Sekaannusta lisää vielä se, että useat aineistotoimittajien tietotuotteet ovat puolustusvoimien kannalta tietoaineistoja, joita yhdistämällä ja sotilaallisia ominaisuuksia lisäämällä muodostetaan sotilaalliset tietotuotteet. Oleellista käsitteistön kannalta on, että puolustusvoimien sisällä kaikki käytettävät tiedot ovat tuotteistettuja tietotuotteiksi ja niille on muodostettu metadakuvaukset.

runkoa ylläpitävä viranomainen tai yritys, jolle tuotetaan samalla lisäarvoa. Mikäli tämä ei ole mahdollista, tuote muodostetaan varatussa ja turvaluokitellussa yrityksessä. Mikäli tarvittavaa tietoa ei saada valmiina, pitää selvittää sen saatavuus analysoimalla. Kun analyysien tuloksia tuotetaan keskitetysti, niihin sovelletaan tässä esitettyjä aineistotuotteen vaatimuksia, joita voidaan soveltaa myös sovellusten välisessä tiedonsiirrossa analyysien tulosten osalta.

Kun tietotuote on määritelty, se kuvataan valitun standardin mukaisesti ja hyväksytään käyttöön. Mikäli tuotteen tietosisältö ei jatkossa riitä jonkun käyttäjän tarpeisiin, puuttuvan tiedon lisäämisestä tuotteeseen tehdään esitys. Kun esitys hyväksytään, uusi tieto lisätään tuotteeseen kuitenkin siten, etteivät aiemmat tiedon käyttäjät joudu muuttamaan järjestelmiään. Tietosisältöjen poistamisesta päätetään keskitetysti.

Tietotuotteiden aineistojen hankinta, tuotteiden muodostaminen, metadata-kuvaukset, jakelu ja ylläpito toteutetaan keskitetysti myös budjetoinnin ja henkilöstön osalta. Vain kokonaan uuden tiedon hankinnan kustannukset voidaan budjetoida osaksi jotakin sovellusprojektia. Näin pyritään tilanteeseen, jossa aikaa myöten tietojen ja kustannusten hallinta paranee, syntyy mahdollisuus suunnitelmalliseen jakeluun ja laatuvalvontaan myös kriisitilanteessa ja maastoanalyysien kehittämiseen voidaan luoda laatujärjestelmä testausmenetelmien.

4.4.2 Karttatuotteet ja ilmakuvat referenssiaineistoina

Suomessa on epärealistista asettaa ajallista vaatimusta siirtymisestä täysin digitaalisten karttojen käyttöön Yhdysvaltojen tavoin. Tämä johtuu ennen kaikkea laajaan reserviin perustuvasta armeijasta ja siirtymisen vaatimista kustannuksista. Karttatuote yhdenmukaisena referenssinä paino- ja kuvaruutukarttana on ainoa tapa säilyttää yhteneväisyys paikkatietojärjestelmien ja perinteisten karttojen välillä.

Nykyinen operatiivinen kartta 1:250k on todettu sekä paino- että kuvaruutukarttana korkeatasoiseksi tuotteeksi. Sen sijaan 1:50k taktinen kartta täyttää heikosti tarkan suunnittelun asettamat vaatimukset²³, ja sitä on ainakin digitaalisena täydennettävä 1:20k peruskartalla. Kaikista tuotteista tulisi olla saatavana myös taustaltaan läpinäkyvät sekä himmennetyt versiot, jotta tietojärjestelmien visualisointi voidaan toteuttaa riittävän hyvin. Oman haasteensa asettavat lisääntyvä kansainvälinen yhteistoiminta sekä viranomaisyhteistyön tiivistyminen. Yhdenmukaisuustilannetta paikkatietoaineistojen ja karttaaineistojen välillä helpottaa jo nyt se, että painokartat tuotetaan ainakin pääosin samoista tietoaineistoista, jotka ovat analyysien lähtökohtana.

Tuotantomenetelmien automatisoituessa voidaan olettaa, että myös käyttäjäkohtaisten räätälöityjen kuvaruutukarttojen laatiminen esimerkiksi maastotietokannan poimintana on jossakin vaiheessa mahdollista²⁴. Vielä tällä hetkellä vallitsee tilanne, jossa yhtenäisen esitystavan siirtäminen järjestelmien välillä on vaikeaa.

Ilmakuvat muodostavat kokonaisuuden, joka referenssinä on nopeimmin päivitettävissä. Korkealentokuvilla voidaan myös tukea visualisointia. Tässä tilanteessa referenssin voidaan ajatella syntyvän maastossa olevan joukon ja tietojärjestelmän välille ilman erillistä tulkintaa.

4.4.3 Analyysien vaatimat paikkatietotuotteet

Kiintopistetiedot on jo nyt yhdistettynä yhdeksi tietokannaksi, jota on mahdollista tihentää tarvittaessa sekä kuntien tiedoilla että joukkojen tekemällä mittauksella.

Viitteellisistä paikannustiedoista referenssikarttojen nimistöjä käytetään käskyjen välirajojen määrittämiseen. Nimistö 1:250k ja 1:50k kartoissa ole yhtenevä, eikä sanallinen viittaus liity suoraan esimerkiksi nimen koordinaattiin vaan sen kuvaamaan maastokohteeseen²⁵. Maastotietokannan nimistö helpottanee osin asiaa jatkossa.

Maanmittauslaitoksen maastotietokanta muodostaa perustan sekä keskeisten referenssikarttojen tuotannolle että kohteiden esittämiselle muun muassa visualisoinnissa ja tulevaisuuden automaattisessa kartantuotannossa. Tietoja voidaan käyttää joko sellaisenaan osana analyyseja tai parantamaan muita aineistoja. Aineisto on kehittymässä koko valtakunnan laajuiseksi.

Käytännöllisesti katsoen kaikki analyysit vaativat lähtötiedokseen korkeusmallin, joten sitä voi pitää Yhdysvaltalaiseen tapaan perusaineistona. Kun tarkkuustaso muuttuu tulevaisuudessa 10 metrin tasolle, joka vastaa DTED level 3 resoluutiota, syntyy nykyisen 25 metrin aineiston rinnalle uusi aineistotuote. Siirtymäaikana voi olla perusteltua tihentää mallia alueellisesti NIMAn strategiaa vastaavasti.

Kaltevuus on järkevää laskea korkeusmallista, koska eri paikkatieto-ohjelmissa tarkkuus ja tavat mallien muodostamiseen vaihtelevat, eikä laadun tarkastamista näin ollen voida keskitää. Aineistoa voidaan manipuloida esimerkiksi jyrkänne- ja leikkaustiedoilla, jolloin algoritmien tasoittava ja yleistävä vaikutus voidaan osin poistaa. Kaltevuus on parametrina monitahoinen määritettävä ja sen laskentaan on käytössä useita aineistojen resoluutiosta ja tyyppistä riippuvia algoritmeja [Mal99].

²³ Vertaa kokemuksiin liikkeen edistämisen maastosuunnittelusta.

²⁴ Paikkatietomarkkinoilla 2002 esiteltiin jo tämän tyyppisiä ohjelmistoja suomalaisilla aineistoilla.

²⁵ Esimerkiksi viittaus suo ml. tarkoittaa, että nimetty suo kuuluu käskettyyn alueeseen sille kartassa esitettyjen rajojen mukaisesti.

Maanmittauslaitoksen tieaineistoa on mahdollista täydentää uusilla ominaisuuksilla ja muilta toimijoilta saatavilla lisäominaisuustiedoilla. Kun DIGIROAD valmistuu, muodostuu samalla liikenteen kuvauksen kannalta yhtenäinen runko, johon voidaan liittää myös erityiskohteiden kuten siltojen, tunnelien ja leikkausten tiedot. Näin on mahdollista muodostaa tieaineistotuote.

Maan käytölle luonnollisen perustan muodostaa SLICES, joka on tällä hetkellä ainoa käyttökelpoinen tapa myös yhdenmukaistaa muut rasteriaineistot tuotantotapansa ansiosta. Mittaluokkana 25 metriä vastaa tämän hetken tarkkuusvaatimuksia ja 10 metriä kykenee vastaamaan myös tulevaisuuden vaatimuksiin. Käyttämällä tätä perustana voidaan perustasolla varmistua siitä, että overlay-tyyppisissä analyyseissä ei ole loogisesti ristiriitaisia tietoja. Lisäksi SLICES on huomattavan yhdenmukainen tärkeimpien vektoraineistojen kanssa.

Geologian Tutkimuskeskuksen tuottamat maaperäkartat on numeeristettu joko rastereiksi tai vektoreiksi. Tarkimmassa mittakaavassa 1:20k on saatavilla noin 40% maan alueesta vektorimuodossa, seuraavana kattavuusjärjestyksessä ovat rasteriaineistot 1:100k, 1:400k ja 1:1M. Eri mittakaavoissa on käytetty erilaista luokitusta määrän vaihdellessa kymmenestä neljäänkymmeneen. Osana Pioneeritoiminnan johtamislaitteen maastoanalyysien kehittämistä näistä muodostettiin yksi yhtenäinen tuote siten, että: [PJOHLA]

- Luokkien määräksi valittiin 13 vastaamaan sotilaallista maaperäluokittelua.
- Yhtenä maalajiluokkana käytetään maastotietokannan lohkarokkoja, jotka sotilaallisesti merkitsevät pohjamaalajia enemmän.
- Pikselikooksi valittiin 25 m vastaamaan tällä hetkellä suurinta analyysitarkkuutta, kokoa voidaan tulevaisuudessa pienentää.
- Yhdistelyprosessi muodostaa yhden pelastuspalveluruudun kokoisen aineiston, jossa tiedot on aina otettu tarkimman mittakaavan mukaisena.
- Aineistot on hankittu koordinoitusti ja niiden ylläpito on sovittu.

Muodostettu maalajiyhdelmä muodostaa paikkatietotuotteen, joka käyttäjän kannalta kuvaa maaperän sotilaallisia ominaisuuksia parhaalla mahdollisella tavalla eri alueilla. Osana päivitysrutiinia voidaan myös hallita uusien tarkempien aineistojen käyttö sekä testien aikana havaitut korjaukset. Mikäli SLICES päätetään hankkia, tulisi yhdelmän tietoja esimerkiksi vesistöjen osalta vielä verrata siihen. Toisaalta soiden käsittelyssä maaperän mukainen käsittely vastaa paremmin sotilaallisen toiminnan vaatimuksia kuin SLICES-aineiston pintamaalajiluokittelu. Koska maalajitieto on luonteeltaan geostatistista ja pääosin ihmisen tulkitsemaa, aineiston laadun määrittely yksikäsitteisesti on vaikeaa. Pelkästään visuaalisesti on todettavissa esimerkiksi lehtien rajat, joissa tulkitsija on vaihtunut. Lisäksi maaperä kuvataan luokitteluna, johon jatkuvaluonteinen maalaji- ja sen muo-

dostama syvyysjakauma pakotetaan. Puutteistaan huolimatta aineisto on merkittävä osa paikkatietoylivoimaa, koska sen muodostaminen on hidas ja nimenomaan Suomen olosuhteiden tuntemusta vaativa tehtävä. Metadatan kannalta yhdistely on kuvattavissa eri resoluutioisina alueina.

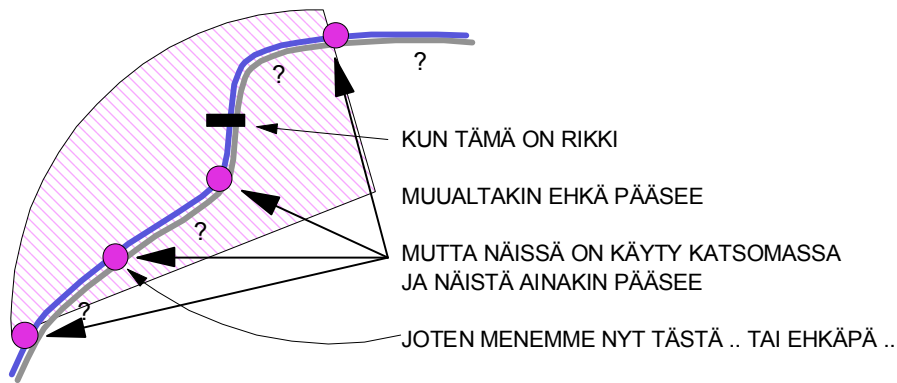
Myös metsään liittyville tiedoille SLICES muodostaa luonnollisen yhdenmukaistavan vertailukohdan. Lumen, jään ja roudan muodostaminen tuotteiksi on kuvattu aiemmin. Väestöä ja rakennuksia on tässä tutkimuksessa käsitelty vain SeutuCD-muodossa Pelastuslaitoksen riskianalyysin osana luvussa 8. Projektin kokemusten perusteella voidaan väittää, että molemmat aineistoryhmät tulee sisällyttää analyysien perusaineistoihin.

Kun vertaa Suomen aineistotilannetta edellä kuvattuun NIMAn aineistostrategiaan, voi todeta, että meillä on joka hetki käytössämme MSDS-tason tehtävänsuunnitteluaineistoja vastaava aineistokanta sekä laajuudeltaan että resoluutioltaan. Kun tähän lisää muut paikkatietotuotteet kuten roudan, lumen, jään, väestön, rakennukset, sähköverkostot, hallintorajat, voidaan todeta meillä olevan kyky aineistojen perusteella perinteisen maaston lisäksi ympäristön laajempaan kuvaamiseen. Lisäksi on todettava, että vuosien työ ja aineistojen luokittelun dynamiikka esimerkiksi metsien osalta antaa analyysien tuloksille aivan toisenlaisen varmuuden ja syvyyden esikuvaan verrattuna.

4.4.4 Sotilaalliset kohdetietokannat

Sotilaallisten kohdetietokantojen muodostaminen joko poiminnoilla ja analyyseilla muistakannoista, manuaalisia aineistoja digitoimalla tai maastosta tietoa keräämällä antaa perustan yksityiskohtaisen, suuren luotettavuuden ja tarkkuuden omaavan tiedon käyttämiseen päätöksenteon ja suunnittelun tukena.

Aineistojen hyödyntämistapaa voidaan kuvata niin sanotulla rusinapullatekniikalla, joka perustuu tilanteeseen parhaiten sopivan tiedon poimimiseen suuresta tietokannasta.



Kuva: "Rusinpullatekniikan" perusidea, jossa analyysien luotettavuutta lisätään rauhan aikaisella maasto-tietojen keruulla. Esimerkki Pioneeritoiminnan johtamislaitteen toteutustavasta. Vastaavalla tavalla voidaan kerätä tietoa myös niistä paikoista, joissa ylimeno ei onnistu.

Kohdetietokantojen merkitys tietoylivoiman hankinnassa on merkittävä, koska meillä on niiden muodostamiseen paljon vastustajaa paremmat mahdollisuudet. Toisaalta myös vastustajan voi olettaa tekevän tämän tyypistä työtä maaliluetteloiden muodostamiseksi tai esimerkiksi siltojen tietojen keräämiseksi, josta hyvänä esimerkkinä on viime sodan aikainen Neuvostoliiton laatima marssiopas Suomeen. Lisäksi meidän armeijamme on kalustollisesti mahdollisiin vastustajiin verrattuna lukumääräisesti ja osin myös teknisesti alivoimainen, joten juuri tiedon merkitys voimasuhteiden tasoittajana on suuri.

4.4.5 Maastoanalyysituotteet aineistoina

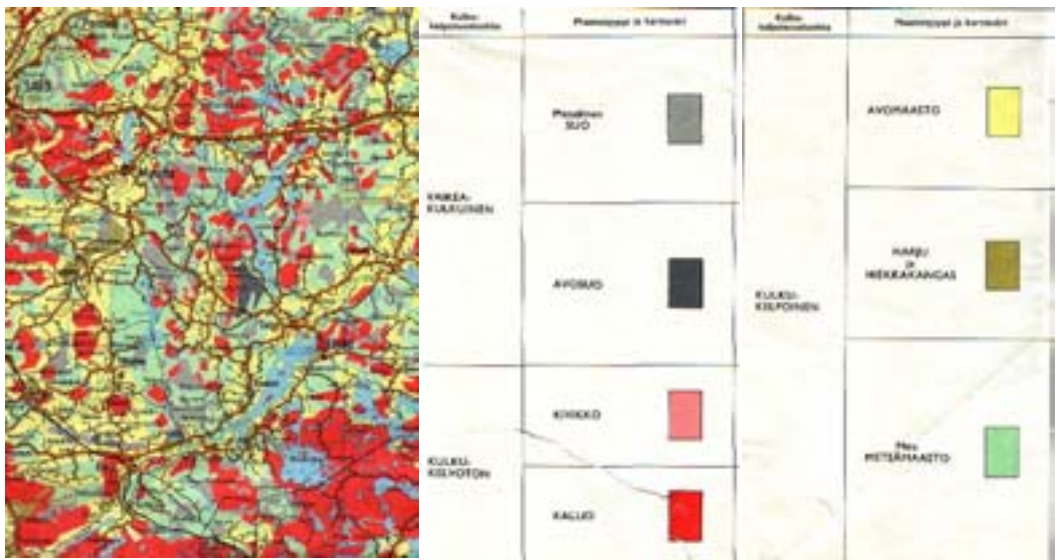
Kun maastoanalyysi on tehty, sillä laadittu aineisto ei poikkea muista aineistotuotteista. Jokaiseen analyysitulokseen on liitettävä metadata, joka kuvaa aineiston sisältöä ja ainakin tärkeimpiä laatutekijöitä.

Mikäli analyysillä tuotettuja aineistoja käytetään muiden analyysien lähtöaineistoina, pitää sen tarkkuus ja kuvaustapa olla myös suunniteltu tätä varten. Lisäksi overlay-tekniikan käyttäminen vaatii testattua tietoa tulosten luotettavuudesta, jotta seuraavan tason analyysin epävarmuustekijät kyetään arvioimaan.

Merkittävä määrä maastoanalyyseista on joko kokonaan tai laskennallisen tulkinnan rinnalla visuaalisesti tulkittavia. Tämä asettaa erityisiä vaatimuksia visualisoinnin suunnittelulle, jotta tuloksilla ei tahattomasti valehdella päättäjille. Lisäksi esitystavat on standardeitavata, jotta sotilaalliset merkinnät pystyy analyysituloksia vasten erottamaan eikä tulkit-sijan tarvitse opetella selitettä jokaista analyysia varten erikseen.

Osa maastoanalyyseista on tarkoituksenmukaista jakaa tulosteina niiden osapuolten käyttöön, jolla ei ole käytössä paikkatietojärjestelmiä. Lisäksi ainakin alkuvaiheessa tulostamista paperille tullaan käyttämään varmentavana menetelmänä niitä tilanteita varten, joissa analyysin teko syystä tai toisesta ei tietokoneavusteisesti onnistu. Jotta tämä onnistuisi, on tulosteisiin liitettävä tarvittava määrä referenssitietoa ja suunniteltava yhteinen tulostustapa. Tätä varten pitäisi muodostaa yhdenmukaistettu tapa nopean karttat tuotteen määrittämiseksi siten, että siihen liitetään myös orientaatiota tukeva tieto.

Jotkut analyysitulokset on tarkoituksenmukaista jakaa käyttöön jopa karttatuotteina. Tällöin niiden ulkoasu on suunniteltava kartografian yleisten menetelmien mukaisesti. Nopeat kartant tuotantomenetelmät antavat jo nyt mahdollisuuksia referenssitietojen liittämiseen siten, että tiedot ovat yhtenevät vakiintuneiden karttatuotteiden kanssa. Luonnollisen referenssin asettavat 1:250k operatiivinen ja 1:50k taktinen kartta. Esimerkkinä tämän tyyppisestä tuotteesta on Topografikunnan koeluontoisesti vuonna 1966 tuottama operatiivisen tason 1:200k kulkukelpoisuuskartta, joka oli luokiteltu raskaan panssarivauunun liikkumiskyvyn mukaisesti seitsemään maastoluokkaan, vesistöön, asutuskeskuksiin ja neljääntoista tieluokkaan painorajoituksineen. Analyysi tehtiin 1:100k topografisen kartan ja ilmakuvien perusteella manuaalisesti, tien varret tarkistettiin myös maastossa. Kartta luokiteltiin salaiseksi, eikä sen tuotantoa aloitettu.

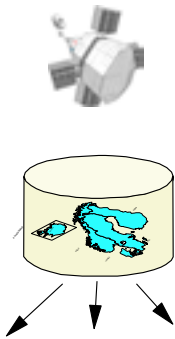


Kuva: Esimerkki operatiivisesta 1:200k kulkukelpoisuusanalyysikartasta, laatijana Topografikunta vuonna 1966. Pääluokkia on kolme: kulkukelpoinen avomaasto, harju ja hiekkakangas sekä muu metsämaasto, vaikeakulkuinen metsäinen suo ja avosuo sekä kulkukelvoton kivikko ja kallio. [TopK66]

4.4.6 Tuotteiden jakelu ja päivittäminen

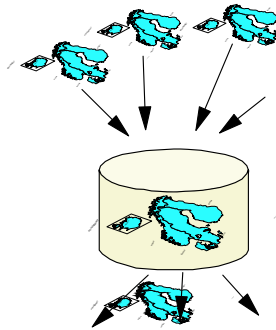
Yhdysvaltalaisessa ja osin myös ruotsalaisessa näkemyksessä Suomesta poikkeava tekijä on voimakas panostus digitaalisten paikkatietoaineistojen nopeaan tuottamiseen, jotta taktisen tason johtamisjärjestelmät saadaan "ladattua" ja taistelun suunnittelu voidaan käynnistää. Ruotsi on meille parempi esimerkki, koska sillä, kuten meilläkin, on nopeaan valmistukseen verrattuna ylivoimainen aineistokanta jo olemassa. Lisäksi osaksi "maastoa" voidaan lukea koko yhteiskunnan infrastruktuuri asutuskeskuksineen, viesti- ja voimansiirtoverkkoineen, kuten myös ihmiset ja liike-elämän toiminnot. Meillä digitaalinen taistelukenttä on perustaltaan jo valmiiksi hyvin moniulotteinen ja tarkka, kyse on siitä, osaammeko hyödyntää tätä ylivoimaista tietoa sotilaallisesti.

YHDYSVALLAT



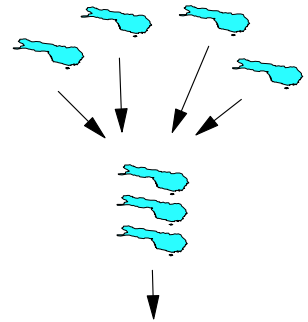
tavoitteena nopea ja yhdenmukainen tiedon tuottaminen ja tietotason jakelu tilanteen mukaisesti
päätoimija: NIMA

RUOTSI



tavoitteena olemassa olevan tiedon yhdenmukaistaminen ja tietotason jakelu käyttäjille
päätoimija: GeoSE

SUOMI



tavoitteena olemassa olevan tiedon valinta, hankinta ja tuotteistaminen käyttäjille
päätoimija: TopK

Kuva: Erilaiset näkökulmat paikkatietoaineistojen käyttämiseen.

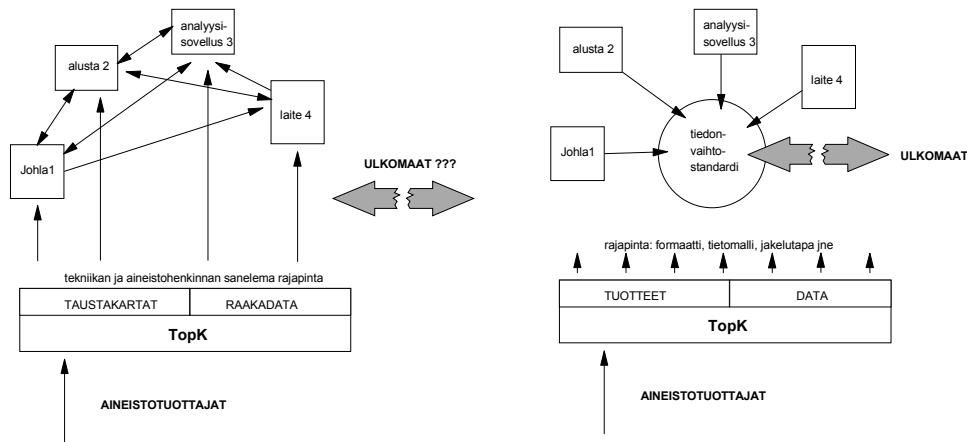
Erona Ruotsiin käytössämme olevat resurssit eivät mahdollista tietojen purkamista lähtöaineistoista tietokantaan ja jakelun toteuttamista tietojen tasolla käyttäjille. Realistista on sen sijaan ajatella, että tieto kootaan yhdenmukaisiksi tuotteiksi, joiden jakelu käyttäjille toteutetaan tietokannasta. Kehitystä tukee myös paikkatietoytimen [PTY97] tyyppiset pyrkimykset. Ruotsin paikkatietointressit koskevat sen uhkakuvien ja doktriinin mukaisesti perinteisesti koko Itämeren aluetta, kun taas Suomessa painotutaan enemmän oman maan alueelle ja sen välittömään lähiympäristöön²⁶. Meillä on Ruotsin kanssa yhteistä myös suhtautuminen kansainvälisiin tehtäviin, joissa pääosin voidaan arvioida tulevaisuudessa käytössä olevan lähinnä NIMAn tuottamia aineistoja.

²⁶ Tilanne on tässä suhteessa vaihteellain muuttumassa ja asettaa haasteen, johon vastaaminen ei ole tämän työn puitteissa mahdollista. Standardointi ja sen tuloksiin sitoutuminen tukee näitäkin pyrkimyksiä.

Lähtötietojen siirrossa eri järjestelmiin on ollut hankaluuksia, koska Topografikunnan karttatuotannossa käytettävät Bentley Micro Station ja Intergraph MGE perusteiset formaatit eivät suoraan sovellu kaikille tuettaville sovelluksille. Ominaisuustietojen siirto tietotasoihin perustuvassa DGN-aineistoissa pitää toteuttaa tietokantapohjaisesti, joka edellyttää myös vastaanottavassa järjestelmässä tietokantaa. Analyyseissa ominaisuustiedoilla on suuri merkitys. Rasteriformaateista käytetyt Intergraph TIFF Raster Length Encoding pakattuna (.rle) ja grid (.grd) eivät myöskään ole levinneet laajaan käyttöön muissa teknologioissa. Operatiivisen alan Tekla GISBase / C3 teknologiaan perustuvissa järjestelmissä käytettävät omat formaatit eivät ole saaneet kansallista tai kansainvälistä hyväksyntää, joten ne eivät voi käyttää hyväkseen valmiita taustakartta-aineistoja sellaisenaan. Puolustusvoimissa ei ollut käytössä yhteistä paikkatietojen siirtoformaattia, joka on johtanut point-to-point menettelytapaan. Siirto järjestelmien välillä on erikseen räätälöity ja pääosa tietojen vaihdosta toteutetaan tietokantojen välillä. Tietomalleja ei ole vakioitu. Yleisenä ongelmana on arkkitehtuurin hallinta. Kun kokonaisuuteen liitetään uusi sovellus, siihen pitää ohjelmoida useita tiedonsiirto-rajapintoja ja tietomallitulkkeja, lisäksi jo olemassa oleviin sovelluksiin joudutaan ohjelmoimaan uuden sovelluksen rajapinnat ja tietomallit. Tiedot pitää lähettää jokaiselle sovellukselle erikseen, jolloin yhteisen tietovaraston käyttö on mahdollista vain yhden master-tasoisien keskitetyn kannan avulla. [PATU]

Vuonna 1999 aloitettiin työ sopivan yhteisten formaattirajapintojen määrittämiseksi. Ta-voitetilassa data toimitetaan kaikille sovelluksille samoissa formaateissa, jota eri sovel-lukset lukevat että kirjoittavat. Näin tiedot voidaan lähettää vain yhteen kertaan jaetta-vaksi edelleen muille. Standardointityön todettiin tuolloin edenneen vasta vähän, eikä käytössä ollut Simple Features määrittely vastannut aineistojen vaatimuksiin.²⁷ Näin päädyttiin vertailemaan käytössä olevia, avoimia de facto teollisuusstandardeja, joista ESR:n Shape File (Shape), MapInfon siirtoformaatti (MIF) ja AutoCAD ohjelman Design File (DXF) todettiin laajimmin tuetuiksi sekä tietojen luvussa että kirjoituksessa. Käyttöön valittiin Shape, jonka määrittelyn perusteella rajapinta voidaan toteuttaa mihin tahansa räätälöityynkin järjestelmään. Rasteriformaateista yleisimmin tuettu ja vaatimukset täyttävä oli Adoben Tagged Image File Format 6.0 varustettuna erillisillä TFW-aseointitiedostolla. [PATU]

²⁷ Geographic Markup Language (GML) määrittelytyö oli aloitettu ja sen kehittyminen asetettiin seurattavaksi kohteeksi. Asiaan palataan kun version 3.0 määrittely on hyväksytty ja implementoitu alustoihin. Formaattia voitaneen käyttää ainakin Shape-siirron rinnalla.



Kuva: Yhteisen formaattirajapinnan perusajatus. Hajautettu sovelluskehitys loi tilanteen, jossa järjestelmille toimitettiin räätälöityä tietoa ja paikkatietojen vaihto järjestelmien välillä on toteutettava point-to-point menetelmällä. Oikealla on kuvattu vuonna 2000 esitetty tavoitetilä, jossa sekä lähtöaineistot että sovellusten tietojen vaihto standardoidaan.

Työtä jatkettiin selvityksellä DGN ja Shape formaattien korversion mahdollisuuksista. DGN formaatin rajoituksina todettiin muun muassa tiedoston enimmäiskoko 32Mb, elementtien enimmäiskoko, koordinaattien esitystapa ja tasojen lukumäärä 63, joka esittää tietotyypin enimmäismäärän. Muita rajoituksia on värien, tyylien, viivanpaksuuksien ja referenssitiedostojen määrissä. Erityisesti aluemaisten, reiällisten kohteiden muodostaminen on ollut formaatissa vaikeaa. Ominaisuustiedot on liitetty vektoreihin tietokantalinkeillä, joihin sisällytetty tieto tietokantataulusta ja rivistä kyseisessä taulussa. Ominaisuustietojen sijoittaminen myös itse elementtiin on sovellustasolla mahdollista, mutta alusta ei tätä kykene siirrossa hyödyntämään. Shape koostuu kolmesta saman nimisestä tiedostosta: .SHP sisältää vektorigeometrian, .SHX indeksoinnin ja .DBF ominaisuustiedot, joiden välillä on sisäinen eheys. Shape on alunperin 2D-formaatti, nykyisellään se tukee myös 3D-esitystapaa. Käytössä on neljä erilaista elementtityyppiä, joita ei voi sekoittaa tiedostojen välillä: piste (point), pistejoukko (multipoint), viiva (arc, multi-) ja alue (polygon, multi-). Tekstielementti puuttuu käsitteenä, koska se muodostetaan ominaisuustiedoista. Kuvaustekniikka määritellään AVL -tiedostossa, jota ei kuitenkaan voida yleisesti käyttää, lisäksi ArcView -ohjelmien sisäistä tiedonvaihtoa varten on Workspace -tiedosto APR, joka sisältää istuntokohtaiset tiedot siitä, mitkä ja mistä tiedostot luetaan, mille nimelle ja millä kuvaustekniikalla ja esitysjärjestyksellä. Topologian siirto on heikkoa molemmissa formaateissa. Tutkimuksessa todettiin tietojen siirron olevan mahdollista molempiin suuntiin tietyin rajoituksin, vertailussa oli kuusi kaupallista teknologiaa ja aineistona Maanmittauslaitoksen maastotietokanta. Varsinaisten GIS -ohjelmistojen yhteisenä puutteena todettiin formaattimuunnoksien olevan niille vain lisäarvo, joten toteutuk-

sisä on tyydytty perusratkaisuihin. Monipuolisin kaupallinen tuote oli Safe Software Incin Feature Manipulation Engine (FME). Hyvä toteutus kuitenkin vaatii itse tehdyn räätä-löidyn, tosin tässä tapauksessa formaatti- eikä sovelluskohtaisen ohjelman. Ongelmat todetaan olevan vältettävissä myös standardoidulla tietokantapohjaisella ratkaisulla esimerkiksi Oracle Spatial tai ESRI SDE-tekniikan avulla²⁸. [Lip00]

Vuonna 2001 selvitettiin vielä tehdyn valinnan toteutettavuus kaupallisten alustojen osalla. Selvitys perustui ohjekirjoihin, maahantuojien lausuntoihin ja koetöihin painopisteen ollessa rasteriformaateissa ja niiden pakkaustavoissa, Shape-formaatin osalta vain tarkistuksessa. Rasteritiedostossa oleellista on pikselikoon lisäksi syvyys, jolla tarkoitetaan yksittäisen pikselin kuvaustarkkuutta. Yleisimmät bittisyvyudet kartoissa ovat 1 bitin viiva-kartat tai peitepiirroksot, 8 bittiä antaa mahdollisuuden kuvata 256:lla eri arvolla esimerkiksi värillisiä painettuja karttoja. Hilamuotoisissa maastomalleissa 16 bittiä eli 65536 eri arvoa mahdollistaa tarkan esittämisen. Satelliittikuvissa on käytössä myös 11 ja 12 bittiä, 24 tai 36 bitillä voidaan esittää täysvärivuvia. Vertailussa käytettiin seuraavia rasteri-formaatteja: [Saa01]

- Tag(ged) Image File Format (TIFF).
- GeoTIFF, jonka rakenteeseen on tallennettu myös geokoodaustiedot.
- JPEG File Interchange Format, joka hävittää tietoa pakatessaan.
- CompuServe Graphics Interface Format (GIF) LZW-pakattuna, joka rajoittuu 8-bittiseen esitystapaan ja vaatii pakkaustavan lisenssoinnin.
- Portable Network Graphics (PNG) edellisen korvaajana.
- Windows Bitmap (BMP).

Pakkaustavoista tietoa hävittämättömiä ovat RLE, LZW ja Packbits. Run Length Encoded (RLE) algoritmi perustuu jononpituus- ja Huffmannin koodaukseen ja sitä käytetään lähinnä 1-bit aineistoissa. Lempel-Ziv-Welch (LZW) perustuu tilastolliseen tietojen pakkaukseen, jota käytetään muun muassa GIF- ja TIFF-kuvien pakkauksessa, algoritmi on lisenssoitu, eikä siten kaikissa järjestelmissä välttämättä käytössä. Packbits algoritmi soveltaa RLE menetelmää ja se on yksinkertaisuutensa sekä vapaan lisenssin ansiosta ja monien ohjelmistojen tukema algoritmi. Tietoa hukkaavista algoritmeista verrattiin JPEG koodausta, jossa pakkaustehokkuuden voi valita parametrina ja jatkuvasävyisessä kuvadatasta yleistä Wavelet -pakkausta, jota soveltavat ERMapper ja MrSID ja joiden lukeminen onnistuu yleisesti. Tiili-indeksoinnissa (Image Tiling) rasterikuva on jaettu vakiokokoisiin osa-alueisiin, joiden avulla suuristakin tiedostoista voidaan lukea vain tarvittava kohta ja nopeuttaa työskentelyä. Useat ohjelmistot tekevät tämän automaattisesti aineistoa sisään luettaessa, mutta eivät kykene yleensä käyttämään toistensa valmiita tiilityk-

²⁸ Tämä vastaa Yhdysvaltojen ja osin Ruotsin ratkaisutapaa.

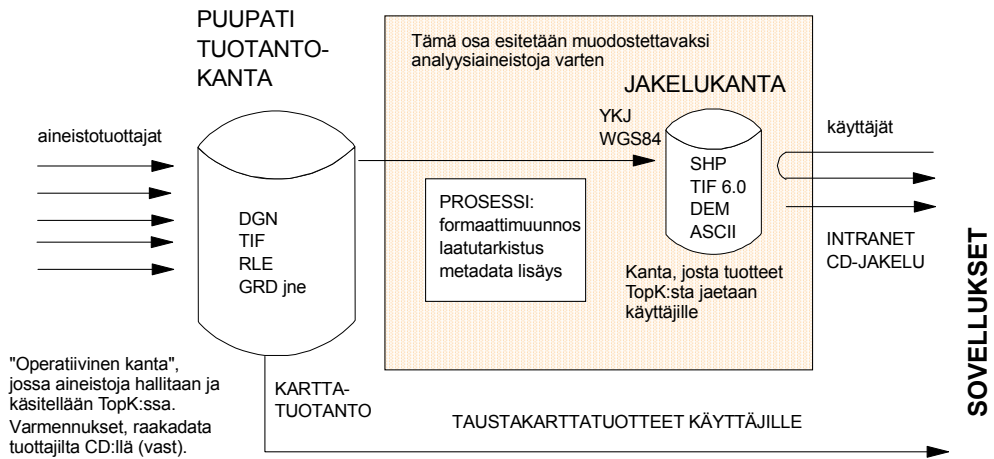
siä. Uudemmassa pyramidirakenteessa ohjelmallista käsittelyä tehostetaan laskemalla heikomman resoluution versioita (reduced resolution sets), joita näytetään saman tiedoston sisältä, sen rakenne ei aina siirry ohjelmistojen välillä. Asemoinnissa ESRI:n kehittämä TFW määrittystiedosto on yleistynyt TIFF-aineistojen aputiedostona myös muissa ohjelmistoissa, MapInfon TAB vastaa sitä sekä vektori- että rasteritiedostoissa ja GeoTIFF on tapa tallentaa geokoodaustiedot suoraan kunkin TIF- tiedoston otsaketietueisiin. [Saa01]

Selvityksessä käytettiin kahdeksaa Topografikunnan aineistotyyppiä, kahdeksaa jo esiteltyä teknologiaa ja Teklan alustoja, Puolustusvoimien toimisto-ohjelmistoja, kolmea julkaisuohjelmistoa, Imaging ja Paint varusohjelmistoja sekä internet-selaimia. Kartta-aineistoissa TIFF 6.0 formaatti varustettuna kattavalla GeoTiff määrittelyllä sekä TFW ja TAB aputiedostoilla todettiin hyväksi menetelmäksi, mutta yhtenäistä pakkaus- tai tiilistystä ei vielä löydetty. Shape-formaatti todettiin järjestelmissä parhaiten tuetuksi. [Saa01]²⁹

Kriisiajan jakelutapaan ei tämä työ julkisuutensa takia voi ottaa kantaa kuin periaatteellisella tasolla. Lähtökohdan jakelulle muodostaa yksi yhtenäinen jakelukanta, josta aineistoja voidaan jakaa ja replikoida varmentavien maanpuolustusalueiden ja eri puolustushaarojen jakelupisteiden välillä. Tavoitetilassa käyttäjä tietää aina ladatessaan saavansa ajantasaisimman aineiston, jonka jälkeen hänen on mahdollista kohdentaa myöhemmät haut aikaleiman tai aiemman latauspäivän perusteella muuttuneisiin tai kokonaan uusiin aineistoihin. Tämän onnistumiselle on metadatalta suuri merkitys.

Liikkuvien yhtymien esikunnat ja ne perustavat rauhan ajan prikaatien esikunnat muodostavat luonnollisen jakelurajapinnan näiden alaisille ja näitä tukeville joukoille. Yhtymän esikunnan tietojärjestelmällä on oltava kyky päivittää ja jakaa paikkatietoaineistoja. Numeeristen aineistojen jakeluketju on suunniteltava sille tasolle saakka, jolla varsinaisia paikkatietosovelluksia käytetään. Tämän jälkeen aineistojen jakelu voidaan yhdistää osaksi jo olemassa olevaa painokarttojen jakelumenettelyä.

²⁹ Kirjoittaja osallistui työhön käynnistäjänä, vaatimusten asettajana ja johtopäätösten muodostajana. Työ toteutettiin kokeilemalla käytännössä siirto oikeilla aineistoilla, ei siis pelkästään ohjekirjoihin perustuen. Tulokset osoittavat markkinoiden ohjaaman teollisuusstandardoinnin merkityksen, jota ei kannata väheksyä virallisten standardien käyttöönoton jälkeenkään. COTS-ohjelmistoissa on yleisenä piirteinä, että kerran toteutettu formaattimuunnos siirtyy versiosta toiseen, vaikka formaatin käyttö vähenisikin. Lisäksi on saatavilla vapaassa jakelussa useita ilmaisia koodeja ja kuvauksia, joilla muunnokset onnistuvat.



Kuva: Ajatus aineistojen jakelumenettelystä käyttäen erillistä tuotantokantaa, kartanvalmistusprosessia ja tuotteistettua jakelukantaa.

Perusvalmiudessa jakelu on mahdollista toteuttaa puolustusvoimien omassa intranet-verkossa keskitetystä aineistopalvelimesta. Samalla on mahdollista erottaa toisistaan paikkatietoaineistot ja tietotuotteet, jolloin päivityksestä saadaan yhdensuuntaista. Merkittävä osa jakelujärjestelmää on toimiva metatdatapalvelu.

5 JOHTAMINEN JA KOMPONENTTIARKKITEHTUURI KEHYKSENÄ

Luvussa kuvattavat kokonaisuudet ovat Puolustusvoimissa kehityksen alla. Prikaatin ja armeijakunnan eli yhtymien esikuntien kokoonpanoa, työjärjestystä ja johtamisvälineitä on kehitetty viime vuosikymmenen lopulta alkaen, jolloin Jääkäriprikaati 2005 otettiin käyttöön, ja työ on edelleen kesken. Pataljoonien johtamisjärjestelmien kehitystyö on aloitettu samalla kun aselajien johtamislaitteita joko otetaan käyttöön tai määritellään. Sovellusarkkitehtuuriprojektin tehtävänä on tuottaa johtamisjärjestelmiä varten komponenttipohjaisen arkkitehtuurin ohjeistus vuoden 2003 loppuun mennessä.

Sotilaallisten johtamisjärjestelmien kehittämisessä on seuraavia piirteitä:

- Komentajakeskeinen päätöksenteko suuntaa ponnistelut yhteen. Osa-alueiden pitää sopeutua yhteiseen rytmiin ja esitystapaan. Sovelluksien on liityttävä yhteen kokonaisuuteen, joka saattaa aiheuttaa vahvojakin reunaehtoja.
- Visualisoinnilla on suuri merkitys, jotta johtajalle kyetään luomaan oikea tilannekuva ja tukemaan päätösyivoiman saavuttamista. Osatulokset tuotetaan tietotekniikan avulla, mutta ne tulkitsee aina ihminen.
- Sekä toimintaa, organisaatiota että tietotekniikkaa kehitetään rinnakkain. Tiettyllä tavalla toimitaan tekniikan ehdoilla, mikäli sen koetaan tuottavan ratkaisevaa etua¹. Pääpaino tietojärjestelmien omassa kehitystyössä on esitutkimuksessa ja vaatimusmäärittelyssä ja yritykset kytketään yleensä mukaan vasta toteutusvaiheessa.
- Käyttäjät ovat rooleja, jolloin yksi ammattitaitoinen henkilö kykenee toimimaan sovelluksen rakentamisen aikana käyttäjän edustajana. Pääosa tehtävistä tehdään voimakkaan aika- ja hermopaineen alla, joten toiminnallisuus upotetaan pitkälle vakioituna ja räätälöitynä sovellukseen nopeuden ja vikasietoisuuden kasvattamiseksi. Mitään ei personoida, jotta tappionkestokyky ei vaarannu.
- Käyttäjät koulutetaan "äksäisesti"² järjestelmien käyttöön. Työnkulut vakioidaan osana kokonaisuutta.
- Tietotekniikka luo tavoitetilanteessa uutta, ei tehosta tai tue vanhaa.³

5.1 Johtamisprosessi ja sen asettamat vaatimukset

Tiedustelun ja tulen käytön yhdistäminen tulenkäyttökeskukseen on ollut Suomessa pitkään tavoitteena [Rii98]. Taustalla on reagoinnin nopeuttaminen. Tilannekeskuksia on tutkittu 1980-luvun puolivälistä alkaen ja ne otettiin prikaatitasalla käyttöön uusissa organisaatioissa 1990-luvun puolivälissä. [Rii98] Uusimmassa yhtymässä käytetään nimitystä taistelunjohtokeskus [Esik99], joka tietyllä tavalla yhdistää edellä Yh-

¹ Vertaa käytettyyn sodankäynnin vallankumouksen käsitteeseen. Sekä panssarivaunua että atomipommia on pidetty edellisten vallankumousten perustana, vaikka varsinainen suuri muutos on yleensä tapahtunut ajattelun ja toiminnan tasoilla.

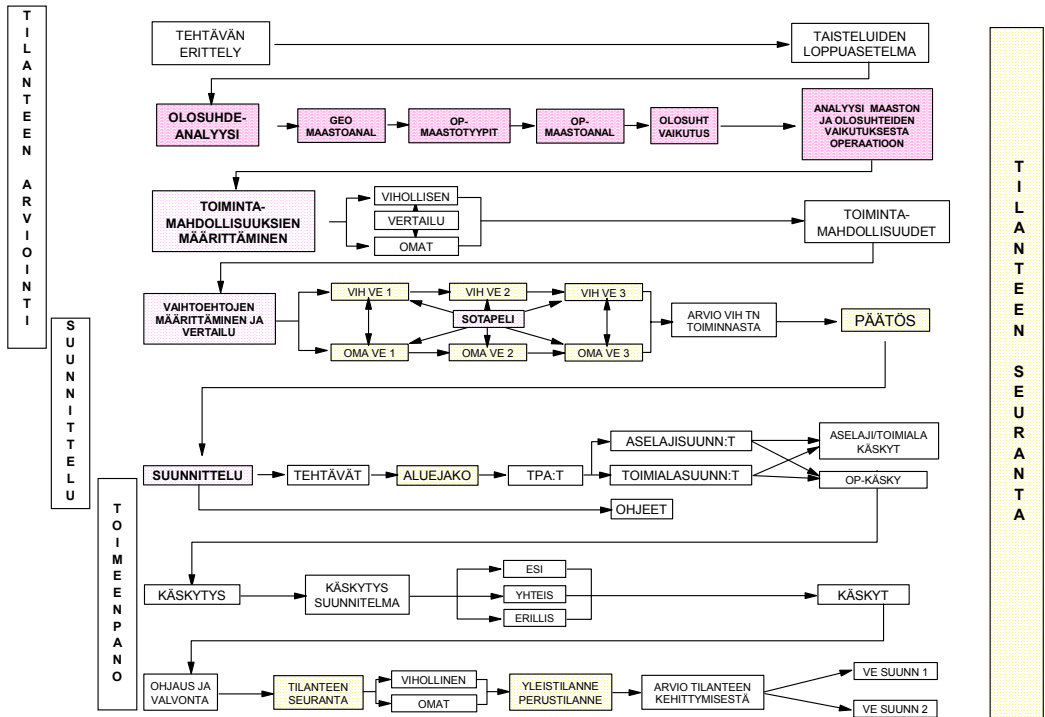
² Tällä tarkoitetaan tapahtumakulkujen harjoittelua rutiinin tasolle osana roolia.

³ Vertaa [Läh02] organisaation saavuttama hyöty tekniikasta. Sodassa ainoa ratkaiseva tekijä on kilpailuedun saavuttaminen.

dysvaltojen kohdalla kuvatut periaatteet, vaikka tiedustelutoimisto on edelleen erillinen analyseja tuottava osansa.

5.1.1 Kokonaisuus

Suunnitteluprosessin tavoitteena on saada koko esikunta työskentelemään yhteisen päämäärän mukaisesti. Yhtymän taisteluohtesääntö [YTO00] määrittelee suunnittelu- ja johtamisprosessin rakenteen seuraavasti:



Kuva: Suunnittelu- ja johtamisprosessi Yhtymän taisteluohtesäännön [YTO00] mukaan. Violetilla on merkitty maastoanalyyseja vahvasti sisältävät osat ja keltaisella muut osat, joita voidaan tarvittaessa tukea paikkatietoanalyyseilla.

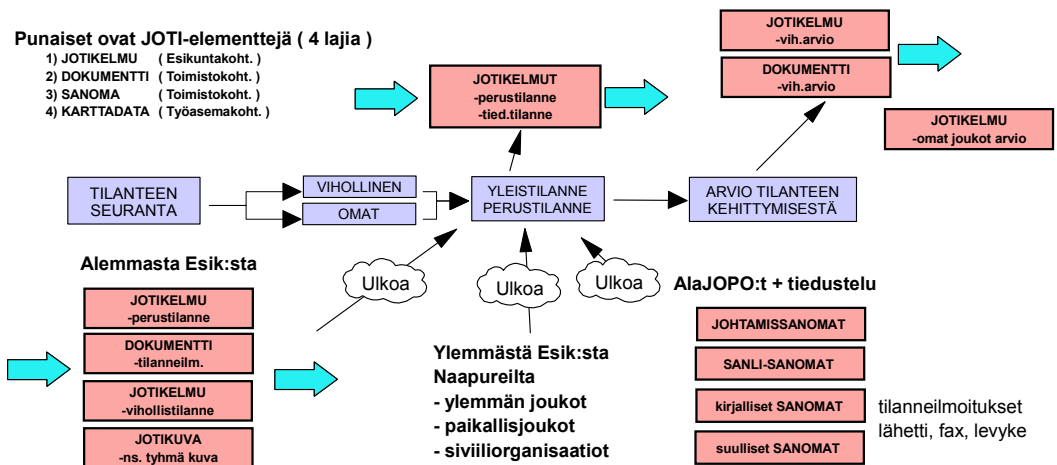
Prosessia voidaan eri organisaatiotasojen välillä toteuttaa rinnakkaisena, jolloin päätös käynnistää alaisten tilanteen arvioinnin ja operaatiokäsky tarkentaa toimenpiteet. Tilanteen seuranta on jatkuva prosessi, joka kootaan tehtävän saannin jälkeen ennusteeksi. Tilanteen arviointi on analyysipainotteinen ja sen aikana muovataan päätös siitä, miten tehtävä aiotaan toteuttaa. Lähtökohtaisesti päätös pitää pystyä tekemään muutaman tunnin kuluessa tehtävän saannista tilanteesta riippuen⁴. Suunnittelulla tarkoitetaan vaihetta, jossa muodostetaan päätöksen perusteella yksityiskohtaiset ohjeet

⁴ [Esik01] esimerkissä aika tehtävän saamisesta käskyyn on kaksi tuntia. Lähtökohtaisesti päätös tehdään "mahdollisimman nopeasti".

tehtävän toteuttamisesta. Osana suunnittelua tehdään myös aselajitason päätöksiä eli perusajatuksia (TPA) ja vaihe päättyy operaatiokäskyn laadintaan. Toimeenpanossa pyritään toteuttamaan suunnitellut toimenpiteet. Sen osana on komentajan välitön taistelun johtaminen, joka sisältää myös uusia päätöksiä. Prosessia sovelletaan tilanteen mukaisesti. [YTO00] Toimintatapaa on kehitetty vastamaan NATO:n kansainvälisissä toiminnoissa käyttämään [Esik01, vrt Rii98]. Prosessia on testattu ja sitä pyritään yksinkertaistamaan sekä sovittamaan paremmin suomalaiselle johtamistavalle sopivaksi. Esikuntien kehittämisen lähtökohtana on ollut toiminnallisen organisaation muodostaminen, kun aiemmassa rakenteessa toimialat muodostivat jaottelun perustan. Uudessa organisaatorakenteessa tilanteen arviointi, suunnittelu ja toimeenpano on erotettu myös fyysisesti toisistaan. Keskeinen tavoite on ollut toiminnan nopeuttaminen ja rinnakkaisen johtamisprosessin mahdollistaminen. Lähtökohtana on kuitenkin edelleen manuaalinen työskentelytapa. [Esik01]

5.1.2 Tilanteen arviointi ennen vaihtoehtojen vertailua

Tilanteen seuranta on jatkuva tehtävä, joka tuottaa perusteet tilanteen arvioinnille. Sen keskeinen apuväline on JOTI-järjestelmä.

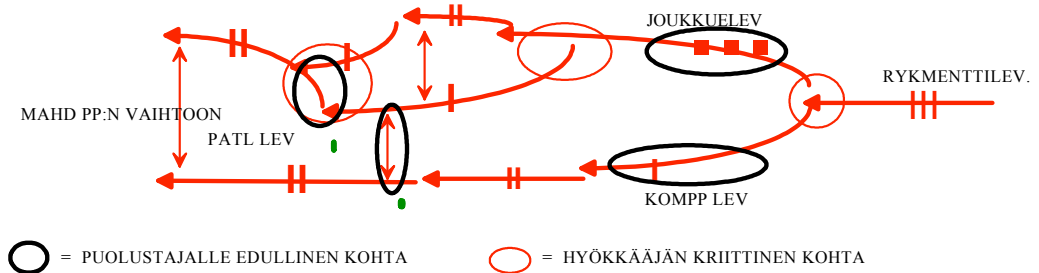


Kuva: Tilanteen seurantaprosessi esitettynä JOTI-järjestelmän kannalta.⁵

Osana tehtävän erittelyä arvioidaan tilanteeseen liittyvät aikatekijät, jotka yhdessä joukkojen kanssa muodostavat perustan käytettävissä olevien resurssien arvioinnille. Maasto- ja olosuhdeanalyysin tarkoituksena on löytää vihollisen toiminnan kannalta keskeiset maastonkohdat ja omalle toiminnalle edulliset taistelumaastot. Tämän hetki-

⁵ JOTIn käyttötapa on otettu Maanpuolustuskorkeakoulun johtamisen laitoksen opetusmateriaalista, joka on tällä hetkellä ainoa konkreettinen ohje tietojärjestelmän käytöstä osana johtamisprosessia.

nen tapa sisältää geologisen maastoanalyysin [SotGeo97], jossa arvioidaan teknisesti linnoitettavuutta, peitteisyyttä, kantavuutta ja veden vaikutusta. Operatiivisessa analyysissä tiedot yleistetään joukkojen käytön kannalta. [Suu98] [YTO00] Tapa kuvaa maanaalista toteutusta, tosin kirjoitustyön aikana Pioneeritoiminnan johtamislaite on jo vaikuttanut myös yleiseen johtamisprosessiin⁶.



Kuva: Operatiivisen maastoanalyysin lopputulos [Suu98] mukaisesti esitettynä, jossa voi nähdä myös vihollisen toimintamahdollisuuksien esittämisen piirteitä [YTO00]. Lopputulos on yhdistelmä Yhdysvaltojen mahdollisista hyökkäysreiteistä (mobility corridors) ja hyökkäysurista (avenues of approach). Kuva laaditaan geologisen analyysin päälle ensin mahdollisina alueina ja sitten arviona vastustajan liikkeestä.

Menettely vastaa tähän saakka pääpiirtein Yhdysvalloissa käytettävää tapaa analysoida maastoa ja olosuhdetekijöitä. Suomessa korostuvat myös puolustustasat⁷. Lappalainen [Lap94] on käsitellyt painopisteisesti tätä vaihetta, tosin eri termeillä ja lähempänä kansallisia lähtökohtia. Yhdysvalloissa pyritään vastaavan tiedusteluvalmisteluprosessin (Intelligence Preparation of the Battlefield, IPB) [FM34-130] automatisoimiseen tietokoneella mahdollisimman pitkälle. [TEC]

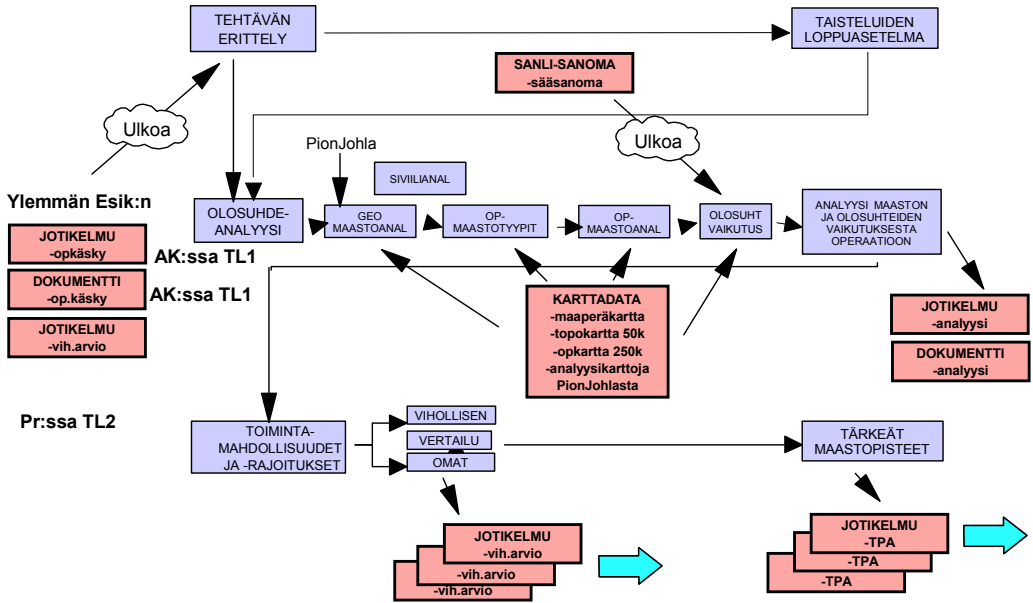
Karttatyön jälkeen alkaa omien ja vihollisen toimintamahdollisuuksien vertailu, jolla haetaan johtopäätöksiä osapuolten vahvuuksista, heikkouksista, mahdollisuuksista ja uhista. Lopputuloksena on luettelo tärkeistä tekijöistä (decisive points), joita voivat olla merkittävät maastopisteet, joukot ja järjestelmät. [YTO00] Samalla kehittyy ajatus siitä, mikä määrittetyssä ajassa ja tilanteessa on mahdollista. Kokeiluharjoituksessa⁸ kesällä 1999 maastoon liittyvät toimintaa rajoittavat tekijät kuten ylimenolle mahdollittomat vesistöt piir-

⁶ PionJohlan maastoanalyysija on käytetty sekä opetuksessa että operatiivisessa suunnittelussa vuodesta 2000 alkaen ja laitteen käyttöperiaate oli tiedossa vaikuttaen jo 1998 [Suu98] asiakirjan laadintaan.

⁷ Tällä tarkoitetaan puolustukselle edullisten ketjujen ja hahmojen hakemista maastosta kokonaisuusien muodostamiseksi. Yhdysvaltalaisessa hyökkäyksellisessä taktiikassa tällä ei ole yhtä korostunutta merkitystä.

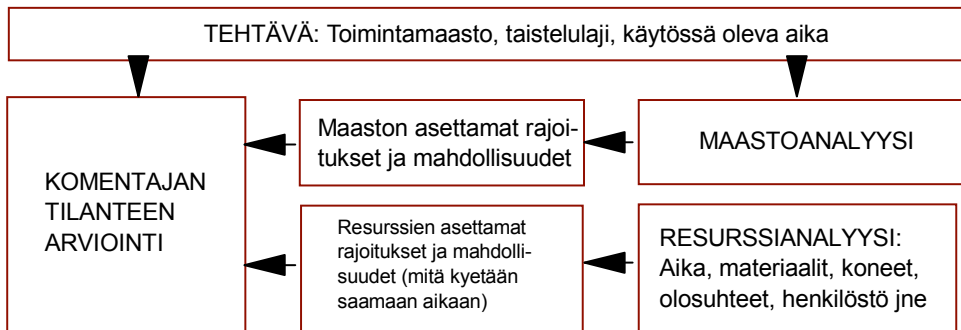
⁸ Viitattu harjoitus kuului sarjaan, jossa testattiin [Esik01] työssä kehitettyjä toimintamalleja. Tätä yksittäistä asiaa ei kuitenkaan otettu mukaan, koska "sitä ei pysty järkevästi toteuttamaan manuaalisesti" ja kyseiset asiat liitetään suulliseen tilan-neselostukseen.

rettiin rajoitukset -karttatasoksi. Prosessin tämän vaiheen luonne on taistelutaidon kannalta sellainen, että sitä on Suomessa käytännössä mahdotonta täysin automatisoida.



Kuva: Tilanteen arviointiprosessi esitettynä nykyisen JOTI-järjestelmän kannalta.

Pioneeritoiminnassa lähes kaikki tekijät, liike maastossa ja tiestöllä, linnoitteiden kaivaminen ja miinojen asentaminen, riippuvat keskeisesti maaston ominaisuuksista. Lisäksi osa toiminnan tuloksista, kuten miinoitteet, hävitteet ja esteet, voidaan nähdä osaksi maastoa. Pioneeritoiminnan johtamislaitteessa tilanteen arvioinnin alkuvaihetta tuetaan maasto- ja resurssianalyyseilla.

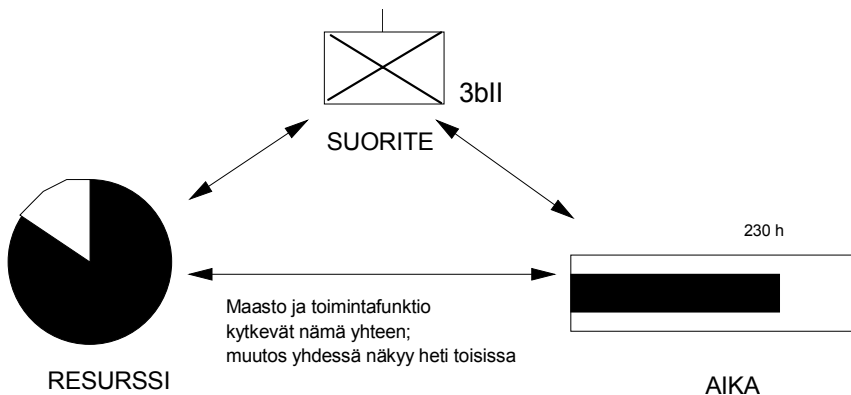


Kuva: Tilanteen arvioinnin alkuvaihe pioneeritoiminnan kannalta tarkasteltuna.[P.Johla]

Maastoanalyysi voidaan korkearesoluutioisena toteuttaa ennalta, jolloin sen tulokset ovat heti kaikkien käytettävissä. Tehtävän saamisen jälkeen pioneeripäällikkö yleistää

maaston halutulle toimintatasolle ottaen huomioon liikesuunnat sekä muuttuneiden tekijöiden, kuten tieverkon ja sulutteiden, vaikutukset. Toiminta on aikakriittinen, koska sen tulosta käytetään operatiivisen analyysin pohjana, toisaalta jo käytössä oleva tekninen analyysitulokset varmentaa toteutusta; sekin on tietokoneella toteutettuna merkittävästi vanhaa menettelytapaa luotettavampi ja monipuolisempi. Mikäli käytössä olisi myös vastaavat maastouttamis- ja näkemäanalyysit, voitaisiin ne yhdistämällä Pion-Johlan kulkukelpoisuus ja linnoitettavuusanalyysiin tuottaa suoraan operatiivista analyysia palvelevia yhdistelmiä. Yhdysvalloissa tämän tyyppisestä yhdistelystä käytetään termiä OCOKA.

Resurssianalyysin lähtökohtana on pioneeritoiminnassa yksinkertainen yhtälö, joka kytkee yhteen standardoidut työsuoritteet, niiden vaatimat resurssit ja ajan yhteen. Maasto on yksi osatekijä, jolla standardoidusta työsuoritteesta päästään paikkaan ja tilanteen sidottuun arvioon.

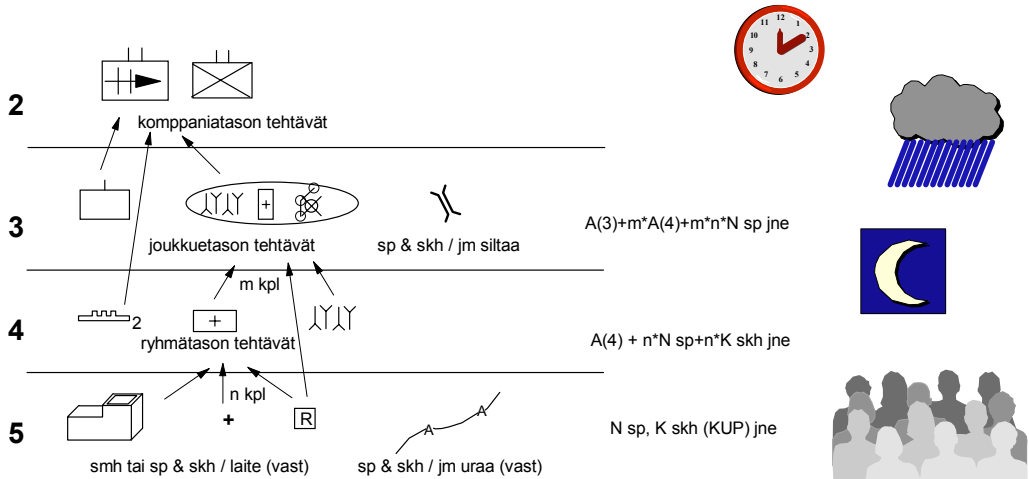


Kuva: Pioneeritoiminnan resurssianalyysin perusrakenne. Maasto on yksi tekijöistä, joilla standardoiduissa olosuhteissa määritetyt resurssiarviot kytetään tilanteeseen.

Resurssianalyysissa joukot on mallinnettava toiminta-alueiden kautta, ei vain pisteinä ja niihin kytkettyinä symboleina. Erityiskohteissa, kuten ylimenopaikoissa, voidaan tukena käyttää ennalta laadittuja maastosuunnitelmia. Alkuvaiheessa voidaan koko yhtymää tarkastella yhtenä resurssikokonaisuutena, jota jaetaan suunnittelun tarkentumassa pienempiin osiin. Analyysi voidaan tehdä myös vastustajan joukoille.

Resurssianalyysi vaatii onnistuakseen eri joukkotasoilla hierarkkisen menetelmän muodostaa tehtäviin liittyviä resurssitarpeita. Pioneeritoiminnassa tämä on toteutettu määrittämällä standardoituja tehtäviä, toteutettavia joukkoja ja toteutusolosuhteita, joi-

hin kunkin tilanteen muuttuvia tekijöitä verrataan. Arvot voidaan määrittää tasoittain mittaamalla.⁹



Kuva: Tapa muodostaa pioneeroiminnan tehtävien hierarkiarakenne. Olosuhteet voidaan huomioida kertoimilla, ylemmän tasojen tehtäviin sisältyvä käskyys- ja valmistelu-aika on mahdollista huomioida itse tehtävän sisällä. Vastaavalla tavalla maastoa voidaan analysoida tehtävien kanssa samanskaalaisesti. [Pohla]

Jokaisella aselajilla ja toimialalla on vastaavia resurssianalyseja, jotka on sidottu maastoon ja siitä riippuviin tekijöihin. Tykistön tulialueet, viestiyhteyksimahdollisuudet verrattuna häirintään, taisteluaineet ja joukkoihin sidotut näkemäanalyysit [Nen02] ovat esimerkkejä maastoanalyysien mahdollisuuksista arvioinnin tukemiseen.

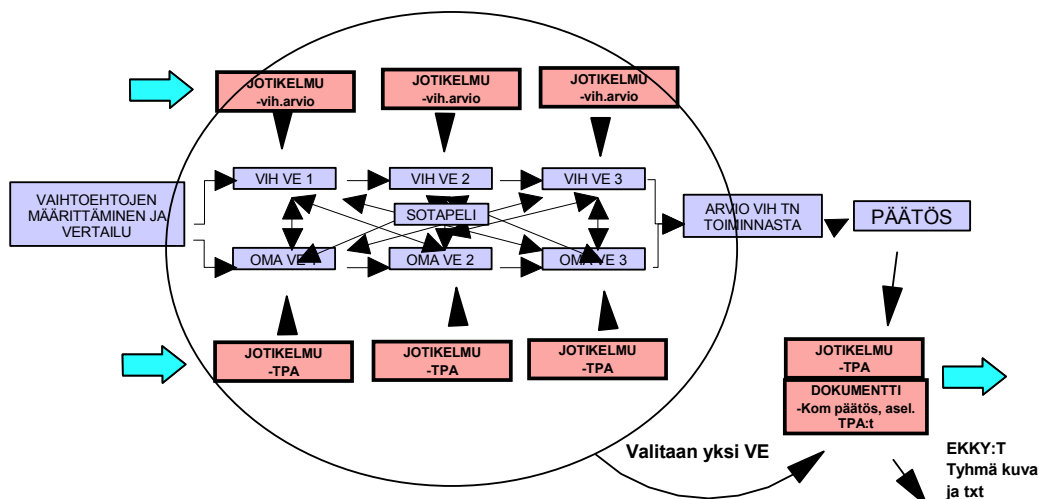
5.1.3 Vaihtoehdot ja päätöksenteko

Vaihtoehtojen perustana ovat komentajan valitsemat operaatiomahdollisuudet ja edellisessä vaiheessa arvioidut vihollisen vastaavat mahdollisuudet. Jokaisen laadittavan vaihtoehdon on oltava sekä maaston, resurssien että ajan perusteella toteuttamiskelpoinen. [YTO00] Yhdysvalloissa tätä vaihetta kutsutaan toimintavaihtoehtojen kartoittamiseksi (Course of Action Development) ja analysoinniksi (Course of Action Analysis) ja se on suomalaista huomattavasti monimutkaisempi. [ST101-5].

Vaihtoehtojen vertailun tavoitteena on ensisijaisesti arvioida niiden todennäköistä lopputulosta ja -asetelmaa. Toiminta pitää pystyä tekemään vaiheittain, jotta eri osien niveltymistä toisiinsa sekä ylemmän johtoportaan ja naapurien toimintaan kyetään arvi-

⁹ Mittaustoimintaa on toteutettu kvantitatiivisesti koeluontoisesti vuodesta 1998 lähtien ja ensimmäinen parametrisoitu kokoelma on tavoite saada käyttöön vuoden 2003 aikana. Mittaamisen standardoinnista on käynnissä myös kirjoittajan ohjaama esipuhekurssin tutkimustyö, joka valmistuu vuonna 2003.

oimaan. Kunkin alan asiantuntija arvioi myös valmistelujen tarvitsemaa aikaa, hahmottelee oman alansa toiminnan järjestelyjä ja muille asetettavia vaatimuksia. Tilanteen vaatiessa komentaja tekee vertailun itse kysyen muilta vain kannanottoja, joskus ratkaisu voidaan joutua tekemään myös ilman vertailuja. [YTO00] Yhdysvalloissa vertailussa käytetään sotapeliä, jota tuetaan voimasuhdelaskelmilla. Pelin aikana tehdään myös perusteet toimintojen aikautukselle sekä laaditaan tilanteen seuranta varten tilannepohjia, joihin tapahtumia voidaan myöhemmin verrata [ST101-5]. Riihijärvi [Rii98] korostaa rakenteen mahdollisuuksia tukea myöhempää tilanteiden kehittymisen arviointia ja siihen reagointia.



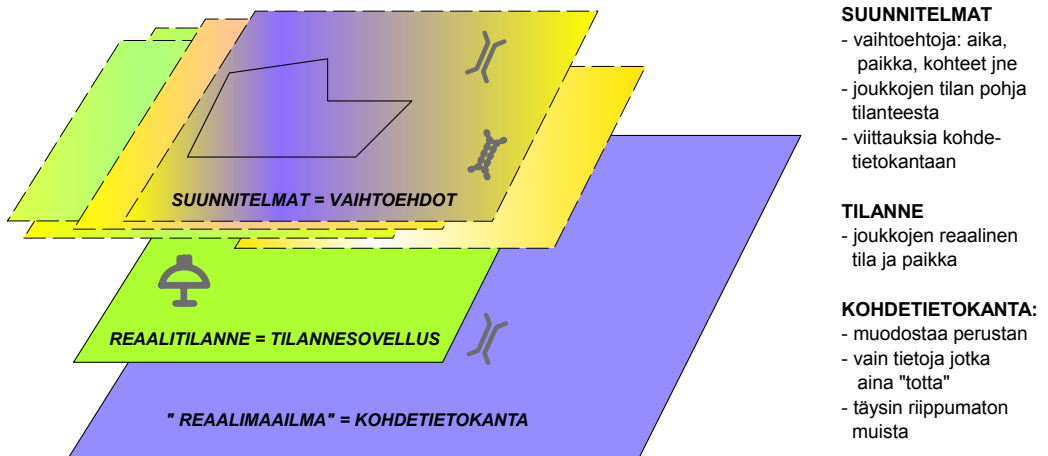
Kuva: Vaihtoehtojen määrittely ja vertailu sotapelinä [YTO00]. Nykyisin sotapeli toteutetaan kokemukseen perustuvana arviointina¹⁰. Vaihe on esitetty nykyisen JOTI-järjestelmän kannalta. [MpKK Johtamisen laitos]

Kuvattu toteutustapa tarkoittaa tietoteknisesti determinististä simulointia. Mikäli eri vaihtoehtoihin halutaan liitettäväksi myös riskit ja mahdollisuudet, pitää huomioida myös hajonta. Stokastinen simulointi tuskin mahdollistaa riittävän määrän toistoja kuvatussa aikakehyksessä. Vertailua voidaan tukea resurssianalyyysien avulla. Syntyviä tilanteita voidaan myös arvioida yksittäin esimerkiksi taisteluyhtälöitä käyttämällä, ongelmana on aikautuksien realistisuuden arviointi. Pioneeritoiminnan johtamislaitteessa vertailu tehdään riskianalyyysin nimisenä siten, että verrataan saavutettavissa olevaa

¹⁰ Kuvattu 3x3 matriisi on teoreettinen malli. Nykytilanteessa ei käytössä ole simulaattorin tavoin toimivaa päätöksenteon tukijärjestelmää, jolloin joudutaan tyytymään vain kvalitatiivisiin kokemusrviointeihin ja epäsystemaattisiin tarkasteluihin. Tutkimuksissa voidaan käyttää esimerkiksi potentiaalimallia [vrt Evh97] tai QJM-,allia [vrt [Vai01].

passiivista suojaa vihollisen tulenkäyttökykyyn, omaa suluttamiskykyä vihollisen rai-vaamiskykyyn ja omaa liikkeen edistämiskykyä vihollisen kykyyn yhteyksien katkaise-miseen. Tällä hetkellä vertailua ei voi tehdä tilanteeseen ja maastoon sitoen, teknisesti asia olisi kuitenkin jo nyt toteutettavissa.

Paikkatietotekniikka tarjoaa hyvän mahdollisuuden erottaa toisistaan reaalin tilanne, maastoon sisältyvät mahdollisuudet ja eri vaihtoehtojen sisältämät arviot toisistaan. Vastaavaa menetelmää voidaan käyttää myöhemmin tuettaessa jatkosuunnittelua, jo-ka vaatii perustakseen tilanteen kehittämistä ajallisesti eteenpäin. Aineistoissa tämä on mahdollista tasoilla, joita JOTI:ssa kutsutaan manuaalista menetelmää vastaten kelmuiksi, relaatiotietokannoissa tiedot voidaan vastaavalla tavalla kehittää uusiksi in-stansseiksi, jolloin myös niiden alkuperä säilyy ja rakenne mahdollistaa vertailun eri vaihtoehtojen välillä.



Kuva: Periaate erottaa toisistaan paikkatietoaineistojen ja kohdetietokannan edustama "tosi" reaali-maailma, enemmän epävarmuustekijöitä sisältävä reaalitilanne ja erilaisia vaihtoehtoja sisältävät suun-nitelmat, joihin tilanteen kehittymistä voidaan verrata.

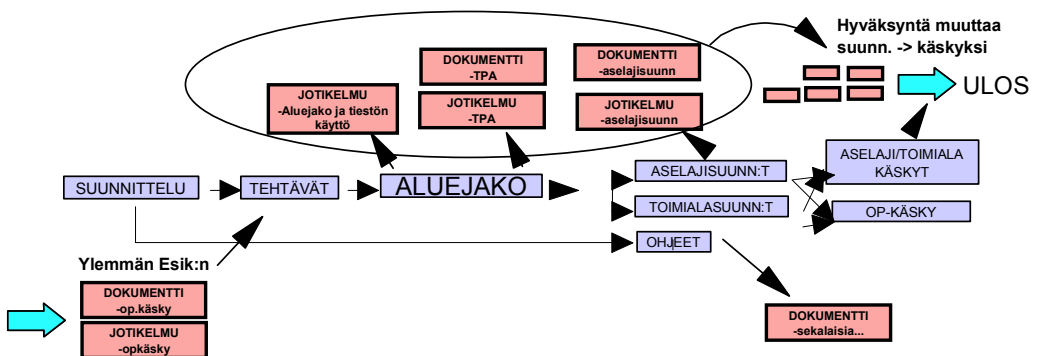
Tilanteen arviointi päättyy komentajan päätökseen, joka muotoillaan jonkun vaihtoeh-don perustalle tai useita vaihtoehtoja yhdistäen. Päätös tehdään yleensä niin tarkalle tasolle saakka, että alaiset johtoportaat ja aselajipäälliköt pystyvät aloittamaan sen perustella oman tilanteen arviointinsa ja heti toteutettavat tehtävät, kuten tiedustelu, voidaan käynnistää välittömästi. [Suu98] [YTO00] Päätös on kuva, jota tuetaan tekstil-lä joukkojen tehtävien osalta. Perinteisesti se sisältää aselajien osalta komentajan vaatimukset tuelle tai kunkin aselajipäällikön tekemän lyhyen toiminta-ajatuksen, jonka

komentaja hyväksyy.¹¹ Tilanteen arvioinnin toteuttavat prikaatitasolla ja sen yläpuolella ammattisotilaat. Pataljoonassa osa henkilöistä voi olla reserviläisiä, arviointi on komentajakeskeistä.

5.1.4 Suunnittelu ja käskytyk

Suunnitteluvaihe tarkentaa päätöksen erityisesti vastuualueiden ja aselajijoukkojen antaman tuen osalta. Vaiheen alussa toteutetaan neljä koordinoivaa tehtävää.

(1) **Aluejaon ja joukkojen käytön** tarkka suunnittelu tehdään tarkentuvana prosessina. Ensin laaditaan pääpiirteinen luonnos, joka antaa perustan muulle suunnittelulle. [YTO00] Suunnittelun edetessä piirros tarkentuu sekä sisältämään kaikki joukot että rajat toiminnan eri vaiheissa. Piirros tehdään yksityiskohtaisesti, koska se muodostaa keskeisen elementin joukkojen tehtäviä vastuualueiden muodossa. Vaikka nykyisissä tietojärjestelmissä tyydytään lähinnä rajojen piirtämiseen viivamaisina kohteina, mikään ei estä muodostamasta niistä alueita.



Kuva: Suunnitteluprosessi esitettynä nykyisen JOTI-järjestelmän kannalta [MpKK Johtamisen laitos]. Aluejaon merkitys osana prosessia on keskeinen.

(2) **Taistelujautuksella** muodostetaan tehtävien vaatimat resurssit. Suunnittelu toteutetaan osana aluejaon ja joukkojen käytön suunnittelua. Huomioitavia tekijöitä ovat joukkojen tehtävät, vastuualueiden laajuus, maasto ja odotettavissa olevien taistelujen luonne. [YTO00] Tietoteknisesti kyse on resurssianalyysista.

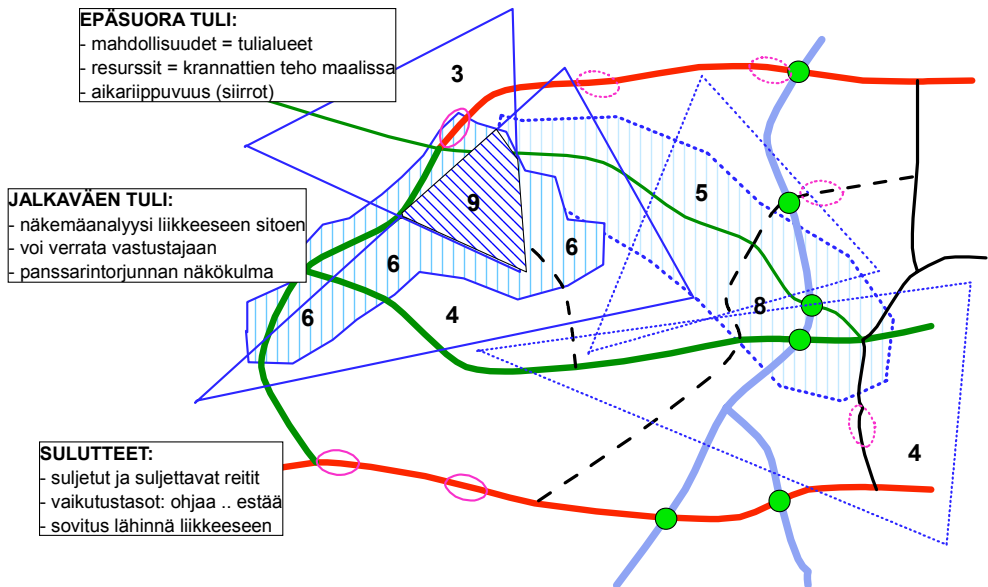
(3) **Tulen kokonaiskäytön suunnittelussa** koordinoidaan tulen käyttö, sulutteet ja elektroninen sodankäynti¹² yhteisvaikutukseksi. Kukin aselajipäällikkö muodostaa en-

¹¹ Vertaa , jonka mukaan komentaja tekee päätöksen johtoryhmän valmistelun perusteella. Tällöin aselajien keskeisin toiminta-ajatus syntyy osana tilanteen arviointia ja tarkentuu sotapelissä.

¹² Joissakin esikuntaohjeen versioissa elektroninen sodankäynti suunnitellaan erikseen, jolloin sitä voidaan pitää tavallaan alasuunnitelmana. Toisaalta prosessissa suunnitellaan myös suojaan liittyviä tekijöitä. [Elso84] [Ylase98]

sin komentajan päätöksen perusteella oman esityksensä ja muodostuvaa kokonaisuutta verrataan komentajan alkuperäisen taisteluaikataulun kanssa. Perinteisesti tätä on käytetty tarkistusmenetelmänä suunnittelun päätteeksi, koska laskennalliset apuvälineet yhdistää tiedot ovat puuttuneet. Monesti koko analyysi jätetään tekemättä, esimerkiksi uudesta yhtymän esikuntaohjeesta [Esik99] se puuttuu kokonaan.

Tietotekniikalla voidaan resurssianalyysejä tuloksia yhdistää ja osana tarkistusta voidaan käyttää tavoiteltuja yhdistelmiä: esimerkiksi tiettyyn panssarintorjuntakykyyn voidaan pyrkiä aina liittämään tietty suluttamistaso ja epäsuoran tulen käyttö, jotta syntyvä kokonaisvaikutus on mahdollisimman tehokas.



Kuva: Tulen käyttömahdollisuuksien periaatteellinen kuvaus resurssianalyysejä avulla. Luvut kuvaavat normeerattua tehoa alueisiin sitoen.

Analyysi voidaan toteuttaa myös toisella tavalla osana päätöksentekoprosessia. Siinä tavoiteltavat yhteisvaikutukset päätetään ensin aikaan ja paikkaan sitoen, jonka jälkeen aselajipäälliköt allokoivat sopivat resurssit operaatiopäällikön johdolla. Analyysi muuttuu tarkistustyökalusta päätöksenteon apuvälineeksi tulen käytössä ja on mahdollista siirtyä taktiikkaan, jossa vaikutuksen käytännön toteuttajille, jalkaväikyksiköille, voidaan kohdentaa tehtävän edellyttämät kokonaisresurssit. Kyse on resurssianalyysejä tukemasta rationaalisesta päätöksenteosta, joka toteutetaan kokonaisresurssien perusteella.

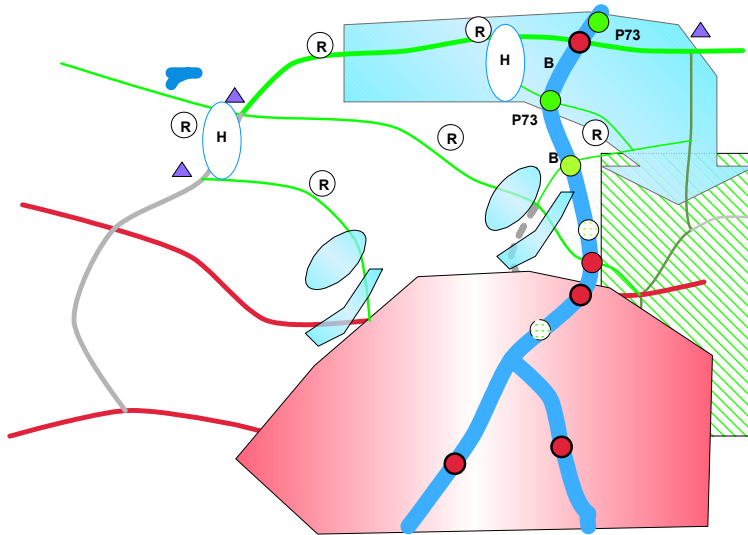
Tulen kokonaiskäyttöä ei pidä ajatella vain suunnittelun tai päätöksenteon apuvälineenä. Jos perustana ovat resurssianalyysit, voi tietojärjestelmä toteuttaa laskentaa tilanekuvaan perustuen lähes reaaliaikaisesti. Analyysi toimii tilanteen seuraamisen ja ennusteiden sekä mahdollisuuksien osoittamisen apuvälineenä, samalla voidaan seurata poikkeamia suunniteltuun.

(4) Tiestön käytön suunnittelun tavoitteena on määrittää auki pidettävät, suljettavat ja muu tiestö sekä niiden käyttöperiaatteet. Suunnittelua johtaa operaatiopäällikkö. Tykistö- ja huoltopäälliköt sekä selustan puolustuksesta vastaava johtaja ovat operaatioiden lisäksi vaatimusten asettajia. Myös viestipäällikkö voi osallistua asettamalla vaatimuksia johtamispaikkojen ja viestikeskusten siirtoon sekä viestiyhteyksien varmentamiseen liittyen. Pioneeripäällikön rooli on kaksijakoinen, koska hän vastaa sekä tulen käyttöön liittyvästä suluttamisesta että reittien tienpidosta resurssitarpeineen. Ilmatorjuntapäällikkö vastaa reittien ilmasuojan toteuttamisesta. [YTO00] Käytännössä pidetään kokous, jonka tuloksena on ajallisesti pysäytetty kuva tiestöstä: auki pidettävät ja suljettavat, päätöksenteko muiden osalta tapahtuu vastuualuejaon perusteella. Nykyisessä JOTI:ssa ei ylläpidetä reaaliaikaista tietilannetta, sovellus oli yksi niistä, joista kehitystyön aikana luovuttiin.

Prosessin voi ajatella tapahtuvan siten, että ensin sovitetaan aikaan sitoen yhteen oma liikkumistarve ja reittien sulkeminen vastustajalta. Näin syntyy verkko, jolla liike taistelun aikana tapahtuu. On mahdollista tehdä järjestelmä, jolla jokaisen toimijan yhteystarve voidaan määrittää, sitoa tievektoreihin ja yhdistää suljettavien reittien kanssa. Yhdistelyn jälkeen yhteensovittaminen iteroimalla tehdään yhteisessä kokouksessa¹³. Jokaisella kierroksella tietojärjestelmä voi verrata syntyneitä tulosta asetettuihin vaatimuksiin, osoittaa poikkeamat ja matkan tavoitetilaa. Kompromissin jälkeen tietojärjestelmä voi etsiä verkolle tarvittavat varayhteydet esimerkiksi asetettujen jännepituusvaatimusten perusteella. Samalla voidaan osoittaa kriittisimmät solmupisteet sekä ylimenopaikat opastusten ja varmennusten suunnittelun perusteeksi. Verkolle voidaan myös määrittää erilaisia tunnuslukuja kuvaamaan sen haavoittuvuutta eri toimijoiden asettamien vaatimusten kannalta. Kolmannessa vaiheessa päätetään liikenteen varmennusresurssien käytöstä tienpidon, raivaamisen, ilmatorjuntasuojan ja opastusten kannalta. Tätä varten on oleellista, että keskeiset palvelun tarjoajat tekevät edellä kuvattujen vaiheiden aikana omaa resurssianalyysia, jotta tässä vaiheessa voidaan vain päättää kohdentamisesta ajan ja paikan suhteen siten, että syntyvä ko-

¹³ Kokouksella ei tässä tarkoiteta välttämättä perinteistä kokoontumista, kaikki kuvatut toimenpiteet voidaan hyvin toteuttaa tietoverkkoa käyttäen.

konaispalvelu on tasoltaan tyydyttävä. Tietojärjestelmä voi tehdä alustavan esityksen palvelutasoista asetettujen vaatimusten perusteella. Yhteisen päätöksen jälkeen palvelun tuottajien tehtäväksi jää suunnitella ja käskyttää palvelujen toteuttaminen.



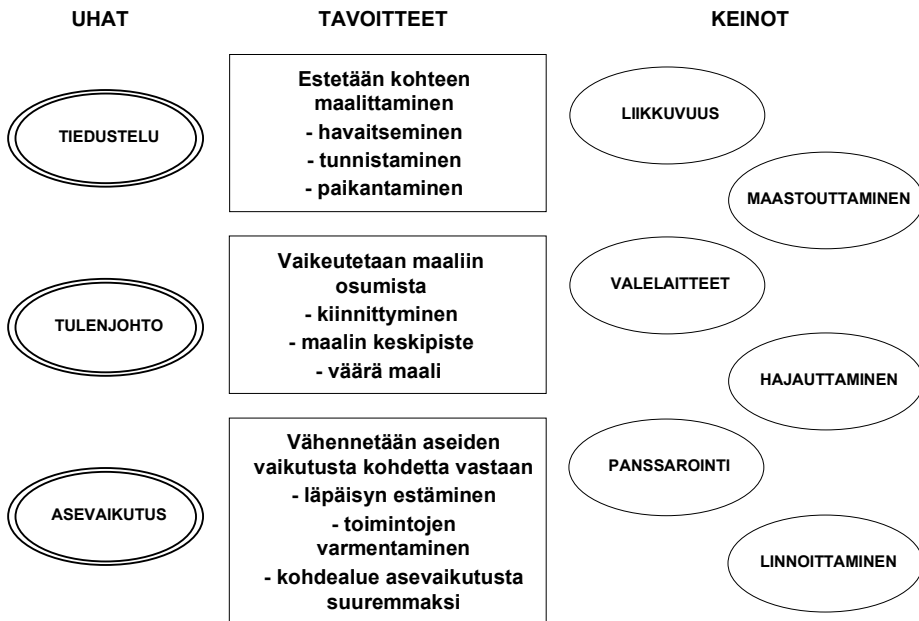
Kuva: Periaatekuva tiestön käytöstä osana hyökkäystä. Vektorin paksuus kuvaa palvelutasoa, mukana on myös ylimenon varmennus.

Kuvattu tapa yhdistää erilaisia vaatimuksia resurssi- ja maastoanalyysien osoittamien mahdollisuuksien kanssa antaa perustan yhteysverkolle, jota voidaan käyttää perustana reittioptimoinnissa. Yhteyden tarvitsijoille voidaan maastotekijöiden lisäksi tarjota tietona ja jopa optimointitekijänä myös yhteyden palvelutaso, joka kuvaa riskiä reitin käytössä. Verkko toimii myös perustana yhteyksien varaamiselle, jolla voidaan hallita yhteyksien ruuhkaisuutta. Tietojärjestelmä voi myös seurata liikennettä, verrata sen volyymin ja tärkeyttä asetettuun palvelutasoon ja esittää kohdat, joissa korrelaatio on muita heikompi. Näin verkosta voidaan osaltaan saada itsesäätävä. On myös mahdollista toteuttaa järjestelmä, joka simuloi liikennettä jo tehtyjen päätösten perusteella, jolloin päästään ennakoivaan rakenteeseen.

Suojan kokonaisuuden suunnittelua eivät nykyiset ohjesäännöt vielä tunne, mutta uudessa Linnoittamisopas 2:ssa asiaan esitetään ratkaisuperiaate passiivisen suojan konseptin käsitteen avulla.¹⁴ [Hyy97] [Hyy99] [LO202] Aktiivinen suoja käsittää ne välittömät torjuntatoimenpiteet, joilla pyritään estämään hyökkääjän toiminta. Passiivisen suojan tarkoituksena on estää oman toiminnan havaitseminen tai ainakin vaikeuttaa

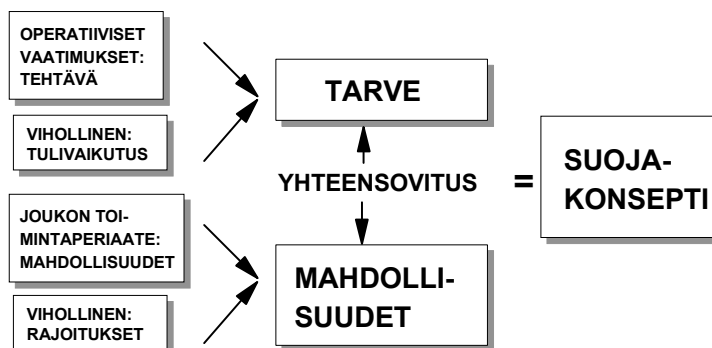
¹⁴ Käsite on otettu ensimmäistä kertaa käyttöön kirjoittajan diplomityössä 1997 ja sitä on tarkasteltu teorian kautta tarkemmin Tiede- ja ase julkaisussa vuonna 1999. Linnoittamisen suunnittelun perusteet ilmestyy vuonna 2003.

tarkan maalipisteen määrittämistä sekä toisaalta lisätä kohteen kestävyttä asevaikutusta vastaan. Toimenpiteet ovat luonteeltaan ennalta ehkäiseviä. Torjuttavat uhat ovat tiedustelu, tulenjohto ja asevaikutus. Passiivisen suojan keinot voidaan jakaa liikkuvuuteen, maastouttamiseen, valelaitteiden käyttöön, hajauttamiseen, panssarointiin ja linnoittamiseen.



Kuva: Passiivisen suojan kokonaisuus. [MaastO86][Täyd Hyy99] [LO202]

Teoreettisesti tarkasteltuna malli ei se anna ohjetta eri menetelmien soveltamisesta kunkin kohteen kannalta tarkasteltuna. Jokainen tapaus on kompromissi, jossa on vastattu useaan erilaiseen haasteeseen huomioiden joukon tehtävän asettamat tarpeet ja suojan hankinnan mahdollisuudet. Kyse on riskien arvioimisesta ja hallinnasta.



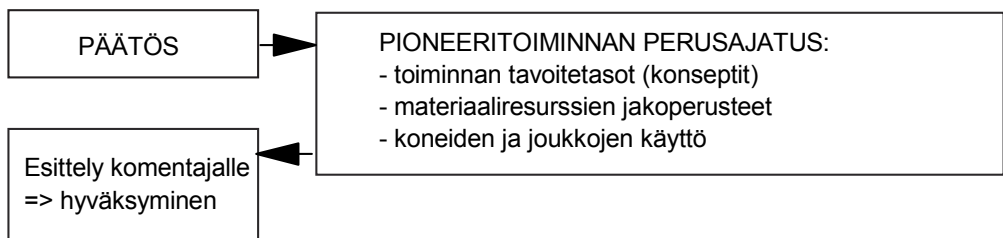
Kuva: Suojakonseptin muodostaminen tilanteen mukaisesti. [Hyy97][Hyy99][LO202]

Jos joukon suoja ei vastaa sen tehtävän asettamia vaatimuksia, otetaan suuri riski koko tehtävän epäonnistumisesta. Toisaalta suojan lisäämisellä voidaan tasoittaa voimasuhteita kasvattamalla oman joukon kykyä kestää tulivaikutusta.

Suoja on mahdollista mallintaa matemaattisesti hyvinkin tarkalle tasolla. [Taop84] Maastoanalyysillä on mahdollista käsitellä kutakin tekijää erikseen ja saada laskennalla aikaan resurssianalyysituloksia, joita yhdistämällä kokonaisuvoja voidaan muodostaa. Suoja on tulivaikutukselle vastakkainen, jolloin niitä voidaan myös yhdistää eri tavoin. Myös suojan arviointi on mahdollista toteuttaa tilannekuvaan sitoen osana tilanteen kehittymisen arviointia.

Kuvaavaa tietotekniikan ja erityisesti paikkatietoanalyysien tarjoamille mahdollisuuksille on, että niiden avulla voidaan aiemmista tarkistus- ja koordinoitimenetelmistä jalostaa todellisia päätöksenteon tukivälineitä, joiden perustana on saavutettava tulos eikä itse toiminta. Pioneeritoiminnassa johtamislaitteen odotetaan kääntävän ajattelu tähän, vain vaikutuksista eli tavoitteista, päätetään ja suunnittelulla vastataan kysymykseen, miten tavoitteisiin päästään.

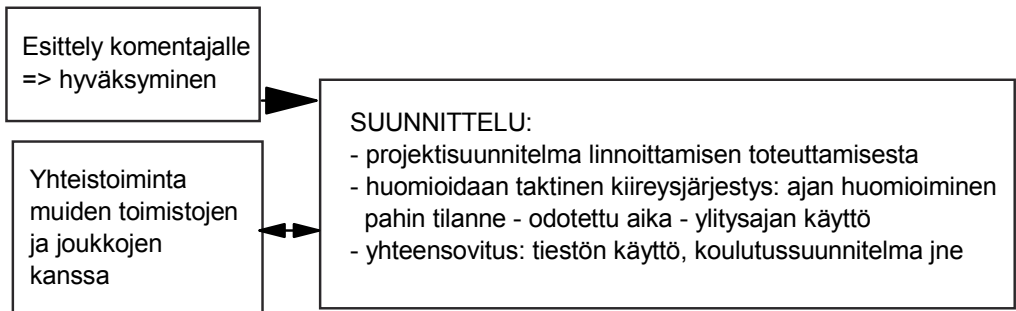
Aselajeissa suunnitteluvaiheessa tehdään aluksi päätökset, joita kutsutaan toiminnan perusajatuksiksi. Aselajipäälliköt esittelevät päätöksensä yleensä esikuntapäällikölle, jonka jälkeen niiden perustella käsketään aselajijoukkojen tehtävät. Pioneeritoiminnan osalta perusajatus kyetään toteuttamaan resurssianalyysia tarkentamalla ja kiinnittämällä yleiset resurssit joukkoihin niin tarkasti, että se täyttää operaatiokäskyn vaatimukset. Pioneeripäällikkö kykenee tekemään perusajatuksen itse.



Kuva: Pioneeritoiminnan perusajatuksen laadinta komentajan päätöksen perusteella. Teknisesti vaihe tarkentaa resurssianalyysin joukkotasolle saakka. [Hyy97] [PJohla]

Aselajien suunnittelun tarkoituksena on konkretisoida päätökset yksityiskohtien osalta toteutussuunnitelmaksi. Tämä tarkoittaa projektisuunnitelman laadintaa, jossa oleellista on tiivis yhteistoiminta tuettavien ja samoilla alueilla toimivien joukkojen kanssa. Yksityiskohdat voidaan joko liittää operaatiokäskyyn tai aselajin erilliskäskyihin. Suun-

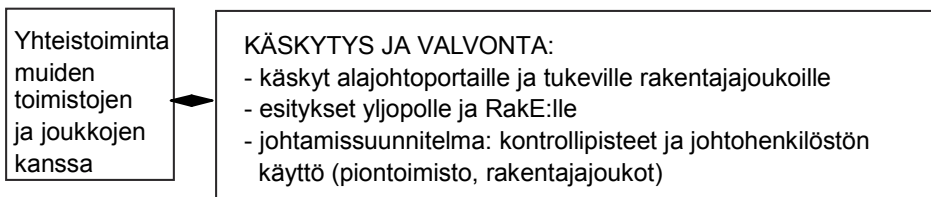
nitelman perusteella vastataan alaisten kysymyksiin ja laaditaan yhteistoiminnan vaatimat tarkennukset naapurien kanssa. Suunnittelusta vastaavat tyypillisesti toimistoupseerit, jotka voivat olla reserviläisiä.



Kuva: Pioneeritoiminnan suunnittelu linnoittamisen osalta. [Hyy97] [PJohla]

5.1.5 Taistelun johtaminen

Suunnittelu muodostaa rungon taistelun välittömälle johtamiselle, joka perustuu tilanteen seurantaan. [YTO00] Tästä vaiheesta vastaavat uudessa esikuntarakenteessa taistelunjohtokeskukset komentajan määrittämässä puitteissa [Esik99] [Esik01]. Välineinä ovat "*voiman lisääminen tai vähentäminen, uusien tuli- ja muiden tukitehtävien käskeminen, vastahyökkäysten ja valmistautumistehtävien toimeenpanon käskeminen, ajankäytön ohjaaminen, vastualueiden tarkistaminen.*" [YTO00] Mikäli kaikki edellä kuvattu tehtäisiin tietojärjestelmillä, voisi referenssinä olla laaditut ennusteet tilanteen kehittymisestä eri vaihtoehdoissa. Tällöin taistelunjohtokeskuksen roolina olisi puuttua havaittuihin poikkeamiin käytössä olevilla resursseilla. Keskuksien rooli on edelleen tutkimuksen alla.



Kuva: Pioneeritoiminnan taistelun johtamista kutsutaan johtamislaitteessa valvonnaksi. Vaihe esitetty linnoittamisen kannalta. [Hyy97] [PJohla]

Taistelun johtamisen luonne muuttuu oleellisesti, kun komentaja tekee päätöksiä esikunnasta erillään olevalla komentopaikalla välittömien havaintojen perusteella. Tilannetta kuvataan ohjesäännössä [YTO00] seuraavasti: "*Operatiivista suunnitelmaa noudatetaan niin kauan kun se toimii tarkoitetulla tavalla. Komentajan on pystyttävä tar-*

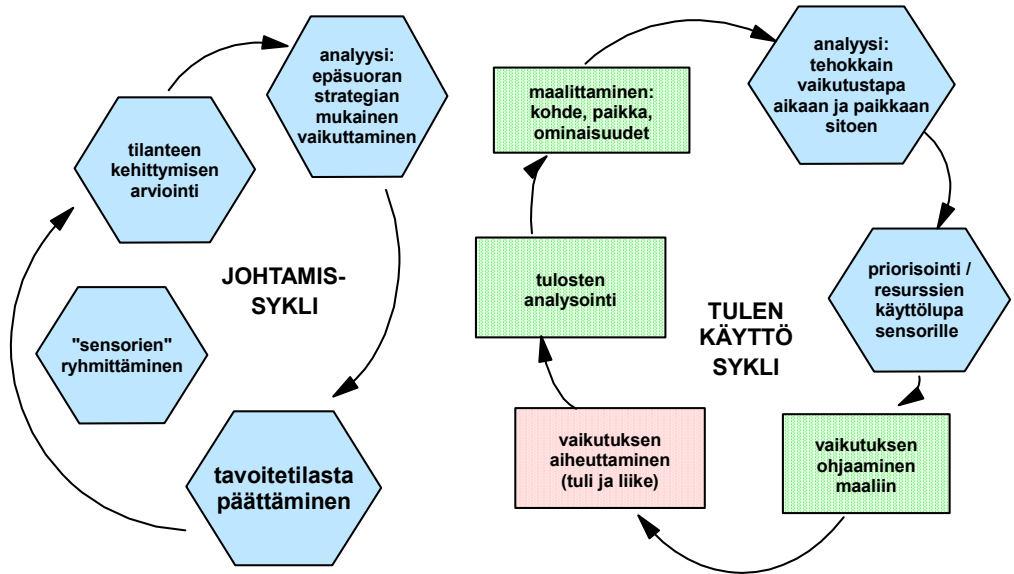
kentamaan päätöstään tai tekemään uusi päätös, kun tilanne oleellisesti muuttuu. Arvioitua edullisempaa ja epäedullisempaa tilannekehitystä varten on oltava vaihtoehtosuunnitelmia." Paikkatietoanalyysillä pystytään vertaamaan suunniteltua ja havaittua tilanteen kehittymistä toisiinsa. Tilannekehitykseen varautuminen edellyttää simuloinnilta kykyä käyttää myös hajontoja sekä esikunnalta kykyä tehdä tilanteita varten valmiita pohjia. Ruotsissa kehitys on jo huomattu taktisen simulaattorin tukemissa sota-peleissä: tarkka operatiivinen suunnitelma on lähinnä väline päästä edulliseen taistelusetelmaan, jonka jälkeen siirrytään tietokoneen tukemaan tilanteen mukaiseen taistelun johtamiseen ROLF-työpöydän ympärille. Vaiheistettu toiminnallinen johtaminen sopii hyvin Yhdysvaltalaiseen tapaan, jossa omalla lisävoiman käytöllä kyetään palauttamaan suunnitelma raiteilleen osana tulenkäyttösykliä ja puuttumatta suunnittelusykliin, meille sen sopivuus on kiistanalainen. Harjoituksissa tämä näkyy muun muassa kokemattomien komentajien kohdalla siten, että uusi tilannekehitys usein käynnistää aikaa vievän suunnitteluprosessin kokonaan alusta, jotta suunnittelu saadaan taas palautettua johdonmukaiseksi.

Vielä suuremman vaatimuksen johtamiselle asettaa vaatimus *"taistelun välittömään johtamiseen kuuluu tilannekehityksen myötä avautuvien uusien mahdollisuuksien etsiminen ja niiden häikäilemätön hyväksikäyttö"*. [YTO00] Tietojärjestelmältä tukeminen edellyttää kykyä systemaattisesti hakea voimasuhteista epäsuhtaa tai seurata korkealle priorisoituja maaleja ja verrata niitä omien mahdollisuuksien kehittymiseen. Tilanteessa, jossa mahdollisuus havaitaan, vaaditaan lähinnä kykyä nopeaan maasto- ja resurssianalyysiin. Kuvatulla suunnitteluprosessilla tämä ei onnistu.

Yhdysvaltojen ja Ruotsin näkökulmana on painottuminen ilmasta ja kaukaa tapahtuvaan täsmätulivaikutukseen. Tämä näkyy esimerkiksi siten, että maastotieto nähdään painopisteisesti visualisointivälineenä, jotta johtajat kykenevät taktisesti ja strategisesti valitsemaan oikeat maalit. Analyysitulokset esitetään ennen kaikkea visuaalisesti. Asevaikutukseen maastolla on vain vähän merkitystä, koska valitut maalit kyetään yleensä ilmasta myös valaisemaan ja tuhoamaan. Taistelunhallintajärjestelmän tehtävänä on päätöksen jälkeen ensin tuhoamisvälineen valinta ja sen jälkeen yksilöidyn välineen etsintä ja käskeminen satojen kilometrien mittaluokassa. Yhdysvalloissa ollaan huolestuneita asutuskeskustaistelun ja peitteisen viidakkotaistelun tyyppisten taistelukenttien sopivuudesta¹⁵ uuteen taistelutapaan. Suomessa yleensä taistellaan

¹⁵ Katso esimerkiksi [RAND01] ja kokemukset Kosovon operaatiosta. Tämän tyyppisten olosuhteiden vaikutukset täsmäaseteknologian tehokkuuteen on tunnustettu, mutta useimmiten niihin vastaaminen on jätetty tulevaisuuden teknisten järjestelmien vastattavaksi.

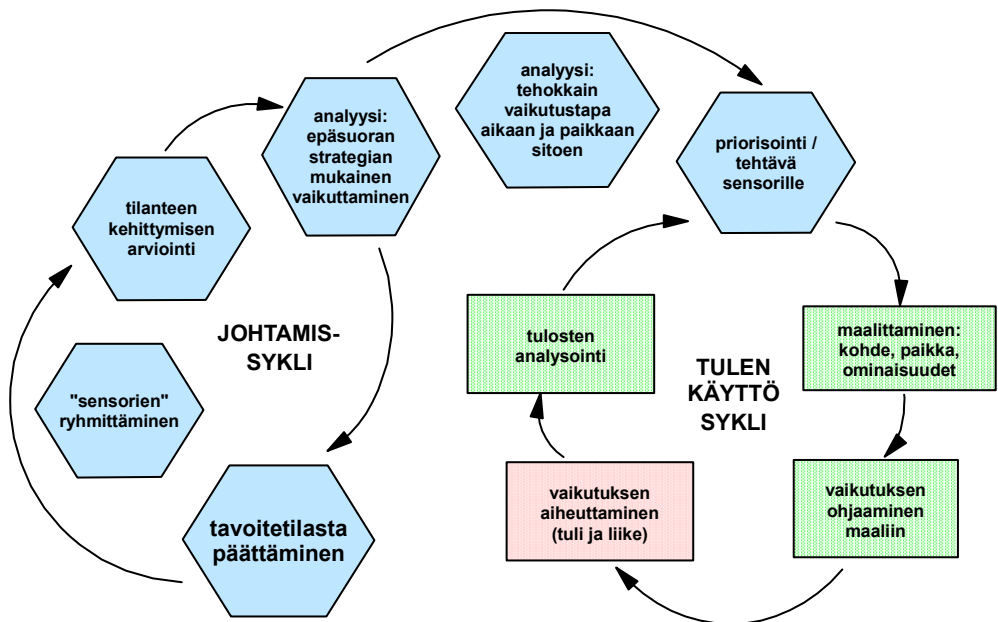
joko peitteisessä maastossa tai asutuskeskuksessa, lisäksi meiltä puuttuu merkittävä kyky aseelliseen kaukovaikutukseen, myös tulevaisuudessa.



Kuva: Esimerkki erillisestä johtamisprosessista ja taistelutilan hallintajärjestelmästä, joilla pyritään kaukovaikutusta käyttäen optimoimaan tulen käyttöä [vrt. Kos00b]. Verkon suurin merkitys on yhdistää vihreällä kuvattu maalittaja, punainen vaikuttaja ja sininen resurssoja toisiinsa.

Suomessa vastaavaa rakennetta käytetään jossakin määrin epäsuoran tulen johtamisessa, muun muassa tykistön johtamislaitteelle asetettiin alkuvaiheessa vaatimuksia hallita tulenkäyttösyklin toteutus tykistöaseilla.¹⁶ Jo viime sodissa käytössä ollut tykistön tulen keskittäminen yli organisaatorajojen muodosti tälle perustan. Poikkeus suuriin maihin verrattuna Suomessa on, että vaikutus kohdennetaan paljolti maajoukkojen kautta.

¹⁶ Tätä ei pidä kuitenkaan sekoittaa sekoihin taisteluun, jossa suoja, voiman keskittäminen ja yllättävyys hankitaan operatiivisesti. Tykistön tulen käyttö tapahtuu taktis-taisteluteknisessä kilometrimittakaavassa, eivätkä mahdolliset raskaat raketinheitin tai tykistöohjushankinnat tule meidän resursseillamme muuttamaan tätä merkittävästi.



Kuva: Vaihtoehtoinen tarkastelutapa taktisen ja tulen käytön johtamisen yhteensovittamisesta. Lähtökohtana on ennustaminen ja sen mukainen resurssointi, jolloin päätösvaltaa siirretään tehtävätaktiikan mukaisesti toteuttavalle portaalle. Menettely korostaa kykyä ennakoida ja muodostaa toimivia verkottuneita taistelujoukkoja.

Vaihtoehtoisessa tarkastelutavassa keskeinen vaihe on johtamissyklissä tapahtuva tilanteen mukainen analyysi, jossa joko edellä kuvatun prosessin kautta tai komentajan toteuttamalla tilanteen mukaisella johtamisella päätetään siirtyä toisenlaiseen vaikutustapaan. Rakenne tekee taistelunjohton ja suunnittelun irrottamisen toisistaan vaikeaksi, koska tavoitetilän muuttuessa myös suunnittelun perusteet muuttuvat. Menettelyä on perinteisesti korostettu tilanneherkkyytenä, jonka ansiosta alivoimaisen on mahdollista temmata aloite ylivoimaiselta, joka yrittää pakottaa tapahtumat noudattamaan omaa suunnitelmaansa.

5.2 Liikkuvan esikunnan rakenne ja tietojen hajautusarkkitehtuurimahdollisuudet

Liikkuvan yhtymän esikunnalla tarkoitetaan tässä työssä uutta Jääkäriprikaati 2005 tai armeijakunnan esikuntaa. Myös sotilasläänin tai maanpuolustusalueen komentopaikka voidaan organisoida vastaavalla tavalla, lisäksi vanhempia yhtymäesikuntia on tarkoitus myöhemmin kehittää saman suuntaisesti. Esitetty rakenne on yhdistelmä, joka on muodostettu antamaan perusteet komponenttiarkkitehtuurille asetettaville vaatimuksille. Taistelunjohtokeskuksesta käytetään myös nimitystä operaatiokeskus.

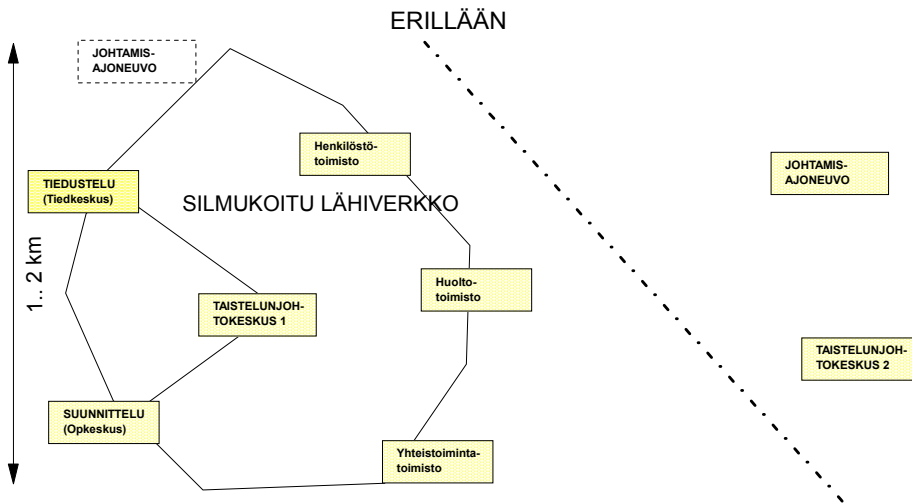
5.2.1 Esikunnan fyysinen rakenne ja osien tehtävät

Liikkuvien yhtymien esikuntien taistelunkestävyyttä ja edellytyksiä katkeamattomalle johtamiselle on pyritty kehittämään seuraavilla tavoilla: [Esik01] [YTO00]

- Tärkeimpien esikuntien liikkumiskykyä on parannettu joko konteilla tai esikunta-ajoneuvoilla, jolloin perustamisvaihe pysyy lyhyenä.
- Esikunta on jaettu taistelunjohtokeskuksilla kahteen erilliseen osaan, jotka molemmat ylläpitävät reaaliaikaista tilannekuvaa. Lisäksi komentajalla on käytössä erillinen johtamisajoneuvo.
- Esikunnan osat ovat siinä määrin samanlaiset, että ne voivat tarvittaessa korvata toisensa.
- Suunnitteleva esikunta hajautetaan ja maastoutetaan esimerkiksi rakennuksiin siten, että sen osien välillä on useiden satojen metrien etäisyys.
- Kontit ja ajoneuvot ovat sirpale-, taisteluaine-, EMP- ja HPM-suojattu¹⁷ tietyllä tasolla sekä varustettuja maastouttamisjärjestelmillä.
- Esikunnan elektroniselle ja muulle tiedustelulle muodostamaa kuvaa on samankaltaistettu muiden joukkojen kanssa.
- Jokainen yksikkö on itsenäinen sähkön tuotannossa.
- Esikuntien lähisuojauksesta vastaavat esikuntajoukot.

Vanhemmissa esikuntatyypeissä kuten jääkäri- ja jalkaväkiprikaateissa esikunnat ryhmitetään joko teltoihin tai rakennuksiin ja suojataan lähinnä passiivisen suojan keinoin. [Esik01] Hajautusvaatimus ja vikasietoisuus fyysistä tuhoamista vastaan asettavat siviilimaailmasta poikkeavia vaatimuksia tietotekniikalle. Tärkeimmät henkilöt on varmennettu sijaisuus- ja varamiesjärjestelyin, joten tietojärjestelmien personointi ei ole mahdollista.

¹⁷ EMP viittaa elektromagneettiseen pulssiin, joka syntyy ydinräjähdyksessä ja tuhoaa tietotekniikan fyysisesti ylikuormittamalla sitä. HPM viittaa kehitystyön alla olevaan mikroaaltoseeseen, joka luo vastaavan tyyppisen pulssin lyhyemmältä etäisyydeltä.



Kuva: Periaate yhtymän esikunnan rakenteesta. Ruotsin ROLF-järjestelmään verrattuna erona on lähinnä jatkuva kahtiajakaisuus. [Esi01]

Suunnitteleva esikunta muodostaa suurimman lähiverkolla yhdistetyn kokonaisuuden, johon liitetään myös toinen taistelunjohtokeskuksista. Verkkoratkaisu toteutetaan joko valokaapeilla tai varatuilla yhteyksillä, tulevaisuudessa todennäköisesti langattomalla ratkaisulla ainakin uusimpien joukkojen osalta. Rakenteen fyysisestä toteutuksesta vastaa esikuntakomppania henkilöstötoimiston ohjeistamana. Yhteistoimintatoimisto järjestää yhteistoiminnan muiden viranomaisten kanssa ja vastaa tiedottamisesta. Toimisto on fyysisesti samoissa tiloissa henkilöstötoimiston kanssa. [Esi01] [YTO00] Tulevaisuudessa on odotettavissa, että toimisto käyttää merkittävässä määrin paikkatietoaineistoja sekä suunnittelun että johtamisen perustana. Sille on myös luotava kyky erilaisten paikkatietoaineistojen käyttöön ei-standardissa muodossa.

Tiedustelutoimiston tehtävänä on muodostaa vihollistilannekuva ja laatia arviot vihollisen toimintamahdollisuuksista ja todennäköisestä toiminnasta mukaan lukien maasto-analysit. Keskuksen rooli on analyysien kannalta merkittävä ja monialainen tilanteen arvioinnin alkupäässä sekä osana seurantaprosessia. [Esi01] [YTO00] Tiedustelutoimiston on kyettävä teknisesti ja tiedollisesti yhdistämään eri sensoreiden tuottama informaatio. Tulevaisuudessa on varauduttava myös muiden maiden sotilasorganisaatiolta saatavien tietojen käsittelyyn.

Operatiivinen toimisto on tärkein suunnitteluelin, joten se muodostaa kehiksen koko prosessille. Tietotekniikkaupseeri vastaa johtamisen tietojärjestelmien toiminnasta. [Esi00] [YTO00] On tärkeää, että toimisto voi työskennellä vakioidulla tavalla tietoineistojen suhteen, lisäksi toiminta tapahtuu fyysisesti samoissa tiloissa.

Huoltotoimisto johtaa joukkojen taistelukelpoisuuden ylläpitoa ja seuraa sen kehittymistä. [Esik01] Toimiston rooli logistiikkaan liittyvissä järjestelyissä kuten tiestön käytön suunnittelussa on merkittävä. Paikkatietoanalyysissä pääpaino on reittioptimoinnissa ja kohdetietojen osalta erilaisissa tietokantahauissa.

Taistelunjohtokeskusten tehtävänä on tilannekuvan ylläpitäminen sekä suunnitelman toteuttaminen ja toteutumisen valvonta. Keskukset laativat myös lyhytaikaisia, muuttaman tunnin päähän ulottuvia arvioita tilanteen kehittymisestä. [Esik01] [YTO00] Paikkatietoanalyysistä näkemäanalyysi on korostetussa asemassa [Nen02]. Toinen taistelunjohtokeskus on varmentajana ja tilanteen mukaisen johtamisen mahdollistajana.

Komentajalla on erillinen johtamisajoneuvo, johon hän voi ottaa haluamansa johtoryhmän jäsenet työskentelemään. Johtoryhmä koostuu eri alojen asiantuntijoista, joilla on oltava mahdollisuus stand alone tyyppiseen työskentelyyn. Aselajipääällikköjen erillisiä työasemia voidaan käyttää myös sovellusten ja komponenttien kahdentamiseen ja kuormituksen tasaamiseen, mikäli arkkitehtuuri sen sallii.

Yhtymän esikunnalla ei tällä hetkellä ole tietoteknisiä mahdollisuuksia¹⁸ toimia palvelimena alaisten tai naapurien johtamisjärjestelmille. Tarve on tutkimuksellisesti tunnistettu ja se tulee kasvamaan alajohtoportaiden johtamislaitteiden lisääntyessä sekä rinnakkaisen suunnitteluprosessin käytön yleistyessä. Tykistössä tietojen vaihto on jo toteutettu sanomamuotoisena ja pioneeritoiminnassa tietokantapöimintoina, reaaliaikainen tietojen selaaminen ei kuitenkaan ole vielä mahdollista. Paikkatietoaineistojen ylläpitoa ja jakelua ei ole erikseen ohjeistettu tai resurssoitu.

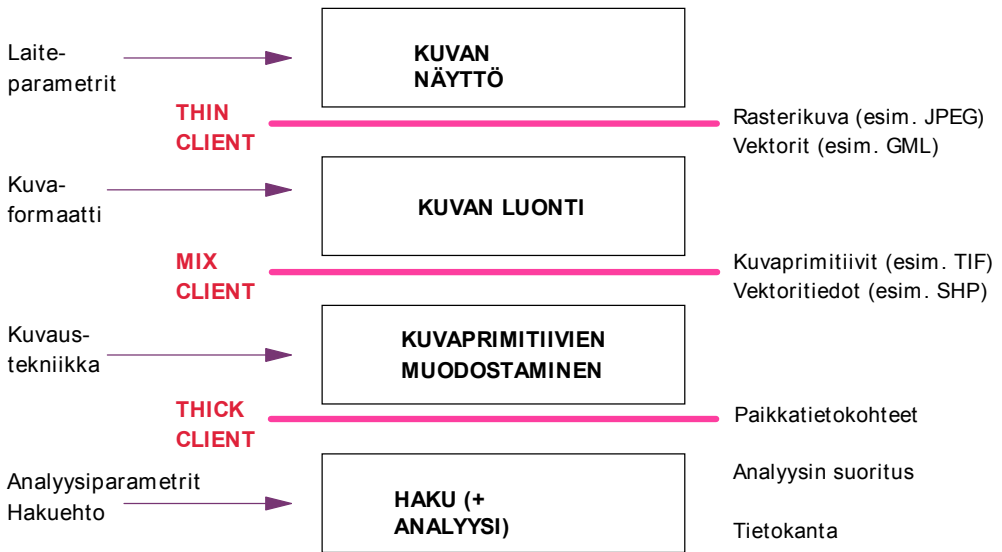
Jos esikunta joutuu siirtymään manuaaliseen työskentelyyn, se on koottava yhteen¹⁹, jolloin menetetään merkittävä osa hajautuksen tuomasta suojasta ja taistelunkestävyydestä. Lisäksi siirtorytmiä joudutaan pienentämään ja taistelunjohtokeskusten kyky ylläpitää yhdenmukaista tilannekuvaa heikentyy oleellisesti.

5.2.2 Analyysien ja tietojen hajautuksen mahdollisuudet

Esikunnan fyysinen rakenne luo perustan analyysien ja tietojen hajauttamiselle. Joka hetki on valmistauduttava siihen, että lähiverkon yhteys voi katketa, viestiyhteydet ovat aina epävarmoja ja kaistanleveydeltään rajoitettuja. Hajautuksen perusyksikkönä toimii toimistokokonaisuus, lisäksi johtoryhmän jäsenillä on oltava mahdollisuus stand alone tyyppiseen työskentelyyn.

¹⁸ Kyse ei niinkään ole tiedonsiirtokapasiteetista vaan tietojen monistamisesta ja hallitussa jakelussa. Yhteinen paikkatietoperusta antaa mahdollista siirtää vain älykäästä, informaatiota sisältävää dataa taustan sijasta.

¹⁹ Hajauttaminen on mahdollista ennen kaikkea tietoverkon ja JOTIn ryhmätyöominaisuuksien takia. Mikäli nämä menetetään,



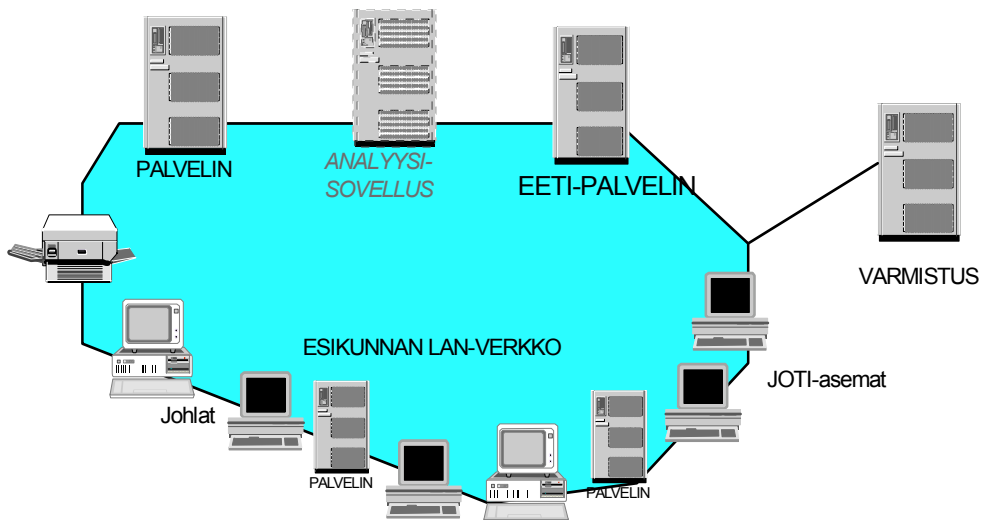
Kuva: Hajautuksen kolme mahdollista loogista toteutustasoa. Rakenne on muokattu soveltaen Lassi Lehdon [Lehto] esitystapaa, johon mix client on käsitteenä lisätty.

Thick Client lähestymistavassa analyysitoiminnallisuus ja / tai lähtötiedot ovat samassa työasemassa. Sovellukset on tyypillisesti toteutettu stand alone ratkaisuin, joiden yhteistoiminta muiden kanssa on järjestetty formaattirajapinnoilla ja sanomaperusteisen tiedon vaihdon avulla. Tällä hetkellä eri aselajien johtamislaitteet on toteutettu näin. Saavutettava vikasietoisuus on korkea, mutta järjestelmän on vaikea nopeasti hyödyntää analyysien monentamista tai kuormituksen jakamista. Vain mikäli sovellus käyttää yhteisiä tietovarastoja, sen reaaliaikaisuus ja yhteneväisyys voi olla korkea. Ratkaisu tuottaa korkeat lisenssikustannukset ja vaikean päivitettävyyden.

Thin Client lähestymistavassa käyttöliittymänä voi olla esimerkiksi selain tai räätälöity sovellus, analyysitoiminnallisuus ja lähtötiedot ovat palvelimella. JOTI-ratkaisu on toteutettu lähinnä näin toimistoittain käyttäen virtuaalikantoja, jotka replikoidaan automaattisesti koko esikunnan sisällä. Näin on pyritty korkeaan vikasietoisuuteen reaaliaikaisuudesta tinkimättä. Koska osa analyysien lähtötiedoista on erittäin nopeasti muuttuvia, joudutaan näiden osalta jatkossakin tukeutumaan ainakin analyysin lähtötietojen osalta tähän ratkaisutapaan. Ratkaisutapa mahdollistaa komponenttien avulla analyysien varmentamisen ja kuormituksen tasaamisen sekä korkean reaaliaikaisuuden. Heikkoutena on vikasietoisuus ja hitaus verkkoyhteyksien takia.

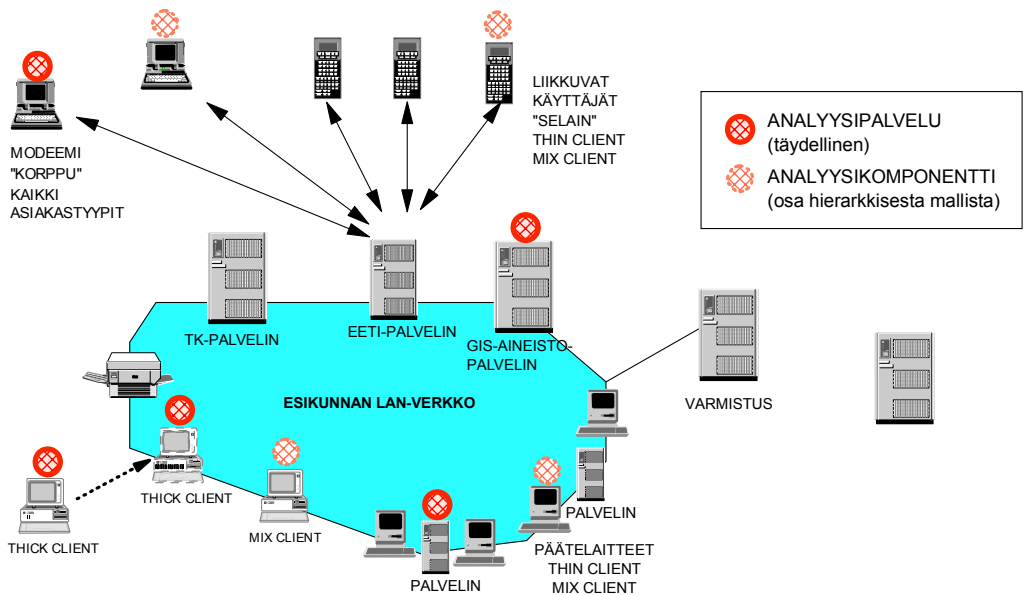
Mix Client ratkaisulla tarkoitetaan tapaa, jossa käyttäjän sovellus jalostaa muualla tehtyjä analyysien tuloksia. Ratkaisu vaatii sekä aineistojen että itse analyysien osalta kertaluonteista yhteyttä palvelimelle, mutta voi toimia sen jälkeen ilman jatkuvaa yhteyttä. Yhteys voidaan muodostaa ajan salliessa myös lähetillä. Ratkaisutapa täyttää kohtuullisesti sekä vikasietoisuuden että reaaliaikaisuuden vaatimukset, mutta vaatii sekä analyyseilta että niiden tuloksilta hierarkkista kokonaisrakennetta.

Tällä hetkellä esikunnan rakenne muodostuu JOTI-verkosta ja erillisistä johtamislaitteista, joiden välillä tietoja voi vaihtaa joko taustakarttojen tapaan aineistoina tai sanomamuotoisena. Eri esikuntien ja taistelunjohtokeskusten JOTIen välillä käytetään räätälöityä tietokannan hajautusta samoin kuin eräiden Johlien välillä. Rakenteeseen on mahdollista liittää erillisiä analyysisovelluksia.



Kuva: Periaate lähiverkosta, jossa on kaksi toimistoa virtuaalikantoineen, erillisiä johtamislaitteita ja yhteinen tietoliikennepalvelin (EETI). Verkon katketessa toimistokohtaiset palvelimet ja stand alone tyypiset johtamislaitteet mahdollistavat työskentelyn jatkamisen.

Tulevaisuudessa on oltava mahdollista liittää sekä kehitettävät sovellukset että yhtiön alaisten sovellukset toisiinsa aiempaa monipuolisemmin. Mikäli analyysit perustetaan COTS-tekniikalle, on komponenttien määrä oltava hallinnassa.



Kuva: Esimerkki tulevaisuuden toteutustavasta. Tietty analyysipalvelu on hajautettu verkossa erilliselle aineistopalvelimelle sekä tärkeimmän toimiston palvelimelle, jossa sijaitsevat myös keskeisimmät lähtöaineistot. Johtoryhmän stand alone tyyppinen sovellus toimii varmentajana ja jakaa kuormitusta olleeseen liittyneenä verkkoon. Palvelu voi olla myös jollakin liikkuvalla käyttäjällä ja sen hierarkkisia osia joko palvelimissa tai sovelluksissa.

Esimerkiksi reitioptimointi voitaisiin tulevaisuudessa toteuttaa seuraavasti:

- Tietilannetta ja kunnossapitotasoa ylläpidetään taistelunjohtokeskuksissa, joista tieto replikoidaan GIS-aineistopalvelimelle.
- Aineistopalvelimessa on täydellinen reitioptimointipalvelu, joka palvelee sekä esikuntaa että liikkuvia käyttäjiä modifioidun EETI-palvelimen välityksellä.
- Huoltotoimiston palvelin toimii sekä aineiston että analyysipalvelun osalta varmentajana ja kuormituksen tasaajana.
- Huoltojoukon esikunnassa on vastaava palvelu, jolle tietilanne repikoidaan määräajoin tai pyynnöstä.
- Huoltopäälliköllä ja pioneeripäälliköllä on osa palvelusta, joka toimii valmiiksi lasketulla graafilla ja tukee päätöksentekoa.
- Tietyillä joukoilla on mix client tyyppisiä ratkaisuja, joille siirretään optimoitu ja varattu reitti sekä varareittejä. Tilanteen muuttuessa nämä kykenevät rajatussa määrin itsenäiseen toimintaan myös ilman yhteyttä analyysipalvelimeen.
- Useilla joukoilla on selainpohjaisia thin client tyyppisiä ratkaisuja, jotka mahdollistavat reitin kysymisen ja näyttämisen.

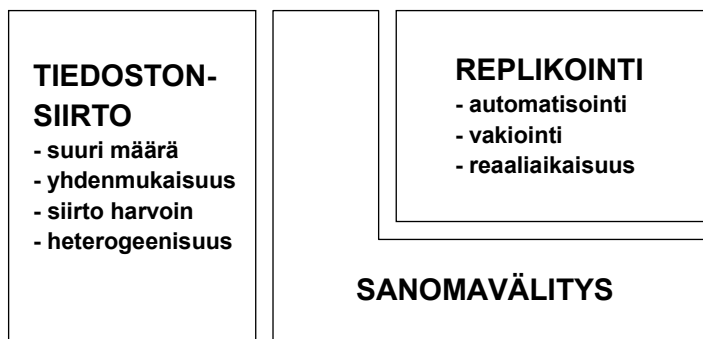
Kuvatussa mallissa on vahvuutena yhteisen palvelimen käyttö, jolloin reitit voidaan varata. Muutosten sattuessa tilaajia voidaan varoittaa push-tyyppisesti ja ehdottaa heille uutta reittiä alkuperäisillä lähtötiedoilla toteutettuna. Myös reittien kuormituksen seu-

raaminen on mahdollista. Analyysien toteutus on hajautettu ja se voidaan varmentaa lähettiyhteyksillä. Vastaavalla tavalla voidaan analyysipalvelua tarjota myös muille vastuualueen läpi kulkeville omille joukoille.

5.2.3 Hajautetun tietojärjestelmän tietojen päivittäminen

Lähtökohtaisesti tietojen siirto hajautetuissa järjestelmissä voidaan toteuttaa kolmella eri tavalla: tiedostonsiirtona, replikointina tai sanomapohjaisena tiedonvälityksenä. Ratkaisuihin tulisi pyrkiä seuraavassa järjestyksessä: [Haj98]

- Vastaanottaja ei koskaan päivitä siirrettyä tietoa (read only). Esimerkkinä paikkatietoaineistoista on referenssikartta tai korkeusmalli.
- Vastaanottaja päivittää, mutta suunnittelulla ehkäistään ristiriitojen syntyminen. Tähän voidaan käyttää esimerkiksi omistajuutta ja aluevastuuta.
- Vastaanottaja voi päivittää, mutta ristiriitatilanteet voidaan ratkaista automaattisilla säännöillä kuten aikaleimalla tai sensoripriorisoinnilla. Paikkatiedoissa tilanne syntyy lähinnä kohdetason tiedoissa.
- Vastaanottaja voi päivittää, mutta ristiriitatilanteiden ratkaisemiseksi vaaditaan joko käyttäjän toimenpiteitä tai monimutkaista ohjelmointia. Tilannetta tulee pyrkiä välttämään tai sen ratkaisu pitää suunnitella ja testata ennen järjestelmän toteuttamista mukaan lukien reaaliaikavaatimukset.

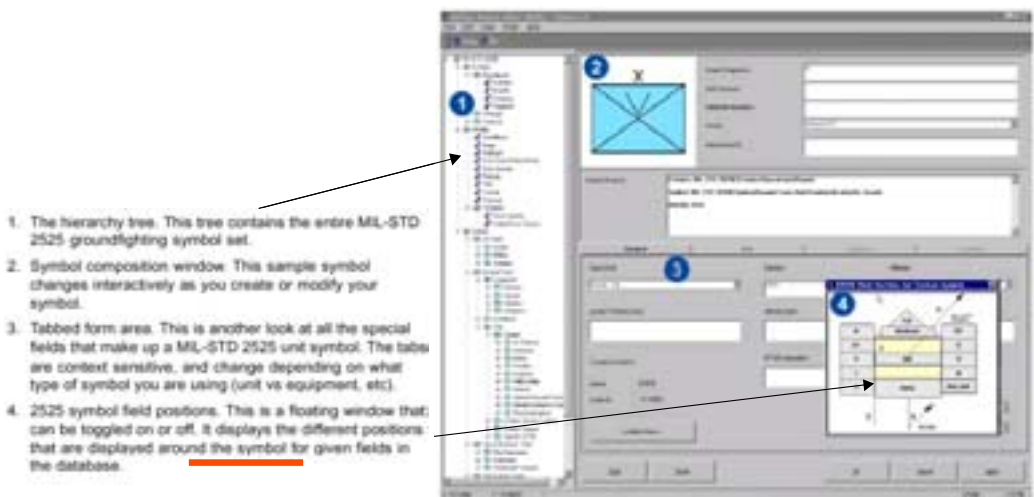


Kuva: Eri tiedonsiirtotapojen väliset suhteet. [Haj98 täydentäen]

Tiedostonsiirto vaatii käsin tapahtuvaa työtä, sillä pyritään tyypillisesti suuren tietomäärän päivittämiseen tietyin välein tai tarpeen mukaan ja se on mahdollista toteuttaa myös heterogeenisessä ympäristössä käyttämällä standardoituja tiedonsiirtotapoja ja tietomalleja. Paikkatietoaineisto on tyypillinen esimerkki tästä päivystavasta. Siirtotavan heikkoutena on käsityön määrä ja siten hitaus. On mahdollista siirtää vain joko tapahtumat tai muutokset, mutta yhteneväisyyden takia usein päädytään koko aineiston päivittämiseen. Samalla käyttäjän tekemät päivitykset yleensä kumoutuvat.

Replikoinnissa tietoihin on paketoitu sisään automatiikkaa, jolla järjestelmät voivat automaattisesti päivittää tietoja keskenään. Tapa on tehokas ja mahdollistaa JOTIn tavoin korkean reaaliaikaisuuden, mutta sen toteuttaminen heterogeenisessä ympäristössä on pitkistä transaktioista huolimatta vaikeaa. Paikkatiedoissa tapa on käyttökelpoinen tietokannoissa ylläpidettävässä reaaliaikaisessa tiedossa. Se on tietyin reunaehdoin mahdollinen esimerkiksi tieaineiston ylläpidossa, jossa ainakin verkottumisen hallinta vaatii ohjelmistollisia tarkistuksia.

Sanomapohjainen tiedonvälitys perustuu puolustusvoimissa vakioituihin rakenteisiin, jotka jokainen tietojärjestelmä kykenee lukemaan ja muokkaamaan tietokantaansa vastaavaksi. Sanomat voidaan joko automatisoida tai ne hyväksyy ja muokkaa käyttäjä. Näin on mahdollista saavuttaa kohtuullisen suuri reaaliaikaisuus, mutta tietojen yhtenevyyden varmistaminen on vaikeaa. Esimerkki sanomapohjaisesta ja osin myös replikoinnin mahdollistavasta standardista on NATO:n ATCCIS [ATCCIS01] ohjelma, joka aloitettiin vuonna 1980 ja kuuluu osaksi edellä kuvattua NCOE-arkkitehtuuria [NC3TA501]. Osa tätä on symbolien standardointi.



Kuva: Joukon esittäminen symbolilla Mil STD 2525 mukaisesti. Kohdassa neljä on kuvattu taktisen merkin rakentuminen joukon tietojen mukaisesti. [STD2525]

Suomessa on käytössä sanomapohjainen Sanomaliikenne (Sanli) rakenne ja sitä automaattisesti lukeva ohjelmointirajapinta. Osana sanomarakennetta voidaan siirtää myös standardin mukaisia paikkatietokohteita kuten vektoreita tai alueita. Sanomapohjaisuuden etu on, että sanomia voidaan muodostaa myös sensoreissa tai päätelait-

teilla (message terminal) manuaalisesti, edellisiä kutsutaan järjestelmäsanomiksi ja jälkimmäisiä johtamissanomiksi.

Peruslähtökohdan paikkatietojen päivittämiselle muodostaa Topografikunnan yhtenäisen aineistokannan jakelu tiedostosiirtona käyttäjille. Tässä suhteessa yhtymän esikunta on luonnollinen solmupiste sekä esikunnan toimijoiden että joukon alaisten osalta. Jakelun ohjaamiseen voidaan käyttää kahta periaatetta: komentotietä ja alueellista vastuuta. Digitaalisissa aineistoissa jakelua helpottaa se, että monistaminen voidaan tehdä tarpeen mukaisesti myös alajohtoportaisa.

Komentotieohjauksessa aineistot jaetaan painokarttojen tavoin maanpuolustusalueilta sen alaisille yhtymille ja muille joukoille. Tämä mahdollistaa jakelun esimerkiksi käskyjen mukana. Perusjakelun tapahduttua on luotava järjestelmä, josta jokaisella toimijalla on mahdollisuus tarkistaa omien aineistojensa päivitystarve ilman aineistojen lataamista. Osa jakelusta voidaan toteuttaa käyttäen kiinteän verkon yhteyksiä, mutta jakelu on kaikissa oloissa oltava mahdollista myös lähettiyhteyksillä.

Alueellisessa vastuussa yhtymä on velvollinen jakamaan aineistoja alueellaan toimiville muille joukoille. Näin on mahdollista muodostaa päivitysmenettely ja omistajan vastuut eri tiedoille. Koska yhteistoiminnan kautta on mahdollisuus saada myös ei-standardimukaisia aineistoa, tulee niille laatia ainakin perustason metadatatjärjestelmä, joka välitetään Topografikuntaan saakka.

Tällä hetkellä esikuntiin ei ole sijoitettuna paikkatietoaineistoista vastaavaa henkilöä lähinnä siksi, että käytössä on lähinnä standardoituja referenssikarttatuotteita. Jatkossa asiaan on pakko ottaa kantaa sekä lisääntyvän tarpeen että päivityksen aiheuttaman ammattitaitovaatimuksen osalta.

5.3 Käyttäjien maastoanalyysitarpeet

Käyttäjien tarpeiden kartoittaminen on lähtökohta komponenttiarkkitehtuurin hallitulle suunnittelulle ja COTS-tuotteiden valinnalle. Alaluku kuvaa tehdyn tarvekartoituksen tulokset, koonnoksen ja jälkikäteen tehdyn karkean jaottelun yleisiin, toimialakohtaisiin ja järjestelmäkohtaisiin palveluihin.

5.3.1 Tarvekartoitus

Vuonna 1999 tehtiin [Patu99b] Puolustusvoimat kattava paikkatietoanalyysien tarvekartoitus, johon osallistui yksitoista käyttäjäorganisaatiota asiantuntijoineen. Kartoitus toteutettiin lomakkeilla ja tuloksia täydentävällä sekä selventävällä haastattelulla²⁰. Vastaajia pyydettiin kertomaan vapaasti haluamansa paikkatietoanalyysipalvelut riippumatta siitä, onko niiden toteuttamiseen liittyviä tietoja, aineistoja tai ohjelmistoja käytettävissä. Lähtökohta muodostettiin yhtenäisellä termistöllä [PATU99a]. Erilaisia tarpeita tunnistettiin satoja karttakäyttöliittymältä tapahtuvista tietokantakyselyistä monimutkaisiin yhdistettyihin, jopa tekoälyä vaativiin analyysihin. [PATU99b] Kirjoittaja osallistui kysymysten muotoiluun sekä tulkitsi tulokset ja luokitteli analyysit. Lisäksi jokaiseen lisättiin tarvittavat lähtöaineistot, tarkkuus (resoluutio), aineiston laajuus soveluksessa, analyysin tekijältä vaadittava ammattitaito ja organisaatiotaso, laatumiseen käytössä oleva aika suuruusluokkana ja tulosten muutosnopeus. Lisäksi kirjattiin tarpeen esittäjät. Tutkimuksen luotettavuutta vähentää käyttäjien osin puutteellinen tietämys paikkatietoanalyyseista ja tulosten tulkittavuus, mutta kokonaisuutena tutkimus antaa perusteet ainakin yleisten palvelujen tunnistamiselle.

Näkemäanalyysit olivat yleisenä tarpeena, luokkaan luettiin 42 erilaista vaadetta. Palvelun toteuttamisen kannalta haasteellista on tarkkuuden vaihtelu ja ajatus analyysien perustamisesta lähtöaineistoista yhdistetyille malleille. Jaottelua käytettiin vuonna 2001 prototyypin kehittämisen perustana.

taso	nimitys	laajuus	tarkkuus	tekijä	org	teko aika	voimassa	muutos	aineistot
	Näkemäanalyysit								
1a	3D maastomalli	koko maa	suuri	TopK	pv	h / Pepa	kk - a	pieni	TIN, puu1, lentoeste
1a	3D kaupunkimalli	pp-alueet	suuri	TopK	pv	h / alue	kk - a	pieni	TIN, rak.rek, maankäyttö
1a	3D "Fly in" malli	pp-alueet	er suuri	TopK	pv	h / alue	kk - a	pieni	TIN, MTK, kuvaukset
2	tähystyspaikan valinta	pieni	er suuri	res	j - k	min	h - vk	pieni	3D maasto, korjaukset
2	sensorien valvonta-alue	keski	keski	amm	k - pr	min	min - h	keski	3D m, sensorit, maalit
2	sensorien optimointi	keski	keski	amm	p - pr	min	min - h	keski	3D m, sensorit, maalit
2	aseen paikan valinta	pieni	suuri	amm / res	r - k	min	min - h	suuri	3D m, aseet, maalit, kulkuk

Taulukko: Näkemäanalyysien ryhmä luokiteltuna. Osa on mahdollista toteuttaa yhdistelemällä tuloksia.

²⁰ Vastaajina olivat johtamisjärjestelmien kehittämisestä vastaavat organisaatiot, pääasiassa aselajikoulut (vast.). Kyselyn mukana lähetettiin termistö ja analyysihierarkian hypoteettiinen malli, lisäksi Anna Liukko kävi haastattelemassa jokaisen vastaajan kirjallisen kyselyn jälkeen.

Maastoanalyysiksi nimettiin pääosin rasteriaineistoista yhdistämällä muodostettavat perustason paikkatietoanalyysit, jotka toteutetaan tietyn kuvattavan ilmiön mukaisina. Merkittävä osa näistä on mahdollista toteuttaa ennalta. Analyysit mainittiin 88 kertaa, osa määrästä selittyi Pioneeritoiminnan johtamislaitteen aiheuttaman mielenkiinnon ja tietämyksen kasvun kautta. Usea toimiala ilmoitti olevansa valmis käyttämään esimerkiksi kulkukelpoisuusanalyysia tuotteena sellaisenaan, ei siis niinkään komponenteilla toteutettavana palveluna.

taso	nimitys	laajuus	tarkkuus	tekijä	org	teko aika	voimassa	muutos	aineistot	
	Maastoanalyysit									
1a	linnoitettavuus maasto	koko maa	pieni	TopK		pv	h / Pepa	kk - a	pieni	maap, puut, routa, lohk
1a	linnoitettavuus kaupunki	pp-alueet	suuri	TopK		pv	h / alue	kk - a	pieni	rak.rek., maap, maankäyttö
1a	peitteisyys maasto	koko maa	pieni	TopK		pv	h / Pepa	kk - a	pieni	maap, puut, rns-tieto
1a	peitteisyys kaupunki	pp-alueet	suuri	TopK		pv	h / alue	kk - a	pieni	rak.rek., maap, maankäyttö
1a	kulkukelpoisuus maasto	koko maa	pieni	TopK		pv	h / Pepa	kk - a	pieni	maap, puut, routa, lumi, jää, lohk, ka
1a	kulkukelpoisuus kaupunki	pp-alueet	suuri	TopK		pv	h / alue	kk - a	pieni	rak.rek., maap, maankäyttö
1a	laskennalliset maastotuotteet	koko maa	pieni	TopK		pv	h / Pepa	kk - a	pieni	maap, puut, routa, lohk, kait
1a	slu "maastokitka"	koko maa	pieni	TopK		pv	h / Pepa	kk - a	pieni	maap, puut, lumi, sää, kosteus, erik
1a	slu "maastopysyvyys"	koko maa	pieni	TopK		pv	h / Pepa	kk - a	pieni	maap, puut, lumi, sää, kosteus, erik
1a	viesti maastovaikutus	koko maa	pieni	TopK		pv	h / Pepa	kk - a	pieni	maap, puu, lumi, kosteus
1b	linnoitettavuus	alueet	pieni	amm	pr - MPa	min	vk - kk	keski	1a + kaltevuus, suunta	
1b	peitteisyys	alueet	pieni	amm	pr - MPa	min	vk - kk	keski	1a + kaltevuus, suunta	
1b	kulkukelpoisuus	alueet	pieni	amm	pr - MPa	min	vk - kk	keski	1a + kaltevuus, suunta	

Taulukko: Maastoanalyysien luokka. Pääosa arvioitiin mahdolliseksi toteuttaa keskitetyksi ja jakaa käyttäjille valmiina tuotteina. Luokat 1a ja 1b kuvaavat sijoitusta hypoteesina olevassa hierarkiassa.

Verkkoanalyysija todettiin tarvittavan käytännössä kaikilla aloilla tilanteenmukaisina. Ne mainittiin kartoituksessa yhteensä 39 kertaa. Tieverkon sotilaallisten ominaisuuksien muodostamista lukuun ottamatta kyse on sovelletuista maastoanalyysista ja erilaisista resurssianalyysista, jotka pitää toteuttaa palveluna. Laajin käyttö on huoltoalalla. Erityisen haastava on helikoptereiden tukemiseen haluttu 3D-reittioptimointi. Viestiverkot on käsitelty omana kokonaisuutenaan.

taso	nimitys	laajuus	tarkkuus	tekijä	org	teko aika	voimassa	muutos	aineistot	
	Verkkoanalyysit									
1	Tieverkon ominaisuudet	koko maa	keski	TopK		pv	h / alue	kk - a	pieni	tiet, sillat, maastopeitto
2	Tieverkon palvelukyky	aluejako	keski	amm	pr - MPa	min	h - vk	keski	perus, joukot, uhkakuva	
2	Reitin optimointi	x - y	suuri	res	p - pr	min	min - h	suuri	palvelu perusta, joukon omin, uhka	
2	Kuljetusten optimointi	aluejako	pieni	amm / res	pr - MPa	min	h - vk	keski	perus, palvelu, vstot, kohteet, uhka	
2	3D reitit	aluejako	keski	amm	p - AK	min	h - vk	keski	3D maasto, kohde omin	

Taulukko: Verkkoanalyysien jaottelu tieverkon osalta. Osan tarpeista voi tulkita tarkoittavan optimointia myös maastossa.

Osa käyttäjistä esitti tarpeen yhdistellä erilaisten analyysien tuloksia siten, että voitaisiin vastata suoraan esimerkiksi tuliasemien valintaan. Tarve mainittiin yhteensä 13 kertaa, tosin määrän voidaan olettaa kasvavan kun alemman tason analyysituloksia on käytössä. Periaatteessa analyysit on mahdollista toteuttaa sekä vektori- että rasteritekniikalla, mutta lähtöaineistot ovat pääosin rasterimuotoisia. Lisäksi paikkojen mää-

rittelyä esitettiin rajoitettavan joko alueellisesti tai esimerkiksi saavutettavuusajan perusteella.

taso	nimitys	laajuus	tarkkuus	tekijä	org	teko aika	voimassa	muutos	aineistot
	Joukon paikan valinta								
2a	Sovelluudet	alueet	keski	amm/ res	p- pr	min	vrk- kk	pieni	linn, peitt, puusto, tiet, KTK
2b	Paikan optimointi	alueet	keski	amm	p- pr	min	min- h	suuri	emlisäärä joukot, maali

Taulukko: Joukon paikan valintaa tukevat analyysit. Osa rakenteista vaatii monimutkaista mallintamista ja ristiriitojen sovittamista.

Tulen käyttöä nähtiin mahdolliseksi tukea 20:ssä esitetystä tarpeesta. Oleellista on resoluution asettuminen keskitasolle ja suuri reaaliaikaisuusvaatimus. Lisäksi esitettiin vaatimuksia tulosten sitomiseen aikaan. Osa analyyseista on mahdollista toteuttaa näkemäanalyyseina, osa rasterianalyyseina ja osa vektorianalyyseina.

taso	nimitys	laajuus	tarkkuus	tekijä	org	teko aika	voimassa	muutos	aineistot
	Tulen käytön analyysit								
2b	3D-tulen käyttö	alueet	keski	amm	p- pr	min	s- h	suuri	3D-maasto, kohteja maali omin
2b	3D-tulen optimointi	alueet	pieni	amm	pr- MPa	min	h- vrk	keski	emlisäärä aikasaja, malli
2b	2D-tulen optimointi	alueet	keski	amm	p- AK	min	min- h	suuri	3D-maasto, tulvaik, kohte, maalit
2a	linjen käyttö	alueet	keski	amm	p- AK	min	h- vrk	pieni	kulkuk, tiestö, joet

Taulukko: Tulen käyttöä tukevat analyysit.

Viestiyhteysanalyyseille asetettiin vaatimuksia yhteensä 26 kertaa, joista pääosa kohdistui radiokuuluvuuteen. Viestiverkkojen palveluissa ominaisuus on osin toteutettu sisäisesti YVI 1 ja YVI 2 järjestelmissä sekä Warfare -ohjelmistossa. Analyysit on perustasolla melko helppo toteuttaa näkemäanalyysin ja yleistettyjen vaimennuspintojen kautta, osassa voidaan käyttää hyvinkin monimutkaisia ja spesifioituja malleja. Tarpeissa huomio kiinnittyy komppaniatason laajaan tarpeeseen ja käyttäjien ei-ammattilaisuuteen. Muutosnopeus viittaa siihen, että analyyseja käytetään painopisteisesti suunnittelun eikä esimerkiksi tilanteen seurannan apuvälineinä.

taso	nimitys	laajuus	tarkkuus	tekijä	org	teko aika	voimassa	muutos	
	Viestiyhteysanalyytit								
2a	Radiokuuluvuus	alueet	keski	amm/ res	k- pr	min	h- vrk	keski	
2a	Linkkiasemat	alueet	keski	amm/ res	k- pr	min	h- vrk	keski	
2b	Viestiverkon optimointi	alueet	keski	amm/ res	k- pr	min	h- vrk	keski	
2b	ELSO	alueet	keski	amm	k- pr	min	min- h	keski	

Taulukko: Viestiyhteyksiin liittyvät analyysit.

Aikasarjoilla tarkoitettiin analyyseja, joissa merkittävänä tekijänä on paikan lisäksi ilmiön sijoittuminen ajan suhteen. Kyse on tiettyyn toimialaan painottuvista tarpeista ja se

esitettiin 9 kertaa. Analyyseilta vaadittiin kykyä sekä muodostaa sarjoja raakadatatista, ennustamista että ennusteen tarkentamista havaintojen perusteella.

taso	nimitys	laajuus	tarkkuus	tekijä	org	teko aika	voimassa	muutos
	Aikasarjat							
3a	Vihdlinen liike	alueet	pieni	amm / res	pr - MPa	min	h - vrk	suuri
2a	Slu leväminen	alueet	suuri	res	k - pr	min	s - h	suuri
2a	Slu pysyvyys	alueet	suuri	res	k - pr	min	h - vrk	suuri

Kuva: Aikasarjaa vaativat kokonaisuudet.

Mahdollisuutta tukea paikkatietoanalyysillä laajempaa tilanteen arviointia ei juurikaan tunnustettu kartoituksen aikana, tähän luokkaan esitettiin vain 6 viittausta. Syy saattaa osin olla operatiivisen alan pieni edustus kohderyhmässä. Analyysit nähtiin sekä tilanteen seurannan että suunnittelun apuvälineinä.

taso	nimitys	laajuus	tarkkuus	tekijä	org	teko aika	voimassa	muutos	aineistot
	Yhdistelmät								
3a	Välön kokonaisuus	alueet	pieni	amm	pr - MPa	min	h - vrk	keski	yhdistelmä, maalit
3a	Tulen käytön kokonaisuus	alueet	pieni	amm	pr - MPa	min	h - vrk	suuri	yhdistelmä, maalit
3a	Voimasuhteanalyysi	alueet	pieni	amm	pr - MPa	min	h - vrk	suuri	yhdistelmä, maalit

Taulukko: Yleisemmän tason analyysiyhdistelmät.

Mahdollisuus käyttää paikan perusteella erilaisiin kohteisiin liittyviä tietoja nähtiin tärkeäksi 26:ssä eri tapauksessa. Tarpeiden esittämisessä näkyi eri toimialojen perinne käyttää hyväkseen yhteiskunnasta saatavilla olevaa tietoa. Useassa tapauksessa tiedot on muodostettava tai ainakin tarkennettava käyttäjän toimenpitein maastosuunnittelulla. Osa tarpeista on mahdollista toteuttaa aineistoja yhdistelemällä.

taso	nimitys	laajuus	tarkkuus	tekijä	org	teko aika	voimassa	muutos	aineistot
	Kohdetietokantakyselyt								
	Erlaiset maastosuunnitelmat	alueet	suuri	res / amm	k - pr	min	kk - a	pieni	itse laadittuja
	Siltarekisteri	koko maa	suuri	res / amm	k - pr	min	kk - a	pieni	Tiel. ja muilta poimittu
	Vedenottamot jne	alueet	suuri	res / amm	k - pr	min	kk - a	pieni	itse laadittuja
	Lennätys- ja laskupaikat jne	alueet	suuri	amm	k - pr	min	kk - a	pieni	itse laadittuja
	Joukon tiedot	alueet	suuri	amm / res	p - MPa	min	h - vrk	suuri	jatkua keskitetty ylläpito

Kuva: Tietokantaan liittyvät paikka- ja ominaisuustietoja hyödyntävät kyselyt.

Osana pioneeritoiminnan johtamislaitteen kehitystyötä oli jo päätetty toteuttaa ilmastoon ja ympäristöön liittyvien aineistotuotteiden kehittämistä. Näiden tarve esitettiin kartoituksessa yhteensä 26 kertaa. Kyse on lähinnä interpoloimalla toteutettavista tilastollisista aineistoista. Pioneereja lukuun ottamatta mahdollisuutta reaaliaikaisiin tuloksiin tai jopa ennusteisiin ei tuolloin tunnustettu.

taso	nimitys	laajuus	tarkkuus	tekijä	org	teko aika	voimassa	muutos	aineistot
	Tilastolliset tuotteet								
0	Roudan paksuus	koko maa	pieni	TopK	pv	h/ Pepa	kk - a	pieni	Syke havaimot
0	Lumen paksuus	koko maa	pieni	TopK	pv	h/ Pepa	kk - a	pieni	Syke havaimot
0	Jään paksuus	koko maa	pieni	TopK	pv	h/ Pepa	kk - a	pieni	Syke havaimot
0	Lämpötila	koko maa	pieni	TopK	pv	h/ Pepa	kk - a	pieni	Syke havaimot
0	Sademäärä / päivät	koko maa	pieni	TopK	pv	h/ Pepa	kk - a	pieni	Syke havaimot

Taulukko: Aineistotuotteiden muodostamistarve.

5.3.2 Analyysitarpeet komponenttiarkkitehtuurin perustana

Hitaasti muuttuvia tietoja tuottavat analyysit on mahdollista tunnistaa kartoituksen perusteella. Näin aikaansaadaan luokka, jossa standardointia vaatii lähinnä muodostettava samalla komponenttirajapintana toimiva lopputuote. Vaativin tämän tyyppisistä tuotteista on maastomallin muodostaminen. Vastaavan tyyppinen rakenne on esimerkiksi kulkukelpoisuus-, linnoitettavuus- ja maastoutettavuusanalyyseissa, joissa ollaan valmiita tukeutumaan toisen tekemiin tuloksiin. Näin toimijoiden välille syntyy luonnostaan hierarkkinen rakenne.

Näkemä-, reittioptimointi- ja radiokuuluvuusanalyysit muodostavat ryhmän, joka on järkevää toteuttaa yleisinä palveluina. Kehittämisen kannalta haasteen muodostaa skaalautuminen usealle käyttäjätasolle, jolloin sovellusten määrä kasvaa nopeasti. Ratkaisuna voisi olla mix client -tyyppinen ratkaisu, joka perustuu toteutuksen jakamiseen tai rinnakkaiseen toteutukseen eri tasoilla. Osa tarpeista voitaisiin myös toteuttaa lähtöaineiston paloittelulla, luokittelulla, siirtotiedoston luonnilla ja niihin perustuvalla käyttäjän toteuttamalla iteroinnilla.

Toimialakohtaisesti toteutettavia ovat esimerkiksi suojelun, viestin, ilmatorjunnan, tykistön ja pioneerien resurssianalyysin tyyppiset ratkaisut, jotka skaalautuvat yhtymän lisäksi alajohtoportaille. Analyysien rinnakkaisella käytöllä nähtiin suuri merkitys rinnakkaisen johtamisprosessin toteuttamisessa ja tarkentamisessa. Osa analyyseja kuten tulen käyttö voi rakenteena koskea muutamaa toimialaa.

Järjestelmäkohtaisista analyyseista yleisimpiä ovat erilaiset yhdistelmät, joilla pyritään vastaamaan hyvin yleisen tason kysymykseen. Näiden toteuttaminen ei kuitenkaan ole käytännössä mahdollista ilman hierarkkista rakennetta, joka perustuu jo muualla tehtyihin toimialakohtaisiin ja yleisiin analyysihin.

5.4 Tulosten visualisointi: haasteena ymmärtäminen

Yhdysvalloissa paikkatietojärjestelmien tärkeimpänä ominaisuutena sotilaallisen päätöksenteon tukemisessa pidetään analyysien lisäksi visualisointia, jolla tarkoitetaan tilanteen oikeaa ymmärtämistä. Kun ensimmäiset maastoanalyysit saatiin pioneeritoiminnan johtamislaitteen kautta käyttöön, visualisoinnin tutkimus [Mik00] käynnistettiin yhteistoiminnassa Teknillisen korkeakoulun ja Topografikunnan välillä.

5.4.1 Yhtenäisen esitystavan muodostaminen

Lähtökohdaksi maastoanalyysien visualisointiin otettiin rasterimuotoinen tuote, joka luokitellaan parittomaan määrään luokkia. Luonteensa mukaisesti sotilaallisella maastoanalyysillä vastataan yleensä hyvä - huono asteikolla analysoitavan asian suhteen, jolloin esitystapa voidaan pyrkiä standardoimaan.

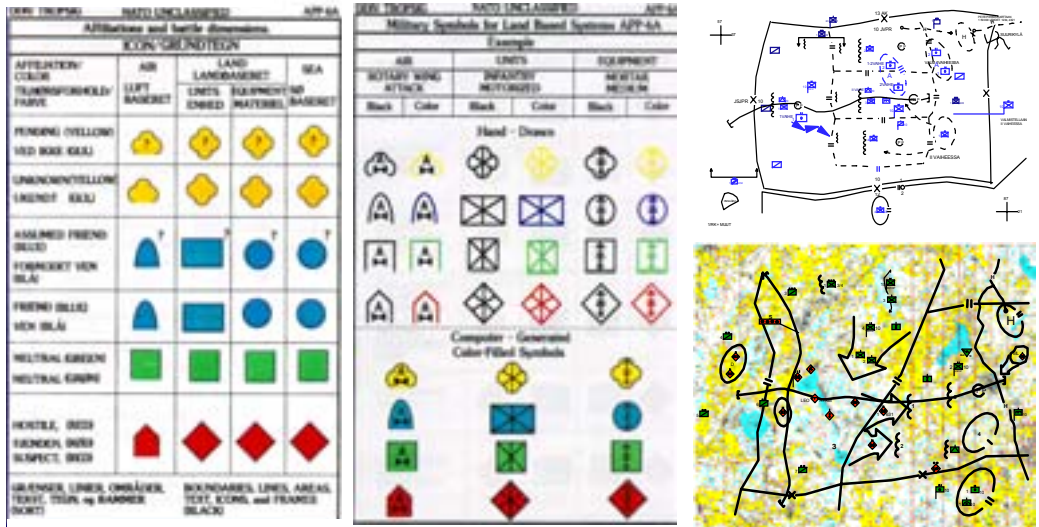
Yleisen esitysstandardin mahdollisuuksina nähtiin:

1. Yhden esitystavan opettaminen sotilaspäätäjille, jolloin selitteen lukeminen on tarpeetonta ja tulkinta nopeutuu. Lisäksi päätettiin pyrkiä tilanteeseen, jossa värit muodostavat ihmisen mielestä luonnollisen järjestyksen.
2. Käytettyjen värien ja esitystapojen valehtelemattomuuden varmistaminen käyttäjien kannalta: esitys ymmärretään oikein.
3. Taktisten merkkien käyttäminen analyysitulosten päällä siten, että ne eivät sekoitu taustan kanssa.
4. Käyttäjän orientaatiota tukevien tietojen vakiointi.
5. Tulostuksen ja kuvaruutukartan esitystavan yhtenevyyden varmistaminen.

Ensimmäinen kohta kuvaa toiminnallisen tavoitteen, jonka kautta työ helpottuu tulevaisuudessa. Esitystavan omaksuminen helpottaa opetusta ja tukee osaltaan intuition kehittymistä. Luonnollisen järjestyksen syntyminen on erityisen tärkeää rasterikartoissa, joissa vierekkäisiä pikseliyhdistelmiä on paljon ja käyttäjälle pitää syntyä oikea kuva alueellisten kontrastien tosiasiallisesta syvyydestä [vrt Kea96]. Liikkeen tapaisia ilmiöitä kuvattaessa on lisäksi tärkeää yhtenäisempien alueiden syntyminen käyttäjän mielessä siten, että ne yhdistyvät useasta luokasta. Toisaalta pienetkin yksittäiset suotuisat tai epäsuotuisat alueet on kyettävä huomaamaan, kuten esimerkiksi helikoptereiden laskeutumisalueanalyysi luvussa 8 osoittaa.

Työ aloitettiin määrittämällä kielletyt värit, joista pääosa muodostuu taktisista merkeistä. Käytettävät värit on standardoitu [MIL2525A] ja niitä on määritetty tällä hetkellä yhteensä 88 kappaletta RGB-arvoina. Pääväreinä ovat omia kuvaava sininen, vihollis-

ta kuvaava punainen, keltainen tuntematon, vihreä puolueeton ja musta, jolla piirretään rajat, teksti ja kehukset.

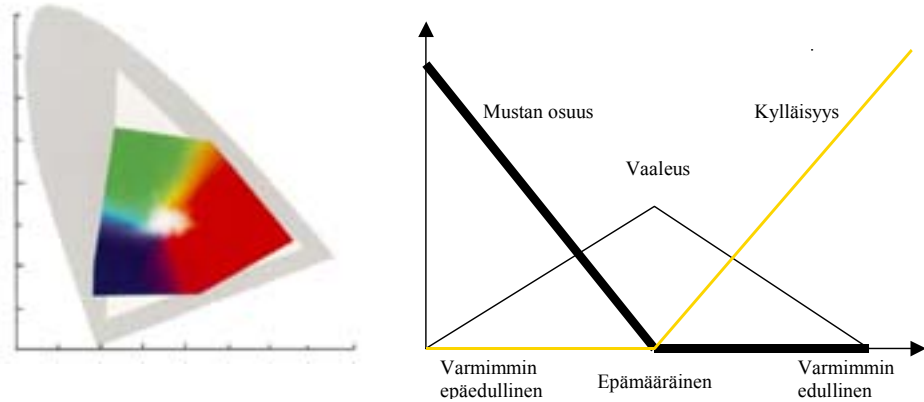


Kuva: MIL STD-2525A tapa esittää taktiset merkit ja niiden soveltamista. Oikealla on perustilannepiirros ja merkien käyttö taktisen 1:50k referenssikartan päällä.

Tutkimuksen alussa määritettiin suomalaisten sotilaiden kokemat luonnolliset karttaesitysvärit: vesistöjen vaalea sininen ja peltoja kuvaava keltainen, joka poikkeaa muiden maiden käytöstä. Keski-Euroopassa vihreä kuvaa metsää eikä keltaista käytetä kartoissa, meillä perinne on päinvastainen metsien suuren määrän vuoksi. Keltainen on muutenkin karttavärinä hankala, koska sen osuus tulkitaan valovoimansa takia yleensä liian suureksi, jolloin kartta itse asiassa valehtelee. Käyttäjien yleisin värisoikeuslaji, puna-vihersokeus, rajoitti myös mahdollisia värejä. Oman vaatimuksensa väripaletteille asettaa tulosten tarkastelu sekä luonnonvalossa että loisteputkityyppisessä keinovalossa. Tulosteita voidaan tarkastella myös punaisessa valossa, jonka vaikutus ihmisen hämäränäkökykyyn on vähäisin. Lisätavoitteena oli sellaisen skaalan löytäminen, joka erottuisi harmaatuloosteessa ainakin kolmiluokkaisena esityksenä.

Vaatusuoruuksien ja tulosten samenvärisyydestä rajoittaa mahdollisia värejä siten, että niiden tulee olla määriteltyinä sekä RGB että SMYK-arvoina²¹. Tähän liittyy tulostimen ominaisuuksien hallinta käyttämällä laiteriippumatonta XYZ-profiilia ja siihen liitettyä tulostimen profiilia. Näyttöjen lisäksi on huomioitava myös videotykkiesitys, joka yleistyy koko ajan myös liikkuvissa esikunnissa. [Sum00]

²¹ RGB, Red-Green-Blue on näyttöjen ja SMYK, syan-magenta-yellow-black tulostimien tapa muodostaa eri värejä. Tapojen väriavaruudet poikkeavat toisistaan ja ovat lisäksi osin laitesidonnaisia.



Kuva: Likimääräinen kuva RGB- ja SMYK-väriarvojen yhteisestä väriavaruudesta 24-bittisellä näytöllä ja painatuksessa. Oikealla on esitetty väriteorian mukainen kylläisyyden, mustan ja vaaleuden osuus luokittelun funktiona. [Mik00]

Tavoite onnistuneesta viestinnästä muodostui tutkimuksen pääkysymykseksi. Mitattavaksi asetettiin luonnollisen asteikon lisäksi oikeiden pikselisuhteiden syntyminen käyttäjän tekemässä tulkinnassa. Keates [Kea96] on määrittänyt keskeisiksi tekijöiksi viestin koodaamisen, tulkinnan ja saman kielen puhumisen. Toisaalta myös esteettisyyden kokeminen [vrt Hat87] on ihmisen intuition hyödyntämisessä merkittävä, vaikka sen mittaaminen onkin edellisiä vaikeampaa. Tutkimuksessa tilannetta helpotti joukon homogeenisuus ja mahdollisuus kouluttaa oikea tulkinta.

Kartan näkeminen voidaan ihmisen kannalta esittää vaiheittaisena prosessina. Detektio eli symbolien huomaaminen syntyy ensin edellyttäen riittävän vahvoja ärsykeitä. Tämän jälkeen symbolit tulee pystyä erottamaan toisistaan (diskriminaatio) ja identifioimaan esimerkiksi taktisten merkkien tulkinnan avulla. [Kea96] Kun analyysitulokset esitetään symbolien alla, merkittäväksi nousee myös maaston hahmon tunnistaminen (rekognitio) ja sen liittäminen symbolista tulkittuun ilmiöön [vrt Hat86]. Lopussa tapahtuu tulkinta, jonka avulla käyttäjä kykenee ymmärtämään tuloksen esittämän viestin, syntyy Yhdysvaltojen määritelmän mukainen visualisointi.

Värisuunnittelussa pyrittiin alusta saakka kahden värin skaalaan, jotta ihmisen työmuistin pieni kapasiteetti riittää analyysituloksen tulkitsemiseen [vrt Hat87]. Lisäksi tuli huomioida muiden käytettävien värien ja analyysivärien yhteisvaikutus lateraali-inhibition²² vaikutuksesta [Kea96]. Hyvää ja huonoa kuvaavien värien pitää myös olla vahvuudeltaan tasapainossa [vrt. Mon91], koska tutkimuksen tulosten perusteella pa-

²² Lateraali-inhibitiolla tarkoitetaan silmän kontrastiherkkyttä kuvion reunojen suhteen, jolloin esimerkiksi symbolin erottaminen taustasta onnistuu.

taljoonatasolla kartasta hahmotetaan ensin huonoja alueita, joita toiminnassa pyritään välttämään, kun taas yhtymätasosta ylöspäin huomio kiinnitetään ensin suotuisille alueille, joita operaatiossa voidaan hyödyntää ylivoiman saavuttamiseksi. Asia on loogisesti ymmärrettävissä tarkastelemalla vastuualueiden suhteita: yhtymän kymmenkunta pataljoonaa kattavat kokonaisalueesta alle 5% osuuden.

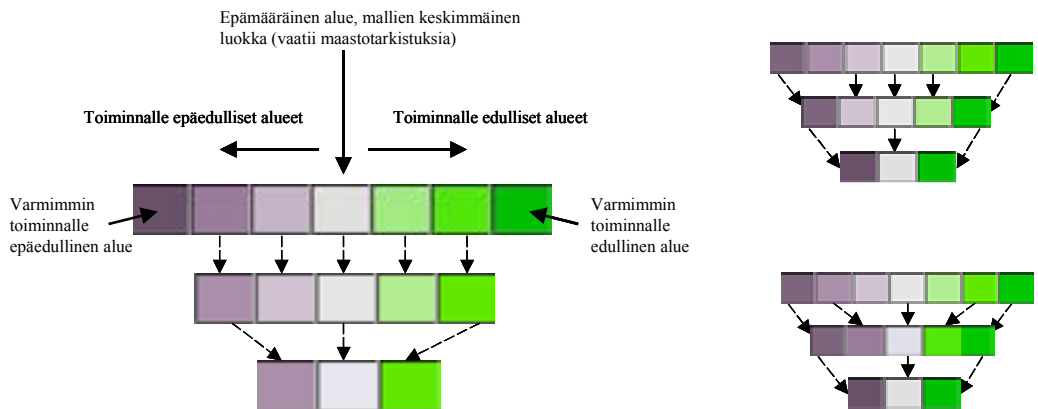
Värien dynamiikka ja sen avulla synnytettävä etäisyysasteikko voidaan muodostaa sävyominaisuuksien, vaaleusasteen ja valaistusolosuhteiden avulla. Lisäksi värien tunnevaikutuksia ja kylmyyden kokemista voidaan käyttää hyväksi yhdistelmien valinnassa. Rajaamalla edellä kuvatut värit pois, päädyttiin "mystillisen" violetin, "rauhottavan" vihreän, "ärsyttävän" punasävyn, "neutraalin" vihreän ja "arkisen" harmaan käyttämiseen testipalettien muodostamisessa. Kombinaatiot muodostettiin Imhofin [Imh82] kokemusperäisten sääntöjen perusteella.

Esityksen oikea ymmärtäminen ja preferoidut yhdistelmät testattiin kolmella eri organisaatiotason ja aselajien asiantuntijoille suunnatulla kierroksella, jonka jälkeen tulokset verifioitiin sekä vertailulla että suhdemäärytyksillä käyttäen 55:tä Maanpuolustuskorkeakoulun esipuseerikurssin oppilasta. Asiantuntijat tarkastelivat kolmea sotilaallista organisaatiotasoa, noin 100 km²:n laajuista pataljoonaa 1:50k referenssillä, 100 km x 300 km alueella toimivaa yhtymää 1:250k referenssillä ja 50% Suomen pinta-alasta kattavaa maanpuolustusalueita 1:1M mittakaavassa.

Lopuksi määritettiin esitys vektorimuotoisen referenssiaineiston määrittämiseksi eri mittakaavatasoille. Tätä varten eri käyttäjät määrittivät oman toimintansa kannalta oleelliset maastopiirteet, joiden avulla analyysitulosta voidaan kohtuullisesti käyttää normaalin kuvaruutukartan tapaan. Tiestön, nimistön ja korkeuskäyrien lisäksi tutkittiin mahdollisuutta varjostuksiin sekä aukeamaastoa ja suota osoittavan viivoituksen käyttöä analyysituloksen päällä. Näiden tekijöiden todettiin muodostavan perustan sotilaan kartan tulkinnalle. Vaikka käyttäjäkohtaisen oman kartan muodostaminen on nykyisillä tekniikoilla mahdollista, toiminnan nopeutumista ja vakiointia pidettiin hyvänä tavoitteena.

5.4.2 Rasterimuotoisten maastoanalyysien väristandardi

Väristandardin perusideana on parittoman luokkamäärän käyttö joko 3, 5 tai 7-portaisena. Keskelle jätetään aina epävarma luokka, joka toimii jakajana suotuisten ja epäsuotuisten tilanteiden välillä. Skaala voidaan tulkita sekä järjestysasteikkona että kuvatun ilmiön suotuisuuden tai epäsuotuisuuden todennäköisyytenä. Lisäksi vesistöille ja asutuskeskuksille varataan omat värit.

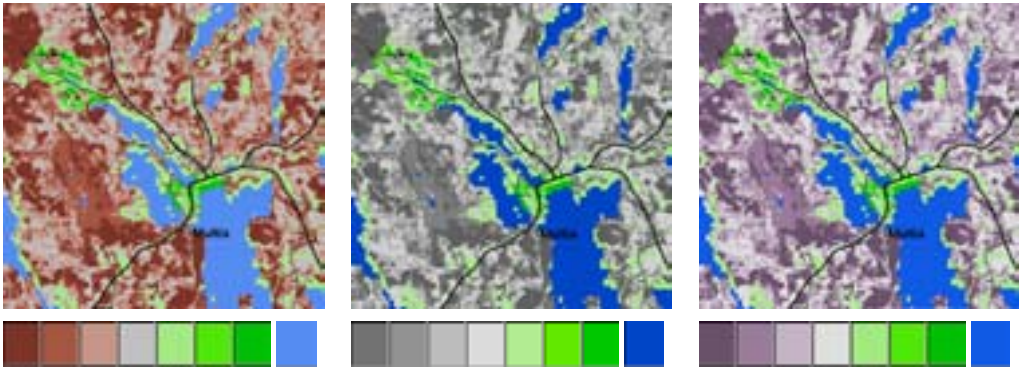


Kuva: Väriskaalan perusidea. Parittomalla määrällä luokkia varataan keskimäinen luokka epävarmalle tiedolle ja mahdollistetaan 3 / 5 / 7 luokituksen johdonmukainen yleistäminen. Luokat voidaan tulkita sekä suotuisuusjärjestyksenä että tässä esitettynä todennäköisyytenä. [Mik00]

Tutkimuksessa määritettiin yhteensä 29 erilaista väripalettia käyttäen vastaväri, kylmä-lämmin ja vaalea-tumma rinnastuksia. Lisäksi selvitettiin assosiaatiota, luokkien määrän erottelua, luonnollista järjestystä, oikeita suhteellisia osuuksia ja merkkien erottuvuutta. Lopullinen vaihtoehto asteikon muodostamiseksi syntyi seuraavasti:

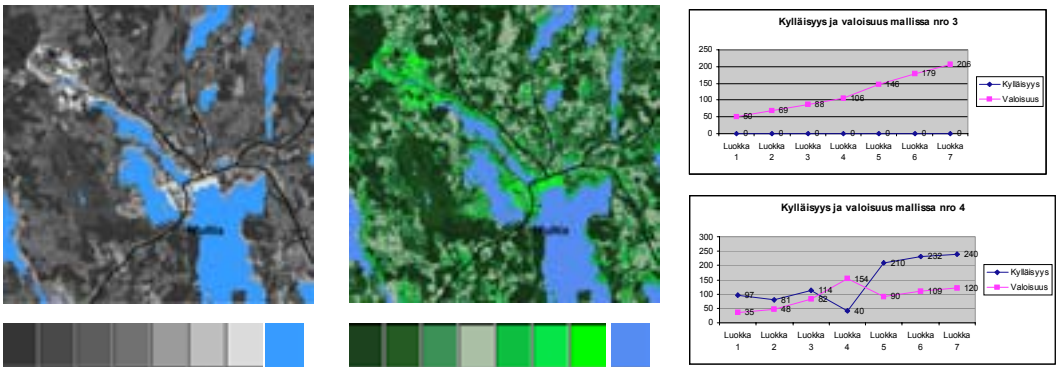
- Harmaalla kuvataan aina epämääräistä luokkaa, valkoinen muodosti liian suuren kontrastin läheisten värien kanssa, joiden määrä yliarvioitiin.
- Toiminnalle epäsuotuisat alueet kuvataan joko punertavan ruskeilla tai violetteilla sävyillä.
- Toiminnalle suotuisat alueet kuvataan vihreän sävyillä, jotka ovat harmaan ohella käyttökelpoisia myös yksiväriesityksiin.
- Useampaa kuin kahta väriä sisältävät vaihtoehdot hylättiin, koska niillä ei saatu muodostettua luonnollista asteikkoa ja naapurien erilaiset yhdistelmät yhdessä taktisten merkkien kanssa muodostuivat monimutkaisiksi hallita. [vrt Tuf97]

Tutkimuksen perusteella päädyttiin kolmeen mahdolliseen väriyhdistelmään ja kahteen yksiväriesitykseen. Näistä punaruskea - vihreä osoittautui parhaaksi suhteellisten osuuksien tulkinnan suhteen ja violetti - vihreä miellyttävimmäksi.



Kuva: Esitetyt väryhdistelmät. Vasemmalla oleva punaruskea - vihreä todettiin yksiselitteisimmäksi, oikealla oleva violetti - vihreä miellyttävimmäksi. [Mik00]

Yksiväriesitysten ongelmaksi todettiin luokkien liian suuri määrä seitsemällä esitettynä, viidellä ja varsinkin kolmella luokalla tulokinnan tarkkuus on riittävä. Kylläisyys ja valoisuus muodostavat erottelun perustan.



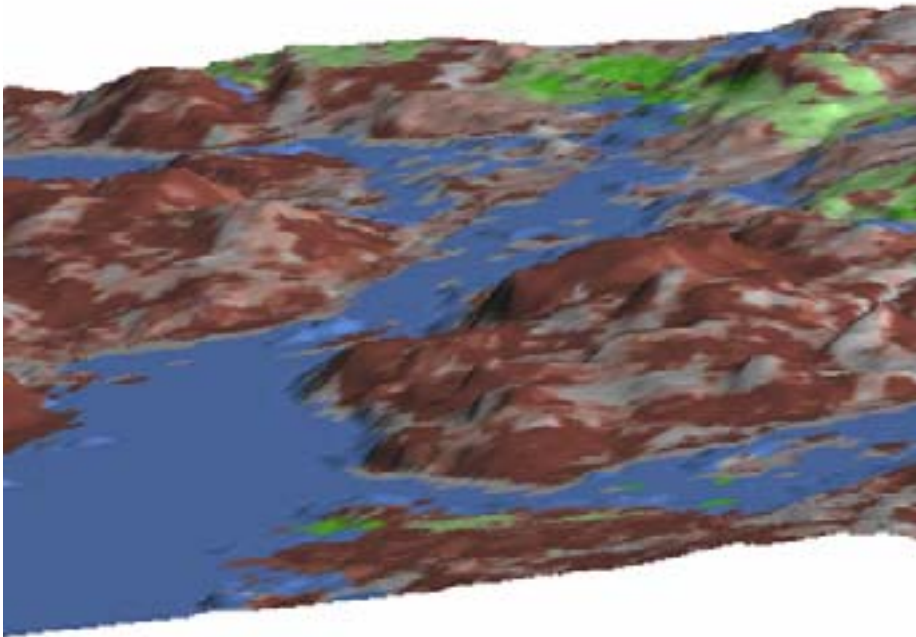
Kuva: Esitetyt yksiväriskaalat. Harmaakuvauksessa (malli 3) kylläisyys ja valoisuus ovat lineaarisia, vihreässä vain keskimäisen luokan harmaan poikkeaa tästä. [Mik00]

Analyysiväristandardi on ollut käytössä yli vuoden ajan ja se on osoittautunut käyttökelpoiseksi. Huonona piirteenä pidetään kuvien erottamista toisistaan, kuvahan ei siinä paljasta analysoitavaa ilmiötä. Analyysiin on liitettävä mukaan metadata, joka sisältää ilmiön lisäksi ainakin asetusparametrit ja luokkien suhteelliset osuudet. Laadittu sanallinen tulkinta on hyödyllinen lisätieto jatkokäyttöä ajatellen.

5.4.3 Kolmiulotteisuus lopullisena tavoitteena?

Yhdysvalloissa on visualisoinnissa voimakas pyrkimys käyttää 2½D esityksiä useimmissa tilanteissa. Näin pyritään esittämään varsinkin tilanteet, jossa päättäjät viedään maastoon ja syntyvä perspektiivi loittonevine kohteineen on tärkeää [USA01]. Esitystavan merkitys näkyy myös Terrabase -ohjelman ominaisuuksissa [Terra]. Japanissa vastaava tarkastelu koetaan tärkeäksi maan suurien korkeusvaihteluiden takia.²³ Suomessa ominaisuutta ei vielä ole hyödynnetty johtamisjärjestelmissä.

Osana visualisointitutkimusta selvitettiin käyttäjien mielipiteitä 2½D esityksen tuottamasta lisäarvosta analyysien tulkinnaissa. Mahdollisuuksia pidettiin merkittävänä ja yli puolet vastaajista asetti sen arvioinnissaan perinteistä esitystapaa paremmaksi. Esitystapa mahdollistaa myös korkeuden esittämisen ilman käyrästöjä, joiden todettiin referenssinä hämärtävän liikaa analyysituloksen tulkintaa. Korkeussuhteet todettiin oleelliseksi tiedoksi sekä viestin että panssarintorjunnan ja valvonnan kannalta.



Kuva: Punaruskea-vihreä värimalli esitettynä 2½D tarkastelussa. [Mik00]

Koska analyysituloksesta ei voi päätellä pikselin epäsuotuisuuteen johtavia tekijöitä suoraan, pystytään 2½D esitystavalla lisäämään tämä informaatio esitykseen orien-

²³ Eversti Iskanius kertoi tutustumismatkallaan vuonna 2000 juuri tätä uutta piirrettä korostetun ja esittelymateriaalista lähes puolet käsitteli kyseistä ominaisuutta. Erityisesti perspektiivikuvien tehokkuutta pidettiin hyvänä perinteiseen karttaesitykseen verrattuna.

toinnin helpottumisen lisäksi. Linnoittamisen kannalta ominaisuus on erityisen merkittävä, koska asemia ei haluta rakentaa vastarinteeseen tai myötärinteen keskelle, jossa suojainen liike on tulen alla vaikeaa.

Taktisissa simulaattoreissa 3D visualisointi on kehittyvä trendi ja ominaisuus on mahdollista saada nykyisin useisiin järjestelmiin [vrt New00]. Suomessa tällä alalla on perinteet lähinnä asetason ja taisteluteknisen tason järjestelmissä.



Kuva: Perinteinen tapa 3D simulointiin ilmatorjuntajaoksen kouluttamisessa. Copyright Insta Visual Solutions.

Mahdollisuus digitaaliseen maastontiedusteluun taistelun aikana ja orientointiin on ollut tutkimuksen kohteena muun muassa Maanpuolustuskorkeakoulun esikunta- ja johtamisharjoituksissa. Esittelyyn on käytetty SimCore -integrointialustaa, johon maailma luodaan MaPuTu aineistosta ja maastotietokannasta. Lisänä voidaan käyttää myös satelliitti- tai ilmakuvia. 3D-esityksen vahvuutena simulaattorin tapaan toteutettuna on ainakin seuraavia mahdollisuuksia ja käyttötapoja [HEKO01a, vrt TVMP]:

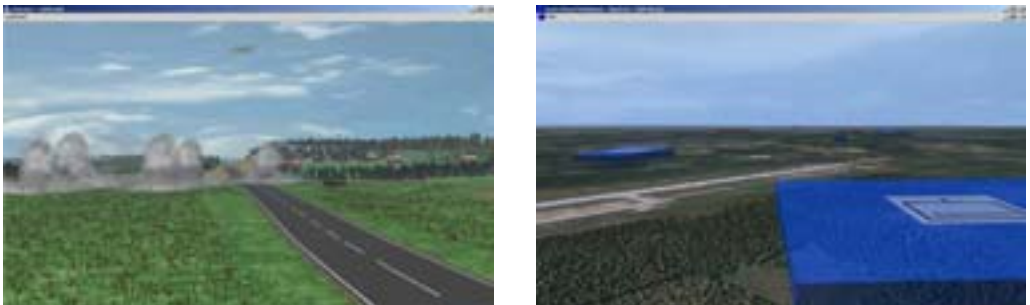
- Näkymä voidaan muodostaa oman tai vihollisjoukon "silmin", jolloin käyttäjällä on mahdollisuus tarkastella myös tilanteen rajoituksia.
- Analyysien tulokset voidaan tarkistaa ainakin johdonmukaisuuden osalta ihmisen kokemukseen perustuvalla päättelyllä. Aineistovirheitä ei näin voida poistaa, mutta niiden epäjohdonmukaisuus voidaan havaita.
- Näkemäanalyysissa erityisen vaikeaa tilannetta katsoa metsän läpi, sisään tai sisästä voidaan arvioida myös 3D esityksen kautta. Analyysiketjussa 3D-visualisointi toteutetaan ennen varsinaista maastontiedustelua.
- Maastoon siirtyvät joukot on mahdollista perehdyttää ennalta tilanteeseen. Tekijällä on suuri merkitys esimerkiksi helikopterikuljetuksissa, joissa toiminta las-kualueella ja ohjusten tuliasemien etsintä on tapahduttava nopeasti.
- Visualisoinnissa on mahdollista kuvata myös ihmiselle näkymättömiä ilmiöitä kuten ilmatorjunnan tulialueiden rajoja, kaasupilviä tai radioaaltojen kenttävoi-

makkuuksia. Myös savun, sumun tai sateen aiheuttamia rajoituksia voidaan visualisoida.

- Visualisoinnilla on mahdollista analysoida esimerkiksi helikopterin lentoreitin suunnistettavuuden varmuutta ja sähkölinjojen suuntautumista, jotka on vaikea mallintaa analyysifunktion osaksi.



Kuva: Taktisessa simulaattorissa on parhaimmillaan mahdollisuus säätää resoluutiota tarkasteluetaisyyden mukaisesti ihmiselle luonnollisella tavalla. Oikealla koeluontoinen taktisten merkkien visualisointi joukon käyttöalan mukaisessa koossa. Copyright Insta Visual Solutions.



Kuva: Savun ja joukon tulialueen reunan kuvaaminen simulaattorilla. Copyright Insta Visual Solutions.

Teknisesti visualisointi kuvatulla tavalla on mahdollista toteuttaa kaikissa johtamisjärjestelmissä, joista joukkojen paikat, kuvattava merkki ja käyttöalan tiedot voidaan saada ulkopuoliseen järjestelmään. Aineistojen sisään luvun hitaus on edelleen simulaattoreiden heikkous. Sen sijaan osa nopeuteen ja aineistojen yhdistämiseen liittyvistä ongelmista on ratkeamassa [vrt. Gah99].

5.5 Komponenttiarkkitehtuuri tavoitetilana

Huonosti yhteensopivat ja monoliittiset järjestelmät aiheuttavat tilanteen, jossa asiat tehdään useaan kertaan lisäksi siten, että niiden liittäminen tietojen tasolla yhteen on vaikeaa. Kun vielä resurssit ovat rajalliset, jää testaaminen usein heikoksi ja toisaalta hyväksikään todettuja osia kyetä antamaan toisten järjestelmien käyttöön. Ongelmaan on mahdollista puuttua käyttämällä komponenttiarkkitehtuuria kehyyksenä. Tässä osiossa luodaan ensin yleiskatsaus arkkitehtuuriin sinänsä ja esitellään arkkitehtuurin toteuttamiseen hahmoteltu toteutusmalli sekä sen käyttäminen COTS-perustalta paikkatietopalvelujen toteuttamiseen tulevaisuudessa. Pääpaino osassa on esitutkimus ja vaatimusmäärittelyvaiheissa, joissa palvelut tunnistetaan ja toteutus organisoidaan.

5.5.1 Uuden sovellusarkkitehtuurin asettama toimintatapa²⁴

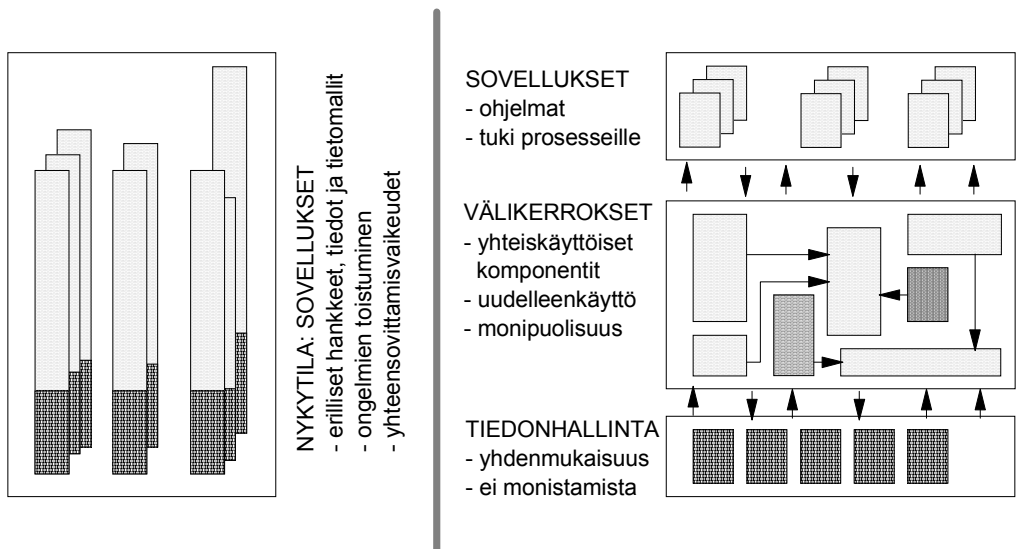
Tiedustelun, valvonnan ja johtamisen alan tietojärjestelmiä on kehitetty Puolustusvoimissa jo kaksikymmentä vuotta. Paikkatieto alkoi liittyä järjestelmiin 1980-luvulla valvontajärjestelmissä ja seuraavaksi muun muassa yhtymän johtamisen ja tiedustelun tietojärjestelmän (JOTI) kehitystyössä. Kehittäminen on tapahtunut erillisissä projekteissa, joissa on toteutettu toimialakohtaisia, monimutkaisia, "kaiken ratkaisevia" ja päällekkäisyyttä sisältäviä järjestelmiä. Hankkeiden kesto aika on ollut pitkä, esimerkiksi JOTI on tällä hetkellä siirtymässä tuotantokäyttöön vastaten vain osaan alkuperäisistä tavoitteista. Tietojen välittäminen järjestelmästä toiseen on varsinkin paikkatietojen osalta räätelöitävä ja siitä on muodostumassa tietynlainen pullonkaula. On kuitenkin todettava, että järjestelmät toimivat ja täyttävät pääosin niille asetetut tavoitteet, ensimmäinen sukupolvi on pian toteutettuna.

Puolustusvoimien tapa kilpailuttaa kehitystyöt ainakin kahdessa vaiheessa ja upseerien suuri vaihtuvuus projekteissa yhdistettynä pitkiin kesto aikoihin on osin johtanut tilanteeseen, jossa luottamus omaan osaamiseen on laskenut [SovA]. Ongelmia ei näinäkään nähdä yrityksissä, vaan tehdyissä vaatimusmäärittelyissä, kehitystyöhön osallistumisessa ja kokonaisuuden hallinnassa. Projekteja johtavien ja niihin osallistuvien upseerien tietotekninen koulutus on ollut usein riittämätöntä tai suunnittelematonta ja järjestelmien luovutus linjaorganisaatiolle sekä käyttöönotto ovat osoittautuneet vaikeiksi. Toimintaprosessien kehitystä on tehty osin irrallaan tietotekniikasta, osin on saatettu toimia suurelta osin uuden tekniikan ehdoilla. Tämä tuskin on ainutlaatuisia

²⁴ Komponenttiarkkitehtuuriin siirtyminen on asetettu Puolustusvoimissa tavoitteeksi johtamisen tietojärjestelmissä, joten sitä käsitellään tässä työssä rajauksena ulkoa annettuna reuna-ehtona. Periaatteet on kuitenkin kuvattu laajasti, koska siirtyminen ei vielä ole alkanut tai edes siihen liittyvät ohjeet ole valmiina.

voimakkaasti kehittyneen tietotekniikan soveltamisessa, samat ongelmat lienee havaittu kaikissa suurissa organisaatioissa.

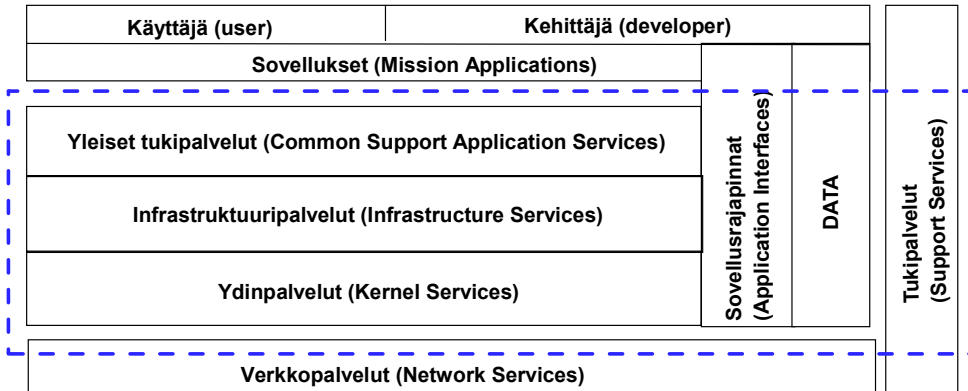
Sovellusarkkitehtuuriprojektin tarkoituksena on määrittää ja tuottaa ratkaisut puolustusvoimien ydintoiminnan vaatiman järjestelmäkokonaisuuden tuottamiseksi. Perusvaatimuksiksi on asetettu skaalautuvuus yli johtamistasojen, fyysinen ja tietotekninen turvallisuus, vikasietoisuus ja toipumiskyky muuttuvissa tilanteissa, hajautettavuus ja osien lyhytaikainen autonomisuus, tehokkuus tukea prosesseja, kokonaisuuden hallittavuus ja yhteentoimivuus sekä liitettävyyys muihin järjestelmiin. Uuden arkkitehtuurin toteuttaminen vaatii uutta avoimuutta, jossa on kuvattu käytettävät suunnittelumenetelmät ja noudatettavat standardit. Suunnittelu ja komponenttien tunnistaminen sekä hallinta on ainakin tiedollisesti keskitettävä. Arkkitehtuurisena ratkaisuna on päädytty komponenttiarkkitehtuuriin, joka toteutetaan loogisten palvelurajapintojen ja välikerrosratkaisun avulla. Kehitysajan lyhentäminen ja ratkaisujen nopea käyttöönotto on väline hallita nopeaa muutosta, joka toteutetaan käyttämällä iteratiivista kehitysmallia. [SovA]



Kuva: Nykytilan ja tavoitetilan arkkitehtuurin kuvaus. [SovA]

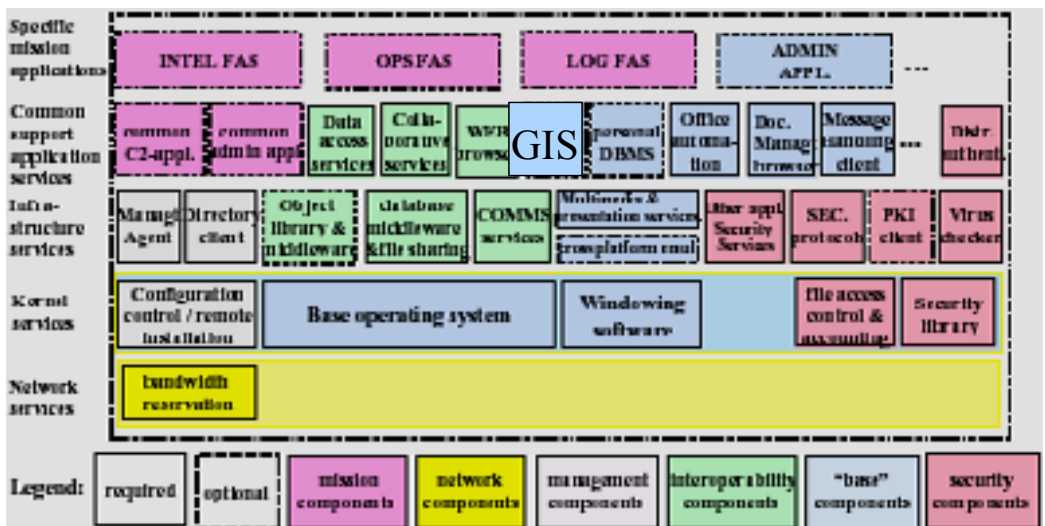
Tavoitetila muodostetaan välitason yhteisen komponenttikerroksen ja tietojen yhteiskäytön avulla. Uudessa ajattelussa sovellus koostuu käyttöliittymästä ja sovelluskoh- taisesta logiikasta, jolla käyttäjän prosessia tuetaan. Välikerroksissa ovat yhteiset toiminnalliset komponentit ja palvelut, kuten tiedonvaihto, tietoturva ja liitokset. Alimpana on tietojen taso, paikkatiedoissa tämä voi olla joko tietokanta tai aineistopalvelin tuot- teineen. [SovA]

NATO on kuvannut avoimen komponenttimallin seitsemällä tasolla: [NC3TA501]



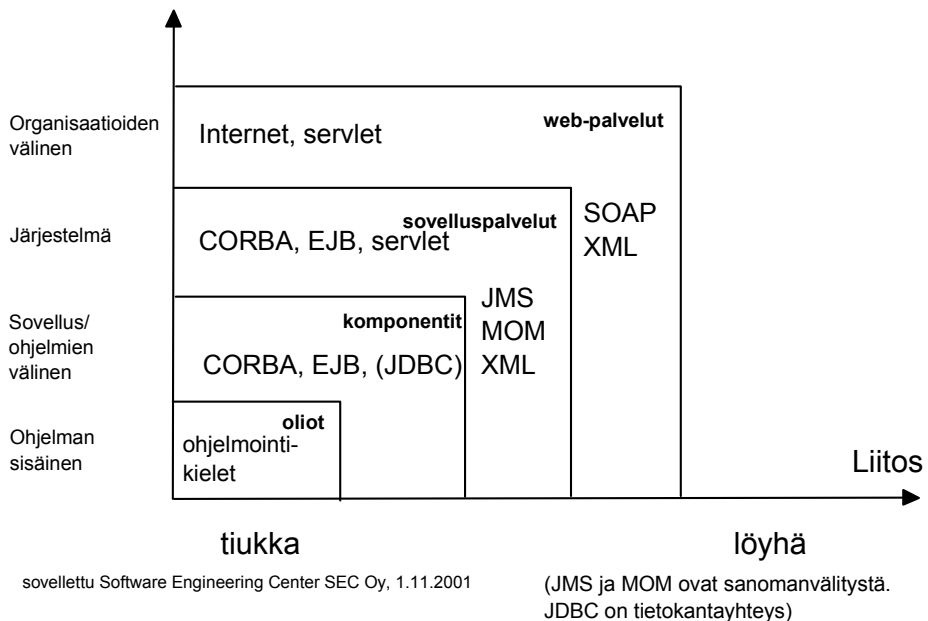
Kuva: NCOE komponenttimalli, yhteinen määrittely kattaa katkoviivalla rajatun alueen.

Ydinpalvelut sisältävät kaikissa alustoissa (platform) pakollisen osuuden kuten käyttöjärjestelmän, turvapalvelut ja segmentoinnin. Infrastruktuuripalveluiden tehtävä on aikaansaada tietovirta järjestelmien välillä, joka voidaan toteuttaa esimerkiksi välitasoratkaisulla. Yleiset tukipalvelut mahdollistavat tietojen yhteisen katselun ja käytön kuten analyysit. Verkkopalvelut kytkevät järjestelmät osaksi digitaalista taistelukenttää. Sovellusrajapinnat (APIs) mahdollistavat integroinnin. Tukipalvelut sisältävät työvälineet, metodit, koulutuksen, tietovaraston, arkkitehtuurin hallinnan (System Management) ja kokonaisturvallisuuden. [NC3TA501] Myös data ja käytettävä sanomarakenne on standardoitu [NC3TA201].



Kuva: NATO-arkkitehtuurilla toteutettu sovellus. Paikkatieto on peruskomponentti yleisen tukipalvelun tasolla, tietokannassa on GIS-laajennus. [NC3TA201]

Komponenttitekniikat voi jakaa neljään kategoriaan. (1) Prosessinsisäiset työase-makohtaiset komponentit ympäröidään esimerkiksi Visual Basic säiliöllä (container), jossa niitä ajetaan, esimerkiksi MapObjects kirjasto toimii näin. (2) Vastaavan toteutuksen voi tehdä myös käyttäen säiliönä sovelluspalvelinta. (3) Työaseman itsenäiset komponentit ovat sovelluksia, jotka tarjoavat palvelunsa toisille ohjelmille esimerkiksi OLE Automationin avulla, osa paikkatietokomponenteista toimii tällä tasolla. (4) Kun itsenäinen komponentti vietään palvelimelle, käytetään yleensä välikerrosta kuten CORBA, DCOM tai RMI. [Uus98] Internet-tyyppinen tietorakenne voidaan nähdä neljännän kategorian metasovelluksena.



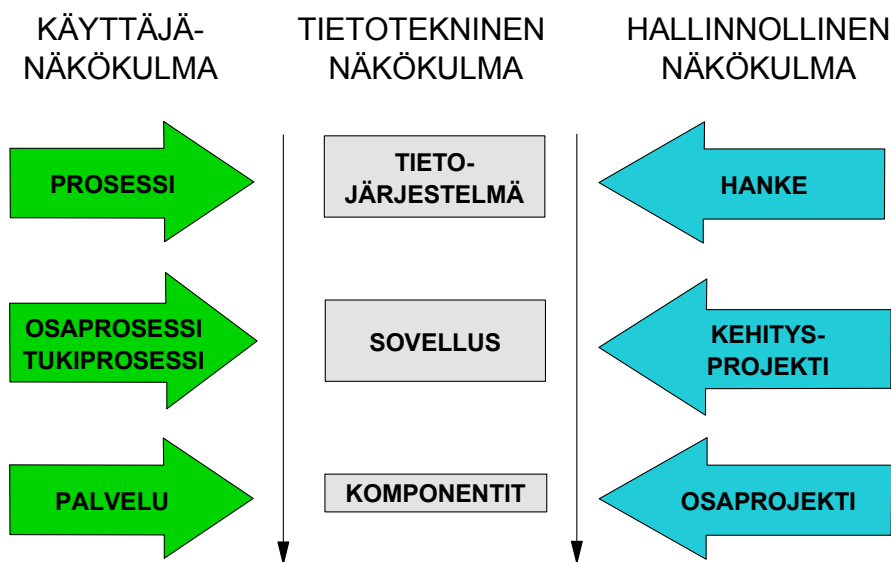
Kuva: Eri tasoiset palveluratkaisut esitettynä liitoksen kiinteyden ja tietojärjestelmän koon mukaisesti.

Tämän työn komponenttiarkkitehtuurin toteutustaso on sovellus- ja järjestelmätasolla. [Uus98]

Komponentilla tarkoitetaan tietyn toiminnallisuuden toteuttavaa, kaupattavissa olevaa ja omavaraista ohjelmiston osaa, jonka ominaisuuksia ovat helppo asennettavuus ja kopioitavuus, käyttömahdollisuus ennalta arvaamattomissa yhdistelmissä, käyttö rajapinnan kautta ja mahdollisuus kutsua yleisellä tavalla. Komponenttia pitää pystyä erikseen ylläpitämään eikä sen vaihtaminen uuteen saa vaikuttaa järjestelmän muihin osiin. Komponentin kokoa ei periaatteessa ole rajattu, pieni komponentti voi esimerkiksi olla C++ luokan olio, keskisuuri ActiveX tai sovelma (applet) ja tietokanta voidaan nähdä suurena komponenttina. Myös kokonainen sovellus tai järjestelmä voidaan paketoita komponentiksi. Arkkitehtuuria luotaessa asiat usein ensin ajatellaan arkkitehtuuritasolla suuriksi komponenteiksi, jotka pilkotaan ja samanlaiset osat yhdistetään

pienemmiksi. [Uus98] Tässä työssä keskeisiä käsitteitä ovat komponentin rajapinta ja sen toteuttama analyysi, jota jatkossa kutsutaan palveluksi. Koska uusi sovellusarkkitehtuuri on vasta muotoutumassa, pääpaino tässä vaiheessa on asetettu palvelujen tunnistamiseen ja ryhmittelyyn. Hierarkkisen mallin tavoitteena on helpottaa tätä työtä.

SovA-projektin alussa todettiin, että käytettävät käsitteet eivät ole vakiintuneet ja ne aiheuttivat jatkuvia väärinymmärryksiä eri toimijoiden välillä. Sotilaallinen toiminta, sitä tukeva tietotekniikka ja tekninen käsitteistö sekä kehitystyön hallinta voidaan liittää toisiinsa seuraavan käsittehierarkian avulla.²⁵



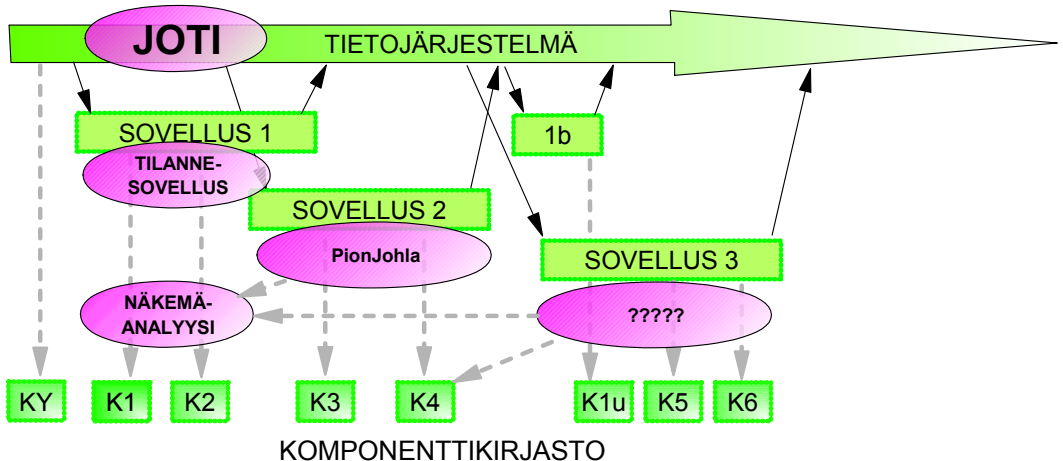
Kuva: Sotilaskäyttäjän, tietotekniikan ja kehitystyön rinnakkaiset käsitteet. [SovA]

Ylimmällä tasolla yhdistetään johtamisprosessi, tukemaan kehitetty tietojärjestelmä ja toteuttava linjaorganisaation ohjaama pitkäaikainen hanke toisiinsa. Esimerkkinä on seuraavassa luvussa kuvattu liikkuvan yhtymän johtaminen, johon liittyy tietojärjestelmän lisäksi koko organisaation ja toimintamenetelmien kehittäminen. Seuraavalla tasolla prosessi on pilkottu osiin, joita tukemaan kehitetään sovelluksia erillisissä, rajoitettuaikaisissa kehitysprojekteissa. Esimerkkinä on yhtymän kannalta Pioneeritoiminnan johtamislaite, joka on yhden aselajin tapa tukea johtamisprosessia.²⁶ Alimmalla

²⁵ Pääosa tässä alaluvussa myöhemmin esitetystä perustuu DI Jukka Uusitalon ja kirjoittajan laatimisvastuulla olevaan tietojärjestelmien sovelluskehittämismalli -asiakirjaan.

²⁶ PionJohlaa voidaan toisaalta pitää myös pioneeritoimintaa tukevana tietojärjestelmänä, koska se skaalautuu ylimmältä tasalta saakka yhtymän alaisiin joukkuetasolle saakka. Näin syntyy matriisimainen rakenne, joka on tyypillinen tapa linja-esikuntaorganisaatiossa eri alojen asiantuntijoihin ja toimialoihin.

tasalla on esitetty palvelut, jotka toteutetaan joko projektien osina tai erillisinä projekteina. Esimerkkinä on luvussa 8 esitetty näkemäanalyysikomponentti. Tasot ovat siinä suhteessa limittäisiä, että palvelu voi sisältää useita komponentteja.



Kuva: Tietojärjestelmä koostuu yleisistä komponenteista ja sovelluksista, jotka käyttävät eri tasoisia komponentteja ja sovelluslogiikkaa. Kuva esittää vaiheittaista kehittämistä, palveluja ja komponenttikirjaston syntymistä ajan kuluessa. [SovA]

Palvelulla tarkoitetaan yhtä tai useampaa prosessia tukevaa toimintaa, joka voidaan loogisesti erottaa omaksi kokonaisuudekseen. Komponentteina toteutettavat palvelut on tässä vaiheessa jaettu kolmelle tasolle, joiden avulla toteutetaan myös niiden kehityksen ohjaaminen. [SovA]

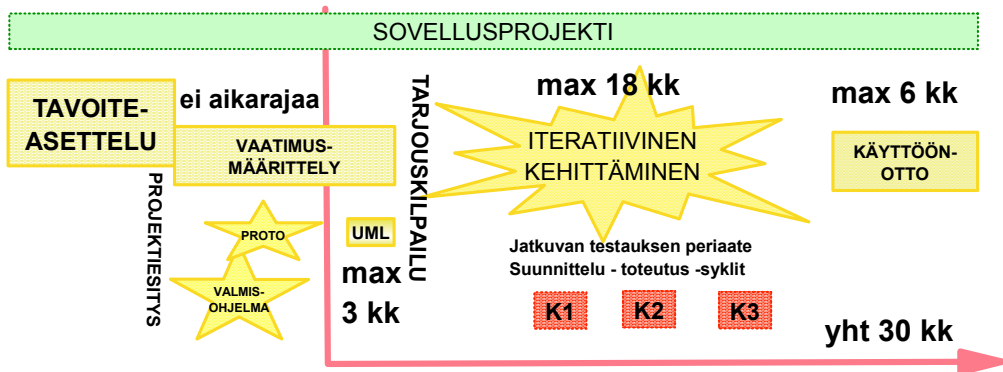
1. Yleiset ja yhteiskäyttöiset palvelut on tarkoitus toteuttaa keskitetysti. Näitä ovat esimerkiksi transaktio, aikasynkronointi, sanomapalvelut ja tietoturva. Paikkatiedossa tälle tasolle voitaisiin sijoittaa esimerkiksi formaatti- ja koordinaatistomuunnokset sekä lähtödatan editointi.
2. Toimialakohtaiset palvelut sisältävät pääosan paikkatietoanalyyseistä. Jotta kehitystyö on rationaalista, pitää tunnistaa yhteiset ominaisuudet ja ottaa nämä huomioon palvelua kehitettäessä. Vastuu kunkin palvelun ylläpidosta, laadun varmistamisesta ja kehittämisestä jaetaan toimialoille.
3. Järjestelmäkohtaiset palvelut, joita muut järjestelmät eivät tarvitse. Nämä kehitetään nykyisellä menetelmällä arkkitehtuurin ohjaamana.

Tavoitteena on, että tietojärjestelmä on koko ajan käytössä. Tästä syystä uusien sovellusten varsinainen toteutusaika pitää olla lyhyt ja ne tulee pystyä nopeasti integroimaan osaksi tietojärjestelmää. Erityisen tärkeää on, että palvelut ja ne muodostava komponenttikirjasto kehittyvät systemaattisesti, jotta uusiin sovelluksiin saadaan valmiita osioita ja uusien vastaavien komponenttien kehittäminen helpottuu.

5.5.2 Sovellusten ja palveluiden kehittämismallin kuvaus

Sovellusprojektien kehittäminen jaetaan neljään vaiheeseen:

1. Tavoiteasetteluvaiheessa esitetään perusteet ja tavoitteet sovelluksen kehittämiseen osana tietojärjestelmää. Vaihe toteutetaan koko prosessin omistajan ohjaamana osana tietojärjestelmähanketta. Tässä vaiheessa päätetään toiminnan muuttamisesta.
2. Vaatimusmäärittelyvaiheessa määritetään sovellukselta haluttu toiminnallisuus. Alkuaika voi olla pitkäkin ja se sisältää tyypillisesti koko osaprosessin kehittämistä esimerkiksi valmisohjelmia tai prototyyppejä käyttäen. Vaihe päättyy UML-kuvaukseen, jonka kestoaika on enintään 3 kuukautta. Tähän saakka kehitystyö tehdään pääosin puolustusvoimissa. Tässä on puolustusvoimien oman työn painopiste.
3. Rakentamisvaiheessa implementoidaan vaatimusmäärittelyn mukainen toiminnallisuus iteratiivisen kehittämisprosessin avulla. Vaiheen ohjeellinen kestoaika on enintään 18 kalenterikuukautta. Prosessilla hallitaan toteutusaika ja pyritään teknologian mahdollisimman tehokkaaseen hyödyntämiseen.
4. Käyttöönottovaihe siirtää projektin tulokset linjaorganisaatiolle integroimalla kehitetyn sovelluksen tietojärjestelmän osaksi. Vaiheen ohjeellinen kestoaika on 6 kalenterikuukautta.



Kuva: Sovellusprojektin toteuttaminen aikaan sitoen.

Ennen vaatimusmäärittelyvaihetta ja siihen liittyviä tutkimuksia, prototyyppejä ja valmisohjelmien käyttöä tehdään projektiesitys, jonka yhteydessä sovelluksen asema määritetään kokonaisarkkitehtuurissa ja kehittäjille esitellään jo olemassa olevat komponentit. Vaatimusmäärittelyvaihe on osa normaalia kehitystyötä, eikä sen toteutustapaan oteta kantaa tässä työssä. Useat projektit ovat tässä vaiheessa pitkään, joistakin ei koskaan kehitetä sovelluksia. Vaatimusmäärittelyn päättää UML-kuvausvaihe, jossa toteutetaan yleinen osa perinteisestä toiminnallisesta määrittelystä, tunnistetaan sovelluksen käyttämät vanhat tai kehitettävät komponentit sekä jaetaan toteutettavat uudet

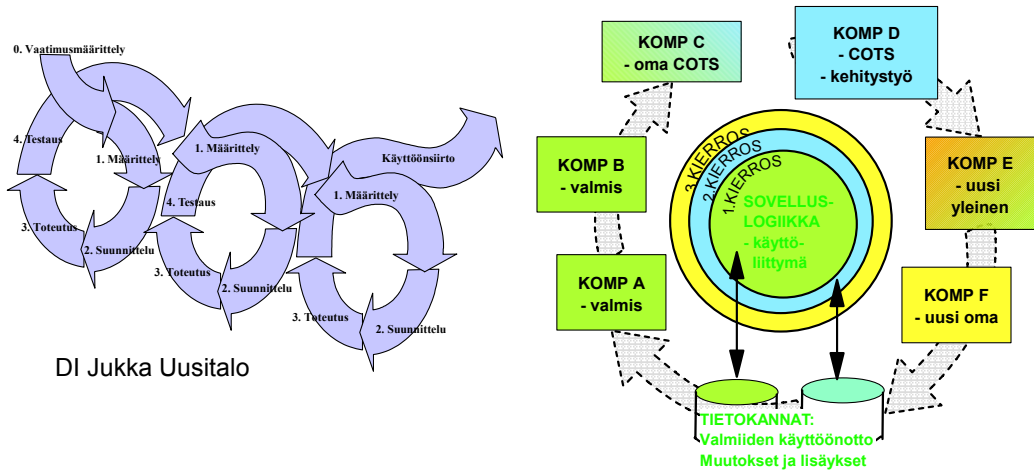
komponentit edellä esitetyille tasoille. Tässä vaiheessa myös päätetään sovelluksen käyttämät paikkatietoaineistot, joiden hallinta osana tuotteistamista on esitetty luvussa 4. Vaiheen onnistuminen on keskeinen uuden sovellusarkkitehtuurin arkkitehtuurin hallinnan ja systemaattisen kehittämisen kannalta. Myös NATO [NC3TA101] korostaa vaiheen tärkeyttä kokonaisuutta muodostettaessa. Tarjouskilpailun perusteella päätetään käytettävä teknologia, jonka jälkeen UML-kuvaus tarkennetaan sen osalta. Osassa palveluja teknologia voi olla valittu jo vaatimusmäärittelyn aikana, jotta jo aiemmin lisensoitua tuotetta voidaan hyödyntää ja käyttää hyväksi prototyyppien aikana tehtyjä algoritmeja.

Toteutusvaiheen tavoitteena on sovelluksen integroiminen osaksi tietojärjestelmää 30 kalenterikuukauden aikana projektin lopullisesta hyväksymisestä, aika sisältää myös kaupalliset menettelyt ja toimittajan valinnan. Mikäli toteutettava sovellus on liian laaja toteutettavaksi määritetyissä tavoiteajoissa, se jaetaan riittävän pieniin osiin ja jokainen osa otetaan käyttöön sen valmistuttua. Sovellusprojekti on mukautettu puolustusvoimien suunnittelurytmiin ja projektipäällikön vaihto on mahdollista UML-kuvauksen aikana, jolloin jäljellä olevat kaksi kalenterivuotta mahdollistavat riittävän sitoutumisen kehitystyöhön. Toteutusvaiheen projektipäällikkö on sovellusprojekteissa yleensä itse prosessin hyvin hallitseva upseeri, joka kykenee itsenäiseen ja nopeaan päätöksentekoon myös asiakkaan ominaisuudessa ja osaa tulkita ja priorisoida vaatimusmäärittelyä kehitystyön aikana. Koska käyttäjä on johtamisjärjestelmissä korostetusti rooli, muita "käyttäjiä" tarvitaan lähinnä tulosten testaamiseen eikä enää määrittelyn tarkentamiseen.²⁷ Projektipäälliköt pitää kouluttaa kehitystyöhön ja projektiryhmään muodostaa riittävä eri alojen asiantuntemus ainakin Tietotekniikkalaitoksesta ja Topografikunnasta.

Sovellus rakennetaan evolutionääriseen kehitysprosessiin²⁸ mukaisesti käyttäen iteratiivista kehittämismallia. Rakentamisvaihe sisältää määrittelyn tarkentamisen, suunnittelun, ohjelmoinnin, integroinnin ja testaamisen useiden kierrosten aikana. Rakentamistyö tilataan yleensä projektityönä ulkopuoliselta päätoimittajalta, integraattorilta, joka voi käyttää haluamiaan komponenttitoimittajia.

²⁷ Pioneeritoiminnan johtamislaitteessa tämä tehtiin erillisen käyttöliittymäprototyypin avulla, jolla eri käyttäjäroolien ymmärrettävyys testattiin. Johtamisjärjestelmissä on huomattava, että käyttäjät muodostavat homogeenisen joukon, jolle toiminnallisuus koulutetaan. Johtamisjärjestelmä ei tässä suhteessa poikkea mitenkään asejärjestelmistä. Kun projektit on pilkottu riittävän pieniksi, projektipäällikön hallinnollinen rooli jää pieneksi.

²⁸ Termillä tarkoitetaan periaatetta, jossa tavoitetta lähestytään kierroksittain tietyllä tavalla toteutusteknologian ehdoilla. Vastakohtana on vesiputousmalli, jossa toteutetaan tarkasti määritelty sovellus. Iteroinnilla tarkoitetaan kehitysajatusta, jossa kuin osakokonaisuus tehdään ensin valmiit osat kytkien ja niitä parantaen siltä perustalta, jolle on päästy enemmänkin kuin määrittelyä tiukasti noudattaen. Kyse ei kuitenkaan ole prototyyppiperiaatteesta vaan enemmänkin inkrementaalista mallista [vrt Hel95] jossa kokonaisuus tehdään ydintä laajentaen. Ensimmäinen kehitysmallia testaava projekti on käynnissä, eikä sen tuloksia ole vielä käytettävissä.



Kuva: Iteratiivisen rakennusvaiheen toteutusperiaate. Vasemmalla periaatekuva, oikealla yksi tapa soveltaa mallia eri tasoisista komponenteista koostuvan sovelluksen kehittämisessä. Yleisiä komponentteja joudutaan kehittämään usean kierroksen ajan, valmiit kannattaa pyrkiä liittämään heti alussa osaksi toiminnallisuutta.

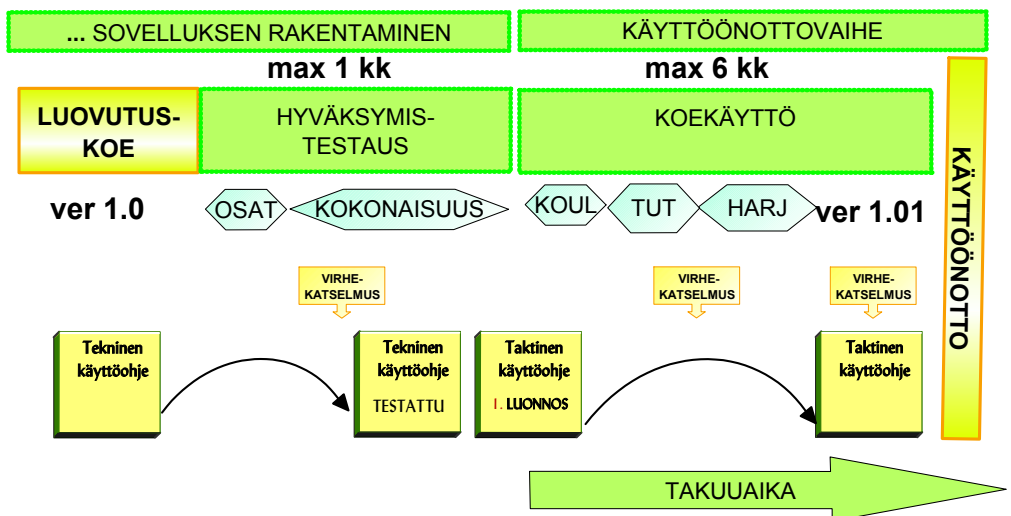
Iteratiivisessa kehittämisessä rakentamisvaiheen määrittelytehtäviin on asetettava puolustusvoimien henkilöitä, joiden on oltava tiiviisti mukana rakentamisprojektissa. Oma henkilöstö tuntee toiminnan tarpeet parhaiten ja näin voidaan hallita myös kokonaisturvallisuuden näkökulma. Työtavassa voi soveltaa aikalaatikkoajattelua (time boxing) [vrt. Tol98], jossa projektille varattu kokonaistyömäärä ositetaan iteraatio-kierroksille ja jokaisessa muodostetussa aikalaatikossa tehdään sen mahdollistama tuotos siten, että tuloksena on aina toimiva ajokelpoinen sovellus. Näin projektin tuotoksena on aina toimiva sovellus, vaikka sovitun kokonaistyömäärän puitteissa ei pystyttäisikään toteuttamaan kaikkea ajateltua toiminnallisuutta. Määrittelyn ja rakentamistyön rinnalla tilaajan on laadittava taktista käyttöohjetta, joka kuvaa, miten sovellusta käytetään sotilaallisten ongelmien ratkaisemiseen ja kiinnittää sen tuettavaan osaprosessiin. Kun kehityksperustana käytetään valmista COTS-komponenttikirjastoa, voidaan kehitystyön riskejä hallita paremmin, osa toteutuksesta on voitu kokeilla vastavalla valmisohjelmalla osana vaatimusmäärittelyvaihetta, paikkatietoaineistojen toimivuus ja riittävyys tiedetään ennalta ja tuotteet on ehditty tarvittaessa päivittämään.

Esitettyä kehitysmallia voi verrata Haikalan ja Märijärven [Hai00] evo-malliin, jonka käynnistäjänä on tässä korkean tason UML-kuvaus. Helokunnaksen [Hel95] esittämä GOMT-oliokehitysmalli²⁹ voidaan ajatuksellisesti rinnastaa esitettyyn tapaan siten, että strateginen tutkimus (strategic study) tehdään tavoiteasetteluvaiheessa, järjestelmän suunnittelu vaatimusmäärittelyvaiheessa ja UML-kuvausvaihe sisältää osan analyysis-

²⁹ GOMT = Geographical Object Modelling Technique.

ta (object-oriented analysis). Näin ajateltuna tässä työssä käsitteinä käytetty palvelu ja sen toteuttavat komponentit pitää rinnastaa määrittelyvaiheen olioihin. Kehitystuotteen valinnan jälkeen tarkennetaan analyysivaihetta ja siirrytään tässä esitettyyn toteutusvaiheeseen. Jos kehitystyön kohteena on jo laadittu sovellus, sitä käytetään lähtökohdaksi vaatimusmäärittelyvaiheessa. Tällöin kuvatut kehityskierrokset voidaan tehdä laajempina ilman prototyyppien ja vertailuohjelmien käyttöä. Myös toimittajan rooli on tällöin laajempi. Merkittävä osa kehitystyöstä on tällöin uusien komponenttien integrointia ja käytettävyyden parantamista tai muokkaamista kehitettävän sovelluksella tuettavan prosessin mukaiseksi.

Käyttöönottovaihe on osoittautunut tehdyissä sovelluksissa pitkäksi ja hankalaksi toteuttaa. Jatkossa se suunnitellaan yhtenäiseksi aikakriittiseksi vaiheeksi, johon vastaanottaja valmistautuu jo sovelluksen rakentamisen aikana. Paikkatietoanalyseissa vaiheen aikana myös testataan tulosten oikeellisuus, jota on käsitelty laajemmin osana kokonaislaatua luvussa 9.



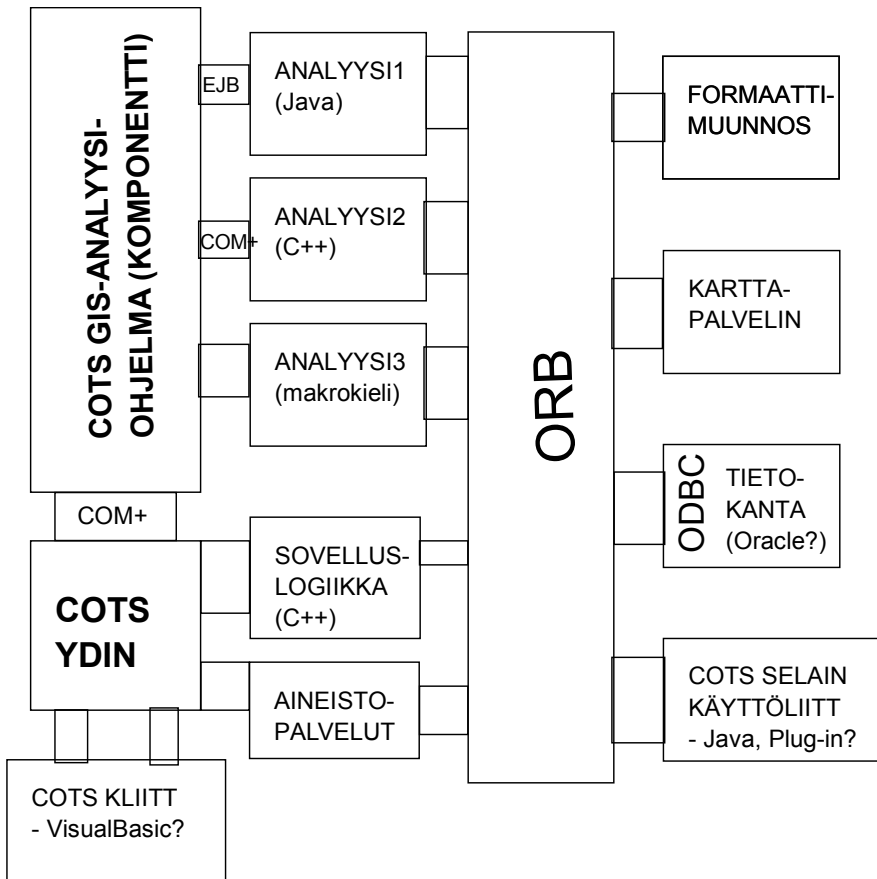
Kuva: Käyttöönottovaihe sisältää linjaorganisaation kouluttamisen, integroinnin tietojärjestelmään, ohjeiden laadinnan ja analyysien oikeellisuuden testaamisen.

5.5.3 Palvelu ja komponentti paikkatietoanalyysien kannalta tarkasteltuna

Paikkatietoanalyysien kannalta palvelurajapinta toteutuu palvelun käynnistävinä parametreinä ja niiden perusteella tuotettuna karttatasona tai objekteina, jolla analyysin tulos esitetään. Näin voidaan muodostaa tiedollisia, loogisia rajapintoja, joiden takana toiminta voidaan toteuttaa komponenttiarkkitehtuurin keinoin. Yleisillä tietomalleilla ja yhteisillä koordinaatistojärjestelmillä sekä formaateilla mahdollistetaan tulosten käsittely eri tavoin toteutetuissa järjestelmissä. Näin tiedot ja niitä jalostavat palvelut voidaan eristää varsinaisista sovelluksista.

Palvelut pitää tunnistaa keskitetysti, ensimmäinen tämän tyyppinen yritys paikkatietoanalyysien osalta toteutettiin vuonna 1999 osana PATU-projektia. Palvelut voidaan toteuttaa erillisinä, mutta varmintä on liittää kehittäminen osaksi jotakin sovellusta, jolloin uusien komponenttien integroitavuus voidaan heti todentaa. Tämä edellyttää arkkitehtuuria hallitsevalta organisaatiolta kykyä tunnistaa palvelut jo vaatimusmäärittelyn aikana ja liittää määrittelytyöhön myös muut samaa palvelua käyttävät tahot. Menettely on kuvattu näkemäanalyysiesimerkissä luvussa 8.

COTS-teknologian käyttö kehityksperustana tekee komponenttiarkkitehtuurin hallinnasta osin monimutkaista. Kirjasto voi olla rakennettu sisäisillä kytköksillä, joiden olemassaolo pakottaa aina asentamaan kaikki komponentit riippumatta ja sovelluksista tulee raskaita. Lisäksi lisensointi sotilassovelluksissa on hankalaa: käyttäjänä haluaisi maksaa vain siitä, mitä käyttää. Teoriassa jokainen palvelu voidaan toteuttaa millä tahansa kaupallisella teknologialla, mutta käytännössä yksittäisissä sovelluksissa tarvittavat lisenssit muodostuvat nopeasti kustannuksiltaan kestäättömiksi ilman yrityslaajuisia lisenssiä. COTS GIS-ohjelmia ei ole suunniteltu käytettäväksi rinnakkain samassa tietokoneessa, jolloin niiden vaatimien yleisten ohjelmakirjastojen hallinta voi muodostua ongelmaksi. Kaupallisissa kehittyneissäkin teknologioissa on käytännössä mahdotonta päästä riippumattomuuteen käyttöjärjestelmästä, joka kuitenkin on komponenttikehityksen yksi tärkeimpiä tavoitteita. Yhtenä ratkaisutapana kuvattuun ongelmaan on luvussa 2.2.3 esitetty Ruotsin GeoPres-konsepti, jossa kaupallista teknologiaa on laajennettu tarvittavilta osin ja kaikki kehitystyö perustetaan siihen.



Kuva: Periaate avoimen väliarkkitehtuurin ja COTS GIS-komponenttikirjastoon tai ohjelmaan perustuvi- en analyysikomponenttien liittämisestä toisiinsa. Käyttäjille voidaan tarjota myös käytetyn ohjelmiston normaalit toiminnot, toisaalta yhdenkin komponentin liittäminen sovellukseen voi tarkoittaa koko kirjasto- on tai ohjelmiston käyttöpakkoa. Esimerkiksi CORBA-ratkaisu kykenee toimimaan hajautetusti eri alus- toilla ja liittämään komponentit palveluina muille sovelluksille, erillinen sovellus voidaan myös rakentaa sisäisesti käyttämään suoraan COTS-komponenttitekniikan COM-rajapintoja, jotka ovat tällä hetkellä selvästi yleisimpiä.

Komponenttien perustana käytettävän COTS-tekniikan tulisi täyttää ainakin seuraavat vaatimukset: [Lon99] [Dav96] [Hen98] [Hel95]

- Komponenttirajapinnat on kuvattu avoimesti, etuna on standardoidun UML-kuvaustavan käyttäminen.
- Komponentit kytetään liittämään sovelluksiin eri välitasoarkkitehtuureilla, joista CORBA laajimpana on välttämätön edellytys.
- Kirjastosta on mahdollista ottaa käyttöön sekä teknisesti että lisensoinnilta vain tarvittavat osat.
- GIS-komponentit ovat upotettavissa sovellukseen.
- Tekniikka kykenee tietojen vaihtoon edellä esitetyillä teollisuusstandardeilla ja jatkossa kehitettävillä yleisillä standardeilla.

- Teknologia kykenee toteuttamaan mahdollisimman laajan osan tarvittavista analyyseista ainakin perustasolla.
- Teknologia on vakiintunut, käytössä testattu ja sen käyttö osataan riittävän laajasti Suomessa. Näin voidaan taata kaupallinen riippumattomuus sekä riittävä tuki kriisiajan organisaatioissa.
- Teknologiasta on saatavilla valmisohjelma, jota voidaan käyttää vaatimusmäärittelyn aikana tukemaan kehitystyötä ja osana johtamisjärjestelmää erillisenä. Helppokäyttöisyys ja tunnettuus ovat etuja reserviläisarmeijassa.
- Analyysikomponentit on mahdollista monentaa ja varmentaa kriisin aikana siten, että joukkoja perustettaessa niille voidaan rakentaa johtamisjärjestelmät käyttäen joko puolustusvoimien omia tai ottomenettelyllä saatuja toimistotietokoneita. Lisensointi perustuu kriisiaikana luotetun käyttäjän ilmoitukseen dongle-tyyppisten järjestelyjen sijaan.
- Teknologiasta on saatavilla ratkaisut eri käyttötarkoituksiin katselusta raskaaseen käyttöön.

Analyysipalvelu kannattaa suunnitella koostuvaksi ainakin kahdesta osasta. COTS-teknologiat tarjoavat monipuoliset perusominaisuudet analyyseiden paikkatieto-osuuden toteuttamiseen. Analyysiparametrit, kuten aseiden kantamat sekä algoritmit kuten tutkasäteilyn vaimeneminen eri olosuhteissa ja maalien tunnistus eri taustoilla etäisyyden funktiona, erotetaan omaksi analyysoilgiikakseen. Lähtötietojen kuten havaintopaikan antaminen, valintalomakkeiden täyttäminen ja tulosten esittäminen toteutetaan käyttöliittymässä. Mikäli komponentti toteuttaa useita erilaisia analyyseja, voidaan tulosten yhdistäminen toteuttaa omassa komponentissaan.

Komponenttiratkaisun etuina paikkatietoanalyyseiden kannalta voidaan nähdä:

- Selkeät rajapinnat pakottavat suunnittelemaan itse analyyseiden tietojen tasolla yhteeneviksi, jolloin niiden käytettävyys prosessin tukemisessa paranee.
- Komponenttien kehittäminen voidaan tehdä keskitetympinä, jolloin päällekkäiseltä kehitystyöltä, ohjelmavaihteluilta ja erityisesti testaamiselta vältytään. Ylläpitovastuu voidaan jakaa organisaatioissa tasaisemmin.
- Analyyseiden parametrisointi kyetään eristämään omaksi kokonaisuudekseen, joka mahdollistaa tulosten parantamisen tutkimustyöllä sovellusten toiminnan häiriintymättä ja turvaratkaisujen kohdentamisen vain luokiteltua tietoa todella sisältäviin osiin.

6 SOTILAALLISTEN MAASTOANALYYSIEN HIERARKKINEN METAMALLI

Luku sisältää väitöskirjan uutta tietoa luovan osan, jonka tavoitteena on muodostaa kehys maastoanalyysien käytölle Suomen puolustusvoimissa. Metamallin perusajatuksena on kehittää hierarkkinen, edellisten tasojen tuloksille perustuva kokonaisrakenne, jonka avulla voidaan hallita sekä johtamisprosessin että komponenttikehitystyön asettamat vaatimukset. Luku alkaa edellisistä luvuista johdettujen vaatimusten muotoilulla, esittelee sitten mallin ja perustelee lopussa, miten malli täyttää esitetyt vaatimukset. Aineistoperusta on jo muodostettu luvussa 4 ja mallin soveltaminen käytäntöön on esitetty seuraavissa kahdessa luvussa.

6.1 Mallin muodostamisperiaatteet

Kun tietokoneet ja kaupalliset paikkatieto-ohjelmistot ovat kehittyneet nopeasti, seuraavat myös paikkatietoaineistojen tietomäärät vähintään samaa kehitysvauhtia. Paikkatieto-ohjelmien kehityksen alkuaikoina tavoitteena ollut laskentaekonomisuus on edelleen toimiva lähestymistapa sotilassovelluksissa, joissa aika on monella tavalla kriittinen tekijä: mikäli koko ajan parantuvat lähtöaineistot halutaan käyttää hyväksi tietoylivoiman hankkimiseksi, on analyysien tehokkuuteen kiinnitettävä edelleen huomiota.

6.1.1 Aineistointensiivisyys ja käyttäjien osaaminen

Aineistointensiivisyydellä tarkoitetaan tässä työssä analyysin vaatimien lähtöaineistojen lukumäärää, tyyppien määrää ja kokoa bitteinä. Lukumäärä on tiedostopohjaisessa käsittelyssä määritettävissä tiedostojen määränä, tietokannassa mittana voi käyttää erilaisten tietomallien ja geometrinen yksilötyyppien määrää. Aineistotyyppien määrä rasteri-, vektori-, pistemäisten ominaisuustietopainotteisten ja grid-aineistojen muodossa vaikuttaa sekä aineistojen käsittelyn monimutkaisuuteen että käsittelyaikaan. Aineistojen koko vaikuttaa sekä tarvittavan muistin määrään että prosessointiaikaan ja se on riippuvainen sekä resoluutiosta että dynamiikasta, mukaan lukien analyysissa käytettävien ominaisuustietojen määrä. Aineistointensiivisyydelle ei voi käytännössä asettaa yleispätevää mittaria, koska tekijöiden painotus riippuu sekä toteutusympäristöstä (hardware) että käytettävästä ohjelmistosta. Vaikka paikkatietotekniikassa aineistotyytit on määritetty yksiselitteisesti, yksittäisen ohjelmiston kannalta tyyppejä voi olla muitakin. Jos toteutusympäristö tunnetaan, analyysien asettaminen aineistointensiivisyyden mukaiseen järjestykseen on mahdollista. On huomattava, että myös analyysin monimutkaisuus ja aineistojen käsittely sen aikana vaikuttaa merkittävästi analyysien toteutusaikaan.

Analyysin aineistointensiivisyys voidaan mallintaa seuraavasti:¹

$$AI = aN * bT * cV \quad \text{missä}$$

- AI Suhteutettu aineistointensiivisyys
- N lähtöaineistojen lukumäärä
- T lähtöaineistojen tyyppien määrä
- V lähtöaineistojen koko, resoluutio x dynamiikka
- a,b,c toteutusympäristöstä riippuvat painokertoimet

Aineistointensiivisyys vaikuttaa tarvittavan muistin ja levytilan määrään. Vaikka palvelimiin on helppo lisätä kapasiteettia, verkkoyhteyksien epävarmuus ja kevyiden johtamislaitteiden käyttö pakottaa sotilaskäytössä ainakin tärkeimpien paikkatietoaineistojen jakeluun päätelaitetasolle saakka. Analyysin korkea aineistointensiivisyys pakottaa laajaan jakeluprosessiin varmuusvaatimusten toteuttamiseksi. Aina on määritettävissä toiminnallinen raja-arvo kuvaamaan analyysin antaman lisähyödyn ja sen aineistohankinnan aiheuttaman lisähaitan suhdetta käyttäjän kannalta. Lähtökohtana kannattaa pitää tavoitetta tehdä analyysi kriisin aikana minimämäärällä lähtöaineistoa ja ottaa tämä huomioon myös suunnittelussa siten, että analyysi skaalautuu lähtöaineistojen suhteen. Koska sotilaalliset analyysit käsittävät useita ympäristöön liittyviä tekijöitä, jolloin ainakin aineistojen lukumäärään että mahdollisesti myös tyyppien määrään ei voida merkittävästi vaikuttaa analyysin ilmaisuvoimaa liikaa heikentämättä, joudutaan eri tekijöitä yhdistämään ja aineistoja yleistämään, eli muuttamaan niiden resoluutiota ja dynamiikkaa. Työssä esitetty metamalli rakentuu tämän perusidean varaan.

Merkittävän rajoituksen analyysien toteutettavuudelle asettaa käyttäjien osaaminen. Jos analyysin tekijä on peruskäyttäjä ja iteroinnin merkitys on suuri, on turhaa olettaa, että analyysi voitaisiin tehdä käyttäen monimutkaisia ja heterogeenisiä aineistoja: aineistointensiivisyys korreloi tarvittavan paikkatietotekniikan tietämyksen kanssa. Kun käyttäjien kouluttamismahdollisuudet ovat rajoitettuja, voidaan päätellä, että intensiivisyyden kasvaessa siirytään kauemmaksi reaaliaikaisesta päätöksenteosta ja sotilasasiantuntijan tai päättäjän itsensä tekemästä tietokoneavusteisesta analyysistä.

6.1.2 Aineistojen reaaliaikaisuus ja päivitysten hallinta

Aineistojen reaaliaikaisuudella tarkoitetaan aikaväliä, jossa aineistot on päivitettävä suhteutettuna syntyneiden virheiden vaikutukseen analyysituloksissa. Jokaiselle kuvattavalle ilmiölle on teoriassa asetettavissa virheraja, jonka jälkeen analyysitulokset vääristyvät liiaksi².

¹ Vertaa käsitettä dataintensiivisyyteen, jolla tarkoitetaan enemmän aineistojen puhdasta kokoa tai bittisyyttä.

² Muun muassa tähän tekijään haetaan vastausta vuonna 2002 tehtävällä MATINE-tutkimuksella. Tekijää määritettäessä on kuitenkin huomioitava luvussa 9 esitettävä laadun idea: joissakin sotilaallisissa tilanteissa huonolaatuinen ja epävarma tietokin on käyttäjälle tyhjää parempaa ja se voi vähentää otettavaa riskiä huomattavasti.

Aineistoista tiedetään niiden sisällön muutosnopeus, käytännössä asia on kuitenkin melko monimutkainen ja sitä on helpointa lähestyä pelkistettyjen esimerkkien kautta.

Metsiä koskeva aineisto vaikuttaa muun muassa näkemään, kulkukelpoisuuteen, ryhmittelevyyteen, mahdollisiin helikopterin laskeutumisalueisiin ja suojaan tiedustelulta.³ Koska aineisto muuttuu radikaalisti lähinnä yhdellä tavalla eli avohakkuilla, muutosnopeuden mittarina hakkaaminen on tehokas. Toisaalta helikopterin laskeutumisalueena pienikin uusi hakkuu saattaa olla merkityksellinen, kun taas suojautumisen kannalta sen merkitys on pieni ja käyttäjän korjattavissa. Muutoin metsän muutos lähinnä kasvun vuoksi voidaan toteuttaa kohtuullisella tarkkuudella aikamallien avulla. Tiestöä koskeva aineisto on moniulotteisempi. Vaikka uusien teiden syntynopeus tiedetään, ovat sotilaallisen toiminnan vaikutukset tiestöön ainakin lokaalisti hyvinkin merkittäviä. Suluttaminen sulkee ja katkoo teitä ja siltoja, samanaikaisesti syntyy uusia kulkureittejä. Lisäksi tiestöä varataan tiettyihin käyttötarkoituksiin dynaamisesti, jolloin se ei ole muiden liikkujien kannalta käytettävissä. Muutosten hallinta on teknisesti mahdollista reittioptimoinnin kaltaisissa sovelluksissa parametrisoimalla, jolloin tausta-aineistoon ei tarvitse puuttua.

Hankalin tilanne on analyyseissa, joiden tulokset ovat riippuvaisia sotilasjoukkojen sijainnista. Jos edellistä esimerkkiä halutaan laajentaa siten, että halutaan etsiä vastustajan tiedustelulta suojaavia reittejä, joudutaan yhtenä lähtöaineistona käyttämään vastustajan tiedustelusensoreiden arvioituja sijainteja ja niistä laskettuja valvonta-alueita. Analyysia suunniteltaessa onkin tärkeää määritellä ensin sen reunaehdot lähtöaineistojen osalta: mitä aineistoja on käytössä ja minkä tyyppisiä virheitä lopputuloksissa voi syntyä päivitysten viivästymisen takia. Epävarmuuden takia optimointiperiaate pitää usein hylätä, koska algoritmit harvoin kestävät tämän tyyppistä epävarmuutta. Iterointi on tällöin hyvä ratkaisutapa. Siinä käyttäjä voi huomioida syntyvän epävarmuuden omaan kokemukseensa perusteella ja antaa tietokoneen arviotavaksi esimerkiksi vain sellaisia reittejä, jotka arvioi kyseisellä hetkellä varmimmiksi puuttuvan tiedon suhteen. Tekijä on mahdollista huomioida laskennallisesti myös optimoinnissa, mutta se vaatii lähtötietojen manuaalista päivittämistä ja ylläpitoa.

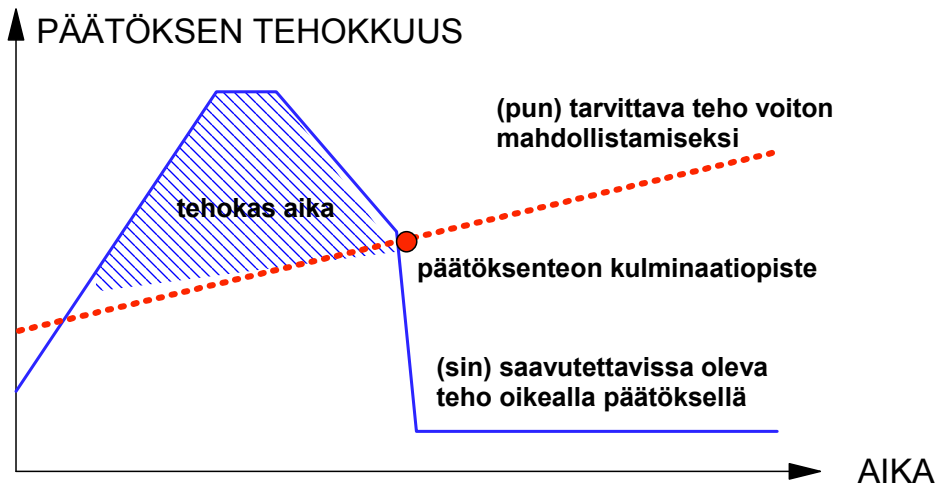
Paikkatietotekniikassa trendinä on siirtyminen kohti palvelinratkaisuja, joilla osittain vastataan myös reaaliaikavaatimuksiin: aineistojen päivitys on nopeaa, tulokset ovat heti kaikkien käytössä ja osa päivityksestä voidaan jopa antaa käyttäjien tehtäväksi. Sotilasympäristössä saman idean käyttö on osin mahdollista, mutta yhteyksien kapeus ja katkeilu asettaa sille suuria vaatimuksia. Mikäli lähdetään siitä, että jokaisen käyttäjätason on oltava ainakin perustasolla autonominen analyyysien lähtöaineistojen suhteen, tulee

³ Vertaa luvussa 4 esitetty sotilasmetsän tavoitteiden määrittely.

päivitetävyydestä helposti rajoittava tekijä. Kun tähän vielä lisätään päivitykset käyttäen sotilashierarkian rakennetta, toisin sanoen ketjussa esikunnasta alaisille esikunnille ja niin edelleen, myös aineistojen monistamisesta syntyy lisäviivettä. Ideaalimaailmassa kaikilla käyttäjillä on suora yhteys aineistojen hallitsijaan, kuten on osin laita jo tällä hetkellä puolustusvoimien intranet-järjestelmässä jokaisen työpöydältä Topografikunnan palvelimeen, mutta sodan reaali maailmassa voi olla iloinen kohtuullisen luotettavasta yhteydestä esimieheen ja omiin lähimpiin alaisiin. Jokaisen esikuntatason pitää siis valmistautua toimimaan aineistojen jakelijana ketjussa eteenpäin.

6.1.3 Analyysin laadinta-aika osana johtamisprosessia

Kun aineistointensiivisyyteen lisätään mitta analyysialgoritmin monimutkaisuudesta⁴ saadaan karkea mittari analyysin teoreettisesta laskenta-ajasta. Tätä voidaan verrata edellisessä luvussa esitettyihin johtamisprosessin aikavaatimuksiin. Tekniikan käytössä on aina pidettävä päällimmäisenä mielessä vaatimus päätösten oikea-aikaisuudesta, joka on havainnollistettu seuraavassa yksinkertaistetussa kuvassa:



Kuva: Sotilaallisen päätöksenteon tehokkuus ajan suhteen. Kuva on mukailtu Riihijärven [Rii98] esittämän päätöksentekokoikkunan rakenteen pohjalta. Riihijärvi esittää, että hyvä tilannetietoisuus auttaa venyttämään ikkunaa, jolloin päätöksentekoaikaa saadaan lisättyä ja päätösten tehokkuutta edelleen nostettua.

⁴ [Pen97] käyttää algoritmille käsitettä kompleksisuus, jolla tarkoitetaan arviota laskun pituudesta ja sen vaatimasta työtilasta. [Kok00] täydentää käsitettä kompleksisuusluokan käsitteellä, jolla tarkoitetaan sallituissa ajan- ja muistinkäytön rajoissa olevia ratkaisualgoritmeja. Käsite on määritelty vain päätöstehtäville, mutta sitä voi soveltaa myös optimointitehtäville. Lähdeoteos esittää luokan käsittelyn muun muassa usealle verkossa tapahtuvalle päätöstehtävälle kuten kauppamatkustajan ongelmalle. Tässä työssä käsite poikkeaa sikäli teoreettisesta, että se on sidonnainen tiettyyn COTS-tuotteeseen ohjelmoidusta algoritmista, ei siis itse ohjelmoitavasta. Tässä viitekehyksessä kompleksisuutta voi tutkia myös kokeellisesti.

Sotilaallisessa päätöksentekotilanteessa kestää jonkin aikaa, ennen kuin on saavutettu minimimäärä merkityksellistä informaatiota tehokasta päätöstä varten. Tilannetta kuvaa tehojen ensimmäinen leikkauskohta. Tämän jälkeen on täysin tilanteesta riippuva aika, jonka aikana päätös koko ajan paranee sisällöllisesti, mutta jonka aikana vastustajan toimet alkavat myös vaikuttaa päättämättömyyden seurauksena. Pistettä, jossa hyväkään päätös ei enää voi korjata tilannetta, voidaan kutsua päätöksenteon kulminaatiopisteeksi, jonka jälkeen toiminta muuttuu reagoivaksi ja johtaa ainakin päätöksenteon tasolla tappioon taistelussa. Kulmakertoimen muutos kuvaa katastrofiteorian mukaista romahdusta, joka syntyy häviön seurauksena. Todellisessa tilanteessa kyse on kaksinkamppailusta, jolloin lopputulos riippuu myös vastustajan päätöksistä ja taistelukentän stokastisista tapahtumista. Tarkentuvalla informaatiolla ja sitä jalostavilla analyysituloksilla on siis olemassa tietty rajahyöty, jonka sijainti kuviossa riippuu päätöksentekotilanteesta. Koska esikuntaorganisaatio on opetettu toimimaan tietyn rytmin mukaisesti, on analyysin tekoon käytettävissä oleva aika tietyllä tarkkuudella määritettävissä. On myös erotettava perusvalmiudessa tapahtuva operatiivinen ennakkosuunnittelu ja kriisiajan tilanteen mukainen päätöksenteko toisistaan.

6.1.4 Oikeaskaalaisuus ja yhteensopivuus analysoitavan ilmiön kanssa

Oikeaskaalaisuudella tarkoitetaan tässä työssä ilmiön ja sen ympäristön kuvaustarkkuuden välistä riippuvuussuhdetta. Asiaa tarkastellaan teoreettisella tasolla.

Terrain Analysis [Wil00] käsittelee maastoon liittyviä analyyseja ympäristötieteiden, tarkennettuna hydrologian, geomorfologian ja ekologian kannalta. Kirja perustuu professori Mooren kehittämien TAPES-algoritmien⁵ ja sovelluksen käyttämiseen ongelmien ratkaisussa. Perustana on oletus ympäristön käyttäytymisestä hierarkkisesti skaalautuvien biofyysisten prosessien kautta, johon perustetaan analyysien skaalautuvuus.

Tasoina erotetaan [Wil00]:

1. Globaali: ilmakehä, maapallo, biosfääri.
2. Meso: ilmastosuhteet, maaperägeologia.
3. Topo: pinnan morfologia, vesisuhteet, haihdunta.
4. Mikro: kasvillisuus, ravinteikkuus.
5. Nano: maaperän mikro-organismit.

⁵ Terrain Analysis Programs for the Environmental Sciences.

Tasojen avulla esitetään perustavanlaatuinen väite : jokaisella tasolla on löydettävissä oikeaskaalainen malli, joka ei toimi kunnolla muilla tasoilla. Kirjan yhtenä teemana on oikeaskaalaisuuden etsintä ja lähtöaineistojen muokkaaminen oikeaan resoluutioon siten, että tutkittavan ilmiön kannalta oleelliset maastotekijät nousevat esiin.

Skaalojen, korkeusmallien resoluutioiden ja lähtöaineistojen riippuvuus toisistaan voidaan esimerkiksi korkeusmallin osalta soveltaa seuraavasti: [Wil00]

Mitta-kaava	DEM resoluutio	Tietolähteet	Soveltamisalueet
pieni (fine)	5 – 50 m	lentokuvaus 1:5 .. 50k kartta korkeuskäyrästä maastomittaus GPS) tutka ja laser- skannaus	hydrologinen mallinnus maaperäominaisuudet mallin korjaukset auringonsäteilyn, haihdunnan ja kasvillisuuden tutkimus
karkea (coarse)	50 – 200 m	1:50 .. 200k kartta korkeuskäyrästä digitoitu karttadata	hydrologiajakauma biodiversiteetin arviointi
meso	0,2 – 5 km	1:100 .. 250 k kartta korkeuskäyrästä digitoitu karttadata	korkeusriippuvainen lämpötila sademäärä maaston vaikutus tuulen käyttäytymiseen mantereisen kuivatus- verkoston aluejako
makro	5 – 500 km	1:250 .. 1000 m kartta korkeuskäyrästä kansallinen mittausdata ml kolmiomittaus	orografian päärajat yleisille kiertomalleille

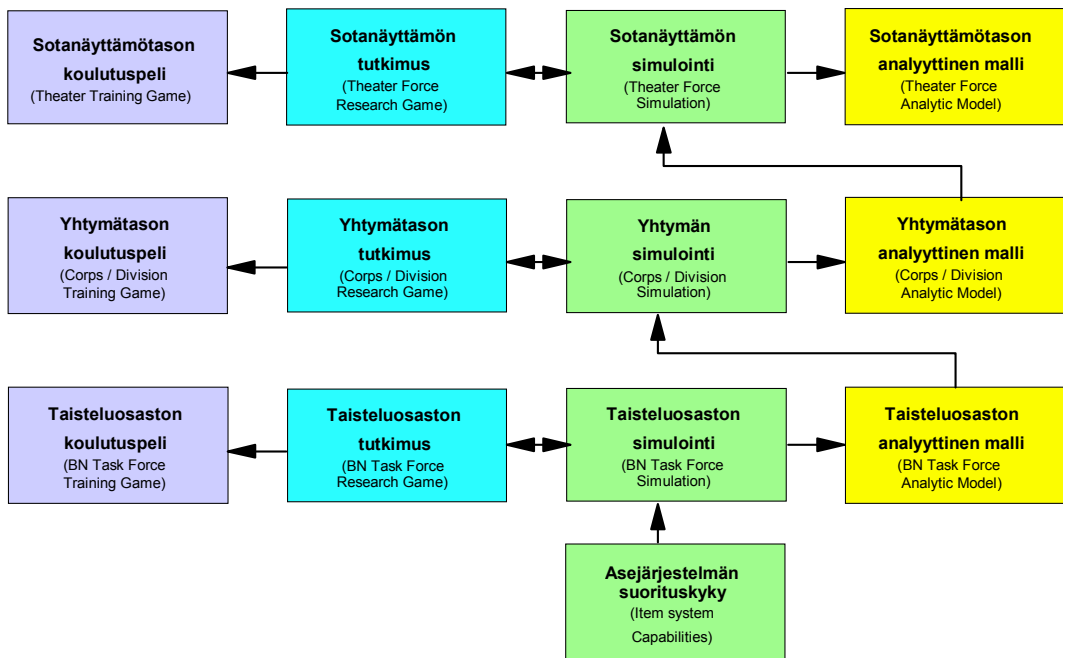
Taulukko: Korkeusmallin oikeaskaalaisuus eri ilmiöiden kanssa. [Wil00]

Vaikka rinnastus sotilaallisen toiminnan ja luonnonilmiöiden kesken voi ensin tuntua kaukaa haetulta, ajatusrakenteita esimerkiksi veden virtaamaleveyden ja hyökkäyskäytävien välillä voi hyvinkin hyödyntää. Lähdeteoksessa ei pyritä yleisen hierarkkisen analyysimallin muodostamiseen, mutta topografiasta johdetuissa ominaisuuksissa käytetään hyväksi joitakin tarkemmalla resoluutiotasolla johdettuja tuloksia. Yhtenä syynä voi olla riittävä aika analyysien tekemiseen, jolloin ilmiöiden pakottaminen hierarkkiseen ketjuun ei ole tarpeellista.

Sotilaallisessa toiminnassa on löydettävissä vastaava riippuvuussuhde. Sotinäyttämön tason malleja (theater level) käytetään muun muassa joukkorakenteen suunnitteluun ja modernisointiin, budjetointiin, pitkäaikaisen kehityksen seurantaan kuten asevalvontaan, operatiiviseen ja varautumissuunnitteluun, logististen vaatimusten ennustamiseen ja

taistelusuunnitelmien analysointiin. Tämän tyyppisten kysymysten ratkaisemisen sanotaan olevan ”enemmän sotataittoa (art of war) kuin sotatiedettä (science of war)” ja malleilla on lähinnä tukeva ja tarkistava rooli. Sotänäyttämötasolla tarkastelutarkkuutena on yleensä yhtymä ja mallit ovat deterministisiä. Taktisen tason malleilla analysoidaan taisteluita. Mallit lähtevät stokastiselta asetavalta ja päätyvät vahvastikin yleistäviin deterministisiin malleihin. Yksi lähestymistapa on historiallinen analyysi, josta esimerkkejä ovat Lanchester ja QJM-mallit. Asejärjestelmätason analyyseissa käytetään yleensä yksityiskohtaisia yleistämättömiä satunnaisia malleja, osa analyyseista voidaan myös tehdä vertailuna taktisen tason malleissa. Usein näihin yhdistetään myös kustannustehokkuus-tarkasteluja. [MORS95]

Mallit voidaan jakaa hierarkkisesti yhdistetyn joukkotason ja käyttötarkoituksen mukaan. Kokonaisrakenne on seuraava: [MORS97]



Kuva: Taistelumallien hierarkkinen rakenne [MORS97]

Integroidun malliperheen kehittäminen on ollut tavoite useissa armeijoissa. Muuttuvassa resoluutioitasossa korkeamman resoluution malleja voi käyttää ylemmän tason mallien osana, ristikkäisessä resoluutiossa alemman tason mallien avulla kalibroidaan käsitteellisiä konstruktiivisia malleja. Molempien toteuttaminen vaatii kokonaissuunnittelua uusissa malleissa tai rajapintojen sovittamista valmiilla malleilla. [MORS95]

Resoluution osatekijät voidaan jakaa seuraavasti: [MORS95]

- Yksiköiden resoluutio (entity resolution), vertaa integrointitaso.
- Ominaisuuksien resoluutio (attribute resolution).
- Loogisen riippuvuuden resoluutio (logical dependency).
- Toiminnan resoluutio (process resolution).
- Tilaa koskeva resoluutio (spatial resolution).
- Ajallinen resoluutio (temporal resolution).

Yhteensovittamisen haasteena on mallien vaihtelevat resoluutiotasot eri tekijöiden osalta. Korkearesoluutioisia malleja tarvitaan ilmiöiden ymmärtämiseen ja todellisuuden jäljittelyyn, matalamman tason mallien kalibrointiin ja mitattavissa olevan datan jatkokäyttöön. [MORS95] Ne siis tietyllä tavalla toimivat välittäjinä mitattavien parametrisarvojen todellisuuden ja ylemmän tason mallien välillä. Useissa taktisissa käyttötapauksissa on pakko ajan tai henkilöstön määrärajoitusten vuoksi käyttää matalamman resoluution malleja. Lisäksi niiden avulla voidaan rajoittaa satunnaisuutta eli kykyä nähdä metsä puilta ja mahdollistaa tietty sumeus mallien osana.

Mallien yhteiskäytölle on useita perusteluja. Korkean resoluution malleilla voidaan tuottaa tilannekuva matalamman resoluution mallin sisältä visualisoinnin tai monimutkaisen tilanteen ymmärtämiseksi. Esimerkiksi erikoisprosessit kuten korkean teknologian asejärjestelmät tai erikoisjoukkojen käyttö voidaan mallintaa korkealla resoluutiolla myös yleisteyemmän tarkastelun osana. Korkeaa resoluutiota voidaan myös käyttää alemman resoluution mallin arvorajojen, kuten tien liikennekapasiteetin tai lentokoneen vuorokautisen tehtävämäärän määrittelyyn. Malleja voidaan kalibroida sekä etsiä epä johdonmukaisuuksia ja virheitä toisten verifioitujen mallien avulla. Mallit voidaan myös valita joustavasti analyysiin käytettävissä olevan ajan perusteella. Lisäksi matalamman resoluution malleilla voidaan luoda skenaariota korkeamman tason tarkastelujen kehykseksi. [MORS95]

Valikoidulla tarkastelulla (selective viewing) tarkoitetaan yleistettyjen näkymien luomista alla olevan korkeamman resoluution omaavan mallin perusteella. Menettelyn etuna on helppo käsitettävyyden resoluution silti säilyessä, ongelmana on usein tilannesidonnaisten ratkaisevien tekijöiden näkymättömyys käyttäjille. Johtamisjärjestelmissä pyritään yleensä käyttämään samaa periaatetta. Vaihtoehtoisten osamallien käyttö (alternative submodels) on tyypillisin tapa muokata resoluutiotasoa: järjestelmässä voi esimerkiksi olla määritettyinä kynnykset, joilla malleja vaihdetaan. Tämän tyyppisiä perheitä on muodostettu jo kehitettyjen mallien välille, mutta niiden toimivuudessa ja johdonmukaisuudessa on usein puutteita ja mallisarjan testaaminen kokonaisuutena on vaikeaa: syntyy epäjatkuvuuskohtia ja mallien toiminta tilan-

teissa, joita ei ole käytetty sovittamiseen, on puutteellista. [MORS95]

Ilman aiempia rajoitteita integroidun hierarkkisen ja moniresoluutioisen IHVR-mallin⁶ rakentaminen on mahdollista. Kukin muuttuja eristetään omalle tasolle ja se otetaan huomioon vaikutustensa kautta ylemmän tason malleissa. Rakentaminen aloitetaan tietorakenteen yhtenäisellä kuvaamisella, jonka jälkeen tietojen välille muodostetaan riippuvuudet ja hierarkiatasot puumaisina rakenteina. Ristiriippuvuuksien minimoimiseksi kukin tekijä pitää pyrkiä rajaamaan omalle tasolle. [MORS95] Kun hierarkiat koskevat toimintaa eivätkä kohteita, on objektorientoituneen ohjelmoinnin käyttö vaikeaa. Mallinnettavissa joukoissa on nykyisin tunnusomaisena piirteenä heterogeenisuus ja järjestelmien korkea riippuvuus toisistaan. Koska yksittäisten järjestelmien mallintaminen on monimutkaista, yleistyksessä (aggregation) käytetään usein suhteellista lähestymistapaa kuten QJM. Hierarkian toteuttamisessa maaston huomioiminen on erityisen haastavaa, koska eri resoluutioiset taistelumallit eivät ainoastaan käsittele eri kokoisia alueita, vaan ne myös tarkastelevat maastoa eri näkökannalta. Oleellista onkin tuntee mallinnettavan ilmiön sotilaallinen luonne ajan ja paikan suhteen. Esimerkiksi alueen läpi johtavan solan kuvaaminen matalan resoluution mallissa "vaihtelevana maastona" tuottaa väärän taktisen kuvan alueesta ja sen kulkukelpoisuudesta.

Korkean tason yleistyksen perusongelma on riippuvuus vastustajasta ja tilanteesta. Mallit eivät yleensä kestä vahvaa epäsymmetrisyyttä, erikoisolosuhteita tai poikkeavaa taktista tilannetta, vaan ne ovat yleensä valideja vain symmetrisissä tilanteissa. Suomessa tämä aiheuttaa suuren haasteen, koska taktiikka perustuu juuri joukkojen ja taktiikan epäsymmetrisyyteen sekä poikkeavien maasto- ja ympäristöolosuhteiden hyväksikäyttöön [vrt Koli95]. Kopioitujen mallien sopivuus voidaan perustellusti asettaa kyseenalaiseksi. Määritetyt suhteelliset arvoja on vaikea testata ja tappioiden kohdentamisessa on hankalaa ottaa huomioon eri alajärjestelmät. Maastolla on keskeinen merkitys myös taisteluun osallistuvien joukkojen määrässä: epäsymmetrisessä tilanteessa taistelu on jaettava aina vaiheisiin ja tuloksien määrittelyssä on edullista käyttää rinnakkaisia tapoja.

Maataistelumallien ja käytettyjen paikkatietoaineistojen välillä on kaksi relaatiota. (1) Aineistojen esitystarkkuus eli resoluutio yritetään saada vastaamaan mallinnettavan ilmiön suuruusluokkaa. Poikkeuksena on ainoastaan tapa, jossa tietokoneen ohjaamien joukkojen avulla pyritään nostamaan tarkkojen mallien yleistystasoa. Tällöinkin resoluutiota ja ominaisuusluokkien määrää joudutaan käytännön syistä vähentämään, jottei mallien loogiikasta tule liian monimutkaista. (2) Aineistojen luonne muuttuu resoluution vähentyessä. Korkeilla yleistystasoilla ei enää niinkään kuvata itse maaston ominaispiirteitä, vaan

⁶ Integrated Hierarchic Variable Resolution Model.

suoraan niiden vaikutuksia sotilaalliseen toimintaan. Kun tarkastelu tehdään kilometriluokan tarkkuudella, voidaan myös ihmisen tekemää päättelyä käyttää apuna. [KESI02] Taistelumallien oikeaskaalaisuutta maaston resoluution kanssa on käsitelty yksityiskohtaisemmin seuraavassa luvussa taktisten simulaattoreiden kannalta.

Visualisointitutkimuksen [Mik00] aikana nousi ammattisotilaiden ajattelusta kolme taktisesti mielenkiintoista seikka esiin. (1) Jokaisen aselajin edustaja etsi kartalta eri tyyppisiä asioita. Matalankin organisaatiotason pioneeri ja viestimies tarkastelivat maantieteellisesti kohtuullisen suurta aluetta mutta pienessä mittakaavassa. Toisaalta armeijakuntatason operatiivinen päättäjä saattoi olla kiinnostunut mahdollisen avainmaaston suuri- ja mittakaavaisista erityispiirteistä arvioidessaan paikan soveltuvuutta esimerkiksi puolustukseen. (2) Kaikkia yhdistävä seikka oli näkemys oman ja vastustajan toiminnan arvioimisesta eri skaaloilla. Esimerkiksi liikkeen osalta vastustajasta oltiin kiinnostuneita yhteinäisistä ja suurien joukkojen liikkuttelua mahdollistavista alueista, kun taas omaa toimintaa arvioitiin ainakin yhtä organisaatiotasoa alempana. Tekijä on osin selitettävissä kokonaisvoimasuhteilla, Suomessa on aina valmistauduttu taistelemaan määrällisesti ylivoimaista vihollista vastaan. Osa selityksestä on tehtävätaktiikassa, jossa korostetaan olosuhteiden hyväksikäyttöä ja kangistuneisuuden välttämistä. (3) Kolmas oli analyysituloksen käsittelytapa. Pataljoonan 30...50 km² toiminta-alueella taktisen tason päättäjä etsi analyysistä ensimmäisenä omalle toiminnalle epäsuotuisia alueita eli rajoituksia käyttäen tulosta päätöksensä tarkistamiseen. Prikaatissa 1000 .. 3000 km² suuruusluokassa päättäjät etsivät ensimmäisenä toiminnalle suotuisia alueita eli mahdollisuuksia ja tulosta käytettiin ennen alustavaakin päätöksentekoa. Asia on ymmärrettävissä tarkastelemalla kyseisten joukkojen henkilöstömäärien ja alueen suhdetta; prikaatin alueella on tilaa operoida kun taas pataljoonassa valinnan vapaus on rajoitetumpaa. Oikeaskaalaisuuden lisäksi on siis kyettävä huomioimaan myös tarkastelutavan muutos, ei ainoastaan itse ilmiön kuten liikkumisen vaan myös sen mahdollisuuksien suhteen.

Sotilaallisessa toiminnassa analyysien oikeaskaalaisuus riippuu myös analysoitavan ilmiön spesifisyydestä, joka vaikuttaa myös ominaisuustietojen skaalautumisena. Usein toimijat tarkastelevat saman suuruista aluetta samalla spatiaalisella resoluutiolla, mutta täysin erilaisten ja eri skaalaisten ominaisuustietojen kautta. Aselajitoiminnoista viesti- ja pioneeritoiminta sekä tiedustelu tarkastelevat jopa yhtymän aluetta suurempaa kokonaissuutta, mutta käsittelevät sitä pienten yksityiskohtien kuten siltojen ja tiestön, viestiasemien tai tähytyspaikkojen muodostaman verkkomaisen rakenteen kautta. Tällöin lokaalisti hyvinkin pieneltä tuntuvat yksityiskohdat ja tekijät voivat vaikuttaa oleellisesti suurillakin alueilla. Esimerkiksi tienpitäjä on kiinnostunut tien niistä ominaisuuksista, jotka

vaikuttavat tien kunnossapitoon ja vaurioiden korjaamiseen hyvinkin suurimittakaavaisella tavalla. Pioneerisuunnittelija taas kiinnostaa enemmän tietyn reitin yhdistetyt ominaisuudet ja niiden vaatimat kokonaisresurssit. Pääötösasolla tie muuttuu yhteydeksi, joka pitää ominaisuuksiltaan pelkistää esimerkiksi liikenteen välityskyvyksi. Ominaisuustietojen skaalautumisesta ja muuntumisesta huolimatta spatiaalinen resoluutio säilyy. Skaalautuvuus voi tapahtua myös esikunnan sisällä siirryttäessä kapean asiantuntemuksen tasolta kokonaisuusien käsittelyyn, vaikka tarkastelun mittakaavakin pysyisi samana. Esimerkistä on huomattavissa, että kyse ei ole pelkästä tietojen yleistämisestä vaan enemmänkin tulkinnasta käyttötarkoituksen mukaisesti. Laskennallisesti voidaan kuitenkin todeta tiedon dynamiikan vähentyvän pinta-alaan nähden hyvinkin voimakkaasti. Tienpitoon vaikuttaa kymmeniä tekijöitä, reitin aukipitoon joitakin otsikkotason asioita, joista kunnossapito voidaan tiivistää yhdeksi luokaksi. Liikenteen välityskyky voidaan taas kuvata yhdellä viisiportaisella luokalla, joka sisältää myös varareitit ja viiveen todennäköisyydet.

ILMIÖN LAATU	KOKO VAIKUTUSALUE	OSAN VAIKUTUSALUE
sulutteen osa	miinanauha 100 m x 300 m	miina 1 m x 1 m
jalkaväkijoukkue	tukikohta 300 m x 500 m	taistelija 20 m x 200 m
panssarintorjuntakomppania	tuhoamisalue 1½ km x 1½ km	raskas sinko 50 m x 600 m
panssarintorjunta-ohjusjoukkue	tuhoamisalue 3 km x 3 km	ohjus 500 m x 2500 m
jalkaväkikomppania	puolustuskeskus 2 km x 2 km	joukkue 300 x 500 m
kevyt kranaatinheitinjoukkue	tulialue 4 km x 4 km	heitin 4 km x 4 km
kenttätykistöpatteri	tuliasema 500 m x 500 m tulialue 10 km x 15 km	tykki 10 km x 15 km
omiamatorjunta	2 km x 2 km kork 300 m	itkk 200 m x 600 m x 300 m
ilmakaasusaaste	2 km x 20 km	pitoisuusero
radioyhteys	10 km x 10 km	sama kaikilla
siirtyminen taisteluvalmiudessa	40 km	kaikille osille sama
operatiivinen siirto	350 km	kaikille osille sama

Taulukko: Esimerkki joidenkin sotilaallisten ilmiöiden skaalasta puolustavan komppanian mittakaavassa. Lukuarvot ovat viitteellisiä.

6.1.5 Paikkatieto-ohjelmistoperustan huomiointi

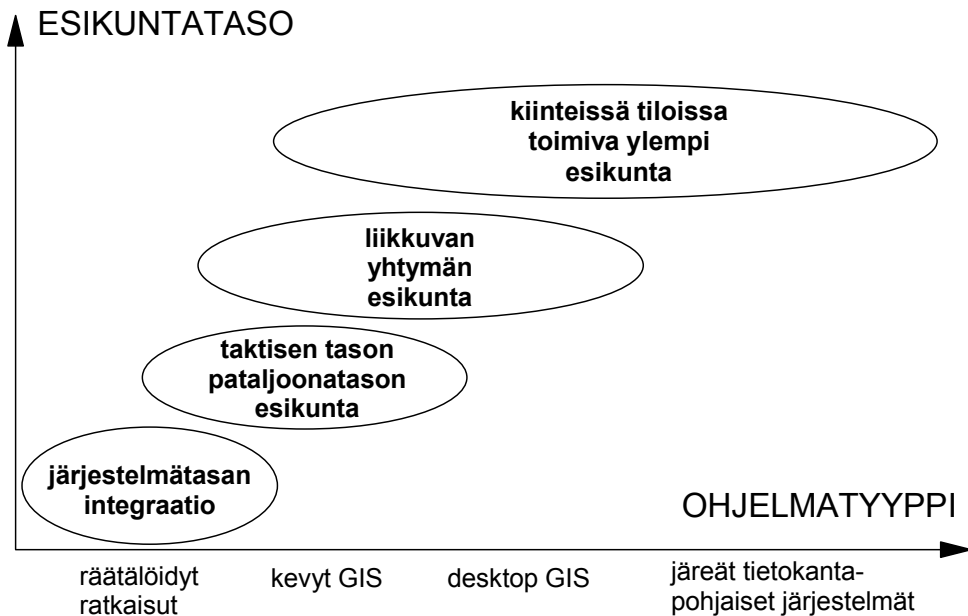
Paikkatieto-ohjelmistoissa aineistointensiivisyys korreloi teknisesti laskentatehon, monipuolisuuden ja toteutustavan raskauden sekä kalleuden kanssa. Samalla helppokäyttöisyys yleensä vähenee ja vaatimus käyttäjien asiantuntemuksesta ja teknisestä koulutuksesta kasvaa. Tämä tukee jo esitettyä väitettä, että aineistointensiiviset analyysit täytyy toteuttaa asiantuntijoilla.

Käyttäjien määrä kasvaa organisaatiotasojen suhteen käänteisenä, sillä jokainen uusi analyseja toteuttava porras hierarkiassa alaspäin noin kymmenkertaistaa tarvittavien sovellusten määrän. Vaikka johtamisjärjestelmien kehittäminen ja tietotekniikka on yksi neljästä tulevaisuuden painopistealueesta, on lisenssikustannukset kuitenkin otettava huomioon kokonaisuutta suunniteltaessa. Tämä edellyttää käytettävän analyysitekniikan teknistä yksinkertaistumista siirryttäessä lähemmäs sotilaskäyttäjiä, jossa lisääntyvä integrointi vaatii avoimuutta käytettävältä tekniikalta. Ohjelmistorakennetta voi lähestyä kolmelta eri näkökulmalta: esikuntatasojen, palvelun tarpeen ja esikuntien sisäisten käyttäjien kannalta. Sotilaallisesti esikuntatasojen jaottelua voidaan lähestyä integrointitason käsitteen avulla. Integrointitasolla tarkoitetaan sitä joukkotasoa, jolle toiminto on sijoitettu organisaatioon. Käsitettä käytetään tyypillisesti asejärjestelmien kuvaamisessa:⁷

1. Korkean tason integrointi tapahtuu Pääesikunnan tai maanpuolustusalueiden tasolla keskitettyjen resurssien kuten tiettyjen tiedusteluysiköiden tai erikoisjääkäreiden kohdalla. Tietoteknisesti kyse on strategis-operatiivisen tason järjestelmistä ja valtakunnallisista pysyvistä tietokannoista.
2. Yhtymätason integrointi tehdään prikaatissa tai armeijakunnassa esimerkiksi tykistöjoukoissa ja muissa aselajiyksiköissä. Toiminnon sijoittaminen tälle tasolle mahdollistaa painopisteen muodostamisen, mutta hidastaa toimintaa ja vaatii keskitettyä johtamista. Ongelmia pyritään tyypillisesti vähentämään alistuksilla ja tulenkäyttöoikeuksilla. Tietoteknisesti kyse on operatiivis-taktisen tason järjestelmistä ja alueellisista tilanteen mukaisista tietokannoista.
3. Taktisen tason integrointi tapahtuu joko komppaniassa tai pataljoonassa esimerkiksi kranaatinheittimien, pioneerien, viestin, huollon ja panssarintorjunnan organisoinnissa. Etuna on joukkojen omatoimisuuden ja reaktionopeuden lisääntyminen, haittana sen sijaan painopisteen muodostaminen. Tietoteknisesti kyse on taktis-taisteluteknisen tason järjestelmistä. Tietokantojen sijaan käytetään tiedostomuotoista tietojen käsittelyä.
4. Aselavettitason integroinnissa kaikki taistelussa tarvittavat osajärjestelmät kuten tulenjohto, liike, suoja ja tulivoima on samassa lavetissa esimerkiksi taistelupanssarivaunussa. Jalkaväkijoukoissa joukkue-taso voidaan rinnastaa aselavettitasoon ja joukon suorituskyky määrittää henkilöstön ja sotavarustuksen summana. Etuna on vaikutuksen nopea saatavuus etulinjassa. Tietojärjestelmät ovat yleensä integroitua ja räätälöityjä.

⁷ Käsite on määritelty kirjoittajan laatimassa taktiikan tutkimusmenetelmiä kartoittavassa työssä osana tutkimusmenetelmäopintoja. Käsite julkaistaneen esitetyssä muodossa vuoden 2002 aikana Taktiikan laitoksen ohjeistuksessa.

Usein integraatiotaso on heijastus taloudellisista resursseista. Kun järjestelmiä on vähän, ne on organisoitava mahdollisimman korkealle tasolle. Vaikka kokonaisnäkemys perustuisi verkkokeskeiseen malliin, asettavat sekä tiedonsiirtoyhteydet että lisenssikustannukset ja laiteratkaisut rajoituksen täysin vapaalle toteutukselle.



Kuva: Periaate paikkatieto-ohjelmistojen käyttömahdollisuuksista eri organisaatiotasolla.

Enemmän päätös- ja analysointi-aikaa omaavissa esikunnissa on mahdollista rakentaa analyysit tehokkaille alustoille. Koska päätöksenteon luonnetta ja siten aineistojen käsittelyä ja tarvittavia sisältöjä on moninaisuudessaan vaikea ennustaa, avoimuus on tavoiteltava tekijä. Ylätasolla on myös paremmat mahdollisuudet kytkeä mukaan paikkatietoammattilaisia, jotka kykenevät teknisesti tukemaan iteratiivista analysointia. Esimerkkinä mahdollisuuksista voi pitää luvussa 8 esitettyä helikopteritutkimusta, joka toteutettiin sotilaan ja insinöörin yhteistyönä kymmenen päivän aikana, ilman esiohjelmointia ja käyttäen parasta mahdollista analyysitekniikkaa sekä monipuolisia aineistoja. Työn perustana oli vain tässä luvussa esitetyn mallin ajatuskehikko ja tukena helikoptereiden käytön asiantuntijat ilman aiempaa paikkatietoanalyysitietämystä.

Liikkuvissa yhtymissä korostuvat rutiininomaisuus ja analyysien nopeus. On kuitenkin huomattava, että edellisessä luvussa esitetty mahdollisuuksien etsintä vaatii iteratiivista työskentelyä. Esikunnan toimiessa verkossa on mahdollista toteuttaa jaettuun komponenttiperusteisiin sovelluksiin eikä esikuntien kohtuullisen pieni kokonaismäärä vielä

oleellisesti rajoita tekniikan kustannuksia. Tärkeämpää onkin rutiininomaisen tehokkuuden mahdollistava integroivan ohjelmoinnin osuus, hitaus ja kustannusvaikutukset. Taso on haastavin toteutuksen kannalta ja järjestelmien skaalautuminen kannattaa suunnitella siltä sekä ylös että alaspäin, ei siis kuten nyt kiinteiden esikuntien järjestelmistä lähtien.

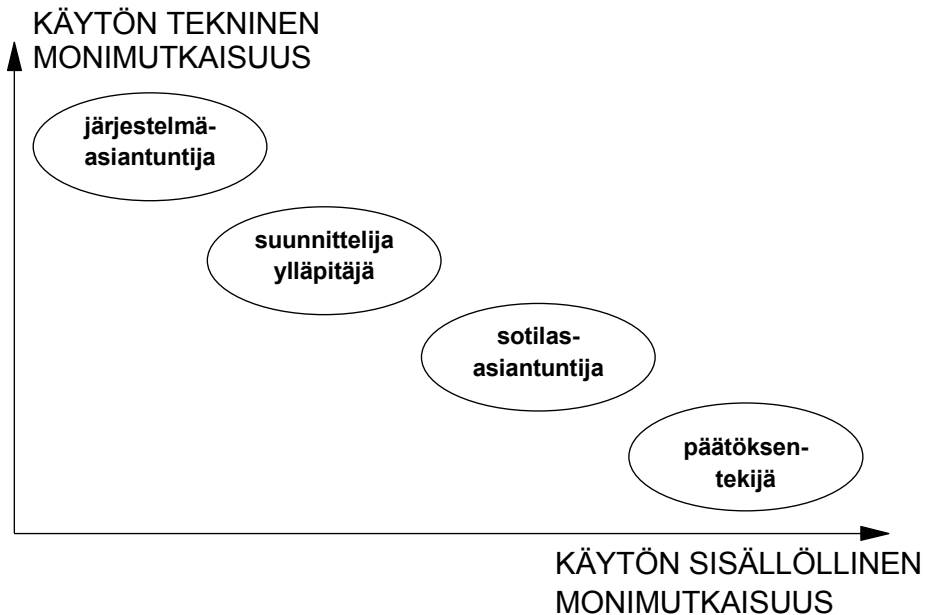
Taktisella tasolla, maavoimissa lähinnä pataljoonissa, nousee korostetusti esiin komentajan ja hänen lähimpien alaistensa rooli. Kun analyysilla on tuettava painopisteisesti toteutuksen suunnittelua ja aikajänne edelleen lyhenee, joudutaan pääosin stand alone tai korkeintaan muutaman käyttäjän jaetun toiminnan tyyppisiin ratkaisuihin, joihin tarvittavat muuttuvat tiedot päivitetään epäsäännöllisesti. Tällä tasolla DeskTopGIS kategorian ohjelmat [vrt Bis98] muodostavat loogisen lähtökohdan analyysille. Kuten aiemmin todettiin, myös analyysitulosten käytön luonne muuttuu ja mahdollisuus käyttää valmiita, ennalta laadittuja analyysituloksia referenssikarttojen tavoin toiminnan perustana paranee. Tätä korostaa myös asioiden ratkaisemisessa tarvittavan laskennan määrän pieneminen alueen pinta-alan suhteen ainakin lähelle tasoa, joka on koulutetun ja harjaantuneen ihmisen käsiteltävissä kokonaisuuksina.

Taisteluteknisellä tasolla aikariippuvuudesta ja pieniskaalaisuudesta tulee vallitsevia tekijöitä. Toisaalta esimerkiksi panssarintorjuntaohjusten tulialueyhdistelmien laatiminen karttatiedustelun perusteella tai parhaiden tähytyspaikkojen määrittely laajalta alueelta tiedustelussa ovat toimia, joissa paikkatietoanalyysilla on todettu olevan paljon annettavaa. Tällä tasalla laitteista tulee korostetusti tietoa vastaanottavia ja tuottavia esimerkiksi luvussa 4 kuvattujen maastosuunnittelusovellusten tavoin.

Aselavettitasolla paikkatietoanalyysia voidaan käyttää, mutta järjestelmät ovat räätälöityjä ja usein sulautettuja. Tällä hetkellä on vaikeuksia suomalaisten paikkatietoaineistojen muuntamisessa räätälöityjen järjestelmien tarpeisiin. Kyse on kuitenkin ennen kaikkea teknisistä formaattirajapinnoista ja tiedon käsittelytavasta, usein vaatimuksena on vektorimuotoinen aineisto sen nopeamman käsittelyn ja pienempien tiedostokokojen takia. Koska tässä esitettyä mallin toimivuutta ei ole toistaiseksi pystytty kokeilemaan tällä tasolla saakka, jää asia tässä työssä avoimeksi.

Käyttäjien kannalta tarkasteltuna tilanne on yksinkertaisempi ja se voidaan jopa kiteyttää säännöksi: mitä lähempänä päättäjää ollaan, sitä yksinkertaisempi analyysin on oltava käyttää ja sitä enemmän sen on tarjottava mahdollisuuksia iterointiin. Kyse on realiteetista, sotilaskoulutuksen tavoitteena ei ole teknisen näppäryyden hankkiminen vaan taistelun tekijöiden muodostaman kokonaisuuden ymmärtäminen. Asiaa voidaan helpottaa peruskoulutuksella ja paikkatieto-ohjelmia koskevan lukutaidon opettelulla. Tämä kuitenkin edellyttää, että käyttöliittymät vakioidaan ja mahdollisuuksien mukaan käytetään

jokaisessa paikassa samoja ohjelmistoja. Myös räätälöinnin tarve kasvaa siirryttäessä kohti päättäjä; tekijä, joka on tietyllä tavalla vastakkainen iteratiivisuuden vaatimukselle.



Kuva: Ohjelmistojen helppokäyttöisyysvaatimus eri käyttäjien kannalta.

Sotilaskäyttäjän ideaalina on Ruotsin ROLF-käyttöliittymä, jossa päättäjien keskellä on kolmiulotteinen pienoismaailma - tätä voi verrata kannen hiekkalaatikkoanalogiaan. On helppo havaita, että edellä esitetty käyttäjävaatimus on mahdotonta toteuttaa teknisesti. Tällä hetkellä ratkaisutapana on kaikille yhteinen referenssikartta ja sen päälle laaditut yksinkertaistetut piirroksat. Tilanne on käyttötavan suhteen sama sekä perinteisessä kartta ja kelmu –toiminnassa että nykyisissä johtamisjärjestelmissä. Yhdysvalloissa ainakin osaratkaisua haetaan uudesta aselajista, topografisista joukoista, joiden tehtävänä on tuottaa pelkistettyjä analyyskejä parhailla mahdollisilla ohjelmilla ja aineistoilla. Tätä täydennetään 2½D- tai 3D-visualisoinnilla ja reaaliaikaisella kuvamateriaalilla, jonka raskas järjestelmä tuottaa päättäjille. Toiminnalle on annettu kuvaava nimitys, visualisointi, sisällöllisesti käännettynä ymmärrettäväksi tekeminen. Suomessa ei ole mahdollisuutta näin raskaaseen ratkaisuun. Tässä työssä on esitetty ratkaisuehdotus, jossa tieto muokataan taso kerrallaan kohti tavoitetilaa. Meillä etuina ovat hyvä tietokonekukutaito, mahdollisuus valmistella taistelukenttää myös tiedon avulla ja tehtävätaktiikka, joka korostaa ajattelua kaikilla tasoilla. Tämä on ydinajatus seuraavissa luvuissa esitetylle metamallille.

6.1.6 Tietojen ja analyysien käyttöön liittyvät perusteet

Integraatiotason käsitettä voidaan käyttää myös tuen⁸ organisoinnin mallintamiseen. Tarkastelutavassa käytetään matriisia, jonka akseleina ovat tuettavien määrä ja tuen tarpeen ajallinen jatkuvuus. Esimerkkinä on pioneerijoukkojen organisoinnin mallintaminen yhtymän näkökulmasta.

	YKSI TUETTAVA	MONTA TUETTAVAA
JATKUVA TARVE	Pataljoonan pioneerijoukkue	Pioneerikomppania tienpidossa
TILAPÄINEN TARVE	Joukolle alistettu ylemmän johtoportaan pioneerijoukkue	Liikkeen edistämisosasto hyökkäyssuunnan tukena tehtävällä

Taulukko: Esimerkki integraatiotasokäsitteen käytöstä tuen määrittelyssä

Tarkastelutavalla voi myös käsitellä eri tyyppisten joukkojen vaatimien tietojen reaaliaikaisuutta. Liikkuvan yhtymän esikunnan kannalta asia voidaan esittää seuraavalla tavalla, esimerkkinä on tiestön käyttö:

	YKSI KÄYTTÄJÄ	KÄYTTÄJÄRYHMÄ	MONTA KÄYTTÄJÄÄ
JATKUVA TARVE	Tiestön yleiskuvaus (referenssikartta)	Tietilanteen ja reittivarausten reaaliaikainen ylläpito	Tietilanteen seuraaminen
TOISTUVA TARVE	Tilanteen arviointi päätöksenteon osana (analyysi / resurssit)	Tiestön käytöstä päättäminen aikaan sitoen esikunnan sisällä (ns. tiekokous)	Tiestön liittäminen osaksi suunnitelmaa (tietojen poiminta)
SATUNNAINEN TARVE	Alainen tarvitsee reitin välille A – B (liikkuva käyttö)	Tienpidon toimialakohtainen suunnittelu (tienpito, ilmatorjuntasuoja, opastus jne.)	Reitin suunnittelu ja varaaminen tiettyyn tehtävään liittyen
<i>Käyttötapa</i>	<i>päätöksenteko</i>	<i>ylläpito, suunnittelu ja valvonta</i>	<i>tiedon käyttäminen</i>

Taulukko: Esimerkki integraatiotason käytöstä tietojen käytön kuvaamisessa.

Esikunta on organisoitu sisältämään kolme tietojen käsittelytapaa: päätöksenteon; ylläpidon, suunnittelun ja valvonnan sekä käytön. (1) Päätöksentekoa varten on tärkeää saada tiedot muodossa, jossa niitä voi käyttää resurssien käytön perustana. Tiestöesimerkissä huoltopäällikköä kiinnostaa tieyhteyksien kokonaismäärä ja volyyymi, pioneeripäällikköä ylläpidon tarve ja ilmatorjuntapäällikköä ilmasuojan mahdollisuudet sekä tarvittavat re-

⁸ Sotilaallisesti tuella tarkoitetaan perinteisesti niitä toimenpiteitä, joita jalkaväen käyttö edellyttää aselajeilta. Esimerkiksi pioneeritoiminnassa tuki on vastustajan liikettä rajoittavaa suluttamista, suojaa lisäävää linnoittamista ja liikettä varmentavaa raivaamista ja ylimenoa.

surssit kokonaisuuksina ja erilaisiin vaihtoehtoihin sitoen. Päätöksentekorytmissä riittää, että tilanne ennustamalla jähmetetään⁹ päätöksenteon vaatiman muutaman tunnin ajaksi, jonka jälkeen tehty ratkaisu tarkennetaan muutoksien osalta. Tietoja voi siis käyttää tiedostomuotoisena. Alaisen kannalta tilanne on tavallaan vastaava hänen kysyessään tietyt ehdot täyttävää reittiä esikunnan tietojärjestelmältä: päätös on tapahtunut ehtoja asetettaessa ja palautettu reitti konkretisoi sen. Tiestön käyttö suunnitellaan siten, että tehdyt päätökset realisoidaan konkreettisiksi tehtäviksi joukoille koskien niitä ominaisuuksia, joihin omalla toiminnalla voidaan vaikuttaa.

(2) Suunnittelussa voidaan erottaa päätöstaso, jossa tehty kokonaispätös yhteyksien osalta konkretisoidaan tiestölle aikaan sitoen tiekokouksessa. Tämän jälkeen alkaa toimialakohtainen suunnittelu päätösten toteuttamisesta. Suunnittelu voidaan toteuttaa joko tiedostomuotoisella tai tietokannassa olevalla paikkatiedolla. Tietietoja ylläpidetään jatkuvasti osana reaaliaikaista tilannekuvaa. Kun huomioidaan käytettävissä olevat viestiyhteydet, on ainakin lähitulevaisuudessa realistista ajatella tämän tapahtuvan vain yhdessä pisteessä alueellisella tasalla, reaaliaikaisen rakenteen luominen kyseiseen tilanteeseen tuskin onnistuu kun käyttöympäristö otetaan huomioon. Ylläpito sisältää useita ulottuvuuksia: tiestön kunnan ja käytettävyyden, tienpitotason eli palvelun, hallinnollisten päätösten kuten vastuualueiden kuvaamisen, sulutetut ja hävitetyt yhteydet, uudet yhteydet, uhanalaiset yhteydet sekä omien joukkojen liikkeen seurannan ruuhkien estämiseksi. Tämän tyyppinen toiminta vaatii yleensä relaatiotietokannan käyttämistä. Ajattelu kuvaa myös sen, miten lähtöaineistot elävät niitä käytettäessä, osa kuvatuista toiminnoistahan kohdistuu tieaineistojen paikka- ja ominaisuustietoihin, osa taas syntyy yhdistelmänä muista tietotasoista. Valvonta on tässä toimintaa, jossa tehtyjä aikaan sidottuja suunnitelmia ja alaisille lähetettyjä sekä varattuja reittejä verrataan reaaliaikaiseen tilanteeseen. Poikkeamiin puututaan reaaliaikaisen johtamisen eli taistelunjohtamisen keinoin. Mikäli tämä ei riitä, joudutaan suunnitelmia tai jopa päätöksiä päivittämään muuttuneen tilanteen mukaisiksi.

(3) Tietojen käytön taso poikkeaa edellisistä. Kyse ei ole päätöksenteosta vaan tietojen kyselystä päätösten ja suunnitelmien pohjalta. Joissakin tapauksissa voi riittää yksinkertainen kuva, usein tietoja halutaan kuitenkin käyttää oman suunnittelun perusteena. Tässä käyttötavassa hajautetut webGIS tekniikat ovat toimivia, kunhan sotilasyhteyksien epävarmuudet otetaan huomioon.

Paikkatietoanalyysin tehtävänä on tuottaa lisäarvoa olemassa olevalle ja päivitetylle tiedolle. Miten analyysija voitaisiin käyttää esitetyn esimerkin tilanteessa? Päätöksen-

⁹ Tyypillisesti arvioidaan lähiajan kehitys ja päätös tehdään tätä ennustetta vasten.

teossa oleellisia ovat yhteydet ja niiden vaatimat resurssit tai aiheuttamat uhat toiminnalle. Kun huomioidaan käytössä oleva rajoitettu aika ja useat erilaiset mahdollisuudet, analyysin on kyettävä esittämään tiedot korkealla abstraktiotasolla. Perimmäinen kysymys onkin, onko alueiden A ja B välillä riittävä määrä turvattuja yhteyksiä. Kyse on yleistyksestä, jonka toteutustapa riippuu täysin tilanteesta ja voi vaihdella eri yhteyksien välillä – esimerkiksi nopea ja suojatun verrattuna hitaaseen mutta suojaiseen. Päätöksenteko perustuu lisäksi niin moneen tiestöstä riippumattomaan tekijään, että lopullinen synteesi voi tapahtua vasta päättäjän aivoissa: analyysin tehtävänä on yhteyksien visualisointi. Tieluokalla on taistelussa vain pieni merkitys verrattuna reitin auki olemiseen. Mallissa tämän tyyppistä analyysia kutsutaan yhdistetyksi analyysiksi. Suunnittelussa laskenta tiestön ominaisuuksilla ja samantasoisten vaihtoehtojen esittäminen on keskeistä. Tilannetta voi harvoin toteuttaa optimointina, paremminkin kyse on monitavoitteisesta päätöksenteosta. Käytettävissä oleva aika ja tilanteen muuttumisnopeus huomioiden pyritään hakemaan vain jokin kaikkien osapuolten kannalta toteuttamiskelpoinen ratkaisu ja iteroinnilla on tärkeä rooli. Mallissa tämän tyyppisiä analyysejä kutsutaan resurssi-analyyseiksi.

Valvonnassa tietojärjestelmä on havaintokyvyltään ihmiseen nähden monin tavoin ylivoimainen. Ihmistä kuitenkin tarvitaan päättämään poikkeamien aiheuttamista toimenpiteistä ja ennakoimaan tilanteen kehittymistä. Oikein parametrisoimalla tietojärjestelmä kykenee myös koko ajan seuraamaan pelivaraa, joka on suunnitellun tai ennustetun ja olemassa olevan tilanteen välillä. Vertailua voidaan tehdä joko tietojen tai erilaisten analyysitulosten välillä. Käytön tasolla toiminta on paikkatietotekniikan kannalta suoraviivaista. Kyseessä on tyypillisesti reitin optimointi käyttäjien asettamien kriteerien perusteella. Tiestöllä tällaisia voivat olla esimerkiksi nopeus, matka, suojaisuus sekä muiden tien käyttäjien vaikutus.¹⁰ Vähemmän konkreettisia tekijöitä voisivat olla uhanalaisuus ilmatilanteeseen nähden, polttoaineen täydennysmahdollisuus tai eksymistodennäköisyys pimeällä. Reittioptimoinnin kannalta tietoteknisen haasteen asettaa se, että perustilanne muuttuu hyvin nopeasti, jolloin laskentagraafeja joudutaan joko laskemaan usein tai hoitamaan muutokset jänteiden ominaisuuksia muokkaamalla.

¹⁰ PATU-projektissa toteutetussa reittioptimointiprototyypissä käytettiin näitä tekijöitä. Lisänä oli liikkujan ominaisuuksien kuten maastoliikkuvuuden ja osaston koon huomioiminen. Muita tiellä liikkujia ei tässä vaiheessa vielä huomioitu.

6.1.7 Johtopäätökset – vaatimukset analyysihierarkialle

Paikkatietoanalyysien metamallin on täytettävä ainakin seuraavat vaatimukset:

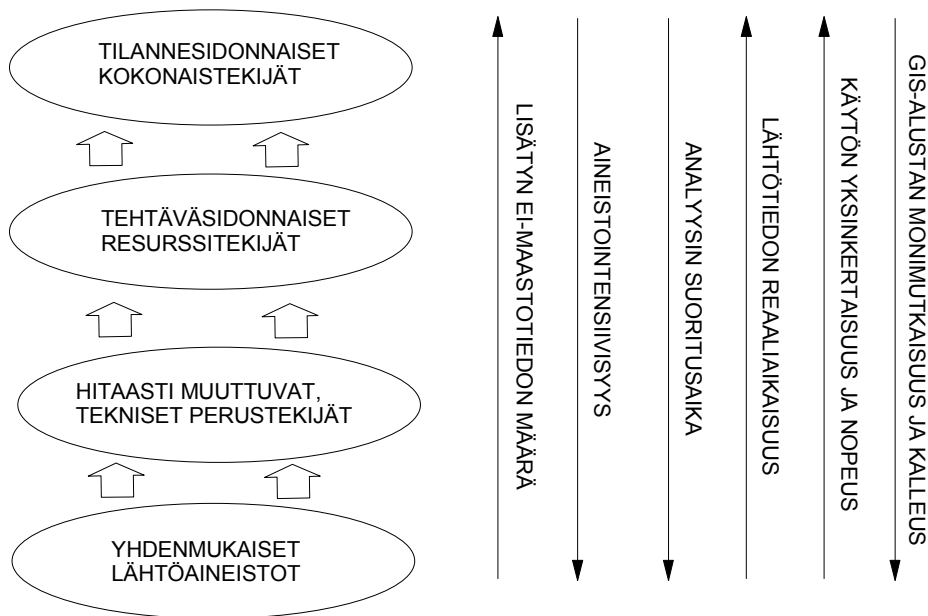
1. Analyysien aineistointensiivisyyden on pienennyttävä siirryttäessä kohti päätöksentekoa ja reaaliaikaisuutta. Hierarkian on yleistettävä tietoa.
2. Analyysien suoritusajan on pienennyttävä suhteessa johtamisprosessissa käytettävissä olevaan aikaan.
3. Analyysin on oltava lähtöaineistoiltaan oikeaskaalainen analysoitavan sotilaallisen ilmiön kanssa.
4. Analyysit on kyettävä laatimaan vaiheittain siten, että jokaisessa vaiheessa lähtöaineistoihin liitetään tilannesidonnaista sotilaallista tietoa ja tulkintaa.
5. Hierarkian on muodostettava luonnolliset, testattavissa olevat komponenttirajapinnat.
6. Analyysien pitää olla toteutettavissa kustannustehokkaasti käyttäen valmiita tekniikkaa kehitystyön perustana.
7. Analyysit on kyettävä toteuttamaan sillä tiedolla, jonka kriisiajan tiedonsiirtoyhteydet huomioiden voidaan varmasti olettaa olevan käytössä.
8. Metamallin on oltava tietosisällöltään yhdenmukainen kaikilla tasoilla, jotta saadaan perusta eri sovellusten loogiselle yhdenmukaisuudelle.
9. Analyysien on käytäydyttävä kaikilla tasoilla yhdenmukaisesti ja ennakoidulla tavalla siten, että analyysitulosten oikeellisuus - puutteet ja mahdollisuudet - ovat selvillä.
10. Siirryttäessä kohti päätöksentekijää analyysien toteutuksen tulee olla helpompaa ja mahdollistaa tulosten iteratiivinen yhdistely optimoinnin sijaan.
11. Mallin on oltava sotilaallisesti ajateltuna luonnollinen, looginen ja yleisen ajattelutavan mukainen sekä päätöksentekijää tukeva.

Siviilielämästä poiketen mallissa on piirteitä, jotka on ymmärrettävissä vain sodan luonnetta ymmärtämällä. Työn perustana oleva sotilaallinen toiminta käynnistyy yleensä käskystä. Kaikki resurssit ja ajattelu keskitetään tämän jälkeen käskyn täyttämiseen sen asettamassa aikarajoissa, joka näkyy sekä tavoitteiden selkeytenä että ajan käytön optimointina - metaforana esittäen pelaaminen aloitetaan, kun kiekko putoaa jäähän. Tais-telu on aina tahtojen kamppailua, jossa kumpikin osapuoli yrittää ennustaa vastustajan

toimet ja laatia suunnitelman pakottaa vastapuoli tahtoonsa. Kyse on suhteellisen edun saavuttamisesta tilanteesta, jossa vaikuttavina tekijöinä ovat ajan lisäksi ympäristö ja kaksi osapuolta. Koska me uskomme olevamme lähtökohtaisesti alivoimaisia, etu hankitaan taistelulla oikealla aikautuksella sellaisessa paikassa, joka tasoittaa voimasuhteita. Molempia maastoanalyysit kykenevät tukemaan merkittävällä tavalla. Päätöksenteko on kaikissa portaissa komentajakeskeistä. Esikunnan tehtävänä on tuottaa ja jalostaa aikaan sitoen riittävän oikea tieto, jonka perusteella komentaja kykenee päättämään. Vaikka tällä hetkellä onkin ROLFin tapaisia suuntauksia kohti ryhmäpäätöksentekoa, sekin tapahtuu rajoitetussa ajassa yhteisessä pöydässä, jaetusti mutta ei kompromissina.

Päätöksenteon aikakriittisyys luo tilanteen, jossa päätös tehdään vajaalla tiedolla arvauksen ja intuition avulla. Vaikka tietotekniikka kykeneekin parantamaan ihmisen tekemiä arvioita, se ei kykene niitä tekemään. Kaikki kehitystyö on tehtävä päätöksenteon ja suunnittelun ehdoilla, riittävän hyvin oikeaan aikaan. Taistelu tuo mukanaan myös tiedon haavoittuvuuden erityisesti yhteyksien ja varmistusten tarpeen kautta. Vikana on usein koko järjestelmän fyysinen tuhoutuminen, jota ei voi korjata, ainoastaan korvata. Tiedollisesti jokaisen järjestelmän on koko ajan oltava autonomisesti ilman tiedonsiirtoyhteyksiä sillä tasolla, että päätöksentekoa kyetään tukemaan. Lisäksi on löydyttävä varajärjestelmä, joka ainakin toistaiseksi on perinteinen ”kartta ja tussi”.

Mallin rakennevaatimukset voidaan yksinkertaistettuna esittää seuraavasti:



Kuva: Hierarkkisen paikkatietoanalyysien metamallin muodostamisen vaatimukset.

6.2 Kokonaismallin rakenne

Kokonaismalli esitetään neljän tason avulla käyttäen aikaperustaista jaottelua, joka vastaa kytkentää johtamisprosessin kanssa. Viimeisessä alaluvussa on esitetty mahdollisuus myös jaotteluun analyysitekniikan kannalta.

6.2.1 Aineistotuotteet lähtökohtana

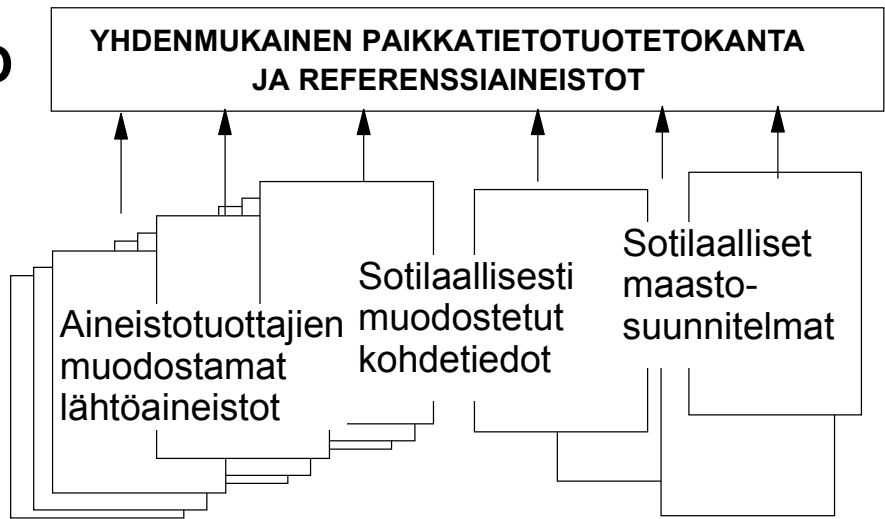
Mallin lähtökohtana on tiedollisesti yhtenäinen paikkatietotuotekanta, joka mahdollistaa lähtöaineistojen jakamisen kaikille sovelluksille yhtenäisenä. Jos näin ei menetellä, sovellukset perustuvat erilaiseen käsitykseen asioista ja kokonaisuuteen rakentuu kaotisuuden siemen jo ennen epävarmaa sotilaallista tietoa. Myös toisen sovelluksen tietoihin viittaaminen estyy: sulutteen paikan lisäksi on muistettava siirtää myös tieto tiestä, joka on katkaistu, koska ei voi olla varma toisella järjestelmällä olevan vastaavaa tietoa eikä topologia siirry. Tavoite on keskeinen muun muassa yhdysvaltalaisessa ajattelussa.

Ideaalitulanteessa aineistojen jakelu tapahtuu suoraan tietojen tasolla poimintana yhdestä yhteisestä tietokannasta¹¹. Suomessa tämä ei ole mahdollista seuraavista syistä:

- Topografikunnan ja muiden jakelijoiden resurssit eivät mahdollista tiedon tuottajien muodostamien aineistojen pilkkomista ja yhdenmukaistamista. Toisin kuin Yhdysvalloissa tieto on koko ajan olemassa, sitä ei tehdä tilanteen mukaisesti keskitetyillä resursseilla.
- Merkittävä osa lähtöaineistoista on rasterimuotoisia, joiden käsittely kevyissä tietokannoissa on tilaa vievää ja hidasta.
- Kriisiajan tiedonsiirtoyhteydet pakottavat varautumaan aineistojen siirtämiseen ja päivittämiseen massajakeluna CD / DVD -tyyppisesti.
- Tietokantaan perustuvat paikkatietojärjestelmät ovat yleensä raskaita eivätkä skaalaudu kaikille tarvittaville käyttäjätasojille. Vaikka puhdas sotilaallinen tieto näin toimisikin, ympäristö jää referenssin varaan eikä tietokone kykene sitä huomioimaan tukiessaan ihmisen päätöksentekoa.

Käytännön syistä tehokas tapa jakaa aineistoja on muodostaa niistä yhteisesti määriteltäviä tuotteita. Koska resurssit eivät mahdollista sovelluskohtaista jakelua ja räätälöintiä, tulee tuotteet standardoida ja mukautua tämän aiheuttamiin rajoituksiin. Riittävän hyvän määrittely ja ymmärtäminen on tässä keskeistä.

¹¹ Vertaa Yhdysvalloissa ja Ruotsissa esitetyt tavoitetilat.

0-TASO

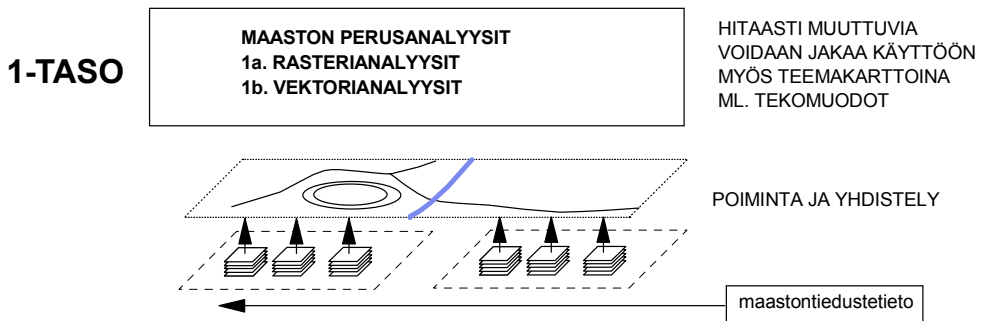
Kuva: Lähtökohta, kaikille analyyseille yhdenmukainen lähtöaineistokanta.

Koska aineistot tuotetaan pääosin siviilikäyttöön kaupallisissa ohjelmistoissa käytettäväksi, pitää tämä ottaa myös sotilaalliseksi lähtökohdaksi. Erikoisten, vain sotilaskäyttöön kehitettyjen formaattien ja tietomuotojen käytöstä on määrätietoisesti luovuttava ja pyrittävä mahdollisimman suureen avoimuuteen. Suomen kaltaisessa maassa, missä pääosa myös sotilaallisesta osaamisesta ja käyttäjistä tulee muusta yhteiskunnasta, ei ole varaa matkia tässä suhteessa ammattiarmeijoita.

Huomion arvoista on asutuskeskuksiin liittyvän, hyvin hajanaisen ja standardoimattoman tiedon muuttuminen sotilaallisesti yhä tärkeämmäksi. Tämän tyyppisiin tilanteisiin voi varautua käyttämällä mahdollisimman yleistä teollisuusstandardia ja georeferointia, jonka formaatin ja koordinaatistomuunnoksen voidaan olettaa olevan tiedon tuottajien tai ainakin laajan asiantuntijapiirin tiedossa. Lisäksi tietomalli pitää pelkistää siten, että se voidaan kohtuudella tuottaa heterogeenisistä aineistoista. Meillä tuskin on varaa rakentaa kaupunkikohtaisia johtamissovelluksia, kehittää niille laadukkaita algoritmeja ja opettaa niiden käyttö työpaikkakoulutuksena, tai pahimmassa tapauksessa operatiivisen suunnittelun yhteydessä tärkeimmille käyttäjille. Sen sijaan on mahdollista poimia esikuntaan juuri tietyn kohteen paikkatietoasiantuntijat ja antaa heidän tehtäväkseen muodostaa yleisen mallin mukaisia lähtötietoja sekä kouluttaa heidät sotilaalliseen maailmaan – sehän heille on joka tapauksessa outoa siviilioaamisesta huolimatta.

6.2.2 Maaston perusanalyysit (1-taso)¹²

Maaston perusanalyysit tehdään mahdollisimman suurella resoluutiolla siten, että niiden sotilaallinen tulkinta on suoraviivaista ja tilanneriippumatonta. Näkökulma maastoon on pistesidonaisuus: miten sotilaalliseen toimintaan liittyvä tekijä N toteutuu pisteessä (x,y,z). Resoluutiotaso on analoginen taistelun kuvaamiseen yksittäisen välineen tarkkuudella. On harkittava, tehdäänkö analyysi täysin välinesidonaisesti vaiko esimerkiksi ajoneuvoittain tai yleistettynä tietylle ajoneuvotyypille: esimerkkinä T72M, taistelupanssarivaunu ja yleinen teloilla varustettu panssarivaunu -tasot. Sotilaallinen maastoajoneuvourien luokittelu on muodostettu yleisen tason perusteella ja muodostaa luonnollisen lähtökohdan yleisesti käytettäville analyysituloksille. Toisaalta analyysien tekeminen erikseen omalle ja vastustajan kalustoille antaa mahdollisuuden tehokkaasti määrittää suhteellisia eroja, etuja ja haittoja, joita voidaan käyttää taktisen ja operatiivisen suunnittelun perusteena. Tyypillistä perusanalyysille on, etteivät niiden tulokset riipu tarkastelusuunnasta, -ajasta tai tarkastelijasta eli vahvasti tilannesidonaisista tekijöistä.



Kuva: Maaston perusanalyysit muodostavat hierarkian lähtökohdan.

Maaston perusanalyysit on mahdollista toteuttaa teknisesti hyvinkin monimutkaisesti ja niiden aineistointensiivisyys voi olla korkea, koska analyysit voidaan tehdä pitkälle jo perusvalmiudessa ja jakaa kriisissä keskitetysti. Menettelytapa antaa mahdollisuuden käyttää teknisinä analysoijina erikseen koulutettuja asiantuntijoita. Yleisimmät analyysitulokset kyetään tuotteistamaan ja jakamaan käyttäjille referenssikarttojen tapaan joko digitaalisina, tulosteina tai jopa painotuotteina. Keskitetty tuotanto mahdollistaa vapauden valmistohjelmien valintaan ja sellaisen tuotantotavan suunnittelun, että riittävä kriisinkeskeytyky saavutetaan. Analyysituloksia voidaan tehdä myös kumppanuusyrityksissä vastaavalla tavoin kuin muidenkin kotimaisten sotavarusteiden tuotanto on suunniteltu kriisin

¹² Tässä käytetyillä tasojen käsitteillä ja organisaatiotasolla ei ole suoraa riippuvuutta toisistaan. On kuitenkin mahdollista löytää yhtäläisyyksiä: esimerkiksi tässä esitetty 1-taso tuottaa teknistä tarkastelua, joka on vallitseva ainakin kompaniatasolla saakka,

aikana toteutettavaksi. Perusanalyysit muodostavat ensimmäisen askeleen paikkatietoylivuomassa, jossa data jalostetaan sotilaallisesti merkitykselliseen muotoon.

Maaston perusanalyysien lähtötiedot ovat sotilaalliseen tilanteeseen nähden hitaasti muuttuvia. Aikajänteenä tämä tarkoittaa korkeintaan viikkotasolla vaihtuvia tekijöitä tai mittaluokaltaan niin pieniä muutoksia, että ne voidaan tehdä käyttäjätasolla joko lähtöaineistoihin tai suoraan korjauksina analyysituloksiin. Perusanalyyseissa voidaan ottaa huomioon dynaamisten ympäristötekijöiden, kuten lumen, jään, roudan ja vetisyyden vaikutukset joko tilastollisina tai reaaliaikaisina, jopa ennusteina. Tilastoihin perustuvilla analyysituloksilla tuetaan rauhan ajan operatiivista suunnittelua, jolloin saavutetaan riippumattomuus tietyn vuoden suhteen säilyttäen kuitenkin yhteys vuodenaikaan nähden. Tilastotieto voidaan muodostaa joko tiettyyn ajanhetkeen sitoen, esimerkkinä ”maaliskuun puolivälin routatilanne”, tai käsitteellisenä kuten ”talven keskirouta”, jolloin käsite talvi voidaan määrittellä maan eri osissa eri pituisena ajanjaksona. Jaksottelua harkittaessa on syytä huomioida ainakin kaksi seikkaa: kuinka oleellisia muutoksia tapahtuu analyysillä tuettavan ilmiön kannalta ja montaako aineistoa voidaan käyttää suunnitelmien pohjana, koska jokainen vaatii ainakin perussuunnitelman tarkentamista, mikäli muutos on merkittävä. Tilastollisuus mahdollistaa myös aineistojen järkevän turvaluokittelun, koska tiedot eivät koskaan ole sellaisenaan voimassa. Näin tiedot voidaan jakaa myös alaisille yhteisen perustan muodostamiseksi.

Analyysi on kriisitilanteessa mahdollista toteuttaa nopeasti reaaliaikaisilla tiedoilla. Tämän jälkeen tuttu analyysitulok kuvaava juuri tiettyä ajanhetkeä, joka voi taustailmiöstä riippuen olla jopa ennuste. Mikäli itse analyysialgoritmia ei muuteta, tulee sen salaamisesta pitää riittävä huoli: vastustajahan voi toteuttaa saman ja joko hyötyä meidän paremmasta tiedostamme tai mikä pahempaa, tietää meidän ajattelumme yhden perustan. Mitä enemmän lähtötiedot muuttuvat ajan suhteen, sitä suurempi on reaaliaikaisella analyysillä saavutettavissa oleva hyöty. Jos käytössä olisi lisäksi vastustajan vastaava analyysi, voisi etuja hakea paremmasta ymmärryksestä siihen verrattuna. On muistettava, että perusanalyysituloksia voidaan korjata havaintojen perusteella myös kentällä sellaisenaan: jos suo havaitaankin analyysistä poiketen kulkukelpoiseksi, sen arvo voidaan muuttaa ilman lähtöaineistojen päivittämistä.

Perusanalyysitulosten salattavuutta harkittaessa on otettava huomioon seuraavat tekijät:

- Perusanalyysit esitetään yhden teknisluonteisen tekijän suhteen, jolloin niistä ei ole mahdollista erottaa taaksepäin vain tietyn osatekijän vaikutusta.¹³

¹³ Katso seuraavan luvun kuvaus kulkukelpoisuusanalyysistä. Ei ole mahdollista luoda algoritmia, jolla esimerkiksi tilastollisen analyysin tulos päivitetäisiin reaaliaikaisella aineistolla ilman, että algoritmi toteutetaan uudelleen. ”Ruuu ei tiedä syytä, miksi se on

- Reaaliaikaiset algoritmit voidaan muodostaa tarkemmin vastaamaan varsinkin erikoisolosuhteita kuten roudan sulamista tai muodostumista, joita tilastollisissa tarkasteluissa ei voi järkevästi huomioida.
- Reaaliaikainen¹⁴ analyysitulokset poikkeaa yleensä merkittävästi tilastollisesta ja vaihtelu on satunnaista, jolloin epävarmuutta ei kyetä ennalta ennustamaan kuin pienissä määrin. On esitetty väite, että 10% väärää tietoa tekee aineistosta vahingollisen päätöksenteon perustan¹⁵.
- Reaaliaikaisen analyysituloksen oikeellisuus heikkenee ajan funktiona.
- Salaaminen voidaan toteuttaa algoritmilla, joka muuttaa sopivan määrän tietoa virheelliseksi satunnaiselta vaikuttavissa kohdissa. Tämän tyyppinen salaaminen on todennäköisesti jopa tehokkaampaa, koska se sisältää samalla harhauttamisen elementin tuloksen joutuessa vastustajan käsiin.
- On muistettava, että me emme kykene salaamaan totuutta, ainoastaan oman käsityksemme siitä. Analyysin lähtötiedot ovat julkisesti saatavilla.
- Reaaliaikainen päivitysmekanismi on mahdollista hallita siten, että tietojen siirtyminen väärin käsiin voidaan estää. Tämä tieto ei kriisin aikana ole julkista ainakaan siinä muodossa, missä sitä sotilaallisesti käytetään.
- Monimuuttujaisissa analyyseissa virheet kumuloituvat joko voimistaen tai heikentäen tulosten luotettavuutta. Yksittäiset lähtöaineistot eivät anna täyttä kuvaa itse analyysituloksen oikeellisuudesta.

Perusanalyysin tuloksien käyttö referenssikartan tavoin on yleensä mahdollista ja luonnollista myös 3D-visualisoinnissa: myös koulutettu panssarimies näkee maaston enemmän kulkukelpoisuutena kuin maalajeina, analogia oman ajoneuvon ja kuvatun ympäristön välillä on järkevä. Näin voidaan menetellä myös abstraktimpien asioiden, kuten maastokaasun pysyvyyden tai asemien linnoitettavuuden suhteen. Käyttäjällä on näin myös mahdollisuus verrata analyysitulosten oikeellisuutta omaan kokemukseensa olettaen, että 3D-maailma on tehty samasta tietomateriaalista kuin analyysitkin. Myös analyysiluokkien merkitys on mahdollista visualisoida ihmiselle ymmärrettävämmässä muodossa ilman sanallista määrittelyä.

Esimerkkejä tietotyyppistä yhdistävistä maaston perusanalyyseista ovat luvussa 4 kuvattu sotilastiestön suojaisuuden määrittely vektoriaineiston ominaisuustiedoksi ympäröivän maaston perusteella ja vastaavasti vektorimuotoisen tiestön yleistäminen maaston kulkutekijäksi Pioneeritoiminnan johtamislaitteen kulkukelpoisuusanalyysissa.

punainen”.

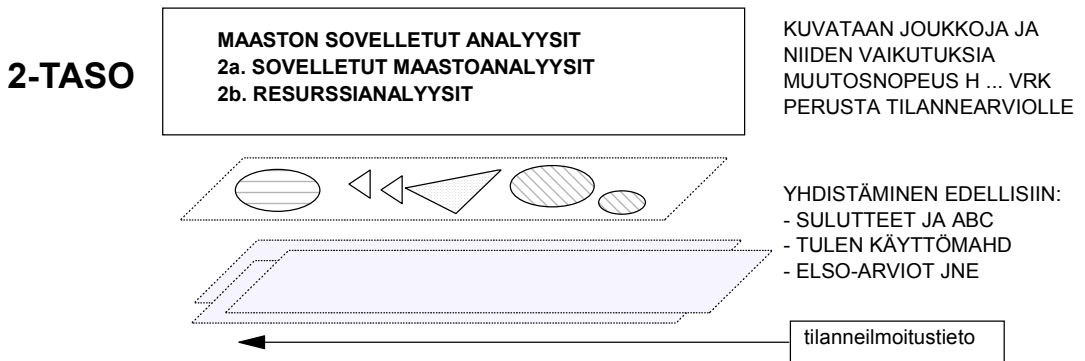
¹⁴ Reaaliaikaisella tarkoitetaan tässä analyysia, jossa lähtöaineistona on esimerkiksi tietyn ajanhetken routatilanne tilastollisen yleistyksen sijaan.

¹⁵ Asia nousi esiin muun muassa Yhdysvaltojen NTC:ssä käydyissä keskusteluissa. Kun sotilaalliset analyysit perustuvat tiedon kumuloitumiseen, virheiden merkitystä on vaikea arvioida. Toisaalta esitetty yleistävä malli voi toimia vastakkaisella tavalla, koska ihmisen ajattelu toimii useassa vaiheessa referenssinä konetiedon rinnalla.

6.2.3 Maaston sovelletut analyysit (2-taso)

Sovelletuissa analyyseissa tarkastelutapa on siinä suhteessa tilanneriippuvainen, että ympäristöä voidaan arvottaa esimerkiksi tarkastelusuunnan mukaisesti. Analyysien käytettävyys voi myös olla ajallisesti perusanalyysija lyhyempää. Sovelletuissa analyyseissä tyypillisesti yhdistetään vektori- ja rasteriaineistoja.

Maaston sovelletut analyysit jaetaan kahteen tyyppiin:



Kuva: Maaston sovellettujen analyysien muodostama taso, jonka lähtökohtana on ensi sijassa maaston perusanalyysien tulokset.

Sovelletuilla maastoanalyysilla haetaan vastausta taisteluteknisen tason sotilaallisiin kysymyksiin ja niiden tulokset esitetään tuettavaa toimintaa vastaavalla tarkkuudella. Lähtökohtana voidaan pitää sääntöä esittää tulokset päätöksentekotasoon nähden alaisen alaisen tarkkuudella. Jos perusanalyysi on tehty ajoneuvoittain eli sotilaallisesti ryhmän mittakaavassa, toimii perusanalyysitulokset sovelletun analyysin tavoin komppania-tasolle saakka. Esitetyllä analogialla pataljoonassa tulisi käyttää joukkueen taistelutekniselle tasolle yleistettyä sovellettua analyysia ja prikaatissa komppaniaa vastaavaa oikeaskaalaisuutta. Säännöllä on looginen perusta: nähdessään alaisen alaisen mitta-luokan ihminen kykenee nopeasti muodostamaan alaisensa toimintaa vastaavia moni-mutkaisiakin hahmoja, jotka sitten toimivat luovasti oman tason ajattelun välineinä. Paljolti vastaavaa rakennetta käytetään hahmontunnistuksen lähtökohtana. Tulevaisuuden taistelukenttä näyttää siirtyvän kohti pienempien yksiköiden käyttöä. Tämä asettaa omat vaatimuksensa analyyseille, koska ”pataljoonan tulivoiman omaava joukkue” toimii maas-tossa eri tavoin kuin ”tavallinen” joukkue: ajattelutapa on pataljoonasta, mutta fyysinen ilmentymä sen alaisen alaiselta. Edellä visualisoinnin yhteydessä huomattu halu nähdä vastustaja suuremmissa skaalassa kuin omat joukot ilmenee taktisena terminä liikkeen

osalta soluttautumisena. Esitetyt näkökannat puolustavat periaatetta, että sovelletun analyysin yleistystaso ja –tapa on oltava tuloksen käyttäjän määritettävissä.

Suuntaavuus on oleellinen piirre sovelletussa maastoanalyysissa. Pikselijonoista voi mielesään muodostaa ajoneuvojen reittejä tai antaa niiden etsimisen tietokoneelle. Reiteistä on huomattavasti vaikeampi päätellä, miten ne vaikuttavat niitä käyttävän joukon taistelujärjestykseen. Esimerkiksi hyökkäävä komppania voi toimia jalan, jalan vaunujen tukemana, vaunujen kanssa yhteistoiminnassa tai vaunuista ja jokainen näistä asettaa toimintaympäristölleen erilaiset vaatimukset. Maasto voi myös suunnata toimintaa, esimerkiksi oikeaan suuntaan johtava tie mahdollistaa vaunujen käytön liikkuvana tukena, vaikka maasto muutoin pakottaisi rikkonaisuudellaan ne portaittaiseen tulitukeen. Vastaava ilmiö sisältyy lähes kaikkeen sotilaalliseen taistelutekniikkaan ja se on koulutuksella systematisoitu lähes automaatiotasolle.

Sovelletut maastoanalyysit rakentuvat perusanalyysitulosten yleistämiseen ja / tai suuntaamiseen, lisäksi niihin voidaan yhdistää samaan sotilaalliseen tekijään liittyviä muita aineistoja tai perusanalyysituloksia. On kuitenkin varottava tilanteita, joissa sovellettuun maastoanalyysiin esimerkiksi liikkeen rinnalle otetaan ampumaetäisyyteen liittyviä tekijöitä mukaan kuvaamaan vaikkapa ”hyökättävyyttä”. Näin saadaan toki syntymään yhdistetty ominaisuus, mutta menetetään mahdollisuus käyttää tuloksia apuna seuraavilla hierarkiatasoilla. Tässä työssä esitettyssä mallissa käsitteellisesti erilaisten tekijöiden yhdistäminen tapahtuu vasta ylimmällä eli kolmannella tasolla.

Tilannesidonnaisuus ja erilaisten vaihtoehtojen iteratiivinen etsintä pakottaa toteuttamaan analyysit tuloksia käyttävässä johtoportaan. Toisaalta itse algoritmit voidaan systematisoida ja niiden oikeellisuus testata, eikä analyysien toteuttajana tarvitse välttämättä olla niiden tulkitsija tai päättäjät itse. Kun perusanalyysit käytetään suunnitelmallisesti aineistointensiivisyyden ja sen aiheuttaman monimutkaisuuden alentamiseen, voidaan myös sovellettujen analyysien tekoaikavaatimuksiin vastata. Esimerkiksi vastustajan toimintamahdollisuudet voidaan myös analysoida useasta mahdollisesta suunnasta jo ennen taistelun alkua, jolloin kohtuullinen tulos on heti tilanteen alussa käytettävissä.

Ohjelmistollisesti sovelletut analyysit voidaan toteuttaa desktop GIS tasolla. Algoritmien laskentatarkkuuteen vaikuttamalla on mahdollista määrittää oikea tarkkuustaso ja ottaa huomioon aikavaatimukset sekä kuvattavan ilmiön skaalaisuus. Tarkkuuden säätäminen antaa myös perusteet analyysien käytölle rauhan ajan suunnittelussa ja kriisiajan analyysissä. Tarkasteluun on mahdollista ottaa huomioon esimerkiksi painottamalla vektoreita kuten tiestöä sen mukaan, kuinka kohteiden suunta yhtyy käyttäjän määrittämään kulkusuuntaan. Rastereita voidaan painottaa esimerkiksi suuntagradienttia käyttäen osittamaan, minkä tyyppiseen maaston muodostukseen kukin rasteri liittyy.

Sovelletut maastoanalyysit tulkitaan tyypillisesti visuaalisesti, joka vaatii niiden ulkoasulta ihmisen tavan käsitellä ja hahmottaa tietoa huomioivaa suunnittelua. On myös harkittava, miten tulokset esitetään 3D-maailmassa, jossa muu ympäristö on usein yleistämätöntä, informaation ja datan yhdistämisessä on vaaransa. Toisaalta visualisointi antaa käyttäjälle perusanalyysien tavoin mahdollisuuden verrata omaa kokemuseräistä tietoaan analyysin tuottaman kanssa samalla, kun tilanteiden läpikäyminen määrittelee analyysin tarkoittaman kelpoisuuden ja tulkitsijan oman skaalan suhteet. Sovellettu analyysi antaa parhaimmillaan 3D-maailmassa aivan konkreettisesti kyvyn ”nähdä metsä puilta”: synkään metsään ajaminen annettua suuntaa avaakin kahden kaadetun puun jälkeen uuden aukean – ei vain yhdelle vaunulle vaan tilastollisesti tarkasteltuna kymmenelle vierekkäiselle mahdollistaen jatkuvan tulen käytön kolmen vaunun kokonaisuuksina.

Analyyseissa voidaan käyttää lähtöaineistoina myös maastosuunnittelulla hankittuja tai ominaisuustietopainotteista dataa. Tämän hetkisten kokemusten mukaan laskennallisesti on seka-analyyseissa tehokkainta muuttaa muut tietotyypit rastereiksi ja toteuttaa mas-samainen laskenta overlay-tyyppisesti, jonka jälkeen arvot voidaan yleistää esimerkiksi vastuualueita kuvaavien polygonien ominaisuudeksi. Jos kaikki lähtötiedot ovat vektorimuotoisia, tilanne toki muuttuu. Tässä suhteessa on syytä paneutua ensin käytettäviin aineistotuotteisiin ja niiden vaikutuksiin perusanalyyseissa.

Sovelletulla maastoanalyysillä on kyky yhdenmukaistaa ajattelua ja siirtää kokemuksen mukanaan tuomaa hiljaista tietoa kokemattommille: siinä, missä noviisi näkee aukeiden rikkoman metsän, voi kokenut toimija nähdä metsien suojaaman aukean. Analyysi-algoritmi antaa kokemattomalle perustan, joka voi tukea jo tehtyjä päätelmiä ja koke-neemmallekin se voi osoittaa mahdollisuuden, jota ei kiireessä huomannut tai nostaa esiin riskin, joka resoluution takia peittyi kokonaisuuden alle. Sovelletun maastoanalyysin algoritmia on turha antaa siviiliyrityksen määriteltäväksi, se on sotilaiden pakko itse osata muodostaa. Hyvää algoritmia on myös turha etsiä muiden maiden johtamisjärjestelmistä, ellei sitten aio muuttaa koko toimintakulttuuria lainatun algoritmin perusteita vastaavaksi.

Resurssianalyyseissa analysoidaan ympäristön ja tietyn sotilaallisen toiminnan yhteisvaikutuksia. Vaikutukset voivat olla joko suhteellisen pysyviä ja reaalisia kuten maasto-kaasut ja miinat tai mahdollisuuksia kuten kyky kohdistaa alueelle epäsuoraa tulta tai sähkömagneettista säteilyä. Sovelletuista maastoanalyyseista poiketen maastoa katsotaan tyypillisesti tietyn ilmiön eikä joukon kautta ja analyysituloksena kuvaa resurssien vaikutavuutta paikkaan ja sen ympäristöön sitoen.

Resurssianalyysit voidaan nähdä rinnakkaisena sovelletuille maastoanalyysille. Kun tarkasteltavana on esimerkiksi hyökkäysalueen sulkeminen miinoilla, kyse on tietyn tais-

telutekniikan estämisestä suluttamalla eikä ajoneuvojen liikkeeseen vaikuttamisesta teknisellä tasolla: jos miinanauha pysäyttää ja jalkauttaa joukon, vaikutus on taktinen ja nauhan sijainti pitää myös valita taktisin perustein. Täydentävä tieto resurssianalyysien pohjaksi syntyy joko tilanneilmoitusten kautta tai osana päätöksentekoa harkittaessa vaihtoehtoisia toimintatapoja. Useimmissa tapauksissa toiminnan luonne muuttuu ajan suhteen tuntiluokassa, jolloin reaaliaikavaatimus tietojen osalta ei ole kovin suuri.

Sotilaallisella vaikutuksella maastoon tarkoitetaan tekijää, joka aiheuttaa taistelun mitassa suhteellisen pysyvän vaikutuksen, mutta johon voidaan myös reagoida vastatoimien avulla. Merkittävin tämän tyyppinen vaikutus suomalaisessa taktikassa on sulutteiden - miinoitteiden, hävitteiden, esteiden ja murrosten - käyttäminen vastustajan liikkeen ja päätöksenteon ohjailuun. Vastaavalla tavalla voidaan kuitenkin myös mallintaa merkittävä osa atomi- ja kaasuseiden pitkäaikaisista vaikutuksista sekä niinkin abstrakti tekijä kuin radioyhteyden mahdollistava kenttä ja sen häirintämahdollisuudet. Myös näkemä voidaan sensoreiden ominaisuuksien kautta mallintaa resurssianalyysilla. Tulen vaikutusmahdollisuudet voidaan vastaavalla tavalla kuvata paikkaan sitoen. Kun tykin tuliaseumat, kranaatti- ja panosmäärät tunnetaan, voidaan tulen vaikuttavuus mallintaa mahdollisuuksina siten, että myös maaston tulen tehoa vähentävä tai lisäävä vaikutus voidaan ottaa huomioon. Analyysi kykenee osoittamaan alueet, joilla tuli on teoriassa tehokkainta: jos johtamisjärjestelmässä on reaaliaikainen tilannekuva vastustajasta ja malli maalien priorisoinnista, voi resurssianalyysia käyttää jopa tulen käytön optimointiin.

Resurssianalyysi voidaan toteuttaa ainakin kolmella tavalla resurssien käytön tai halutun vaikutuksen kannalta. (1) Resurssien käytön vaikutusten arviointi on laskennallisesti helpompaa. Menetelmässä käyttäjä kohdistaa päätöksen edellyttämät toimenpiteet maastoon ja tietokone määrittää laskennallisesti niillä saavutettavan vaikutuksen. Tapaa voi myös soveltaa reaaliaikaisesti siten, että käytetään vallitsevaa tilannetta lähtötietoina. Vaikka laskenta on tehtävä epätarkalla ja formaalisti vaikeasti määritettävällä tasolla, pystyy analyysi ainakin yhteismitallistamaan tekijät alueellisesti ja varoittamaan asetettujen kynnyksarvojen ylittämisestä. (2) Alueille voi myös määrittää halutun vaikutuksen, jonka jälkeen tietokone laskee tarvittavat resurssit. Tämä lähestymistapa on lähempänä päätöksentekotilannetta, jossa toteutustapa on vielä avoin ja ajattelu tapahtuu vaikutusten tasolla. Menetelmän soveltaminen vaatii käytössä olevien resurssien määrittämisen ennen laskentaa. Mikäli tämä on mahdollista, voidaan pyrkiä tietyn tyyppiseen optimointiin ratkaisua määritettäessä. (3) Iteratiivinen käyttötapa on yhdistelmä edellisistä. Käyttäjä voi kohdentaa alueille vuoron perään osan resursseistaan siten, että tietokone laskee saavutettua vaikutusta ja esittää jäljellä olevan reservin. Kun päätöksiä voi joustavasti

perua, kokonaisratkaisun etsinnässä voi edetä moneen suuntaan ja päätyä kokeilemalla haluamaansa lopputulokseen. Menetelmässä ihminen voi käyttää tiettyyn rajaun saakka luovuuttaan tietokoneen vastatessa siitä, että syntyvä päätös on rationaalinen käytössä olevien resurssien kanssa. Päätöksenteko voi myös tapahtua sykleittäin tarkastellen ensin isompia alueita ja sitten tarkentaen soveltuvimman osalta. Iterointia voi käyttää myös tarvittavien resurssien suunnitteluun, jolloin haluttu vaikutus muutetaan suoraan resurssitarpeeksi. Tapa on esitetty seuraavassa luvussa sulutteisiin sovellettuina.

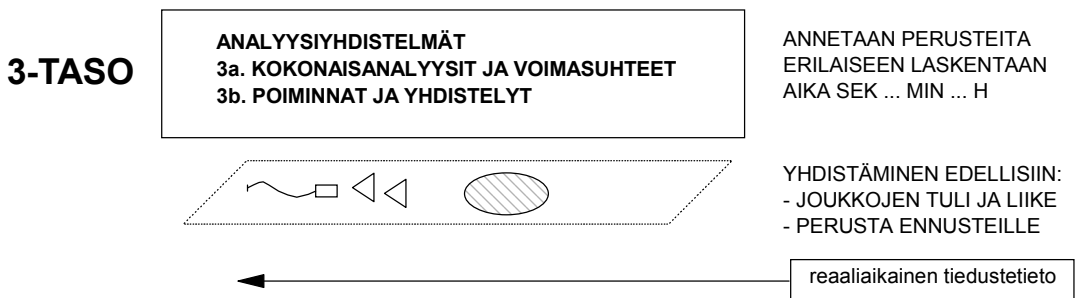
Resurssianalyysi vaatii toteuttajaksi sotilasasiantuntijan kuten aselajipäällikön, joka edellyttää tietojärjestelmältä suoraviivaista, nopeaa ja räätälöityä käytettävyyttä [vrt. Kal96]. Monissa analyyseissa sotilaallinen toiminta muovaa ympäristöä siinä määrin, että siitä tulee muuta ympäristöä merkittävämpi tekijä tuloksen kannalta. On kuitenkin todettava, että toiminta ei paikkatiedon käsittelyn kannalta poikkea millään tavalla totutusta: samalla tavoin kuin sulutteen voi läpäistä raivaamalla ja rakentamalla, voi suhtautua myös suostukseen tai jokeen. Jos yrittää ratkaista analysoitavan asian sotilaallisen puolen ensin ja korjata sitten saatua tulosta näkemien tai liikkeen esteiden tiedoilla, joutuu äkkiä umpikujaan: esimerkiksi näkemän eli ampumaetäisyyden lyheneminen tai peitteisyys voi vaikuttaa siihen, mitkä asejärjestelmät voivat edes osallistua taisteluun ja muuttaa tilannetta oleellisesti. Asian merkitys on Suomessa erityisen suuri, koska taktiikan yhtenä perusperiaatteena on juuri maaston ominaisuuksien käyttäminen epäsymmetrisen taisteluasetelman aikaansaamiseksi.

Tietoteknisesti resurssianalyysi ei vaadi käytettävältä paikkatieto-ohjelmistolta kovin paljoa. Tarkasteltavat alueet skaalataan toiminnan mukaan ja maastotekijät kyetään yleistämään muutamaaan parametriarvoon. Rasterianalyysissä oleellista on kyetä laskemaan tilastollisia vaihteluja määrittelyiltä alueilta, vektorianalyyseissa yhdistämään useiden vektoreiden tietoja keskenään. Pelkkä referenssikartan näyttäminen ei sen sijaan riitä, itse asiassa se voi toimia monella tavoin jopa haitallisesti.

Resurssianalyysien visualisointi muodostaa oman haasteensa. Miten kuvata abstraktia vaikutusta, jota ei reaali maailmassa kykene näkemään edes näkyväksi tehtynä? Yhtenä ratkaisutapana on käsitteellistää syntyvät vaikutukset luokkiin ja esittää ne värien avulla. Varsinkin yksityiskohtaisissa 3D-esityksissä visualisoinnin toteuttaminen vaatii paljon tutkimista. Ongelmaksi jää aina luokkarajojen abstraktisuus: miten määrittää yksiselitteisesti laskennallinen kohta, jossa pitoisuudesta tulee haitallinen tai miinojen ja murresteiden yhteisvaikutuksesta toimintaa hidastava?

6.2.4 Analyysiyhdistelmät (3-taso)

Analyysiyhdistelmissä kuvataan usean eri tasoisen ja tyyppisen maasto- tai resurssi-analyysin ja lähtöaineiston yhteisvaikutusta sotilaalliseen toimintaan kokonaisuutena. Yhdistelmät nopeuttavat voimasuhdeanalyyseja ja tukevat tilanteen arviointia. Tulokset ovat yleensä helposti visuaalisesti tulkittavissa osana tilanteen arviointia ja pystyvät luokina osittamaan kokonaistoiminnalle suotuisat ja epäsuotuisat maastonkohdat sekä niiden sijoittumisen toisiinsa ja taistelukentän ilmiöihin nähden. Yhdistetyt analyysit voivat myös olla poimintoja lähtöaineistoista tai alemman tason analyyseista. Tällöin voidaan suurista ja osin ristiriitaisistakin tiedoista seuloa toiminnalle suotuisia alueita. Tässä voidaan käyttää myös spatiotilastollisia menetelmiä.



Kuva: Analyysiyhdistelmät tasona, jossa teknisiin tai taisteluteknisiin tekijöihin liittyvät maasto- ja resurssi-analyysien tulokset yhdistetään kuvaamaan kokonaisvaikutuksia.

Tyypillinen esimerkki analyysiyhdistelmästä on Yhdysvalloissa käytetty "avenues of approach", jossa yhdistetään joukon ajoneuvotyyppikohtainen kulkukelpoisuusanalyysi yleistettyyn näkemään ja liikesuuntaan. Mittakaavan sidottuna pyritään esittämään alueet, joilla hyökkääminen olisi tehokasta toteuttaen ottaen huomioon joukon asejärjestelmät. Tekemällä analyysi vielä erikseen vastustajan puolustukselle ja vertailemalla tuloksia keskenään voidaan löytää ne alueet, joissa maaston suhteellinen etu suosii omaa toimintaa. Mitä ylivoimaisempaa oma tekniikka on ja mitä enemmän sillä on saavutettavissa etua paremman taktisen liikkuvuuden tai ampumaetäisyyksien osalla, sitä tärkeämpää on analyysin toteuttaminen [USA01]. Toisaalta mikään ei estä käyttämästä analyysia myös vastakkaiseen suuntaan eli pyrkimällä tasoittamaan eroavaisuuksia.

Meillä käytettävä yhtymän suunnittelu- ja johtamisprosessi sisältää neljä laajaa kokonaisuutta, jotka voidaan toteuttaa analyysiyhdistelmien avulla. Analyysien sotilaallinen rakenne ja käyttö on kuvattu tarkemmin luvussa 5. (1) Tulen kokonaiskäytön suunnittelun päämääränä on koordinoita joukon tulivaikutus: epäsuora tuli, ilmatorjunta, panssarin-

torjunta, sulutteen ja elektroninen sodankäynti. [YTO00] Kyse on resurssianalyysien tulosten yhdistämisestä. (2) Tiestön käytön suunnittelun tavoitteena on hallita aikaan sitoen kulkuyhteydet taistelujen aikana. Lähtökohtana on olemassa oleva tieverkko, jolle tehtävät muutokset ja jonka ylläpito päätetään, suunnitellaan ja johdetaan aikaan sitoen. Toteutus yhdistää sekä maastoanalyysseja, reittioptimoinnin tuloksena priorisoituja yhteyksiä ja tiestön ylläpitoon tarvittavia resursseja. Kyse on lähtökohtaisesti tyyppillisestä yhdistetystä analyysistä, toisaalta analyysin tuloksena oleva verkko voidaan palauttaa alemman tason lähtöaineistoksi seurannan avulla tapahtuvan itsesäätelyn mahdollistamiseksi. (3) Suojan kokonaisuuden analyysissä tavoite on käänteinen tulon kokonaiskäytölle. Analyysi voidaan tehdä yhdistelemällä, ongelmana on tulosten riippuvuus toisistaan, koska tietyn suojan muodon kasvattaminen usein vähentää toisia. Lisäksi osan suojasta tuottaa maaston käyttö, osan taas resurssianalyysien kautta selvitettävissä oleva työn tulos, joten yhdistelmä vaatii hyvää suunnittelua ja usean edellisen tason tuloksen yhdistämistä. (4) Voimasuhdeanalyysia voi pitää merkittävimpänä yhdistettynä analyysinä, tietyllä tavalla voisi jopa ajatella sen muodostavan neljännen tason hierarkiassa. Voimasuhdeanalyysin tavoitteena on pelkistää ja yhdistää taisteluun liittyvät tekijät tasolle, jolla on mahdollista laatia ennusteita eri joukkojen välisten taisteluiden lopputuloksista. Analyysityyppiä käytetään ennen kaikkea vaihtoehtojen vertailun apuvälineenä, mutta sitä voitaisiin käyttää myös suunnittelun ja tilanteen kehittymisen arvioinnin tukena. Tällä hetkellä voimasuhdeanalyysin tyyppinen lähestymistapa on laajimmin käytössä ja julkisesti tutkittavissa taktisissa simulaattoreissa. Simulaattori on siinä mielessä mielenkiintoinen vertailukohta, että se tarjoaa mahdollisuuden jatkuvaan reaaliaikaiseen analysointiin, jolloin analyysit voivat olla luonnollinen osa myös tilanteen mukaista päätöksentekoa taistelun kaaoksessa. Kuten jo todettu, Yhdysvalloissa taktisen tason simulaattori nähdään tulevaisuudessa johtamisjärjestelmien stimulaattorina ja päätöksenteon tukivälineenä, ei enää pelkkänä johtajien koulutusvälineenä.

Kaikki edellä esitetyt analyysiyhdistelmät ovat luonteeltaan sellaisia, että niitä toteuttaa alan sotilasasiantuntija tai –ryhmä lähinnä operaatiopäällikön johdolla, joissakin tapauksissa toteuttajana voi olla jopa komentaja. Tämä edellyttää nopeutta ja yksinkertaisia toteutusta myös paineen alaisena. Koska yhdistelytapa on vahvasti riippuvainen käytetyistä taktisista periaatteista ja joukkotyypeistä, analyysit on tehtävä jokaisessa maassa itse. Teknisesti yhdistetyt analyysit on mahdollista toteuttaa myös vektorimuotoisilla aineistoilla käyttäen rajattua määrää ominaisuustietoja. Näin päästään tilanteeseen, jossa käytössä on yksinkertaisia kevyitä paikkatieto-ohjelmistoja, joissa laskennan monimutkaisuus on itse muodostettua osuutta. Yhdistely voidaan tarvittaessa tehdä verkottamalla erillisiä (stand alone) laitteita asiantuntijoiden kesken.

Oma kokonaisuutensa muodostuu sellaisista analyysiyhdistelmistä, joissa lopputulos ei olekaan yhdistelmä vaan enemmänkin poiminta tiedoista. Analyysityypistä on esimerkki luvussa 9 tarkemmin kuvattu helikoptereiden laskeutumisalueanalyysi, jossa tehtävänä on poimia alemman tason analyyseista tietyt kokonaisehdot täyttävät alueet. Vastaavia analyysseja voitaisiin määritellä esimerkiksi johtamispaikkojen valintaa tukemaan. Mikäli kehitys kohti tyhjää taistelukenttää kiihtyy myös Suomessa, nousee tämä tapa hakea toiminnalle mahdollisuuksia usealla muullakin taholla esiin. Teknisesti poiminnan tyyppiset analyysit perustuvat usein rasterianalyysiin, koska analyysien perusteena olevat ilmiöt pitää esittää kokonaisuuksina. Tällöin ohjelmistoksi voidaan valita tehokas overlay-tyyppiseen rasterianalyysiin kykenevä desk top –tason toteutus. Yhdistelmiä voidaan usein tukea spatiaalitalastollisilla tai monitavoitteisen päätöksenteon¹⁶ tyyppisillä menetelmillä [vrt Jan97, Jan01], joita varten on saatavissa erillisiä laajennuksia. Lisäksi luvussa 4 kuvattu tapa tehdä maastosuunnitelmia tukee tämän tyyppisiä analyysseja: yleistyvät resurssianalyysit voivat olla poimintasääntöjä suunnitelmätietokannasta tai yhdistettyjen tulosten ja maastosuunnittelutiedon välille voi hakea korrelaatioita päätöksenteon riskien minimoimiseksi.

Erityinen haaste mallinnukselle aiheutuu vaatimuksesta ottaa huomioon suurikin joukko tilanneriippuvia tekijöitä optimoinnin tyyppisissä lähestymistavoissa.¹⁷ Näissä tilanteissa voidaan usein myös tyytyä iterointiin, joissa järjestelmä tuottaa optimoinnin sijaan ainoastaan hyvyysarvoja käyttäjän muodostamille vaihtoehdoille.¹⁸ Osa tilanteista on myös mahdollista ratkaista simuloimalla riittävä määrä tapauksia ja esittämällä niistä jakaumat päättäjän käyttöön.¹⁹

¹⁶ Vertaa [Mal99], jossa on esitetty useita eri tapoja kytkeä lineaarinen ohjelmointi paikkatietojärjestelmiin. Tämä voisi tarjota yhden mahdollisuuden tukea vaihtoehtojen vertailuja.

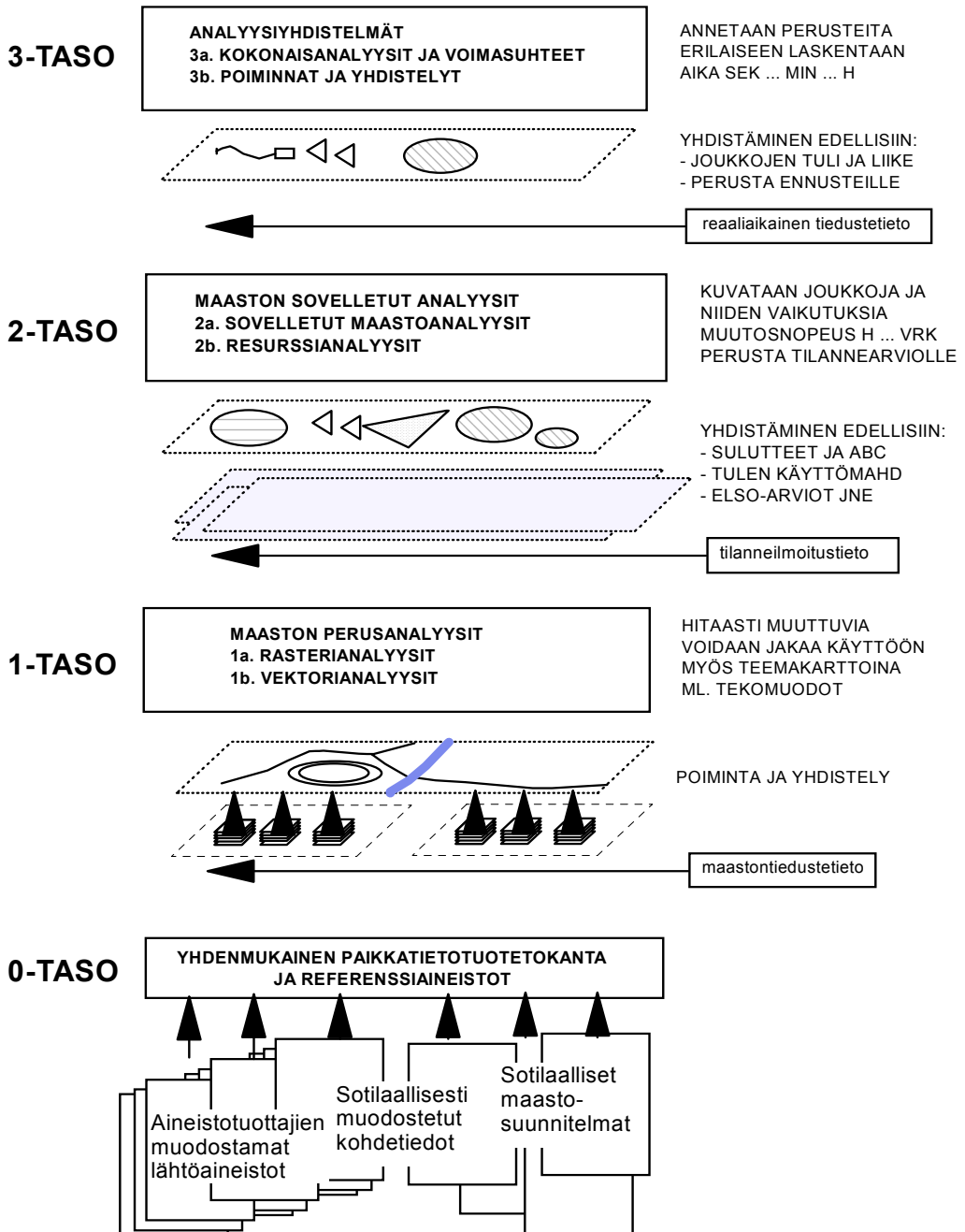
¹⁷ Useimmiten sotilaallisen päätöksenteon tilanteissa on kyse siitä, että kaikkia optimoinnissa tarvittavia tekijöitä ei joko kyetä ylläpitämään reaaliajassa yllä tietojärjestelmällä tai niiden vaikutuksen arviointi on niin ”sumeaa”, että laskenta ei onnistu. Optimoinnin käyttö tilanteissa, joissa vain osa tekijöistä kyetään huomioimaan, saattaa johtaa tuloksiin joista yksikään ei ole mahdollinen tai käyttäjä voi esittää paremmankin huomioiden vain hänen tiedossaan olevat seikat, mutta sitä ei saada mukaan laskentaan. Maavoimissa optimointi on useimmiten todettu vaikeaksi, meri- ja ilmapuolustuksessa on sen sijaan löydetty luopaaviakin käyttötapoja ongelmien toisen tyyppisen luonteen vuoksi.

¹⁸ Tämä tapa on edelliselle käänteinen: käyttäjä muodostaa hyvältä tuntuvia, kokonaisuuden huomioivia vaihtoehtoja, jotka tietojärjestelmä asettaa järjestykseen tietämiensä tekijöiden mukaan. Näin ”sumeat” laadullispainotteiset tekijät voidaan yhdistää kovempiin ja paremmin mallinnettavissa oleviin ilmiöihin.

¹⁹ Tapaa käytettiin esimerkiksi Pioneeritoiminnan johtamislaitteen ylimenotilanteessa analysoitaessa tilannetta.” käytössä on aina oltava N kpl joenylityspaikkoja tilanteessa, jossa korjauskyky on X ja vastustajan kyky tuhota siltoja Y alkumäärän ollessa M.” Vaikka kyse on jonoteoreettisesta ongelmasta, on sen ratkaisu kaikkien kohteiden ollessa erilaisia kaikkien esitettyjen tekijöiden suhteen suljetussa muodossa hyvin vaikeaa. Tuhannen simulointikerran taas todettiin tuottavan riittävän vakaan tuloksen arvion perustaksi ja tapahtuvan riittävän nopeasti osana arviointia.

6.2.5 Metamallista muodostuva kokonaisuus

Analyyseista muodostuu seuraava kokonaisuus:

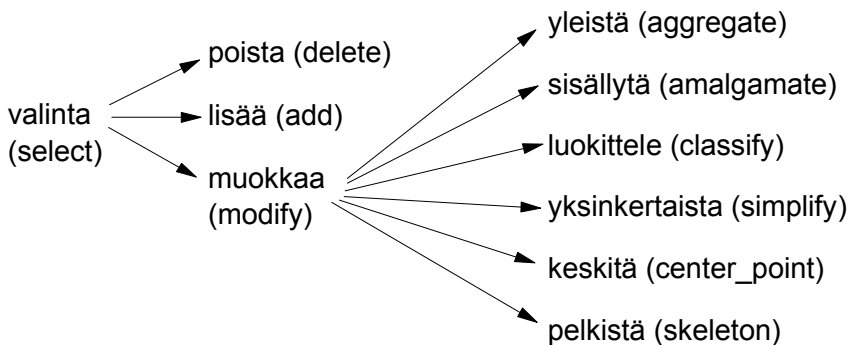


Kuva: Sotilaallisten paikkatietoanalyysien hierarkkinen metamalli. Huomaa aikajänteen muutos oikeassa laidassa.

Esitettyssä rakenteessa jaottelu on tehty analyysien käyttötapojen kannalta. Aineistoissa (0-taso) kyse on tuotteistamisesta ja perusanalyyseissa (1-taso) tuotannosta, jotka voidaan toteuttaa keskitetysti. Maaston sovelletuissa analyyseissa (2-taso) toteuttajina ovat eri alojen asiantuntijat ja analyysit ovat riippuvaisia olemassa olevasta tilanteesta. Ylimmällä tasolla (3-taso) työ on yhdistämistä johtoryhmässä. Teknisesti sovelletut maastoanalyysit ja resurssianalyysit voidaan erottaa toisistaan ja toteuttaa eri komponentteina. Osa sovellettuihin maastoanalyyseihin sisältyvästä yleistyksestä voidaan myös toteuttaa tuotteistettaessa perusanalyyseja referenssiaineistoiksi. Myös voimasuhdeanalyysi voidaan erottaa omaksi tasokseen.

Periaatekuvassa tietovirta on esitetty kulkevan jokaisen tason kautta. Käytännön tilanteissa tämä ei kuitenkaan ole yleensä mahdollista, vaan raakatietoa on haettava analyysien tueksi myös alemmalta kuin edelliseltä tasolta. Ongelmaa voisi lähestyä paikka-tietoaineistoissa kartantuotannon yhteydessä paljon tutkitun yleistämisen käsitteen avulla, joka tapahtuu analogisesti saman tyyppisen hierarkkisen rakenteen avulla.

Kilpeläinen [Kil97] esittää työssään seuraavat operaattorit käyttöön:

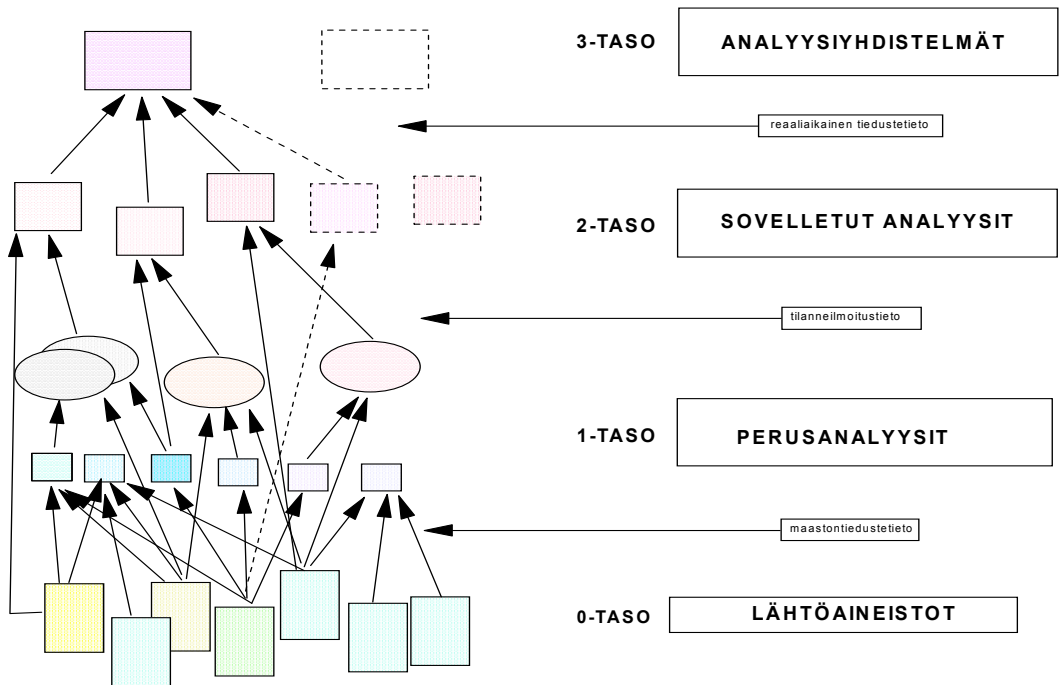


Kuva: Yleistysoperaattoreiden malli Kilpeläisen [Kil97] mukaan.

Kuvatut operaattorit ovat tapa hallita lähtöaineistojen oikeaskaalaisuutta. Niitä voidaan käyttää myös haettaessa tietoja useita tasoja alemmaa ylemmän tason analyysissa. Aineistoissa käytettävät hierarkkiset ja objektimallinnusta käyttävät rakenteet tukevat kuvattun tyyppistä toimintaperiaatetta ja sitä voidaan tukea aineiston tuottajan käyttämillä yleistysrakenteilla. Tulevaisuudessa haasteisiin voidaan vastata skaalaamalla tärkeimmät lähtöaineistot jo valmiiksi sotilaallisesti tarkoituksenmukaisesti eri mittakaavaluokkiin yhdessä referenssikarttojen kanssa. Objektityyppinen mallinnus pitäisi ottaa käyttöön myös omien maastotietokantojen luomisessa.

Koska tiukasta hierarkkisesta rakenteesta on käytännön syistä pakko joustaa, muodostuu yhdistettyjen analyysien lähtöaineistoista monitasoinen verkkomainen rakenne. Täl-

löin on kiinnitettävä huomiota jokaisen tuloksen käyttöön saamiseen riittävän nopeasti siten, ettei jonkun tuloksen puuttuminen estä koko yhdistetyn analyysin toteuttamista. Tästä syystä analyyseja on tehtävä varastoon ja mahdollistaa samalla ihmisen piirtämät tulokset ilman tietokonettakin, jolloin varamenetelmänä ei tarvitse käyttää kokonaan manuaalista lähestymistapaa. Verkkomainen rakenne aiheuttaa haasteita myös kokonaislaadun määrittelylle ja muutosten hallinnalle.



Kuva: Periaatekuva analyysihierarkian toteutumisesta yksittäisen yhdistetyn analyysin kannalta. Aineistojen puutteen hallinta on oleellinen vaihe ketjujen muodostamisessa. Kuvauksia yhdistämällä kyetään tunnistamaan tärkeimmät aineistot ja analyysitulokset, joihin varmennukset tulee kohdentaa.

Hierarkian toimeenpanossa on varottava ylisuunnittelua. Rajapintojen tavoite on mahdollistaa komponenttikehittämisen puitteissa vapaus tietyn analyysin toteutuksessa, ei tehdä tietystä teknisestä ratkaisutavasta itsetarkoitusta. Kokonaisuuden suunnittelu on tehtävä tietomallien tasolla ja tietojen vaihto mahdollistettava yhteisillä formaateilla. Toisaalta osaprojektien vapautta komponenttien kehittämisessä pitää pystyä hallitsemaan siten, että syntyvät verkottuneet rakenteet ovat kriisikestokykyisiä ja toteuttamiskelpoisia kaikissa tilanteissa.

6.3 Mallin vastaavuus periaatetasolla esitettyihin vaatimuksiin

Tässä alaluvussa esitetään mallin vastaavuus esitettyihin vaatimuksiin teorian tasolla. Mallin verifiointi ja validointi tehdään tutkimuksen empiirisessä osassa eri luvuissa.

6.3.1 Komponenttiarkkitehtuurin toteutuminen

Komponenttiarkkitehtuurin toteuttamiselle mallin tärkein anti on rajapintojen selkeys, joka voidaan edelleen hallita yhteisillä tietomalleilla ja standardoidulla tiedonvaihtotavalla. Kun jokainen palvelu, joka siis voi muodostua useista komponenteista, on valmiina ottamaan vastaan toteutusparametrit muilta ja luovuttamaan tuloksen sovituissa muodossa käyttöön, voidaan esitettyä hierarkiaa käyttää koko komponenttiarkkitehtuurin loogisen jaon perustana. Sitä mukaa kun komponentteja toteutetaan, ne myös voidaan kytkeä osaksi kokonaisuutta ohjaamaan uusien palvelujen kehittämistä jo toteutetulle perustalle. Kun rajapintaa ei tietojen tasolla muuteta, on komponentin kehittäjällä mahdollisuus päivityksiin ja uusien tekniikoiden käyttöön.

Hierarkia mahdollistaa kriittisten komponenttien tunnistamisen siten, että järjestelmän viikasietoisuutta ja kuormitettavuutta kyetään hallitsemaan. Hierarkkisessa rakenteessa on myös suunniteltava analyysitulosten varastoiminen siten, että ainakin enemmän aikaa vieviä tai erityisen kriittisiä tuloksia on saatavissa myös tietovarastosta eikä niitä jouduta aina tekemään uudelleen. Varsinkin ylimpien tasojen analyysit käynnistävät helposti suuren määrän liikennettä ilman tulosten hallintaa.

Hierarkia antaa perustan valmisohjelmien käytön suunnittelulle. Jokaisesta analyysistä on määritettävissä karkea aineistointensiivisyys ja analyysien tekninen luonne, jolloin on mahdollista valita oikeat tuotteet. Jos Puolustusvoimille valitaan yhtenäinen paikkatietotuoteperhe, hierarkia voi toimia valintakriteerinä kattavuuden osalta ja valinnan jälkeen on mahdollista tunnistaa ne osa-alueet, joita pitää teknisesti laajentaa muilla tuotteilla tai omilla toteutuksilla. Samalla hierarkia antaa perustan kokonaiskustannusten arvioinnille lisenssikustannusten osalta ja sen kautta on mahdollista tarkastella käyttöjärjestelmien välisten muutosten toteutettavuutta tai rajata tietty taso tai osa-alue toteutettavaksi kokonaisuudessaan tietyllä käyttöjärjestelmällä tai integrointiteknologialla.

Rajapintojen määrittely on keskeistä hierarkian käytön kannalta. On kuitenkin todennäköistä, että jo määriteltyä rajapintaa on tarpeen muokata kehityksen mukana. Rakenne tarjoaa tähän ainakin kolme mahdollisuutta. (1) Rajapintaa voidaan laajentaa uusilla luokilla siten, että vanhat jäävät voimaan. Näin "vanhoille" asiakkaille on mahdollista antaa tiedot aiemmin määritellyllä tavalla ja "uusille" laajennuksen mukaisena. Kehityksen mu-

kana vanhasta rajapinnasta on kuitenkin syytä pyrkiä eroon, jotta hierarkiaan ei muodostu liian suurta määrää versioita samoista tuotteista. (2) Uutta toimintaa varten vanha COTS-komponentti voidaan ohjelmoida toteuttamaan kokonaan uusi rajapinta, joka tarjotaan uusille asiakkaille. Ajan myötä vanhasta luovutaan edellä kuvatulla tavalla. (3) Mikäli tarkennus on mahdollista toteuttaa yleistämällä, tätä varten rakennetaan erillinen suodin, joka toteuttaa muutoksen uusille asiakkaille. Kun vanhasta rajapinnasta on luovuttu, voidaan toteuttaa joko kokonaan uusi analyysikomponentti toteuttamaan yleistetty rajapinta tai muokata vanhaa.

Tällä hetkellä pääosa paikkatietoanalyyseista on toteutettu siten, että niitä käyttävä sovellus on ainoa asiakas. Jatkossa hierarkia mahdollistaa koko arkkitehtuurin asettamien vaatimusten asettamisen ja muodostaa perustan luvussa 5 esitetylle ja luvussa 8 kuvatulle yhteismäärittelyn toteuttamiselle. Alkuvaiheessa tämä aiheuttaa yksittäisille sovelluksille lisää työtä, mutta mahdollistaa sen jälkeen jo tehtyjen osioiden uudelleenkäytön.

Komponenttien hajautusmahdollisuuksia ja tietotarpeita on mahdollista tarkastella hierarkian kautta. Kun lähtötietojen reaaliaikavaatimus ja päivitystapa hallitaan, kyetään myös suunnittelemaan käytettävä hajautustekniikka: on epärealistista ajatella, että esimerkiksi reaaliaikainen tietilannekuva kyettäisiin jakamaan lähtöaineistona kaikille, sen sijaan reititkyselyt on mahdollista toteuttaa keskitetysti ja jakaa vain tuloksina käyttäjille. Toisaalta hitaammin muuttuviin rasteriaineistoihin perustuvat analyysit on usein järkevää tehdä lokaalisti.

Hierarkian avulla on myös mahdollista luoda esikunnan omia analyysituloksiin perustuvia tuotteita, jotka voidaan antaa alaisen suunnittelun perustaksi käskyjen mukana. Näin suurta lähtöaineistomäärää voidaan supistaa ja tietoja täydentää esikunnan itse prosessoimalla informaatiolla. On myös mahdollista muuttaa rasterimuotoisia tuloksia erillisillä komponenteilla vektorimuotoisiksi, jolloin niiden siirto ja käsittely on helpompaa myös kevyissä päätelaitteissa ja epävarmoilla tiedonsiirtoyhteyksillä.

6.3.2 Analyysien aika- ja varmuusvaatimusten toteutuminen

Sopiva määrä maaston perusanalyysituloksia sekä järjestelmä niiden tuottamiseksi ja jakamiseksi myös kriisiaikana muodostaa koko hierarkialle perustan paikkatietotuotteiden ja referenssiaineistojen kanssa. Tämän jälkeen tilanne, jossa jostakin syystä jouduttaisiin turvautumaan kokonaan manuaalisiin menetelmiin on epätodennäköinen. Jo tämän hetken kokemuksella voidaan sanoa, että hyvät ja sopivasti tuotteistetut perusanalyysit ky-

kenevät parantamaan merkittävästi koko suunnitteluprosessin laatua.²⁰ Perusanalyyseja kannattaakin hallita muiden numeeristen karttatuotteiden tavoin.

Perusanalyysien päivittäminen reaaliaikaisiksi on mahdollista toteuttaa keskitetysti kriisin kehittymisen mukaan, jolloin ne ovat perustettavien joukkojen käytettävissä muun karttamateriaalin tavoin. Tilastolliset aineistot mahdollistavat suunnittelun aloittamisen ja hättätilanteessa myös toiminta voidaan perustaa niille: on muistettava, että kyse on huonoimmillaankin paperikarttoja paljon ajantasaisemmasta ja kattavammasta tiedosta. Aineistojen päivitystä varten voidaan myös rakentaa varajärjestelmät muihin aineistoista vastaaviin tahoihin, maanpuolustusalueilla ja varattuihin yrityksiin.

Sovelletut maastoanalyysit tarvitaan nopeasti käyttöön, koska niitä käytetään heti suunnittelun käynnistyessä perustana muulle tilanteen arvioinnille. Tämä edellyttää kohtuullisen yksinkertaisten menettelytapojen käyttämistä: aikaa ei enää ole perusanalyysin taisele toiminnalle. Toisaalta myös perusanalyysitulokset voi toimia arvioinnin perustana siihen saakka, että sovellettu tulos saadaan käyttöön joko tietoteknisesti tai manuaalisesti arvioituna.

Resurssianalyysit muodostavat ennalta arvioiden tietyn tyyppisen pullonkaulan. Suunnittelussa, jossa on nopeasti yhdistettävä suuri määrä sirpalemaista tietoa kokonaisarvioksi, on tietokone ihmistä luotettavampi ja nopeampi. Esimerkiksi miinatiheyslaskujen manuaalinen toteutus on Maanpuolustuskorkeakoulun kursseilla osoittautunut suuritöiseksi, mutta sen perusteella on jokaisella kerralla muutettu jo tehtyjä päätöksiä ja suunnitelmia.²¹ Tietokoneella toteutettuna kuvattu laskenta on niin nopeaa, että se lyhentää oleellisesti myös päätöksen tekoon kuluva aika. Voidaan olettaa analyysien onnistuttua suunnitteluprosessista tulevan niistä riippuvaista, jolloin tuloksen puute johtaa kokonaan toisen tyyppiseen toimintatapaan. Missään tapauksessa resurssianalyyseja ei saa tehdä toisistaan riippuvaisiksi, jolloin esikunnan koko toiminta muuttuu.

Yhdistetyt analyysit on mahdollisuus suunnitella ja toteuttaa siten, että lähtötulokset voidaan tehdä myös manuaalisen resurssianalyysin ja sovelletun maastoanalyysin perusteella. Osa tuloksista voidaan mahdollisesti korvata yleistämällä lähtöaineistoja tai jättämällä osa vaikutuksista huomiotta. Ainakin tässä työssä kuvatut analyysit on tarvittaessa mahdollista tehdä siten, että tulokset parantuvat sitä mukaa kun kokonaisarkkitehtuuri kehittyä samalla kun tuloksia on koko ajan käytössä. Simulaattoreiden suunnittelussa on

²⁰ Esimerkiksi Pioneeritoiminnan johtamislaitteen perusanalyysitulokset kulkukelpoisuuden ja linnoitettavuuden osalta ovat olleet oppilasupseerien koekäytössä kahden vuoden ajan. Tulokset ovat olleet erittäin positiivisia ja tulokset osoittautuneet käyttökelpoisiksi muutoin täysin manuaalisissakin käyttötarkoituksissa.

²¹ Kirjoittaja on toteuttanut kyseisen harjoituksen kuusi eri kertaa esiupseeri- ja yleisesikuntaupseerikursseilla yksinkertaistulla Pioneeritoiminnan johtamislaitteen mukaisella laskentatavalla vuosina 1998 - 2001.

jo todettu, että mallien kehittämistä ja uusien osamallien luomista voi jatkaa käytännöllisesti katsoen ikuisesti. Hierarkkisen rakenteen kannalta on kuitenkin oleellista, että yhdistetty analyysi käyttää alemman tason tuloksia perustanaan, mikäli niitä on saatavilla, jotta tietojen yhdenmukaisuus päätöksenteossa säilyy. Tilanne voidaan hallita rajapintojen suunnittelulla.

6.3.3 Käytettävyyksivaatimusten toteutuminen

Perusanalyysit sekä niiden vaativat aineistokonversiot ja aineistojen luonnit on hierarkiassa erotettu omaksi kokonaisuudekseen. Näin kyetään muodostamaan rakenne, jossa alan ammattilaiset voidaan kouluttaa analyysien toteuttamiseen. Sovelluskehitys voidaan ainakin osin toteuttaa työkulkujen ja niitä helpottavien käskykokonaisuuksien kautta, ei niinkään perinteisellä sovelluskehitystyöllä. Näin on mahdollista pyrkiä rakenteeseen, joka kestää muutoksia lähtöaineistoissa ja on muokattavissa jälkeensä laatutoimenpiteiden perusteella. Kriisitilanteessa perusanalyysija on myös mahdollista laajentaa ammattilaisten toimesta vastaamaan uusiin haasteisiin.

Sovelletut maastoanalyysit ovat käyttöliittymätasolla toteutettavissa joko wizard tai lomakeperusteisilla käyttöliittymillä. Analyysit on myös mahdollista ketjuttaa tehtäväksi johtamisprosessin kannalta luonnollisessa järjestyksessä, jolloin myös ristivaikutukset kyetään hallitsemaan. Lähtöaineistoja varten on mahdollista muodostaa kiinteä hakemistorakenne, jonka päivitykset hallitaan aikaleiman perusteella. Näin päästään käytettävyyteen, joka on mahdollista opettaa sotilasasiantuntijoille.

Resurssianalyysit asettavat käytettävyydelle suurimman haasteen. Niiden käyttö on oltava iteratiivista, joten wizard tai lomakepohjainen suunnittelu on kankeaa. Toisaalta visualisoinnilla on koko ajan kyettävä pitämään käyttäjä selvillä kokonaisuudesta. Käytettävyyttä voi edelleen vaikeuttaa tekninen pakko toteuttaa analyysit monipuolisilla ja siten usein vaikeakäyttöisillä valmisohjelmilla. Tasolla on harkittava erikseen räätälöidyn sovelluksen tekemistä, mikäli käytettävyyksivaatimukseen ei COTS-tekniikalla kyetä riittävästi vastaamaan avoimuusvaatimuksia unohtamatta. Käyttäjäkoulutus auttaa osin asian ratkaisemisessa.

Yhdistetyissä analyysissa käytettävyys on helpompi toteuttaa. Vaikka iteroinnin osuus on suuri, lähtöaineistot ovat pelkistettyjä ja niiden resoluutio on matala. Käyttöliittymä voidaan joissakin tapauksissa toteuttaa jopa päivitettävänä lomakkeena, jossa eri tekijöitä muutetaan ristiin vertaillen saavutettavaa tulosta. Kun huomioidaan esimerkiksi vaihtoehtojen vertailuun käytettävissä oleva aika, pitää toteutuksen ollakin hyvin yksinkertainen ja lähtötietojen sisällettävä riittävä määrä yleistettyä sumentta.

Analyysitulosten visualisointi on suunniteltava kaikilla tasoilla erikseen. Luvussa 5 esitetty periaate yhteisestä esitystavasta tukee luonnollista tulkintaa ja vähentää käyttäjän tarvetta muokata tuloksia. Visualisointi on ohjeistettava siten, että se on mahdollista toteuttaa samanlaisena kaikissa sovelluksissa alustasta riippumatta.

6.3.4 Vaatimuslistan toteutuminen

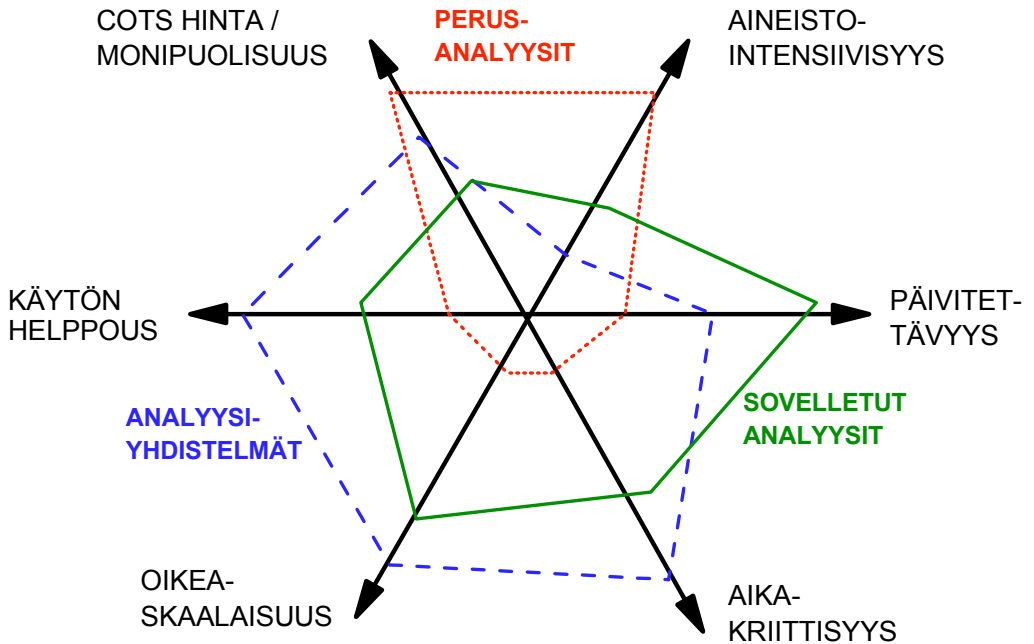
Kun esitettyä mallia vertaa luvussa 6.1.7 esitettyyn luetteloon, voi todeta metamallin olevan niiden kanssa saman suuntainen. Malli sinällään vain ohjaa toteutusta, mutta se ei missään kohdassa estä vaatimusten täyttämistä.

(1) Analyysien aineistointensiivisyyden pienentäminen ja tiedon yleistäminen tasojen kohdessa on mallin perusrakenne. Lisäksi on mahdollista muuttaa tulokset vektorimuotoiksi ylemmillä tasoilla huolimatta siitä, että aineistotuotteet ja perusanalyysit ovat pääosin rasterimuotoisia. Tämän avulla myös (2) analyysien laadinta-ajan pienentäminen on mahdollista. Johtamisprosessin aikavaatimusten toteuttaminen vaatii kuitenkin kompromisseja. (3) Analyysin oikeaskaalaisuus analysoitavan sotilaallisen ilmiön kanssa toteutetaan parametrisoimalla sovelletuissa maastoanalyyseissa ja resurssianalyyseissa, jolloin myös ylimmällä tasolla asia toteutuu luonnostaan. Tätä voidaan tukea yleistämällä silloin, kun tuloksiin on liitettävä alempien tasojen tietoja. (4) Analyysit myös kyetään laatimaan vaiheittain siten, että tilannesidonnaista sotilaallista tietoa ja tulkinnan osuus kasvaa hierarkiataason noustessa. Tämän hallinta teknisesti on kuitenkin innovoimatta, mutta asiaa on tarkasteltu laadun eri dimensioiden kannalta luvussa 9.

Teknisesti on jo todettu (5) hierarkian muodostavan luonnolliset ja testattavissa olevat komponenttirajapinnat. Lisäksi metamallia voi käyttää (6) suunniteltaessa COTS-tekniikan käyttöä kehitystyön perustana ja arvioitaessa sen aiheuttamia kustannuksia. Mallin rajapinnat auttavat myös esikunnan ja sen alaisten organisaatioon liitettyä arviomaan (7) vaadittavia tiedonsiirtoyhteyksien riittävyttä.

Tiedollisesti (8) metamallia voi käyttää kehyksenä tietosisältöjen ja tietojen vaihdon yhdenmukaistamiseen. Perusta eri sovellusten loogiselle yhdenmukaisuudelle on kuitenkin tehtävä toiminnallisesti tarpeista ja mahdollisesti kansainvälisistä vaatimuksista lähtien. Laadullisesti (9) analyysien käyttäytyminen ja ilmiasu tasoittain on hallittavissa ja tulosten oikeellisuus testattavissa useaan kertaan. Iteratiivisuuden tukeminen (10) on ollut keskeinen suunnitteluperusta, samoin (11) luonnollinen, looginen ja yleisen sotilaallisen ajattelutavan mukainen rakenne.

Kun vaatimukset asettaa dimensioiksi, päätyy mallin kannalta seuraavaan kokonaisrakenteeseen:



Kuva: Analyysitasot kuudella dimensioilla esitettynä.

Perusanalyysit on mahdollista toteuttaa aineistointensiivisinä perustuen raskaiden COTS-alustojen käyttöön, jolloin paikkatietotekniikan asettamat rajoitukset voidaan minimoida ja käytettävistä olevan tiedon hyödyt maksimoida. Käytön vaikeus voidaan hallita täsmäkoulutuksella ja asiantuntijoiden käytöllä. Tulosten aikakriittisyys ja päivitettävyyys ovat luonnostaan matalia. lisäksi oikeaskaalaisuutta ei tarvitse huomioida - analyysit tehdään aina parhaalla mahdollisella resoluutiolla.

Sovelletut analyysit vaativat kohtuullisen paljon kaikilla dimensioilla. Päivitettävyyys on kriittinen silloin, kun analyyseja käytetään reaaliaikaisesti tilannekuvan ymmärtämiseen. Oikeaskaalaisuus on hallittavissa osana asiantuntijatyypistä sotilaskoulutusta, samoin käytön osittainen vaikeus. Kustannustekijä on huomioitava, koska sovelluksia tarvitaan huomattava määrä.

Analyysiyhdistelmissä keskeiset ominaisuudet ovat aikakriittisyys, oikeaskaalaisuus ja käytön helppous, jotka voidaan hallita pääosin työprosesseilla. Käytettävän GIS-tuotteen tai räätälöinnin hinta ei välttämättä ole kriittinen tekijä, koska sovelluksien määrä on rajattu.

7. MAASTON KULKUKELPOISUUS ANALYYSIKETJUN ESIMERKKINÄ

Luvun alussa esitellään loogisella tasolla Pioneeritoiminnan johtamislaitteen kulkukelpoisuuden toteuttamistapa analyysihierarkian kahdella alimmalla tasolla. Lopussa kuvataan taktisen simulaattorin toimintatapa, joka kattaa käytettävästä taistelumallista riippuen hierarkian kaikki tasot ja jossa kulkukelpoisuus yhdistetään taistelumallin ja muiden analyysien tulosten kanssa.

7.1 Pioneeritoiminnan johtamislaitteen kulkukelpoisuuteen liittyvät analyysit

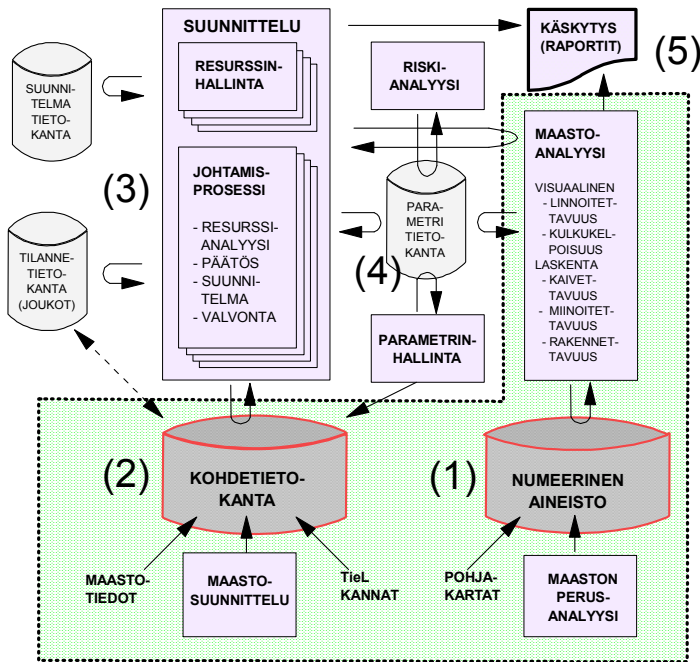
Maaston kulkukelpoisuus kuvaa ajoneuvon mahdollisuuksia liikkua maastossa. Analyysi on tehty järjestysasteikolla go - slow go - no go luokittelua mukaillen¹. Perusanalyysin tuottaman aineiston resoluutiotasoa voi säätää ja suunnata sekä sovelletussa maastoanalyysissa että resurssianalyysissa.

7.1.1 Pioneeritoiminnan johtamislaitteen paikkatietojärjestelmänä

Pioneeritoiminnan johtamislaitteen kehittäminen aloitettiin vuonna 1996. Yhdeksi kehitystavoitteeksi asetettiin maastoanalyysit, jotka JOTI-järjestelmästä jätettiin tarkoituksellisesti pois, mutta joiden rooli osana johtamisprosessia korostui. Lähtökohtana ollut Linnoittamislaitte nähtiin laskukoneena, jolla rakentajayksiköiden laajat työtehtävät voitaisiin hallita paremmin ja siten voitaisiin parantaa suunnittelun tarkkuutta. Kokonaisuutena todettiin vastaavan laskennan koskevan kaikkea pioneeritoimintaa, jossa pääosa työstä on rakentamista ja taistelua maastoa ja olosuhteita vastaan.

PionJohla suunniteltiin noudattamaan uudistettua johtamisprosessia poimimaan ja jalostamaan tietoa vaiheittain. Järjestelmä on joukkokohtainen, joten sen kaikki tiedot räätälöidään vain yhtä organisaatiota koskevaksi. Käyttäjäprofiileissa on erotettu Maanpuolustusalueen pääosin resursseja luova taso, yhtymän resursseja suuntaava taso ja joukkojen resursseja käyttävä taso. Kokonaisuus sisältää kuusi sovellusta: maaston perusanalyysin, PionJohla-sovelluksen ja kolme maastosuunnittelusovellusta. Myös SALPA-ohjelmistoa voidaan pitää järjestelmän yhtenä osana.

¹ Ei siis esimerkiksi ajonopeustarkasteluna Yhdysvaltojen nykyisen esitystavan mukaisesti. Toisaalta tavat voidaan nähdä toisilleen jatkumoina, joissa luokkia lisätään.

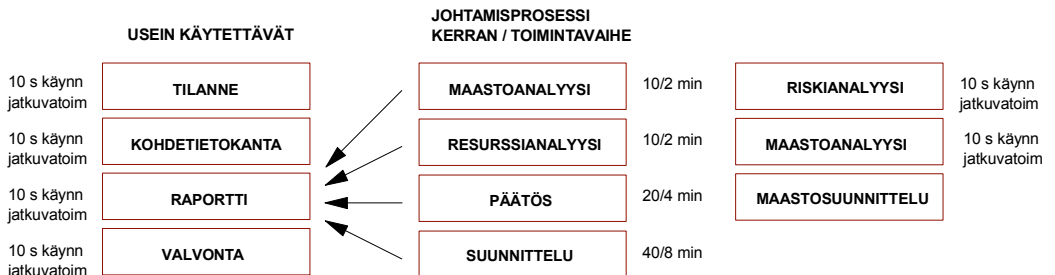


Looginen rakenne:

- (1) Maastoanalyysit
- (2) Kohdetietojen hallinta
- (3) Laskenta
 - resurssianalyysi
 - projektisuunnittelu
 - resurssien hallinta
 - riskianalyysi
- (4) Asiantuntemus
 - parametrin hallinta
- (5) Raportointi

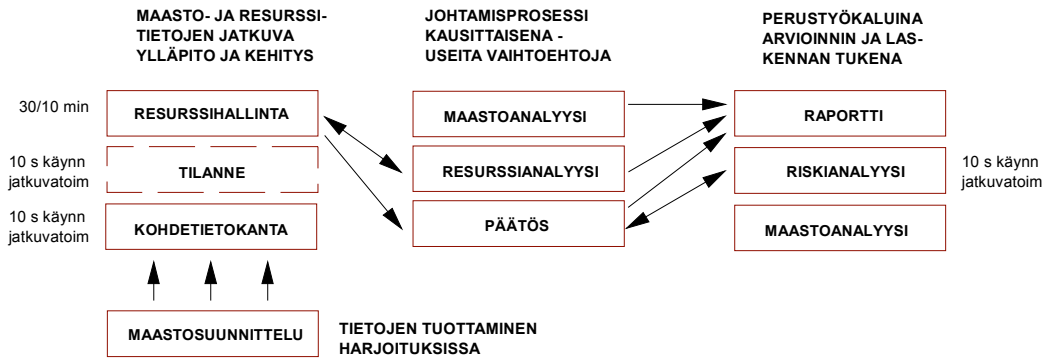
Kuva: PionJohla -tietojärjestelmän looginen rakenne. Järjestelmässä on erotettavissa paikkatiedon kannalta perusanalyysisovellus, PionJohla-sovellus ja erilliset maastosuunnitteluovellukset. SALPA-sovellus ja aineisto on erillinen osa kohdetietokantaa.

Koska PionJohlan laskentapa perustuu yksinkertaistettuna yhtälöön **resurssi x aika = tulos**, sitä voidaan käyttää kolmella eri tavalla. Kriisiaikana laskennalla määritettävänä tekijänä on yleensä tulos, joka esittää käyttäjälle arvion tietyssä tilanteessa aikaansaatavasta suorituksesta ja päätös tehdään kohdentamalla tulos. Kun määritettävänä tekijänä on aika, on kyse vaihtoehtojen vertailusta tietyillä resursseilla tuloksen ollessa taktisista syistä sidottu. Tällöin pyritään löytämään oikea aikautus resurssien käytölle.



Kuva: PionJohlan käyttöperiaate ja tavoitevasteajat liikkuvassa yhtymässä. Laskettavana ovat joko tulos tai tarvittava aika.

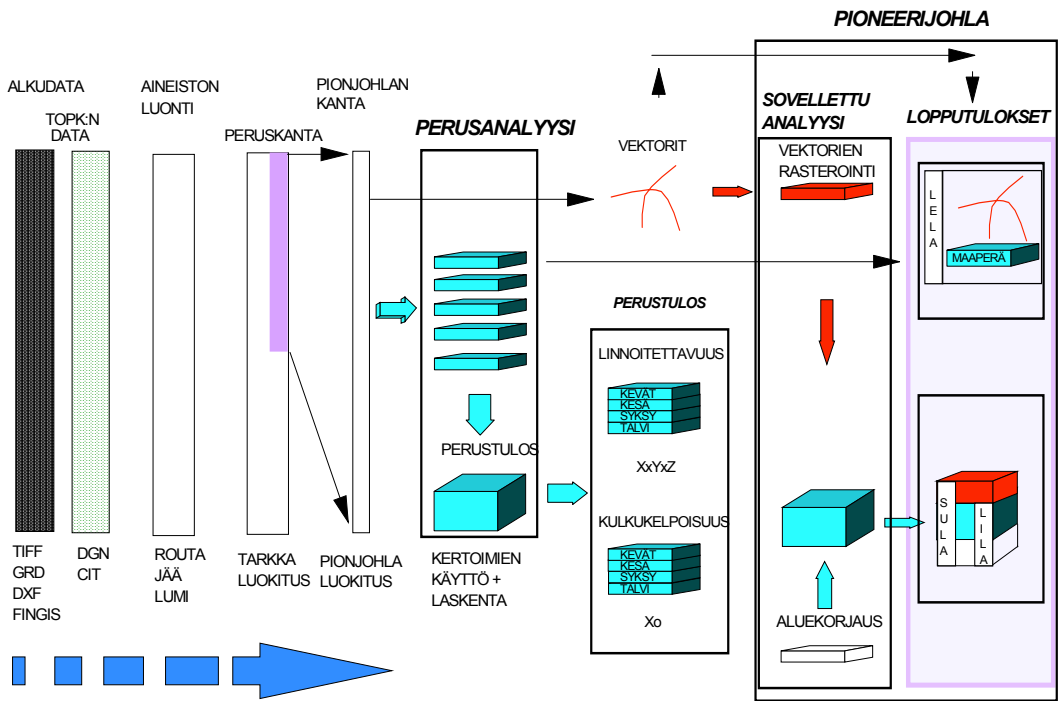
Resurssit määritettävänä tekijänä esittää käyttäjälle arvioita siitä, mitä resursseja tietyssä tilanteessa ja aikakehyksessä vaaditaan tarvittavien tulosten aikaansaamiseksi. Lähestymistapa on tyypillinen rauhan ajan suunnittelussa maanpuolustusalueen tasalla. Maastotieto muodostaa tärkeän elementin sovitettaessa laskenta olosuhteisiin.



Kuva: PionJohlan käyttöperiaate resursseja luovalla tasolla, jolla laskettavana ovat tarvittavat resurssit. Myös edelliset käytettävät ovat mahdollisia.

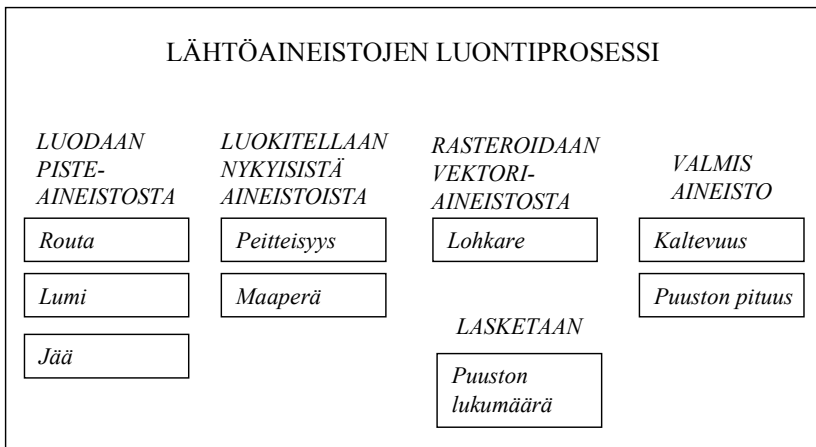
Kohdetiedot hankitaan pääosin perusvalmiudessa ja kerätään maanpuolustusalueille. Myös resurssien hallinnan perustana olevat tuotantolaitokset ja varastot mallinnetaan kohdetietoina. Kriisissä kohdetietojen omistajuus siirretään perustettaville liikkuville yhtiöille, jotka vastaavat tietojen ylläpidosta ja uusien tietojen hankinnasta alueillaan. Kaikki tiedot lähetetään tiedoksi maanpuolustusalueelle, jolloin kokonaisuus on hallinnassa ja kriittisen tiedon kuten sulutteiden tiedot voidaan varmentaa. Pääosa tietojen päivittämisestä on tiedostopohjaista, osa on mahdollista tehdä myös sanomilla.

Maastoanalyysit muodostavat tietojärjestelmässä aineistoista lähtevän yleistävän jatkumon, joka noudattaa analyysihierarkian periaatteita. Perusanalyysisovellus on toteutettu wizard-tyyppisesti osaksi puolustusvoimien muuta aineistotuotantoa, ratkaisun lähtökohtina ovat ammattitaitovaatimukset ja aineistointensiivisyys. Sovellettu maastoanalyysi ja resurssianalyysi tapahtuvat PionJohla-sovelluksessa osana tilanteen arviointia ja päätöksentekoa.



Kuva: PionJohlan maastoanalyyseiden yleistävä prosessimalli. Osana järjestelmän kehittämistä kartoitettiin lähtöaineistotilanne ja määritettiin järjestelmän sisäiset aineistorajapinnat. [PJohla98]

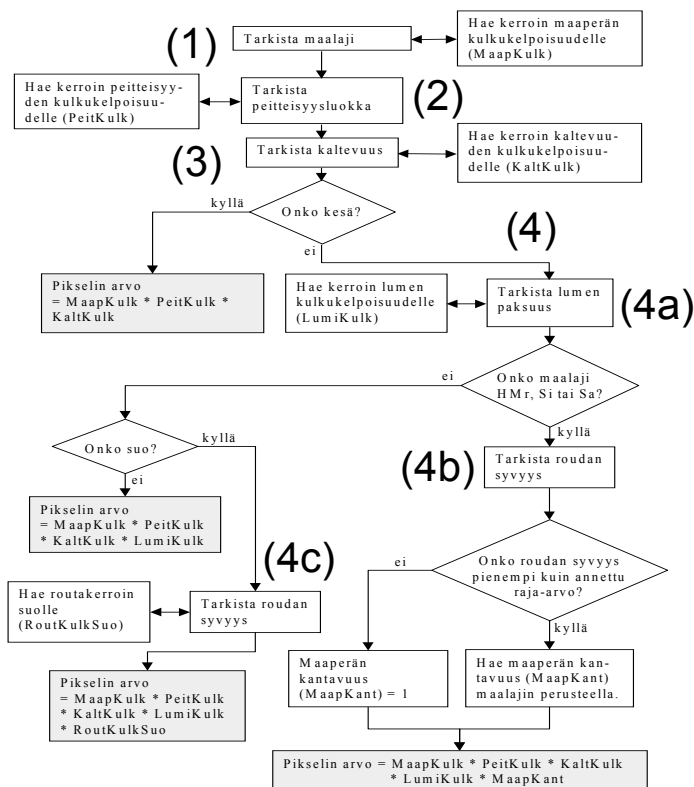
Lähtöaineistoissa käytetään tuotteistettua maaperätietoa, uudelleen luokiteltua peitteisyystietoa, kaltevuuden ja puuston pituuden valmiita aineistoja, rasteroitavia lohkartietoja sekä tilastollisista pisteaineistoista luotavia rauta-, lumi- ja jäätietoja. Tulevaisuudessa on mahdollista käyttää myös erillisiä puuston tiheys- ja kokotietoja. Kulkukelpoisuusanalyysin laadinta asutuskeskuksissa ei ole vielä mahdollista.



Kuva: PionJohlan maastoanalyyseiden lähtöaineistot. [Ora99]

7.1.2 Kulkukelpoisuus perusanalyysin tasolla (1.taso)

Maaston perusanalyysin kehittäminen aloitettiin kehämäisesti siten, että ensin muodostettiin karkealla tasolla analyysin perusmalli. Aineistolliseksi lähtökohdaksi otettiin maaperän kantavuus, joka Suomen olosuhteissa on tärkein liikkeeseen vaikuttava tekijä erityisesti liikettä estävien maastojen kannalta. Tämän jälkeen priorisoitiin puuston vaikutus, esteet, rinnekaltevuudet ja muut tekijät. Rakenne poikkeaa siinä, että ihmisen tekemänä perustana on 1:50k taktiselta kartalta tehty tulkinta, jota täydennetään maaperäkartan tiedoilla. Yhdysvalloissa lähtökohdiana on maankäyttö lähinnä siksi, että se on mahdollista analysoida satelliittikuva-aineistoista ja määrittää tiedot korkeusmalliin yhdistettynä. Lähestymistavassa siis tapahtui jo alussa muutos geologisen maastoanalyysin suuntaan. Maaperäaineistotilanne oli merkittävä päätökseen liittyvä tekijä.

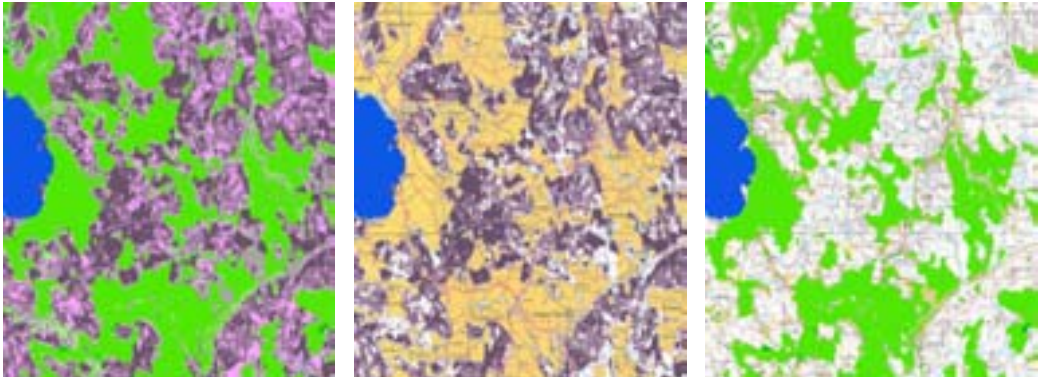
Kulkukelpoisuuden toteutuslogiikka:

- (1) Lähtökohdiana maalajiyhdistelmä ja lohketiedot
- (2) Peitteisyyden vähentävän vaikutuksen huomiointi
- (3) Kaltevuuden vähentävän vaikutuksen huomiointi
- (4) Talvitekijöiden huomiointi
- (4a) Lumi
- (4b) Routa kivennäismailla
- (4c) Routa suolla

Kuva: Kulkukelpoisuuden perusanalyysin toteutuslogiikka [Ora99]. Huomaa maalajin jakava vaikutus kohtien 4a ja 4b välissä ja roudan vaikutusten huomiointi. Lopullinen tulos voi määräytyä neljälle eri tavalla.

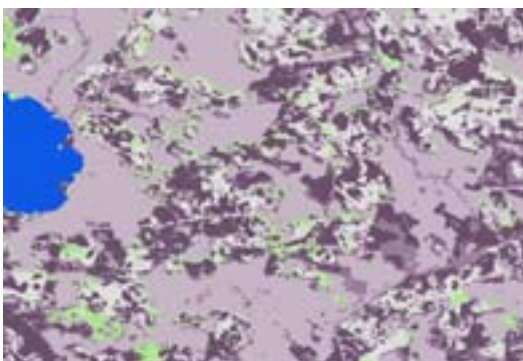
Kustakin tekijästä muodostetaan termi, joiden yhteisvaikutus kuvaa maaston kulkukelpoisuutta ja muut osatekijät joko huonontavat tai parantavat maaperätietoa.

Lopputuloksena on neljä kaavaa, jotka voidaan parametrisoida erikseen sekä lopputuloksen että kunkin tekijän osalta. Lisäksi sovellus kykenee ajon aikana jättämään jonkun lähtöaineiston kokonaan huomioimatta tai sen huomioimaan painotettuna. Parametrisointi voidaan tehdä jokaiselle ajoneuvotyypille erikseen tai käyttää joukkokohtaisesti painotettuja arvoja. Tavoitteena on rakenne, joka antaa nopeasti oikean suuntaisia tuloksia ja jota voidaan joustavasti säätää parametreilla.



Kuva: Esimerkki kulkukelpoisuuden perusanalyysin tuloksesta rynnäköpanssarivaunulle kesällä. Vasemmalla kokonaisuus, keskellä liikettä estävät (no go) ja oikealla liikettä suosivat (go) luokat 1:50k takaisen kartan päällä.

Perusanalyysi antaa myös mahdollisuuden vertailla vuodenaikojen ja ajoneuvotyyppien keskinäisiä suhteita. Näin voidaan pyrkiä löytämään edullisia alueita, joilla liike on kaluston ansiosta vastustajaa parempaa tai hahmottelemaan eri kalustoilla varustettujen joukkotyyppien liikemahdollisuuksia.

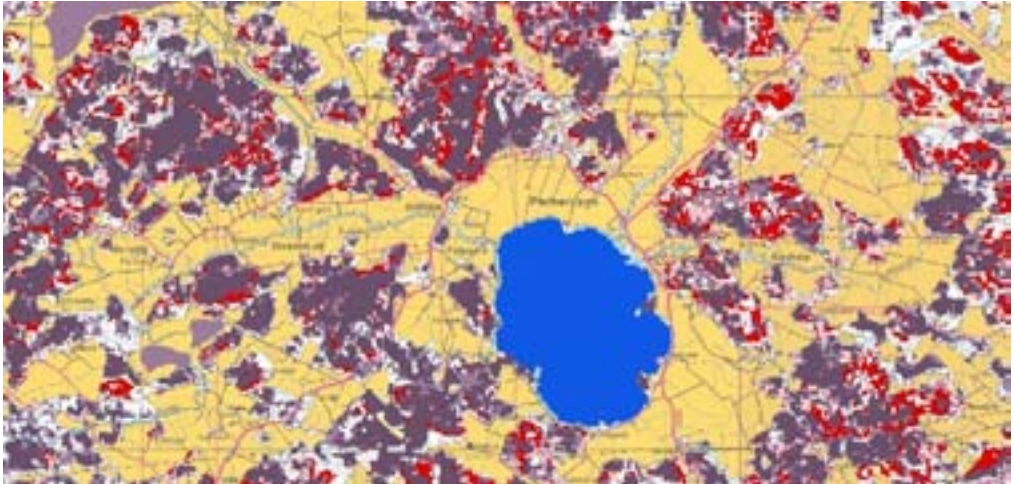


rynnäköpanssarivaunu talvi



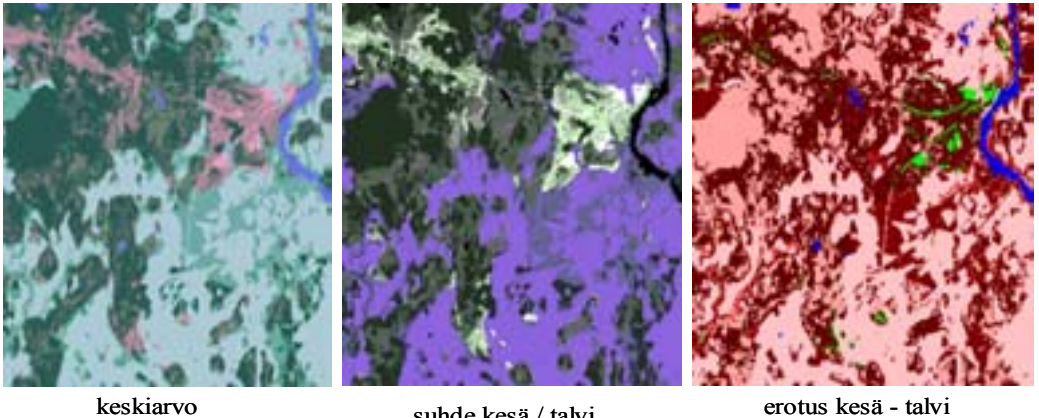
pyöräpanssarivaunu talvi

Kuva: Visuaalinen vertailu teloilla varustetun rynnäköpanssarivaunun ja pyörillä varustetun kuljetuspanssarivaunun maastoliikkuvuudesta vaikeissa talviolosuhteissa.



Kuva: Visuaalinen epäsuotuisten alueiden vertailu päällekkäisillä tuloksilla. Päällä on violetilla rynnäköpanssarivaunu, sen alla punertavalla taistelupanssarivaunun "yli menevä" osuus ja alimmaisena tumman punaisella kuljetuspanssarivaunun lisäalue.

Vertailua voidaan tehdä myös overlay-operaatioilla. Eri vaunutyypin painotetulla keskiarvolla voidaan yleistää tuloksia joukkotyyppiä koskeviksi, vastaavalla tavalla voidaan määrittää myös vuodenaikojen yhdistettyjä tuloksia. Tulosten keskinäinen suhde kuvaa muutoksen jyrkkyyttä ja perinteinen erotuskartta vastaa edellisen esimerkin tavoin kalustojen välisiin etuihin.



keskiarvo

suhde kesä / talvi

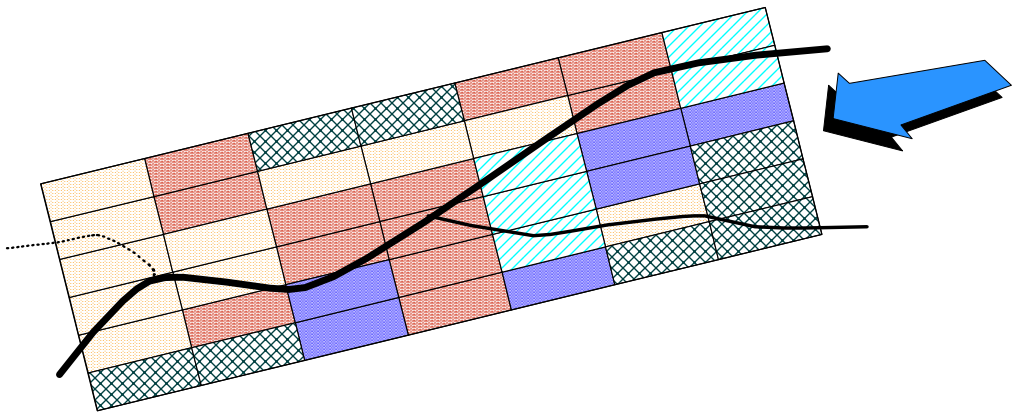
erotus kesä - talvi

Kuva: Overlay-operaatioilla tehtyjä vertailuja. Vasemmalla vuodenajoittain keskiarvoistettu kesää painottava tulos, keskellä talven ja kesän tulosten suhteellinen jyrkkyytstarkastelu ja oikealla vastaava erotuskuva.

Etelä-Suomessa erot vertailuissa ovat pieniä, mutta pohjoiseen siirryttäessä roudan vaikutukset esimerkiksi soiden ja peltojen kantavuuteen voivat vaikuttaa hyvinkin merkittävästi. Vastaavasti telakuorma-auton käyttäminen verrokkina panssaroiduille taistelujoneuvoille antaa merkittäviä eroavuuksia liikemahdollisuuksissa.

7.1.3 Kulkukelpoisuuden sovellettu maastoanalyysi (2.taso)

Sovelletun maastoanalyysin tavoitteena on yleistää perusanalyysin tuloksia taktisesti tarkoituksenmukaisella tavalla. Perusanalyysin pikselikoko on samanskaalainen yksittäisen ajoneuvon kanssa, sovelletulla analyysillä kuvataan maastoa eri kokoisten joukkojen kannalta. Joukkueen hyökkäysalueen kokona on noin 200 m x 500 m, kompanian 500 m x 1500 m, pataljoonan 1000 m x 4000 m ja rykmentin tai prikaatin 5 km x 15 km [A2Kelt80]. Kun analyysin tehtävänä on kuvata joukon liikehtimismahdollisuuksia, kyse on maaston jakautumisesta käyttöalan sisällä. Esimerkiksi kompanian luokkia ovat taistelu jalan vaikeassa maastossa, taistelu rynnäkö- ja taistelupanssari-vaunujen ollessa tulituessa, taistelu vaunujen siirtyessä jalkavaen takana hajautetussa tulituessa, taistelu jalan vaunujen siirtyessä mukana ja taistelu vaunuista.

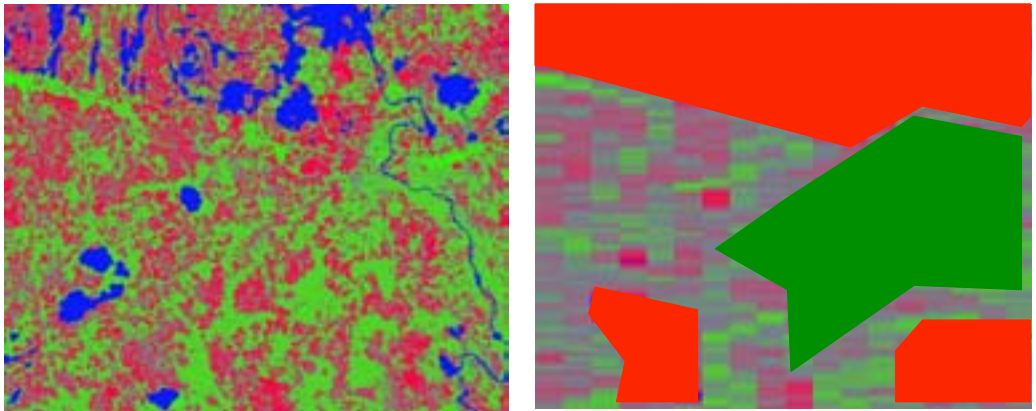


Kuva: Sovelletun maastoanalyysin yksinkertaistettu perusajatus. Joukon taktisia liikkumismahdollisuuksia kuvataan sen käyttöalan suhteessa.

Vuosina 1997-98 testattiin Pioneerikoululla toteutustapaa, jossa maastoon asetettiin systemaattisesti käyttöalaa vastaavia kuvioita ja analysoitiin mahdollisuutta käyttää maankäyttö- ja peitteisyysluokkia loogisena rakenteena. Tätä varten tehtiin kymmenvaiheinen päättelyketju, jonka toimivuutta ja aiheutuvia ristiriitoja testattiin manuaalisesti [Miet98]. Rakenne lähti ensin kahtiajaosta sopiviin ja epäsopeviin, joita sitten tarkennettiin erikseen. Alueet, joille ei viimeisen päättelyportaankaan jälkeen saatu luokkaa, määriteltiin epämääräisiksi. Luokittelun tavoitteena oli seitsenportainen asteikko.

Menettelytapa todettiin helposti loogisesti epäyhtenäiseksi. Analyysi jouduttiin tekemään suoraan lähtöaineistoista ilman mahdollisuutta välitulosten käyttämiseen ja vastaikavaatimukset siten vaikeiksi täyttää. Kokonaisuutena menetelmän todettiin kuitenkin antavan hyviä tuloksia, joissa on mahdollisuus huomioida ihmisen heuristinen tapa hahmottaa ja käyttää maaston taisteluteknisiä ominaisuuksia.

Perusanalyysin suunnittelun jälkeen sovellettu maastoanalyysi sai muodon yleistää tuloksia. Tavoite on huomioida liikkeen suunta sekä perusanalyysissä näkymättömät teiden ja jokien vaikutukset. Tämä tehdään puskuroimalla vektoritasot liikkeen ja vektorin ominaisuuksien suhteen rasteritasolle edistäviksi tai hidastaviksi luokiksi.

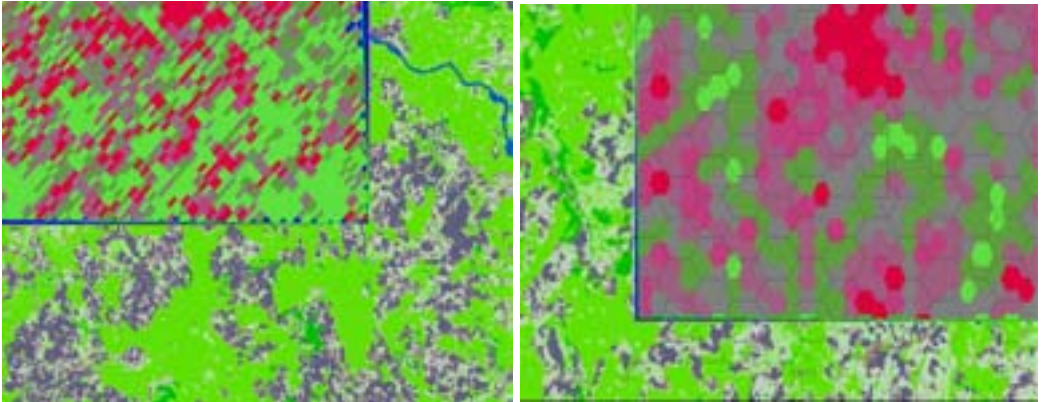


Kuva: Kulkukelpoisuuden perusanalyysitulokset ja 500 m x 3000 m suorakaiteina toteutettu länsi - itä suuntainen sovellettu analyysi samalta alueelta. Sovellettu analyysi mahdollistaa maaston jakamisen taktisiin luokkiin joukkokoon suhteessa, alueen kokonaispituus on noin 80 km.

Sovellettu analyysi on hyvä tehdä kahta joukkotasaa tarkasteltavaa joukkoa alemmassa mittaluokassa, joka esimerkiksi prikaatitasolla edellyttää tarkastelua komppanian käyttöaloina. Myös yksittäisten ruutujen arvojen sijoittumisesta johtuva pieni vaihtelu muuttuu käytännössä merkityksettömäksi. Lopullinen kuva taktisista toimintamahdollisuuksista syntyy päättäjän kokemuksen ja näkemyksen perusteella. Edellä olevaan sovelletun analyysin kuvaan on hahmoteltu divisioonamittaluokassa taistelulajien kokonaisuus kolmessa taktisessa luokassa, oikean reunan vihreä panssaritaistelu- maasto muuttuu panssarijalkaväelle sopivaksi sirpaleisella alueella.

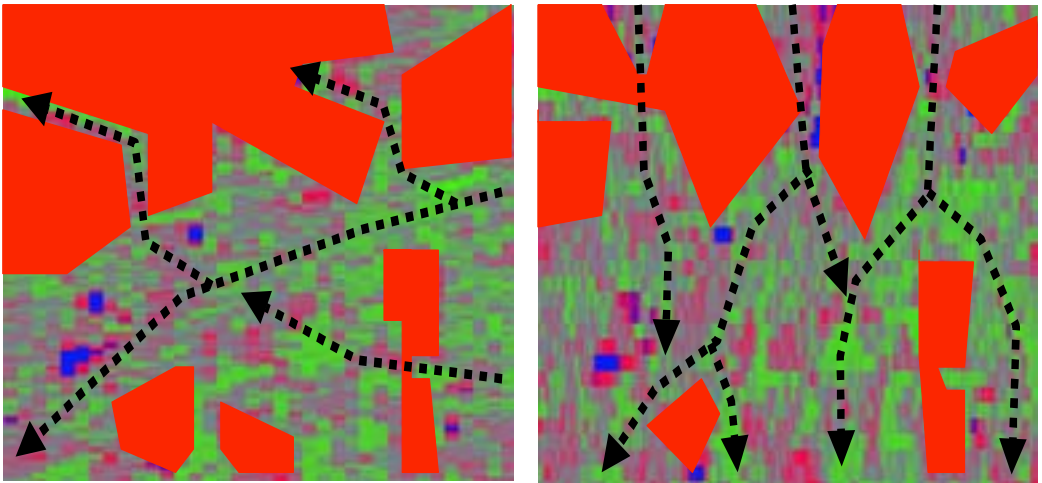
Analyysi tehdään suunnattuina suorakaiteina, jotta arvojen testaaminen maastossa on mahdollista ihmisen tulkinnoilla. Näin arvorajat perusanalyysin luokkien osuuksista voidaan skaalata vastaamaan heuristisia tuloksia. Myös edellä kuvatun loogisen päättelyrakenteen käyttö on mahdollista. Sotapeleistä tuttu kuusikulmio eli heksagoni muodostaa loogisemman yhteyden viereisiin alueisiin ja antaa mahdollisuuden kuusinaapu-

ruuden käyttöön optimoinnissa. Myös vinoneliön käyttöä harkittiin.



Kuva: Sovelletun analyysin esitystapa. Vasemmalla koillis-lounas suuntaisen liikkeen suorakaide-esitys ja oikealla kuusikulmioesitys, jossa liike ruudusta toiseen on ihmisen tulkinnan kannalta luontevampaa. Taustalla perusanalyysitulokset.

Liikkeen suunnan analysoinnissa analyysin teho on merkittävä.

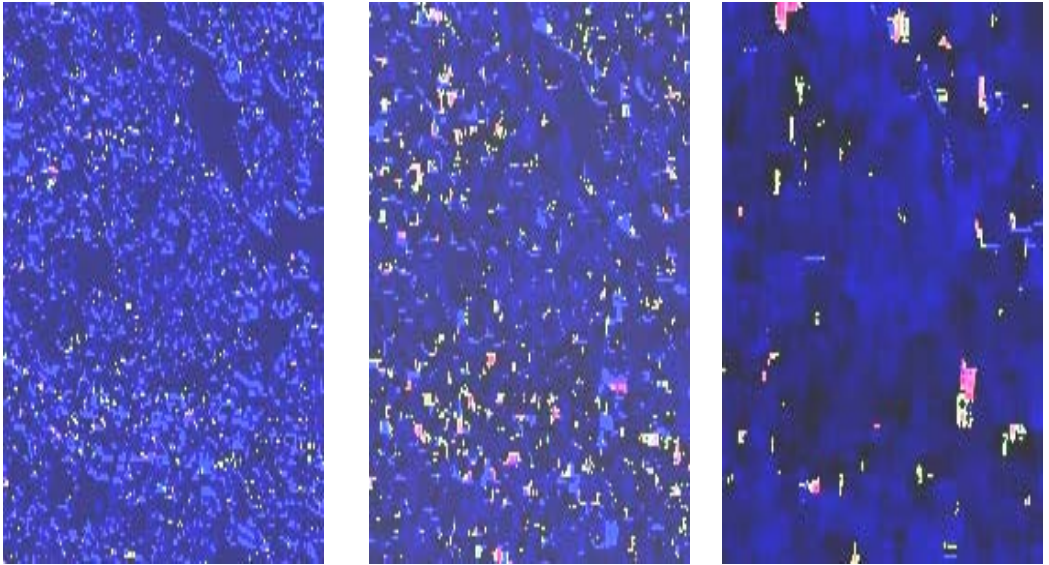


Kuva: Pääilmansuuntien mukaiset liiketarkastelut 300 m x 1500 m ruutuina sekä niiden perusteella hahmotellut liikesuunnat ja liikkeelle epäedulliset alueet.

Sovelletun analyysin parametriarvojen ja yleistystavan testaaminen on kesken, koska tietojärjestelmä on vasta koekäytössä. Jatkossa on mahdollista vakioda käytettävät esitystavat ja kehittää erilaisille taktisille yksiköille omat yleistystavat.

7.1.4 Estearvo suluttamisen resurssianalyysin perustana (2.taso)

Kolmas tapa yleistää perusanalyysituloks on käyttää vertailumatriisia ja suunta-gradienttitarkastelua. Menetelmässä jokaiselle pikselille lasketaan arvo sen perusteella, miten siihen kiinnitetty matriisi osoittaa liikesuuntaan nähden. Tapa on hyvä lokaalissa käsittelyssä ja pystyy poistamaan halutun suuruiset yksittäiset aukeat.



Kuva: Vasemmalla 3 x 3, keskellä 5 x 5 ja oikealla 7 x 21 matriisilla toteutettu suunnattu yleistys, jossa jokaiselle pikselille määritetään liukuva arvo väliltä 0..1.

Käytetty yleistysmenetelmä valittiin suluttamisen resurssianalyysin perustaksi, koska sillä voidaan sovellettua analyysia paremmin antaa arvoja pieniltä alueilta siten, että yksittäisten aukeiden vaikutus minimoituu. Analyysin jälkeen tarkastelualue jaetaan liikkeelle kohtisuoriksi torjuntatasoiksi, joiden aluekeskiarvoa käytetään alueen torjuntaleveyden määrittelyyn. Pikseleitä painotetaan laskennassa niiden liukuvarvon mukaisesti, jolloin eri maastoluokkien sijoittuminen liikesuuntaan nähden voidaan ottaa huomioon. Näin voidaan miinaanajon todennäköisyyden avulla arvioida tarvittava miinamäärä suhteessa haluttuun estetasoon viisiluokkaisella torjuva - pysäyttävä - ohjaava - hidastava - häiritsevä asteikolla. Termit kuvaavat taktista vaikutusta vastustajan käyttäytymiseen ja ne voidaan kokeellisesti liittää miinaanajon todennäköisyyksiin sekä miinajakaumiin. Vastaava menettelytapa on manuaalisesti käytössä yksittäisissä sulutteissa, laajemmilla alueilla suunnittelu perustuu nykyisin sulutteiden käyttöön mitattaviksi yksittäisten miinojen sijaan.

Miinaanajon todennäköisyys tasaa kohden P_{OST} lasketaan kaavalla: [Taop84]

$$P_{OST} = 1 - e^{-(M*f*b)/a}$$

M = miinojen lukumäärä tasaa kohden
 f = miinojen toimintakerroin
 b = maalin laukaisuleveys
 a = torjuntaleveys

Miinojen lukumäärä (M) määritetään telamiina mittayksikkönä, pohjamiinat muutetaan laskennallisesti telamiinoiksi kertoimella. Miinojen toimintakertoimen (f) käytetään kesällä arvoa 0,85 ja talvella arvoa 0,65 sekä laukaisuleveytenä (b) arvoa 1,25 m. Käyttäjä voi antaa myös muita arvoja. Keskimääräinen torjuntaleveys (a) määritetään siten, että käyttäjä rajaa tarkastelualueen ja antaa vihollisen tulosuunnan sekä määrittää käytettävän taktiikan, jonka jälkeen sovellus määrittää kultakin tasalta torjuntaleveyden a_i ja laskee keskimääräisen torjuntaleveyden a kaavalla

$$a = R * \frac{\sum a_i}{n}$$

R = taktiikan mukaan vaihteleva kerroin 0,7 .. 1,0.
 n = vyöhykkeiden kokonaismäärä.

Kertoimelle R käytetään arvona 1,0 kun aluetta ei valvota muulla kuin epäsuoralla tullella tai kun kyseessä on tilanteen arviointi vertailemalla alueita keskenään. Kerroin muuttuu kun aluetta valvotaan panssaritorjuntaohjustulella, kun sille on ryhmittynyt raskaita sinkoaseita käyttävä joukko tai muu joukko. Alueiden vertailussa ilmoitetaan keskimääräisen torjuntaleveyden (a) lisäksi tarkastelualueen syvyys (S), leveyden keskihajonta (s) ja ääriarvot (a_{MAX} ja a_{MIN}). Kokonaisestetasoon vaikuttavat myös alueen syvyys ja haluttu estevaikutus, joiden avulla määritetään tasojen laskennallinen tiheys (kpl / km). Syvyyden ja tiheyden tulona lasketaan estetasojen lukumäärä (n_{ES}). Miinaanajon kokonaistodennäköisyys P_{OS} lasketaan kaavasta:

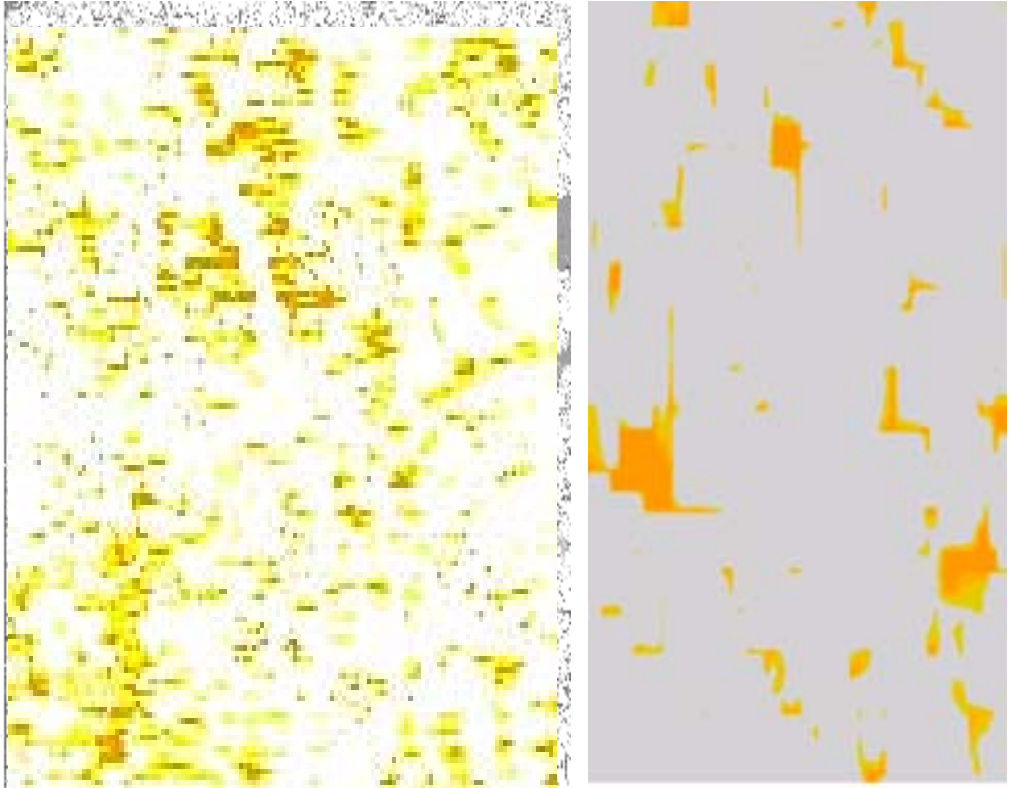
$$P_{OS} = 1 - (1 - P_{OST})^{n_{ES}}$$

P_{OST} = torjuntaleveyden mukaan laskettu miinaanajotodennäköisyys
 n_{ES} = estetasojen laskennallinen lukumäärä

Lopuksi määritetään pohjamiinojen ja telamiinojen suhde sekä esteikaivantojen pituus. Myös murrosteiden ja vesistöesteiden vaikutus voidaan arvioida. Materiaaliresurssien kautta on mahdollista laskea tarvittavat toimintaresurssit. Miinojen osalta työmäärään vaikuttaa miinoitettavuusanalyysi², joka kuvaa maaston kaivettavuutta miinoittamisen kannalta sekä lumen ja roudan vaikutuksia maaperässä.

² Tätä varten muodostetaan perusanalyysillä vastaavanlainen tulos kuin kulkukelpoisuusanalyysi.

Suuntagradianttien avulla tapahtuvaa yleistystä voidaan käyttää myös sovelletun maastoanalyysin tavoin. Kun ruututarkastelun parametrisointi on säädetty, voidaan sen tulosten avulla määrittää oikeat matriisikoot ja painotukset. Menettelytapa antaa tämän jälkeen mahdollisuuden sovelluttua maastoanalyysia sulavampaan visualisointiin säilyttäen kuitenkin tarkastelusuunnan vaikutukset.



Kuva: Esimerkki resurssianalyysin perustana olevasta liikkeelle suotuisten alueiden yleistyksestä harmaasävykartalla sekä yksityiskohta liikkeelle edullisten alueiden muodoista 9 x 9 matriisilla.

7.2 Taktinen simulaattori paikkatietojärjestelmänä (1.-3.taso)

Taktinen simulaattori antaa kuvan niistä mahdollisuuksista, jotka paikkatietojärjestelmä voi tarjota päätöksenteon tueksi yleisellä tasolla. Osion tutkimustapa poikkeaa edellisissä ja seuraavissa luvuissa esitetyistä siinä, että toteuttamisen sijaan on analysoitu neljäätoista olemassa olevaa järjestelmää sekä niiden tapaa käyttää maastotietoa ja siihen liittyviä analyyseja yhdistettynä erilaisiin taistelumalleihin. Tutkimuksesta on laadittu erillinen julkaisu [KESI02]. Merkittävä osa järjestelmien tiedoista on kerätty KESI-projektiin liittyen ei-julkisista materiaaleista, tässä työssä esitetään tulokset vain yleistettyinä johtopäätöksinä.

Mallin yleistyksellä (aggregation) tarkoitetaan mallilla kuvatun laskennallisen yksikön kokoa. Yksityiskohtaisessa mallissa (entity level) yksikkönä on yksittäinen ajoneuvo tai ryhmä sotilaita (1. taso). Yleistetyissä malleissa (constructive model) voidaan erottaa joukkue (2. taso), komppania (3. taso), pataljoona (4. taso) ja prikaati (5. taso). Mikäli malli on tarkempi, voidaan yksittäinen asejärjestelmä mallintaa esimerkiksi miehistö, lavetti, ase ja tulenjohtojärjestelmä erottamalla (-1. taso).³ Yleistämisen rinnalla voidaan käyttää termiä resoluutio.

7.2.1 Asejärjestelmätason simulaattorin tuli ja liike

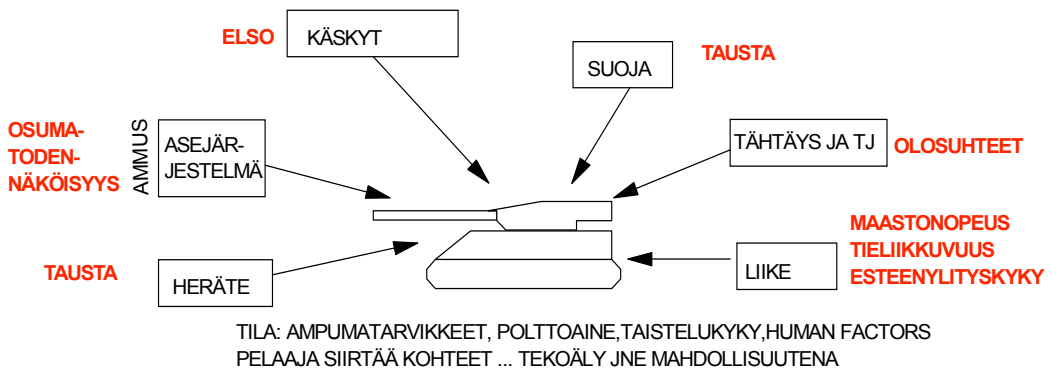
Asejärjestelmätason (SA1)⁴ simulaattorissa primäärimallit ovat yksittäisiä asejärjestelmiä, joiden kulkureittien suunnittelusta ja käskemisestä sekä ryhmittämisestä vastaavat pelaajat. Näin syntyy päätöksenteossa ja tutkimuksessa ongelmallinen human-in-the-loop -rakenne, toisaalta koulutus ja inhimillisten tekijöiden vaikutukset johtamiseen on helppoa huomioida. Käytettävät taistelumallit perustuvat esimerkiksi stokastiseen Monte Carlo tyyppiseen simulaatioon, jolloin tulokset ovat yksittäisiä ja vaativat nopeaa, sekuntiluokan laskentarytmiä. Mallit ovat tehokkaimmillaan symmetrisissä taistelutilanteissa vastaavien asejärjestelmien välillä.

Järjestelmä huomioi liikkeen aikana toimintamaaston lähinnä erilaisina hidastavina tekijöinä, jotka vaikuttavat välineiden perusparametreihin. Näitä ovat esimerkiksi liikenopeus, polttoaineen kulutus ja esteiden ylittäminen. Menetelmänä käytetään tyyppikohtaista kulkukelpoisuusanalyysia, joka vastaa tavallaan esitetyn maaston perusanalyysin laatimista liikkeen aikana kutakin kohdetta koskien. Tieliikkuvuudessa voidaan käyttää tukena yksinkertaista reittioptimointia.

³ Tasojen käsittely eri lähdeoteoksissa on hyvin vaihtelevaa. Esitetty luokittelu on kirjoittajan oma ja tarkoitettu lähinnä selventämään yleistystason astetta.

⁴ SA viittaa stokastiseen Asejärjestelmätason simulaattoriin, luku 1 osoittaa toiminnan tapahtuvan yksittäisten aseiden mitta-
luokassa. Määritelmä on kirjoittajan oma ja muodostettu empiirisestä aineistosta.

Asejärjestelmien välinen interaktio syntyy jatkuvaan näkemäviivaan (LOS, Line-of-sight) perustuen. Osa vaikutuksista tapahtuu aluetulen mallilla joko kokonaisuuksina tai yksittäisen simuloidun kranaatin tarkkuudella. Asevaikutuksen osana voidaan mallintaa lähinnä ampumaetäisyys ja tulenjohtoon liittyvät ympäristökijät, myös maalin taustan vaikutus on mahdollista huomioida. Interaktio ympäristön kanssa on esitetty yksinkertaistettuna alla olevassa kuvassa.

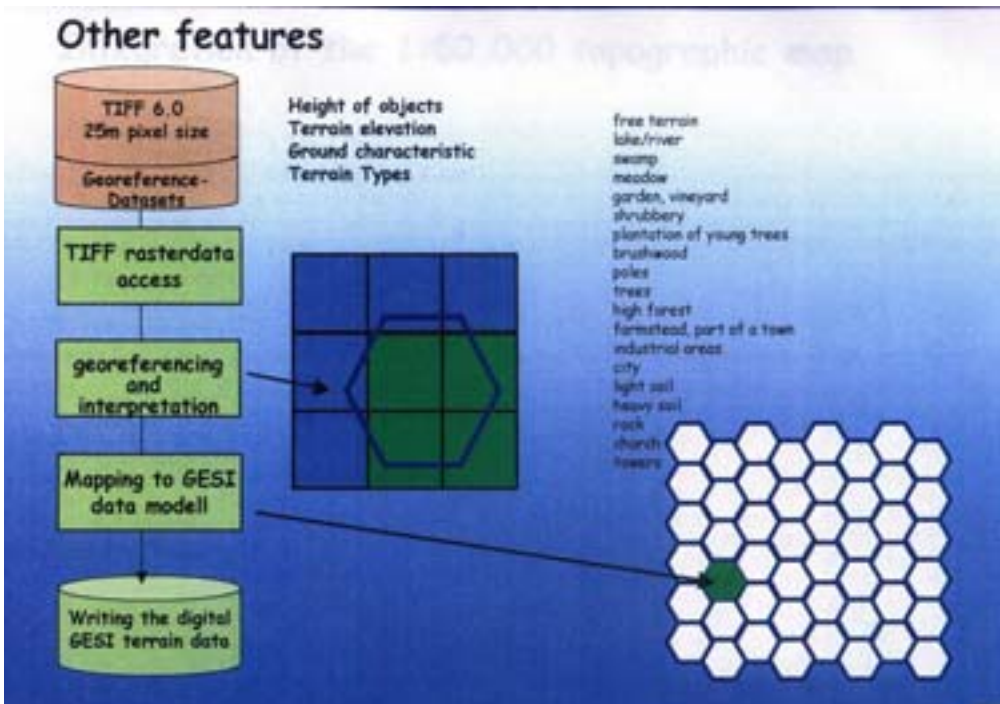


Kuva: Asejärjestelmätason stokastisen simulaattorin (SA1) interaktio järjestelmän maailman kanssa.

Maaston resoluutio vastaa asejärjestelmän käyttöalaa. Tyypillinen tarkkuus on noin 50 metrin pikselikoko, pelimaailmassa käytössä on jopa kilometriluokan pikseleitä. Tarkemmassa maailman mallinnuksessa on riskinä, että käyttäjä sijoittaa reitin tai aseman taisteluteknisesti "tyhmästi" ja syntyy niin sanottu "puun takana" –vaikutus, jolla tarkoitetaan osumista esimerkiksi yksittäisen puun taakse ja näkemän rajoittumista jyrkästi tästä syystä. Mallissa on hankala ilman suurta pelaajamäärää ja hidasta pelaamista ottaa huomioon, että oikeassa tilanteessa asejärjestelmä pyrkii koko ajan lokaalisti optimoimaan asemansa. Osa ongelmista voidaan teknisesti kiertää siten, että peitteisyys poistetaan määrätyltä lähietäisyydeltä ennen laskentaa.

Laskennan nopeuttamiseksi ja liikkeen helpottamiseksi voidaan käyttää heksagoneja, jolloin maailman luominen lähtöaineistoista vaatii prosessointia. Maastoluokkia on yli kaksikymmentä ja ne vastaavat luokittelultaan reaali maailman ilmiöitä. Tiestö on yksityiskohtaisella tasolla, samoin vesistöt. Maastosta voidaan mallintaa yksittäisiä kohteita, kuten rakennuksia, jopa yksittäisiä puita. Näiden määrä on nykyisellään rajoitettu, mutta laskentatehon noustessa myös realismi tulee edelleen kasvamaan. "Näkemä metsässä" voidaan teoriassa toteuttaa objektitasolla mukaan lukien tulialueen rai vaaminen.

Järjestelmä voi olla toteutettu joko vektori-, rasteri- tai sekamallinnuksella. Tietokannat ovat monimutkaisia ja sisältävät itsessään kaiken tarvittavan topologian. Aineistojen suhteen dynaamisuus eli uusien maailmojen luominen on hidasta vaatien käsin tehtävää työtä ja tarkistamista. Useissa järjestelmissä maailma digitoidaan itse referenssi-aineistoista. Nykyisten järjestelmien paikkatietoalustat on räätälöity simulointitarkoitukseen laskentatehon optimoimiseksi, mutta tulevaisuudessa voidaan odottaa käytettävän COTS-ohjelmien lisääntyviä paikkatieto-ominaisuuksia ja kasvavaa laskentatehoa hyväksi. Vaatimukset maailmojen luonnin nopeuttamiseen tukevat tätä kehityssuuntaa.



Kuva: Esimerkki osasta GESI-järjestelmän rasterimuotoisia maastoluokkia ja niiden edellyttämästä lähtöaineistojen muunnosprosessista. Tarkan tason mallinnuksessa muodostuu heterogeenisten lähtöaineistojen vuoksi epäloogisia maaperä - maaluokka - peitteisyys -yhdistelmiä, jotka vaativat tarkistamista käsin. Tarkkuus mahdollistaa karttakäyttöliittymän muodostamisen suoraan järjestelmän maailmasta, jolloin sen ja reaali maailmasta muodostetun referenssikartan epäloogisuuksilta vältytään. [KESI02]

SA1-tyyppisen simulaattorin etuna on mahdollisuus mitata parametrit mukaan lukien maastoon liittyvät tekijät sellaisinaan reaali maailman ilmiöistä. Näin saadaan perusta simulaattoriperheelle, jossa seuraavana portaana on maastossa tapahtuva kaksipuolinen simulaattorein käytävä taistelu. Järjestelmää voidaan käyttää tutkimuskäytössä ajallisesti lyhyissä ja taktisesti rajoitetuissa, lähinnä taisteluteknisissä tilanteissa. Vertailtavana ovat tyyppillisesti asejärjestelmien tehokkuusluvut. Keskiarvojen ja jakaumien

selvittämiseksi kukin skenaario on toteutettava kymmeniä kertoja. Tuloksia voidaan käyttää edelleen suuremman yleistystason mallien parametrien määrittämisessä.

Järjestelmä sopii pataljoonatason taistelutekniikan kouluttamisen ja johtamisen tukemiseen, prikaatitasolla ja sen yläpuolella pelaajamäärä nousee suureksi ja vaatii kiinteitä järjestelyjä. Simulointi kykenee parhaimmillaan tuottamaan realistisen kuvan taistelun kaaoksesta ja satunnaisuudesta sekä pakottaa koulutettavan esikunnan jatkuvaan johtamistoimintaan. Järjestelmä on herkkä eri osapuolten pelaajien määrälle ja vastustajan oikean taistelutekniikan osaamiselle, pelaajien koulutus ja osaaminen ovat tässä avainasemassa. SA1-simulaattori ei sovellu päätöksenteon tukijärjestelmäksi hitautensa sekä suuren toisto- ja pelaajamäärän takia. Stand alone –tyyppinen käyttö ei ole käytännössä mahdollista.

Järjestelmä kykenee esittämään taistelutilanteen yksityiskohtaisessa 3D-maailmassa yksittäisen aseiden tarkkuudella. Se sopii koulutukseen, jossa päätökset tehdään omiin havaintoihin perustuen, esimerkiksi panssarijoukoille. Vastaavalla tavalla järjestelmää voidaan käyttää myös oikean tilanteen visualisointiin, jonka merkityksen joukkojen koon pienentyessä ja paikannustarkkuuden kasvaessa voidaan arvioida kasvavan tulevaisuudessa ainakin Yhdysvaltalaisessa taistelutavassa.

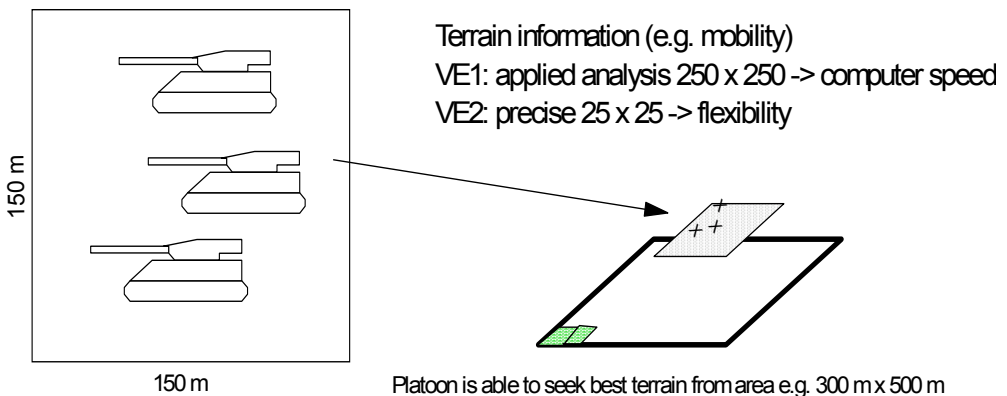
Esimerkkejä SA1-tyyppisistä taktisista simulaattoreista ovat Yhdysvaltojen JANUS, BBS, CBS, RCAST sekä tuleva WARSIM, Israelin osin Arc/Info teknologiaan perustuva ABS2000, saksalainen GESI, unkarilainen MARS ja MARCUS sekä hollantilainen KIBOWI. Järjestelmät ovat suuria ja ulkoasultaan vanhahtavia.

Työssä esitetyn analyysihierarkian kannalta SA1-tyyppiset simulaattorit toimivat maaston perusanalyysien tasolla. Mikäli yksittäisten ajoneuvojen ominaisuuksia yleistetään luokiksi, voidaan analyysit toteuttaa ennalta käyttäen parasta mahdollista osaamista ja käytännössä testattuja malleja. Osa vaikeasti mallinnettavista ja järjestelmälle mahdollisesti uusista ympäristötekijöistä, kuten roudan merkitys kantavuuden lisääjänä, voidaan huomioida analyysituloksen kautta eikä simulaattorin malleja muuttamalla. Menettelytavan etuna on myös yhdenmukaisuus joko perus- tai sovellettuja analyysituloksia käyttävien johtamisjärjestelmien kanssa, joissa resoluutio ei kuitenkaan ole vastaavalla tasolla. Myös lähtöaineistojen yhdistely helpottuu, toisaalta menetetään osa kyvystä tarkkaan visualisointiin.

7.2.2 Synteettinen joukko maaston käyttäjänä

Yksi tapa vähentää pelaajamäärää ja välttää "puun takana" tyyppisiä ongelmia on ohjelmoida järjestelmään joukkue- tai jopa komppaniatason taisteluteknistä älykkyyttä. SSA-simulaattorin⁵ primäärimallit ovat yksittäisiä asejärjestelmiä ja pääosa laskennasta tapahtuu niiden tasolla. Taistelumallit perustuvat stokastiseen Monte Carlo tai Lanchester simulaatioon, jolloin tulokset ovat yksittäisiä. Laskentarytmin on oltava kohtuullisen nopeaa, noin kymmenen sekunnin luokkaa. Mallit ovat edellisten tavoin tehokkaimmillaan symmetrisissä taistelutilanteissa, joissa samat mallit ohjaavat molempia osapuolia. Synteettisen joukon on tyyppillisesti oltava homogeeninen.

Tehtävien ja pääpiirteisten kulkureittien suunnittelusta ja käskemisestä sekä puolustukseen ryhmittämisestä asematasolla vastaa edelleen pelaaja, mutta käskyt annetaan joko joukkue- tai jopa komppaniatasalle. Järjestelmä pystyy rajoitetusti optimoimaan kulkureittejä ja valitsemaan tuliasemat maastomalli huomioiden. Liikkeen aikana toimintamaasto huomioidaan SA1-tyyppin tapaan erilaisina hidastavina tekijöinä, jotka vaikuttavat perusparametreihin. Näitä ovat mm. liikenopeus, polttoaineen kulutus ja esteiden ylittäminen. Tähän käytetään joko kulkukelpoisuusanalyysia tai tekijä laskeaan suoraan maastotyypeistä. Tieliikkuvuudessa voidaan käyttää yksinkertaista reitioptimointia. Asejärjestelmien välinen interaktio syntyy jatkuvaan näkemäviivaan perustuen, lisäksi on mahdollista yhdistää havaintoja synteettisen joukon sisällä. Osa vaikutuksista tapahtuu aluetulen kautta. Asevaikutuksen osana voidaan mallintaa ampumaetäisyys ja tulenjohtoon liittyvät ympäristötekijät. Interaktio ympäristön kanssa on esitetty yksinkertaistettuna seuraavassa kuvassa.



Kuva: Maaston käyttötapa SSA2-tyyppisessä järjestelmässä.

⁵ SSA viittaa Synteettistä joukkoa käyttävään Stokastiseen Asejärjestelmätason simulaattoriin. Perässä oleva luku kuvaa syntetisoinnin tasoa joukkueesta (2) komppaniaan (3).

Nykyisissä toteutuksissa maasto ei saa olla kovin monimutkaista tai pienipiirteistä, jotta taistelutekniikan optimointimalli kyetään hallitsemaan eikä laskenta-aika kasva liian suureksi. Maasto on mallinnettu 100 ... 250 metrin pikselikokoa vastaavalla tarkkuudella käyttäen enintään kymmentä maastoluokkaa, joiden luokittelussa on huomioitu myös yhdistettyjä sotilaallisia vaikutuksia. Tiestö ja vesistöt kuvataan vain muutamalla luokalla ilman ominaisuustietoja. Lähtöaineiston luominen vaatii Suomen aineistokantaan suhteutettuna yleistämistä sekä resoluutiosta että luokittelussa. Tämä vaatii analyysisovelluksen, jonka osana pienet epä johdonmukaisuudet kumoutuvat. Simulaattorin maailman luominen on kohtuullisen nopeaa, toisaalta sen testaamista on vaikea automatisoida.

Tulevaisuudessa voitaisiin käyttää tapaa, jossa maasto on kuvattu tarkalla tasolla ja monipuolisella luokituksella. Tällöin SAF-tyyppisesti⁶ simuloitava joukko voi optimoida toimintaansa tietyn toiminta-alueen vastaavan ikkunan avulla ja toimia tarkan maastomallin perusteella. Näin jokaiselle joukkotyypille voidaan määrittää oma optimoitu tapa käyttää maastoa hyväksi tekemällä sovellettu maasto-analyysi tilanteen mukaisesti. Myös yksittäisten kohteiden, kuten puiden, käyttö voi olla mahdollista, tosin niiden käyttö osana SAF-malleja saattaa olla monimutkaista. Menettelytavan etuna on toiminnan realistisuuden lisääminen, toisaalta haittana on mallien monimutkaistuminen ja laskentamäärän kasvaminen. Jatkossa on nähtävissä kehityssuuntaus, jossa vanhempiin asejärjestelmätason järjestelmiin luodaan ulkopuolisella mallinnuksella SAF-tyyppistä toiminnallisuutta. Näissä on tukeuduttava ainakin osin jälkimmäisenä esitettyyn lähestymistapaan.

SSA-simulaattori on toteutettu joko vektori- tai rasterimallinnuksella. Tietokannat ovat suhteellisen monimutkaisia ja sisältävät itsessään ainakin yksinkertaisen topologian. Järjestelmän perusparametrit mukaan lukien maastoon liittyvät tekijät voidaan yleensä mitata ja johtaa reaaliaikaisen maailman ilmiöistä, tosin ne vaativat usein yhdistämistä ja yleistämistä. Järjestelmän paikkatietoalusta on nykyisin tarkoitukseen räätälöity, mutta tulevaisuudessa voidaan odottaa käytettävän myös COTS-GIS ohjelmistoja alustoina niiden avoimuuden ja käyttöliittymän kehittyneisyyden takia. Järjestelmä kykenee esittämään taistelutilanteen uskottavasti yksityiskohtaisessa 3D-maailmassa yksittäisen aseiden tarkkuudella. Se sopii myös koulutukseen, jossa päätökset tehdään omiin havaintoihin perustuen, esimerkiksi panssarijoukoille.

⁶ SAF tulee sanoista Semi-autonomous Force, jolla kuvataan malliin liitettyä taisteluteknistä älykkyyttä. Joissakin lähteissä käytetään myös nimitystä Synthetic Force tai yleisemmin CGF eli Computer Generated Force. Kaikissa termeissä on omat vivahteensa ja maakohtaiset painotuksensa.



*Kuva: SA1 ja SSA-tyyppin simulaattorilla on mahdollista päästä hyvän resoluutiotason 3D visualisointiin.
[Copyright Landair corp]*

Taistelutekniikka on ohjelmoitava ja mallien päivittäminen tai muokkaaminen parametrisoimalla on vaikeaa, lisäksi älykkäiden mallien testaaminen on monimutkainen ja paljon resursseja vaativa tehtävä erityisesti epäsymmetrisissä taistelutilanteissa.

SSA-simulaattori sopii prikaatitason taktiikan kouluttamiseen ja johtamisen tukemiseen pelaajamäärän pysyessä kohtuullisena. Simulointi kykenee ainakin osin tuottamaan kuvan taistelun kaaoksesta ja pakottaa koulutettavan esikunnan jatkuvaan johtamistoimintaan, toisaalta mallien epäuskottavuus ja ohjautumattomuus ovat riskeinä. Järjestelmä ei ole kovin herkkä eri osapuolten pelaajien määrälle ja vastustajan oikean taistelutekniikan osaamiselle, joten pelaajien taktinen koulutus on tästä syystä edellistä helpompaa. Toisaalta mallien oikea käyttäminen ja varsinkin ohjelmointi vaatii toimintaperiaatteiden tuntemista.

Järjestelmää voidaan käyttää tutkimuskäytössä ajallisesti joidenkin tuntien ja taktisesti jopa prikaatin kehyksessä. Vertailtavana ovat yleensä asejärjestelmien tehokkuusluvut, mutta myös organisaatioiden rakenteita ja yhteistoimintaa voidaan tutkia. Keskiarvojen ja jakaumien selvittämiseksi kukin skenaario on toteutettava kymmeniä kertoja. Tuloksia voidaan edelleen käyttää suuremman yleistystason mallien parametrien määrittämisessä. SSA-simulaattori soveltuu jossakin määrin myös päätöksenteon tukijärjestelmäksi käskytysopeutensa ja yleistettävyytensä ansiosta ja sitä voidaan käyttää taktiikan havainnollistamisvälineenä. Yksittäinen stand alone –tyyppinen käyttö voi

olla mahdollista, jos se on otettu teknisessä suunnittelussa huomioon.

Esimerkkejä järjestelmistä ovat Yhdysvaltalaiset ModSAF ja kehitettävä OneSAF, saksalainen HORUS ja SA1-tyyppistä kehitetty GESI-järjestelmän DST⁷-prototyyppi. Järjestelmät ovat edellisiä pienempiä ja helpokäyttöisempiä.

Analyysihierarkian kannalta uudet SSA-tyyppiset simulaattorit toimivat synteettisen joukon taistelutekniikkaa vastaavalla yleistystasolla, joka on mahdollista toteuttaa sovellettua maastoanalyysia käyttäen. Tietyillä osa-alueilla kuten radiohäirinnässä tai maastokaasuun liittyvissä analyyseissa on myös mahdollista käyttää resurssianalyysin tyyppisiä hitaammin muuttuvia tuloksia. Koska mallit sisältävät itse älykkyyttä, voi karttakäyttöliittymänä olla johtamisjärjestelmiä ja painokarttoja vastaava kuvaruutukartta, jolloin on mahdollisuus päästä sekä loogisesti että käyttöliittymän kannalta yhdenmukaisuuteen johtamisjärjestelmien kanssa. Kaupallisten alustojen yleistyessä myös maailmojen laadinta tulee helpottumaan.

7.2.3 Deterministinen joukkomalli ja sumeampi lähestymistapa

Tällä hetkellä yleisin tapa toteuttaa yhtymiä käsitteleviä taktis-operatiivisia simulaattoreita ja päätöksenteon taktisia tukijärjestelmiä on käyttää deterministisiä taistelumalleja. DY-simulaattorin⁸ primäärimallit ovat valitun taseisia joukkoja, joilla laskenta tapahtuu. Kokonaisuus voi skaalautua noin kahden tai kolmen tason verran, mutta saman integrointimallin käyttäminen usealla tasolla ei yleensä ole mahdollista. Taistelumallit perustuvat esimerkiksi Lanchester tai QJM-tyyppiseen mallinnukseen, jolloin tulokset ovat keskiarvoistavia. Jossakin mitassa on mahdollista tuottaa myös jakauman tunnuslukuja. Tulevaisuudessa sumean logiikan käyttäminen voi antaa mahdollisuuden tulosten luotettavuuden monipuolisempaan arviointiin.

Mallinnustavan heikkoutena on kykenemättömyys huomioida järjestelmävaikutuksia tappioiden kohdentamisessa. Taktiikkapeleissä tätä on korvattu siten, että tappioiden kohde joukon sisällä määritetään stokastisesti, jonka jälkeen sen kohdistuminen kriittiseen elementtiin huomioidaan erikseen. Näin voidaan tiettyyn rajaan saakka kuvata taistelun kaoottista ja ennustamatonta luonnetta.

Laskentarytmi voi olla kymmenien sekuntien tai minuuttien luokkaa, jolloin taistelun kulun suurikin nopeuttaminen on mahdollista. Mallit ovat tehokkaita symmetrisissä taistelutilanteissa, mutta myös koon tai asetyyppien suhteen epäsymmetriaa kyetään aina-

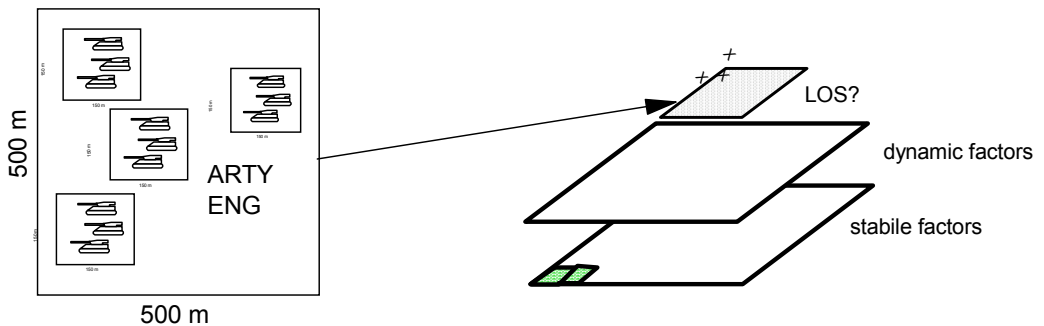
⁷ DST on lyhennys päätöksenteon tukijärjestelmästä (Decision Support Tool).

⁸ DY on lyhennys Deterministisestä Yleistävästä toimintaperiaatteesta, jossa epähomogeenisia joukkoja käsitellään yhtenäistettyinä ominaisuusjoukkoina.

kin rajoitetusti hallitsemaan. Mallinnettu joukko voi olla sisäisesti hyvinkin heterogeeninen. Tehtävien ja pääpiirteisten kulkureittien suunnittelusta ja käskemisestä vastaa pelaaja. Käskyt annetaan yleensä kahta tasoa koulutettavaa esikuntaa alemmalle tasolle, joka tarkoittaa pataljoonassa joukkuetasoa, prikaatissa komppaniatasoa, divisioonassa ja armeijakunnassa pataljoonatasoa, rintamatason sotatoimissa jopa prikaateja.

Toimintamaasto huomioidaan erilaisina vaikutuskertoimina liikkeeseen, näkemään, taistelutehoon ja kantamiin, jotka vaikuttavat joukkojen perusparametreihin. Asejärjestelmien välinen interaktio syntyy lähinnä joukkojen joutumisesta riittävän lähelle toisiinsa, jota varten maastotekijät on määritetty esimerkiksi toimintasäteitä. Tämä vastaa näkemäanalyysin laadintaa perusanalyysin tavoin näkemäviivan sijaan, tosin joissakin malleissa myös näkemäviivan käyttö on mahdollista vahvasti pelkistetyssä maastomallissa. Toimintamaastossa voidaan huomioida muun muassa elektroniseen sodankäyntiin, suojeluun, maastouttamiseen ja linnoittamiseen liittyvät tekijät vastaavalla tavalla kulkukelpoisuuden kanssa.

Interaktio ympäristön kanssa on esitetty yksinkertaistettuna seuraavassa kuvassa.



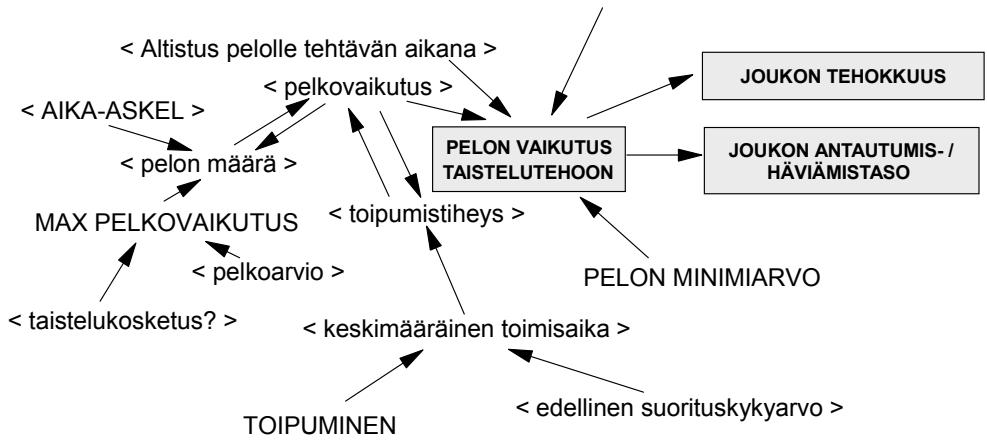
Kuva: DY3-tyyppisen simulaattorin interaktio maaston kanssa

Järjestelmän käyttämä tapa on luokitella maasto esitettävän ilmiön kannalta oleellisiin luokkiin ja niitä vastaavalla tarkkuudella. Tässä voidaan käyttää apuna oikeaskaalaisuuden käsitettä, jossa pikseli- tai vektoriaineistojen ruutukoko vastaa pääpiirtein tutkittavaa taktista ilmiötä. Tiestö, vesistö ja erilaiset dynaamiset maastotekijät voidaan huomioida lisäkertoimina omalla laskentatasollaan. Tämän tyyppisen lähtöaineiston luominen vaatii erillistä maastoanalyysia, jotta oleelliset tekijät saadaan esiin. Analyysin tulosten tarkistamiseen tarvitaan ensi sijassa ihmisen päättelykykyä. Maailmojen luominen on analyysiprosessin luomisen jälkeen nopeaa ja testaaminen voidaan toteuttaa pelaajien toimesta osana järjestelmällä tehtävää maastontiedustelua ja siihen liittyvää operatiivista maastoanalyysia. Järjestelmä on yleensä toteutettu rasterimallin-

nuksella, tietokannat ovat yksinkertaisia eivätkä välttämättä sisällä lainkaan topologiaa. Järjestelmän paikkatietoalusta voi olla räätälöity, mutta jo tällä hetkellä käytetään COTS-GIS ohjelmistoja alustoina. DY-simulaattori ei pysty esittämään taistelutilannetta uskottavasti yksityiskohtaisessa 3D-maailmassa yksittäisen aseiden tarkkuudella. Joukkojen käyttö- ja vaikutusalat on sen sijaan mahdollista mallintaa realistisesti. Simulaattorityyppi ei sovi koulutukseen, jossa päätökset tehdään omiin havaintoihin perustuen.

DY-simulaattorin perusparametrejä harvoin pystytään sellaisenaan mittaamaan reaali-maailmassa. Mallien muokkaaminen ja niiden käyttäytymisen hallinta parametrisoimalla on mahdollista, mutta tulosten järjestyminen voidaan taata vain ennalta testatuissa tilanteissa. Mallit ja niiden tulokset on yleensä verifioitava alemman tason stokastisilla malleilla. Parametrien määrittelyä voidaan joissakin simulaattoreissa tehdä myös tuloksista lähtien, jolloin käyttäjä määrittää skenaarion, ajan sekä halutun lopputuloksen ja järjestelmä esittää tarvittavat parametrit. Tämä mahdollistaa intuition ja historiallisen aineiston hyväksikäytön.

Systeemidynamiikka tarjoaa yhden menetelmän mallintaa simuloinnissa vaadittava monimutkaisten tekijöiden yhteisvaikutus laskennalliseen muotoon. Osana metamallia voidaan käyttää sekä deterministisiä että stokastisia malleja [RMCS00]. Etuna on mahdollisuus esittää eri tekijöiden vaikutukset visuaalisena kuvana, jolloin ihmiselle on helpompi hahmottaa syntyvä riippuvuuksien kokonaisuus. Tämän hetken työkaluilla on mahdollista kääntää tehdyt mallit suoraan ohjelmointikielille, joten malli on tavallaan osa korkean tason ohjelmointikieltä. Sekä RMCS:ssa että Landairissa käydyissä keskusteluissa todettiin, että systeemidynaamiseen kokonaismalliin on helppoa liittää muilla menetelmillä tehtyjen analyysien tuloksia, jolloin vastuuta mallien validoinnista ja kehittämisestä voi jakaa eri alojen asiantuntijoille. Lisäksi malliperheiden synnyttäminen on mahdollista ilman jäykkää hierarkiaa; eri tasoisia ja eri resoluutioisia malleja yhdistetään vain tulosten tasolla. Systeemidynamiikan laaja käyttö taistelun mallintamisessa vaikuttaa olevan lähinnä Iso-Britannian lähestymistapa.



Kuva: Systeemidynaaminen malli, joka kuvaa pelon vaikutusta joukon taistelutehoon [Tet00]. Vastaavalla tavalla voidaan ottaa huomioon liikkeen kumuloituvat vaikutukset tai esimerkiksi usean joukon näkyminen yhtä aikaa.

DY-simulaattori sopii yhtymätason operaatioiden ja taktiikan kouluttamiseen ja havainnollistamiseen pelaajamäärän pysyessä kohtuullisena. Simulointi ei kykene aidosti kuvaamaan taistelun kaoottisuutta, mutta nopeutetuilla skenaarioilla esikunnat voidaan pakottaa jatkuvaan päätöksentekoon. Mallien hajonnalla voidaan generoida epäenustettavuutta, vaikka kaoottisuus ei varsinaisesti toteudukaan. Tyyppi ei ole herkkä eri osapuolten pelaajien määrille tai vastustajan oikean taistelutekniikan osaamiselle, lisäksi skenaarioiden luonnin ajaksi tilanne voidaan keskeyttää, jolloin sama pelaaja ehtii käsittelemään useita joukkoja. Mallien oikea käyttäminen vaatii mallinnustavan ymmärtämistä myös pelaajilta.

DY-simulaattoria voi käyttää tutkimuskäytössä ajallisesti useiden tuntien jaksoina myös operatiivisessa kehyksessä. Vertailtavana ovat tyypillisesti uusi doktriini ja uudet organisaatiot. Kukin skenaario pitää toteuttaa vain kerran, jolloin tulosten vertaaminen on nopeaa. Jakaumien aikaansaanti on suuri haaste. Järjestelmä soveltuu päätöksenteon tukijärjestelmäksi laskenta- ja käskytysopeuden sekä yleistettävyytensä ansiosta. Myös yksittäinen stand alone –tyyppinen käyttö on yleensä mahdollista.



Kuva: DY5-tyyppin simulaattorin karttakäyttöliittymä. Maasto on visualisoitu korkeusmallin ja tärkeimpien vesistöjen avulla, tiestö ja kasvillisuustyypit huomioidaan hyvin karkealla tasolla. Joukkojen ympärille on kuvattu niiden vaikutusalat.

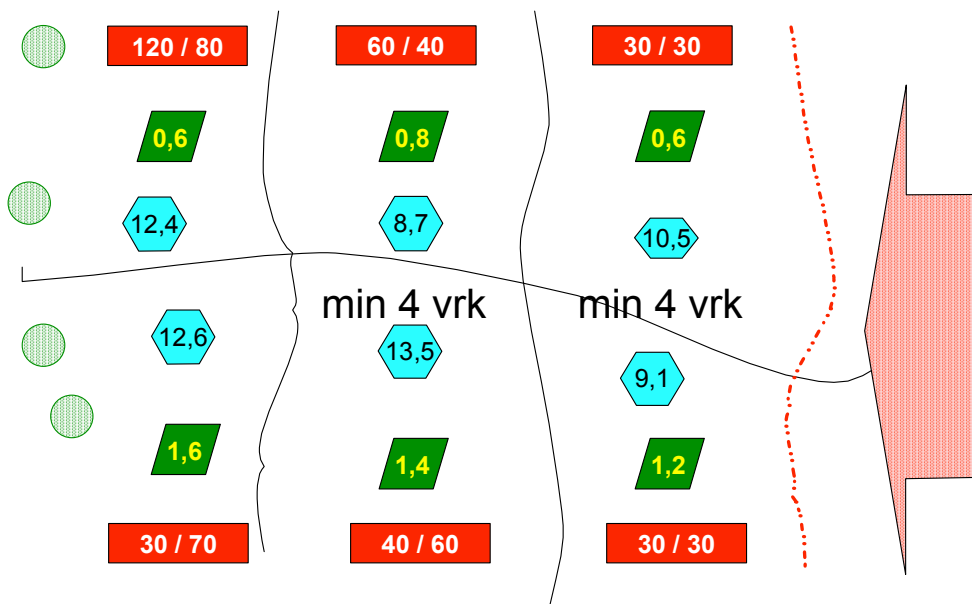
Esimerkkejä tämän tyyppisistä simulaattoreista ovat ruotasalaiset ruleset-rakenteisiin perustuvat CELL TYR ja CWS, Iso-Britannian kehitystyön alla ollut Commander SE ja DST-käytössä oleva CLARION sekä NATO:n rintamatasoinen JTLS. Monet taktiset tietokonepelit toimivat vastaavan tyyppisesti.

Analyysihierarkian kannalta DY-simulaattorit kuvaavat parhaiten päätöksenteon tukijärjestelmiä. Niihin tuotetaan maastoanalyseilla resurssianalyysin tyyppisiä lähtöaineistoja, joiden avulla taistelumallit liikkuvat järjestelmän maailmassa. Koska sekä mallit että analyysitulokset sisältävät paljon sumeutta ja kvalitatiivisen tyyppisiä arvoja, tyydytään yleensä karkeaan luokitukseen taistelumallin asettamassa kehyksessä. Käytännössä on mahdotonta testata kaikkien joukkojen keskinäisiä taisteluja kaikilla ympäristön parametreilla, jolloin täydellisestä loogisuudesta on vaikea olla varmoja. Tekijä vaikeuttaa myös järjestelmien käyttöä eri maissa, koska epätarkkuus sisältää merkittävän osan kehittäjämaan ajattelutapaa taistelun käymisestä. Koska mallit ovat holistisia, voi karttakäyttöliittymänä olla johtamisjärjestelmiä ja painokarttoja vastaava pelkistetty kuvaruutukartta. Vertailuissa todettiin lisäksi COTS-GIS alustojen yksinkertainen mukauttaminen suomalaisiin lähtöaineistoihin, koska aineistojen tuottajat ovat jo joutuneet sopeutumaan alustoihin normaalissa käytössä.

7.2.4 Ympäristön vaikutusten pelkistäminen

Ääriesimerkinä DY-tyyppin simulaattorista on optimointitehtävää tukeva lähestymistapa, jossa maaston ja ympäristön vaikutukset pelkistetään koko taistelualuetta kokevina joko yhteen tai muutamaan parametriarvoon. Oregon Trail harjoituksessa [RMCS00] optimointitilanteena oli pelkistetty tilanne Keski-Euroopan joukkojen järjestelyistä kylmän sodan ajoilta. Kokonaistavoitteena oli lineaarista ohjelmointia käyttäen optimoida puolustavan joukon ryhmitys vihollistilannearvion perusteella. Ongelmanasettelussa

- Sinisellä on kolme puolustustasaa: etualue, keskialue ja selusta sekä joukkoja käytössä yhteensä 100 yksikköä.
- Punaisella on kaksi vaihtoehtoista hyökkäysmahdollisuutta, joita sininen ei voi ennustaa ja joukkoja käytössä 310 yksikköä.
- Kullakin tasalla on määritetty tietty minimaikavoitto (reunaehto).
- Sinisen joukko voi olla joko puolustuksessa, jolloin se ei liiku operaation aikana, tai reservissä, jolloin sitä voidaan käyttää punaisen valitseman vaihtoehdon mukaisesti hyökkäykseen ilman puolustuksen antamaa tehoetua.
- Sinisen tavoitteena on mahdollisimman suuri aikavoitto.



Kuva: Lähtötilanne. Punaisessa laatikossa olevat luvut kuvaavat punaisen kahden eri suunnitelman joukkojen suhteistettuja vahvuuksia alueella. Vihreässä vinoneliössä on esitetty hyökkäyksen maastosta johtuva yleinen hitaus kullakin alueella. Sinisessä kuusikulmiossa on kerroin, joka vaikuttaa puolustustaistelun kestoaikaan voimasuhteiden lisänä, reservejä käytettäessä arvona on aina yksi.

Yksinkertaistettu laskentamalli osa-alueittain voi olla seuraava:

$$T = C + K \frac{B}{R} \quad \text{missä}$$

T = taistelun kokonaisaika sektorilla

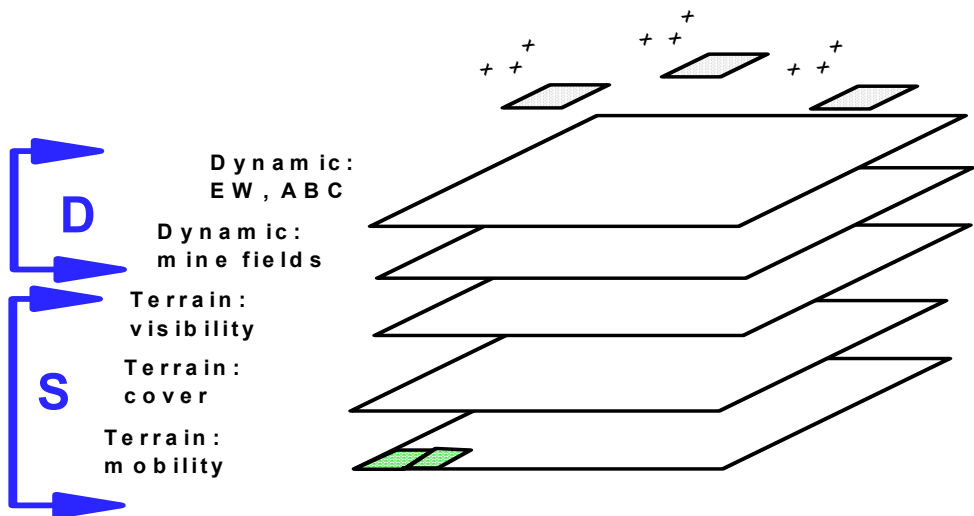
C = alueen olosuhteista johtuva hyökkäyksen hitaus

K = taistelun kesto aikaan vaikuttava taktinen kerroin

B, R = sinisen (B) ja punaisen (R) suhteelliset taisteluvoimat alueella

Termi C kuvaa koko alueen vaikutuksia taktisen tason liikkeeseen sekä maastoitse etä teiden kautta. Tämän tyyppiset tekijät ovat taistelun aikaan nähden luonteeltaan hyvin staattisia tai erittäin hitaasti muuttuvia kuten lumiolosuhteet. Termissä K otetaan huomioon alueen "puolustettavuus", josta osa syntyy maaston estevaikutuksen lisäämisestä ja osa siitä vaikutuksesta, jolla maasto suosii puolustajan tai hyökkääjän taistelutekniikkaa ja aseistusta. Meillä tällainen avaintekijä on näkemän vaikutus ampumataikaisuuteen ja lähipainotteisen panssarintorjunnan tulen tehoon. Tekijä on dynaaminen ja sen arvoa voi säätää ajan funktiona puolustusvalmistelujen mukaisesti.

Malli voidaan paikkatiedon kannalta kuvata seuraavasti:



Kuva: Maaston vaikutusten pelkistäminen kahteen kokonaisuuteen, dynaamisiin ja staattisiin tekijöihin.

Menettelytapa on yleistävä ja osa-alueiden koot pitää valita suhteessa maaston yleispiirteisiin ja joukkojen käyttöalaan. Vektorimallinnus antaa hyvin mahdollisuuden maaston muotojen huomioimiselle, rasterimallinnuksessa aineistoja on manipuloitava ainakin tarkastelusuunnan suhteen. Mikäli dynaamisten tekijöiden sijasta käytetään tämän ja joukkojen suhteellisen voiman tuloa, voidaan saada aikaan makrotason visu-

alisointi puolustuksen suhteellisesta vahvuudesta maasto huomioiden. Tämä vastaa tietyn tyyppistä tulen kokonaiskäytön yhdistettyä analyysia ilman operatiivista komponenttia. Reunaehdot ja tehtävän asettelu huomioiden kyseinen optimointitehtävä voidaan ratkaista suljetussa muodossa joko kokonaislukuna tai liukuvana arvona.⁹ Vastaava lähestymistapa käyttäen systeemidynaamista mallinnusta on esitetty lähteessä [Tho90].

Esimerkkejä mallin käytöstä ovat lineaarinen optimointi ja systeemidynamiikka. Myös ruotsalainen CATS TYR voi ruleset-rakenteessaan huomioida hyvin kokonaisvaltaisia tekijöitä useiden neliökilometrien rasterikoossa.

7.2.5 Maataistelun mallien ja paikkatietoaineistojen käytön välinen suhde

Maataistelumallien ja käytettyjen paikkatietoaineistojen välillä on kaksi relaatiota:

(1) Aineistojen esitystarkkuus eli resoluutio yritetään saada vastaamaan mallinnettavan ilmiön suuruusluokkaa. Poikkeuksena ainoastaan tapa, jossa SAF / CGF-rakenteiden avulla pyritään nostamaan mallien yleistystasoa. Tällöinkin resoluutiota ja ominaisuusluokkien määrää joudutaan käytännön syistä vähentämään, jottei mallien logiikasta tule liian monimutkaista.

(2) Aineistojen luonne muuttuu resoluution vähentyessä. Korkeilla yleistystasoilla ei enää niinkään kuvata itse maaston ominaispiirteitä, vaan suoraan niiden vaikutuksia sotilaalliseen toimintaan. Kun tarkastelu tehdään neliökilometrien alaluodeilla, voidaan ihmisen tekemää päättelyä käyttää apuna.

Molemmat havainnot tukevat väitöskirjassa esitettävää analyysihierarkiaa.

Toisaalta nykytekniikka on luomassa myös toisen suuntaista kehitystä. Kun simulaattori kootaan HLA-arkkitehtuurin avulla useasta eri järjestelmästä, korostuu korkearesoluutiosten ja kaikille samojen lähtöaineistojen käyttö eri järjestelmissä. Koska aineistojen käyttötapaa ei voida kiinnittää analyysiin ja malleihin, luokkia on oltava paljon ja niiden pitää kuvata maaston reaalisia, yleisiä pidettyjä piirteitä. Tällöin ymmärrys siitä, mitä yhteisen maailman eri tekijät merkitsevät kullekin mallille, pitää olla joko rakennettuna itse malleihin tai järjestelmissä pitää olla yleistäviä välituloksia. Käyttäjän kannalta simulaattorin maailman ymmärtäminen ei pitäisi olla tärkeää, koska hän käyttää kutakin joukkoa intuitiivisesti maasto huomioiden. Tässä suhteessa törmäyksiltä käyttäjän näkemyksen ja mallin välillä tuskin vältytään. Aiemmin koulutuksellisessa

⁹ Tässä on esitetty myös alkuarvot. Tehtävän ratkaisu asetetuilla arvoilla on lähes täysin defensiivinen päätyen yläosassa 40 / 18 / 0 ja alaosassa 29 / 8 / 0 ratkaisuun, jossa reserveinä on vain 5 yksikköä käytettynä keskialueella.

simulaattorissa riitti, että simulaattori antoi kohtuullisen järkeviä kuvauksia. Mitä lähemmäs järjestelmät muuttuvat tutkimus- ja päätöksenteon tukijärjestelmiä, sitä suuremmaksi kasvaa analyysien oikeellisuuden vaatimus. Asia on noussut esiin myös sitä kautta, että komentajia ja esikuntia on alettu arvioida tehtyjen simulaattorisuoritusten perusteella.

Yhdysvalloissa tietyt analyysirakenteet on jo tehty ilman hierarkiaa. Esimerkiksi Nato Terrain Mobility Model II tuottaa kulkukelpoisuustiedot eri ajoneuvoluokille komponenttina. Kun sitä käytetään useassa eri järjestelmässä, kiinnittyy samalla tapaa käyttää paikkatietoa. Malli ei skaalaudu eri yleistystasoille. Käytettäessä esimerkiksi kompanian yleistystasoa (3.taso) on huomioitava, että käsite ”hyvä hyökkäysmaasto” on mahdotonta määrittellä formaalilla tavalla ja useat osatekijät voivat olla toisilleen ristiriitaisia, toistensa vaikutuksia lisääviä tai toisensa pois sulkevia. Tällöin asiaa on yleensä helpompi lähestyä luokitellen.

Rasterimallinnukseen perustuvat järjestelmät ovat rakenteeltaan yksinkertaisempia ja helpompia konversioiden kannalta. Toisaalta rasterimalli skaalautuu huonosti ja siitä tehdyt visualisoinnit ovat yleensä karkean näköisiä. Heksamalli on simulaattorin oman sisäisen rakenteen kannalta ilmeisesti tehokkain toteutustapa, koska siinä etäisyydet pääakselien suuntiin voidaan laskea suoraan ruutumäärinä. Vektorimallin etuna on mahdollisuus kuvata maasto sellaisina kokonaisuuksina kuin se oikeastikin on, jolloin esimerkiksi kapea kanjoni säilyttää kapeutensa esitystarkkuudesta riippumatta. Vektorineistoilla resoluutiotason käsite on vaikeammin määritettävissä ja simulaattorin maailman kannalta eri tasoisia malleja voidaan hyvin käyttää samanaikaisesti. Vektorimallin heikkoutena on sen vaatima topologia, joka tekee laskennasta monimutkaisempaa, aineistojen sisään luvusta kankeampaa ja eheyden tarkistuksesta työläämpää. Nopeissa tilanteissa vikasietoisuus on hyve: järjestelmä saadaan toimimaan vajallakin aineistoilla.

8 UUSIIN HAASTEISIIN VASTAAMINEN

Luvussa esitetään kolmen erilaisen kehityshankkeen avulla sotilaallisten paikkatieto-analyysien hierarkkisen metamallin käyttökelpoisuus. Resurssianalyysitason näkemä-analyysipalvelu toteutettiin vuonna 2001 prototyypiperiaatteella CORBA-komponentteina yhteismäärittelyä ja yhtä COTS-GIS-teknologiaa käyttäen. Pelastuslaitoksen riskianalyysitutkimuksen pääpaino oli väestöä ja asutusta käsittelevän aineiston hyödyntämisessä ja se käsitti sekä maasto- ja resurssianalyysitasot. Helikoptereita tukevat analyysit testattiin osana vaatimusmäärittelyvaihetta COTS-teknologian raskaimmalla ohjelmistotasolla ja se käsitti metamallin kaikki tasot. Luvun tavoite on kuvata mallin sovellettavuus kehitystyötä ohjaavana käytännön työvälineenä.

8.1 Näkemäanalyysiprototyyppi komponenttiarkkitehtuurin prototyypinä

Tarvekartoitus [PATU99b] ja sen perusteella laaditut suositukset [PATU00] vuosina 1999 - 2000 muodostivat perustan yhteisen näkemäanalyysipalvelun toteuttamiselle uuden kehitystavan testaajana vuonna 2001. Sovellusarkkitehtuuriprojekti asetti vuoden 2000 alussa lisävaateen tehdä palvelu käyttäen sopivaa COTSGIS-teknologiaa ja CORBA-välikerrosta. Prototyypin määrittely tehtiin syksyllä 2000 yhteisesti tunnistettujen tarvitsijoiden kesken ilmatorjunnan toimiessa päävastuullisena asiakkaana. Tämän jälkeen pidettiin laaja kaksivaiheinen tarjouspyyntökierros tarkennuksineen kahdeksan yrityksen kanssa, joista kuusi oli halukas prototyypin toteuttamaan. Valinta kohdistui uuteen ArcGIS-teknologiaan. Esitetyn tyyppinen näkemäanalyysi on metamallin kannalta resurssianalyysia.

8.1.1 Yhteismäärittelyn toteuttaminen

Yhteismäärittely toteutettiin ilmatorjunnan, tiedustelun, valvonnan, panssaritorjunnan, tykistön ja suojelun yhteistyönä. Yhteisen vaiheen tavoitteena oli aivoriihen tyyppisesti tunnistaa käytötapaukset, joilla näkemäanalyysi palvelee eri toimijoita. Lisäksi määritettiin käyttäjät ja vasteaikavaatimukset. Vaiheessa ei käsitelty toteutustekniikkaa ja lähtöaineistot otettiin vain väljäksi perustaksi. Määrittelyssä tunnistettiin yli kolmekymmentä tarvetta, jotka yhdistettiin yhdeksitoista käytötapaukseksi. Lisäksi yksinkertainenkin radioyhteysanalyysi päätettiin jättää prototyypipalvelun ulkopuolelle, koska se on jo toteutettu tutkimus- ja koekäytössä olevassa Warfare-ohjelmistossa. Kun näkemäanalyysipalvelu toteutetaan, pitää myös yksinkertaistettu radioyhteysanalyysi liittää siihen. Määrittely koottiin yhdeksi vaatimusmäärittelyksi, jossa kukin käytötapaus kuvattiin omanaan. Tämän jälkeen jokainen osallistuja tarkensi osionsa ja määritteli analyysissa käytettävät laskentaperusteet.

Tarpeiksi asetettiin:

(A) 2D maasta - maahan analyysit

(A1) yleinen: alueet, jotka näkyvät tietystä pisteestä eri sensoreilla.

(A2) tulialueyhdistelmä: useasta eri havaintopisteestä laskettujen näkemien alueet sekä niiden yhdistelmä ja leikkaukset. Käyttö panssarintorjunta-aseiden sekä panssarivaunujen tuliasemien iteratiivisessa suunnittelussa kaksisuuntaisena siten, että voidaan etsiä sekä tulialueiden perusteella asemia että tarkastella asemien yhteisvaikutusta.

(A3) valvontayhdistelmä: annettujen valvontapaikkojen yhdistetty näkemä sekä niiden päällekkäiset peittoalueet. Käyttö tiedustelussa, valvonnassa ja tulenjohtossa sekä suunnittelussa että osana tilannekuvaa.

(A4) reittiyhdistelmä: mahdolliset valvontapisteet valvottavan alueen perusteella yhdistelmänä. Käyttäjä piirtää iteratiivisesti reitin ja sovellus laskee, mitä kyseiseltä reitiltä näkyy ja vertaa tätä alussa asetettuihin alueisiin. Sovelluksen on kyettävä vertaamaan eri reittejä. Käyttö tiedustelussa ja tulenjohtossa suunnittelussa.

(A5) pilven korkeus: kohteen korkeus maanpinnasta, kun siitä tiedetään vähintään kahdesta paikasta suunta ja korkeuskulma. Käyttö suojelussa.

(B) 2½D / 3D Ilmasta - maahan ja maasta - ilmaan analyysit

(B1) yleinen: Kuten A1 kolmiulotteisena esityksenä. Lisäksi korkeus, jolla kohteen on vähintään oltava, jotta se näkyy sensoriin?

(B2) tulialue: Kuten B1, mutta sovellus kutsuu asean ja kohteen ominaisuuksia ja laskee näiden perusteella alueen, jolle voidaan tulittaa. Huomioi myös lentosuunnan vaikutukset.

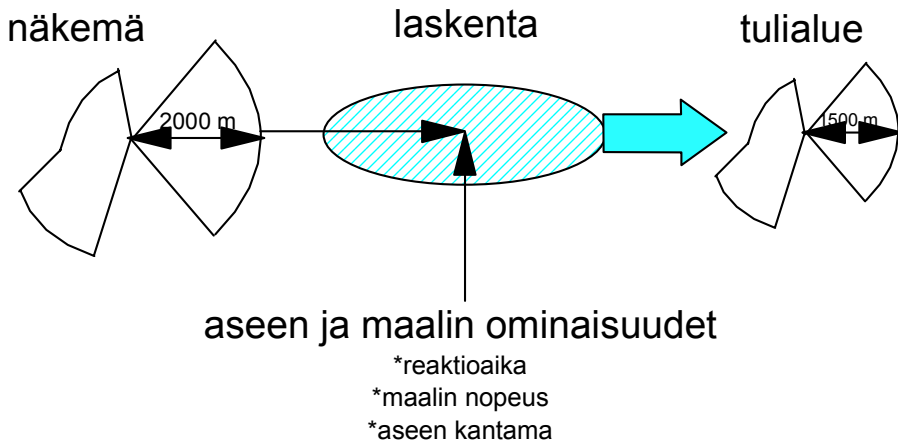
(B3) tulialueyhdistelmä: tulialueet yhdistetään yhdeksi alueeksi, joiden unioni, leikkaukset ja rei'ät esitetään.

(B4) valvontatutka: esittää valvontakyvyn eri korkeuksilla, huomioi sensorin ja maalin ominaisuudet tutkayhtälön avulla.

(B5) taisteluhelikopterin tuliaseman suunnittelu.

(B6) helikopterien reittisuunnittelu: määrittää annetulta reitiltä ilmatorjunnan sijainnin riskialueet ja yhdistää tuloksen analyysi B2 kanssa.

Väliaineen tiloina näkemässä määritettiin sumu, vesisade, lumisade, pilvisyys ja pimeys, jotka parametrisoitiin eri sensoreille ja maalityypeille vaimennuskertoimina huomioiden myös maalin taustan vaikutus. Tekijät jaettiin havainnon, luokittelun, tunnistuksen ja yksilöinnin tasoille. Sensoreina käsiteltiin silmää, kiikaria, perinteistä infrapunakiikaria, lämpökameraa ja tutkaa. Lisäksi näkemäetäisyydet määriteltiin MaPuTu-luokittain eri metsätyypeille sekä runkojen että latvusten tasolla. Myös luvussa 4 esitetty rinnetarkastelu kuvattiin. Asetyyppejä määriteltiin kuusi, joista ilmatorjunnan ampu-tilanteet määriteltiin dynaamisena.



Kuva: Ilmatorjunnan ampumatilanne maalin suunnan funktiona. Tilanne on erityisen monimutkainen ohjuksilla, joiden suhteellinen lentonopeus suhteessa maaliin on ammusaseita huomattavasti pienempi.

[PATU01a]

Analyysin käyttäjätasoksi asetettiin pienimmillään ryhmätaso. Näkemäanalyysi todettiin hyvin laajasti käytettäväksi, palvelu pitäisi pystyä tulevaisuudessa integroimaan esimerkiksi ilmatorjunnan tuliasemapäätteeseen, panssarintorjuntaohjuskomppanian tuliasemasovellukseen, ilmavalvontatutkan johtokeskukseen tai helikopterien lennon suunnitteluovellukseen. Komponenttia voidaan käyttää myös esikunnan verkossa esimerkiksi valvontapeiton määrittämiseen ja tiedustelun suunnitteluun. Vaatimukset kohdistuvat alustariippumattomuuteen ja skaalautuvuuteen.

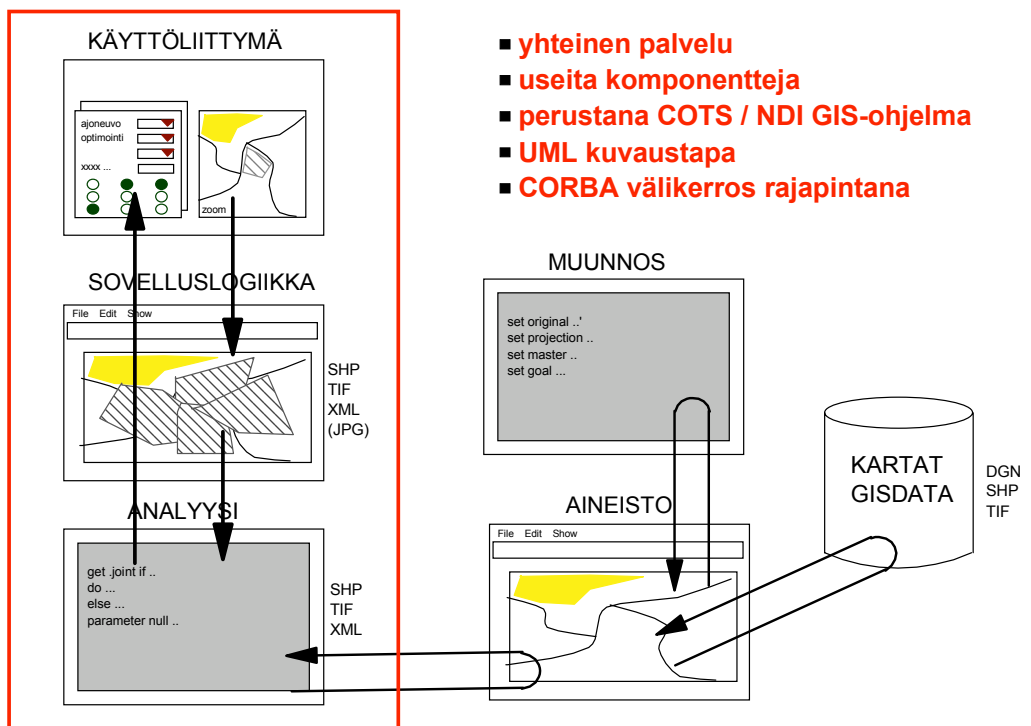
Vaikka kaikilla osallistujilla oli spesifisiä vaatimuksia, niin yhteismäärittelyn ja kompromissien jälkeenkin todettiin analyysien yhä olevan käyttökelpoisia ja laaja-alaisia. Voidaan siis todeta tarvekartoituksen onnistuneen antamaan perustan yhteisten palvelujen tunnistamiseen. Usean osapuolen mukanaolo määrittelyprosessissa avasi osallistujille uusia ideoita analyysien käytettävyydestä. [PATU02]

8.1.2 Komponenttiarkkitehtuuri toteutustapana

Näkemäanalyysipalvelu haluttiin toteutettavaksi komponenttiarkkitehtuurilla siten, että perustana on joko valmis kaupallinen ohjelmisto, komponenttikirjasto tai tuote (NDI, non development item) [vrt Huh00]. Toimittajia kannustettiin selvittämään sopivia kehitystyön lähtökohtia sekä suhtautumista ja referenssejä valitusta välitasoratkaisusta päämiehiltään ja yhteistyökumppaneiltaan. Välitasoratkaisuksi asetettiin CORBA, jonka toteutustapa ja työvälineet jätettiin toimittajan valittavaksi. Tähän liitettiin myös vaatimus UML-kuvaustavan käytöstä määrittelyssä. Koska kyseessä oli uutta teknologiaa ja toteutustapaa testaava prototyyppi, mahdollisimman suuri avoimuus ja toimittajakat-

tavuus nähtiin tärkeänä. Kaikki Suomessa varteenotettavat teknologiat saatiin mukaan tarjouksina Autodeskin tuoteperhettä lukuun ottamatta.

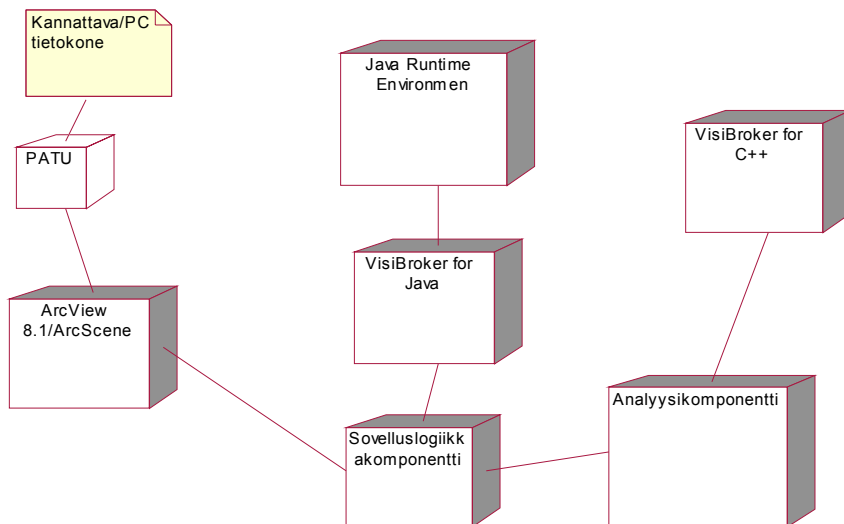
Komponenttirakenteen perusta esitettiin siten, että palvelussa haluttiin erottaa ainakin käyttöliittymä, analyysituloksen laskenta ja sovelluslogiikka toisistaan. Tietojen vaihdon palvelusta ulos piti tapahtua yleisillä Shape File ja TIFF 6.0 formaateilla, lisäksi kyky GML-standardin käyttöön arvioitiin. Vaatimukseksi asetettiin, että kaikki parametrit kuten kantamat, etäisyydet ja sektorit pitää toteuttaa koodin ulkopuolella tekstitiedostoina, tietokannan tauluina tai datan attribuuttitietoina. Kaavat haluttiin erottaa mahdollisuuksien mukaan omaksi kokonaisuudekseen. Lisäksi palveluun haluttiin rakenne, jossa uusien ase- tai sensorityyppien lisääminen on mahdollista. Vaatimuksilla pyrittiin päivitettävyyden hallintaan sekä erottamaan luottamuksellinen tieto yleisestä toteutuksesta.



- yhteinen palvelu
- useita komponentteja
- perustana COTS / NDI GIS-ohjelma
- UML kuvaustapa
- CORBA välikerros rajapintana

Kuva: Näkemäanalyysipalvelun looginen rakenne. Palvelu kattaa punaisella rajatun osan, muunnokset ja aineistojen hallinta arvioitiin vain toteutettavuuden kannalta, ne voitiin prototyypissä toteuttaa manuaalisesti sopivilla työkaluilla. [PATU01a]

Valittu ArcGIS 8.1 COTS komponenttitekniologia implementoitiin siten, että ArcView kokonaisuudesta ArcMAP muodosti perustan käyttöliittymälle ja ArcSCENE / 3D Analyyst 2½D tarkasteluille. Koska pääpaino oli teknologian kokeilussa, käyttöliittymään tehtiin vain työkulut, esimerkiksi piirto ja käsittelyt jätettiin valmiin COTS-toiminnallisuuden varaan¹. Analyysit toteutettiin Spatial Analyst laajennukseen perustuen ja aineistojen käsittely ArcTools ja ArcCatalog ohjelmilla sellaisenaan. Sovelluslogiikka koodattiin erikseen javalla ja parametritaulukot erotettiin vaatimusten mukaisesti tekstitiedostoiksi. Kokonaisuudessaan COTS taipui hyvin asetettuihin vaatimuksiin, ainoana isona puutteena oli tarve koko COTS komponenttitekniologian asentamiseen, koska sen pilkkomista ei ainakaan tuossa vaiheessa vielä hallittu luotettavasti teknologian sisäisten riippuvuuksien suhteen.



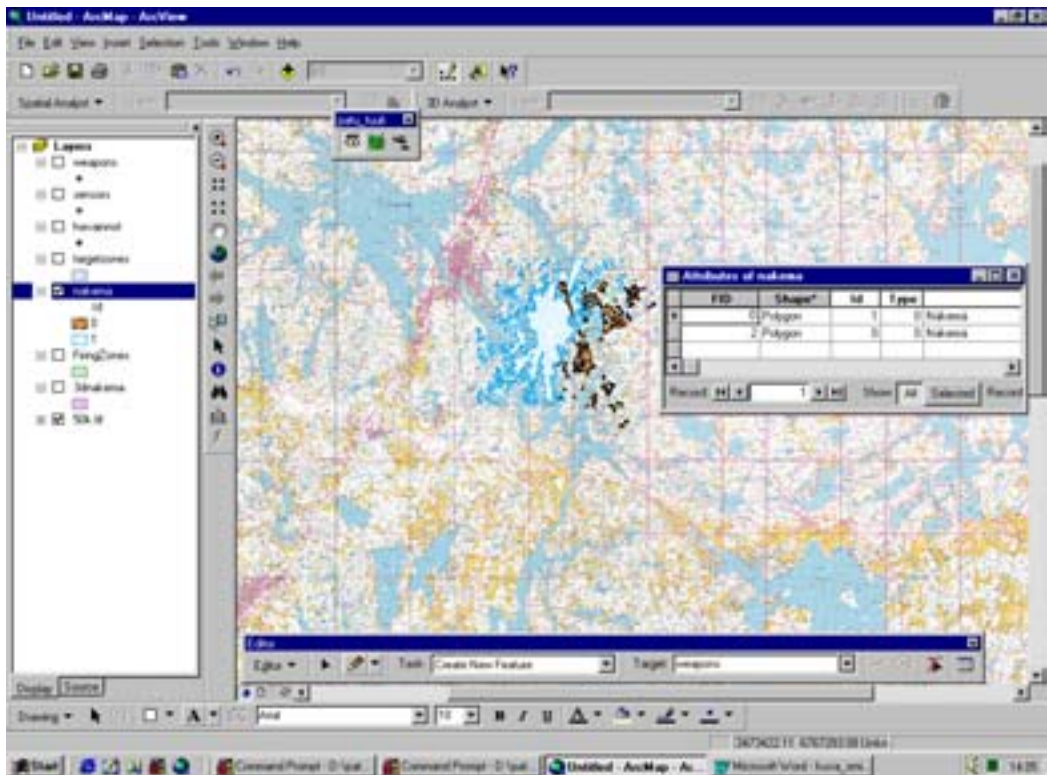
Kuva: Näkemäanalyysipalvelun kokonaisarkkitehtuuri koostuu kahdesta komponentista, joista COTS-perustainen analyysi on CORBA server tyyppinen, sekä stand alone COTS-käyttöliittymäsovelluksesta. [PATU01b]

CORBA-toteutus pystyttiin prototyypissä testaamaan vain yhdessä tietokoneessa, joten ratkaisun kuormitettavuus ja vikasietoisuus jäivät testaamatta. COTS-teknologian perustana olevat COM-komponentit² ohjelmoitiin näyttämään ulospäin CORBA-komponentilta ilman erillistä siltausta. Komponenttien välinen liikenne toteutuu IIOP –

¹ Valinta heijastui koekäyttövaiheessa heikkona käytettävyytenä ja koulutustarpeena. On kuitenkin todettava, että käyttö oli COTS-teknologialla jo ensimmäinen iteraatiokierroksen jälkeen mahdollista ja jäljelle jääneetkin puutteet kuten tulosten piirtojen automatisointi kyetään korvaamaan tekoajan kustannuksella manuaalisesti alustan piirtotyökaluilla.

² Ungerer ja Goodchild [Ung02] raportoivat komponenttitehtävien eduista COM-teknologialla samalla tuotteella. He toteavat myös mahdollisuuden erillisten komponenttikirjastojen luomiseen. Prototyypissä oli käytetty excel-ohjelmaa analyysivälineenä.

protokollaa käyttäen. Suunnittelun lähtökohtia olivat implementaation siirrettävyys eri ORB:ien välillä, lisäksi CORBA -standardia noudatettiin ilman tuotekohtaisia laajennuksia. Nimi- ja sijaintipalvelussa huomioitiin hajautettavuus. Vektorimallissa käytettiin valuetype-objekteja, joissa objekti välitetään kutsun argumenttina viittauksen sijaan. Näin pyrittiin pitämään hidastavien metodikutsujen määrä mahdollisimman pienenä. Käytännössä Shape File tiedostot muunnettiin siirron ajaksi. Myös Open GIS-standardin mukaisen CORBA-määrittelyn soveltuvuutta vektorimalliksi evaluoitiin, mutta korkeusparametrin puuttuminen esti mallin käytön 3D:ssä. Open GIS oliomalli poikkeaa käytetystä vektorimallista, mutta yhdenmukaistaminen on ainakin osin mahdollista. [PATU01b] Välitasoratkaisu toimi testeissä luotettavasti. Kokonaisarkkitehtuuri mahdollistaa komponenttien hajauttamisen ja käyttöliittymän ohjelmoinnin selaimelle. Vektoritiedostojen siirtotapa tukee myös mix client -tyyppisten sovellusten toteuttamista.



Kuva: Näkemäanalyysiprototyypin ulkoasu on ArcMAP-käyttöliittymässä [PATU01b]. Vasemmalla tulos-tasojen hallinta ja avoinna id-numeroiden liittäminen, jolla yksittäiset alueet kyetään erottelmaan. Ominaisuus on mahdollista toteuttaa myös osana analyysia, mutta se jäi pois määrittelystä.

Näkemäanalyysiprototyypisovellus käyttää TIF-muotoisina rasteriaineistoina korkeusmallia desimetreinä, puuston pituuksia metreinä, rakennusten korkeuksia metreinä sekä metsien ja avomaiden suhdetta. Erillistä maastomallia ei projektissa ehditty määrittämään ja tuotteistamaan, vaan aineistoja käytetään sellaisenaan. Tämä aiheuttaa edelleen epäloogisuuksia. Puuston läpi näkeminen todettiin jo tarjouspyyntöjen toisessa vaiheessa tehtäväksi, joka vaatii lisätutkimuksia ennen toteutusta sovelluksiin. Tekninen ratkaisutapa näkemälle metsästä, metsään tai metsän läpi jäi tässä vaiheessa löytämättä, tosin eri toimittajien näkemykset ja eri teknologioiden mahdollisuudet saatiin kerättyä. Prototyypissä päädyttiin ratkaisuun, jossa metsien reunat puskuroitiin metsätyyppin mukaisesti näkyväksi alueeksi. Maalin taustan vaikutus näkemään jouduttiin toteuttamaan vastaavalla tavalla, koska maalin ja sensorin keskinäistä sijaintia ei tämän tyyppisessä analyysissä tiedetä. Simulaattoreiden käyttämässä näkemävii-vassa tekijä on mahdollista huomioida.

8.1.3 Prototyypin toteutus iteratiivisen kehitysmallin pohjalta

Kehitystyö tehtiin yhtenä iteraatiokierroksena, joka toteutettiin aikalaatikkoperiaatteella. Tämä edellytti käyttötapausten priorisointia ja tiivistä yhteistyötä toimittajan kanssa. Oman vaikeutensa toteutukselle asetti välitasoratkaisu, koska sen edellyttämät rajapinnat piti määritellä yksityiskohtaisesti jo hyvin aikaisessa vaiheessa. Kokonaisuutena todettiin, että palvelun komponentteja on vaikea kehittää eri aikoina ainakin ensimmäisellä kerralla, jolloin iterointi muuttaa myös rajapintoja. Määrittelyn pahimmaksi puutteeksi osoittautui laskennan perusteiden epätarkkuus, koska määrittelyä ei ehditty katselmoimaan ja testaamaan loogisesti riittävän hyvin. Tekijä kyettiin korvaamaan ilmatorjunnan osalta tiiviillä osallistumisella toteutustyöhön, mutta muiden osalta toteutus jäi osin vajaaksi. Parametrit ja kaavat -asiakirja on aina liitettävä osaksi käyttäjän vaatimuksia.

Analyysikomponentin ohjelmointityö toteutettiin ulkomailla siten, että alihankkijalle esitettiin vain tarvittavat tiedot, jotka lisäksi hyväksyttiin tilaajalla. Menettelytapa osoittautui toteuttamiskelpoiseksi, kunhan osana iteraatiota laskennan lopullinen toteutus on saatu tehtyä. Aikautus ensimmäiselle kierrokselle oli hankala, koska jo toteutetun aikalaatikon mukaisen toiminnallisuuden muuttaminen jälkikäteen ei ollut tarkoituksen mukaista. Analyysikomponenttia voisi ainakin osin simuloida ensimmäisellä kierroksella raskaammalla COTS-ohjelmistolla ja manuaalisella käytöllä, jolla haetaan so-piva toteutustapa.

Käyttöliittymän jättäminen viimeiseksi osoittautui virheeksi. Näkymiä ei haluttu vaatimusmäärittelyssä maalata näytöiksi, koska tarkoituksena oli käyttää valittavan teknologian toiminnallisuutta maksimaalisesti hyväksi. Vaihe olisi kuitenkin pitänyt tehdä heti valinnan jälkeen, jotta vaatimusmäärittelyn tulkinallisuutta olisi kyetty vähentämään. Käyttöliittymäkuvaus on keskeinen kommunikointitapa toimittajan kanssa koko toteutusvaiheen ajan.

Seuraavalla iteraatiokierroksella olisi toteutettu kolme alemmas priorisoitua toimintaa, räätälöity käyttöliittymä ja tehty tarkennukset rajapintoihin. Lisäksi parametrien testukselliset alkuarvot pitää syöttää järjestelmään. Näin kolmannella kierroksella voitaisiin keskittyä tulosten oikeellisuuden testaamiseen ja virhetilanteiden poistamiseen. Palvelu olisi sovelluksena ollut todennäköisesti valmis luvussa 5 asetetussa yhdeksän kuukauden aikamäärässä.

Kokonaisuudessaan kolmen kuukauden aikana toteutettu kehitystyö osoitti, että COTS komponenttitekniologia tarjoaa hyvän perustan iteratiiviselle kehitystyölle. Puuttuvat komponentit on ainakin osin mahdollista simuloida, käyttötavat voidaan kokeilla ja vertailla valmisohjelman ominaisuuksilla, teknologian mahdollisuudet löydetään ja näkyvät voidaan määritellä visuaalisesti halutuiksi. Tilaaja saa myös nopeasti käsityksen lopputuloksen hyödynnettävyydestä ja vasteajoista. Tälle edellytyksenä on myös tilaajan riittävän hyvä teknologiaosaaminen ja tiivis osallistuminen toteutukseen. Myös vaatimusten hallinta ja muutosten dokumentointi korostuvat. Kehitystapa vaatii hyvää yhteisymmärrystä ja luottamusta tilaajan ja toimittajan sekä tämän mahdollisten alihankkijoiden kesken.

8.2 Pelastustoimen poikkeusolojen riskianalyysi

Pelastuslaitoksen poikkeusolojen riskianalyysin tavoitteena oli kehittää malli, jota voidaan käyttää väestönsuojelun riskianalyysin tukena. Työ toteutettiin kahdeksan kuukauden aikana vuoden 2000 aikana ja se käsitti tilanteen arvioinnin erilaisissa kriisimalleissa, lähtöaineistojen arvioinnin ja paikkatietoanalyysin mallin laadinnan. Paikkatietotekniikan soveltamiseen on käytetty lähtökohtana Veli-Matti Ihamäen tutkimusta [Iha97] ja Espoon pelastuslaitoksen normaaliolojen riskianalyysia.

8.2.1 Riskianalyysin perusteet

Riskillä tarkoitetaan tappion ja epäonnistumisen uhkaa tai jonkin tapahtuman epäsuotuisten seurausten mahdollisuutta. Riskianalyysilla tunnistetaan riskit ja arvioidaan tapahtuman todennäköisyys sekä odotettavissa olevat vahingot. [Alli94] Väestönsuojelu on toimintaa ihmisten ja omaisuuden suojaamiseksi, yhteiskunnan toimintojen kannalta tärkeiden virastojen, laitosten ja tuotantolaitosten toiminnan turvaamiseksi ja pelastustoiminnan hoitamista poikkeusoloissa. [Alho99]

Valmiustilat jaetaan ajallisenä jatkumona: [PN99]

- Perusvalmiuteen, joka luodaan ja ylläpidetään normaaliaikana.
- Tehostettuun valmiuteen tavoitteena hallita uhkaava tai syntynyt kriisitilanne.
- Täysvalmiuteen, jossa kaikki voimavarat on otettu käyttöön ja keskitetty tilanteen aiheuttamien vaikutusten ehkäisemiseksi ja niistä selviytymiseksi.

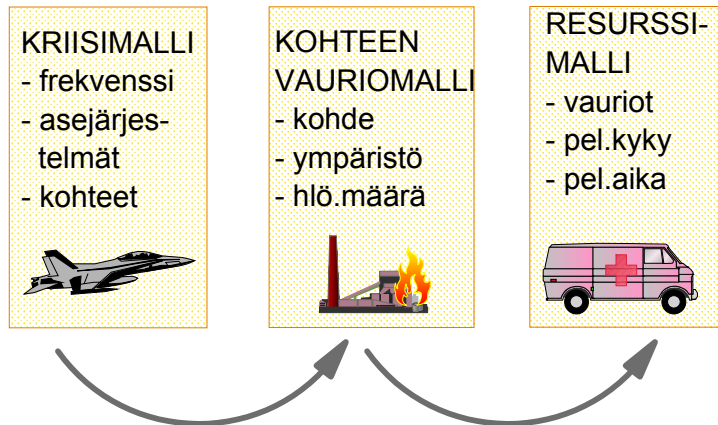
Kriisimalleina ovat suuronnettomuus, kiristynyt kansainvälinen tilanne, sodan uhka ja painostus, strateginen isku, laajamittainen hyökkäys ja sodan jälkitila [PN99]. Vastuu siviilikohdeiden ja väestön pelastustoimista kuuluu pelastustoilain nojalla pelastusviranomaisille. [ESLH98] Toimintaperiaatteet ovat pääosin samoja kuin rauhan ajan suuronnettomuuksissa, mutta odotettujen tuhojen suuruuden takia on varauduttava myös laajempiin pelastustoiimiin. [PN99] Riskianalyysia käytetään perustana kunnan pelastuslaitoksen palvelutasoa määritettäessä. [SAM97]

Riskien merkitys arvioidaan kertomalla vahingon laajuus ja todennäköisyys keskenään. Onnettomuusriskin suuruuteen vaikuttavat henkilövahingon suuruus (H), vahinkotapahtuman äkillisyys (Ä), materiaali- ja keskeytysvahingot (M) sekä ympäristövahingon (Y) suuruus. Kaava saa muodon: [Alli94]

$$R = T * (H + \text{Ä} + M + Y)$$

Vahingon todennäköisyydessä (T) voidaan ottaa huomioon kohteen toiminnan luonne, kohteen turvallisuustaso ja henkilökunnan koulutus. [SAM99] Laskennallisesti toden-

näköisyys voidaan jakaa viiteen luokkaan erittäin todennäköisestä erittäin epätodennäköiseen. Vastaavalla tavalla on määritelty tasot termeille H, Ä, M ja Y. [Alli94] Riskianalyysi muodostuu kohteen vaurioanalyysistä, resurssianalyysistä ja vaurioiden esiintymisfrekvenssistä. Kokonaisuus voidaan esittää loogisena kaaviona:³



Kuva: Riskianalyysin kokonaisuus. Kriisimalli antaa asevaikutuksen laadun, kohteiden ja frekvenssin avulla kokonaisperusteet. Kohteen vauriomallilla arvioidaan yksittäisten kohteiden vauriot ja resurssimallilla yhteinen resurssitarve aikaan sitoen.

8.2.2 SeutuCD lähtöaineistona

Projektin lähtötietoina käytettiin Pääkaupunkiseudun SeutuCD-aineistoa. Medialle on koottu tietoja muun muassa pääkaupunkiseudun tietorekisterijärjestelmästä (PTRJ), Espoon ja Vantaan kuntatietorekistereistä (KUNTI), Kauniaisten kuntarekisteristä (Kuntiainen) sekä tilastokeskuksen, Väestörekisterikeskuksen ja Postin järjestelmistä. Aineisto päivitetään vuosittain, tietojen luotettavuus ja tarkkuus riippuu kohteista. Tiedot on esitetty KKJ kaistalla 2 täysinä metreinä metrin tarkkuudella kuvaten rakennusten ja kiinteistöjen keskipistettä. Jotkin tiedot on kohdistettu rakennuksiin osoitteen perusteella. [SeutuCD] Pelastustoiminnan suunnittelun kannalta on tärkeää, että kriisiaikana aineistoa päivitetään mahdollisimman reaaliaikaisesti.

Asukastiedot on kiinnitetty väestörekisterikeskuksen tiedoista rakennustunnusten perusteella. Käytettäviä tietoja ovat koordinaatit ja asukkaiden yhteislukumäärä (ASYHT). Tarvittaessa voidaan käyttää myös tarkentavia jakoa miehet / naiset tai ikäluokkajakoa, jolla voidaan ennakoida tarkemmin kohteissa eri aikoina olevan väestön määrää tai evakuoinnin vaikeutta vanhus ja lapsiväestön kohdalla. Aineistossa on yh-

³ Pelastuslaitoksen vakiintuneessa käsitteistössä ei käytetty resurssianalyysi -termiä, luokittelu on kirjoittajan ja vastaa tässä työssä käytettävää metamallia.

teensä 930 000 henkilöä eikä se sisällä henkilöä koskevia tietoja. Täsmäevakuoinnissa voi käyttää rakennustunnuksen avulla saatavaa osoitetietoa, jonka perusteella löydetään rakennuksessa asuvat henkilöt muista rekistereistä.

Yritysten ja toimipaikkojen sijainnit on kiinnitetty vastaavalla tavalla, osa tiedoista on paikannettu myös koordinaattien perusteella. Tietolähteenä on Tilastokeskuksen yritys- ja toimipaikkarekisteri. Aineistossa on tiedot yhteensä 57 900 yrityksestä ja toimipaikasta. Analyysissa käytettäviä tietoja ovat toimipaikan henkilöstömäärä (TPHKSL) yhdeksässä luokassa, toimipaikan osoite ja yrityksen nimi, jota voidaan käyttää apuna evakuointien suunnittelussa. Lisäksi on esitetty vahinkojen arvioinnissa hyödyllinen yrityksen toimiala (YRTOLK) luokiteltuna. Kunnallisista toimipaikoista käytettäviä tietoja ovat toimipaikan nimi (TPNIMI) ja luokiteltu henkilöstömäärä (TPHKSL), julkisten toimipaikkojen osalta käytetään vastaavia tietoja. Ongelmaksi osoittautui julkishallinnon kohteiden tietojen puutteellisuus, esimerkiksi Teknillisessä korkeakoulussa on esitetty vain työntekijät, eikä näitäkään rakennuksen tarkkuudella.

Rakennukset ja huoneistot on esitetty rakennuskohtaisina. Ennen vuotta 1980 valmistuneiden rakennusten tiedot on hankittu kyselyllä, joten tiedoissa on paljon epätarkkuuksia ja virheitä. Myöhemmin valmistuneiden rakennusten tietoja voidaan pitää kohtuullisen tarkkoina. Rakennuksia on aineistossa noin 188 800 kpl.

Käytettäviä rakennustietoja ovat:

- rakennusaine (RA): kantava rakenne on betoni, tiili, teräs, puu, muu
- rakennustapa (RT): rungon rakenne elementti tai paikalla tehty
- julkisivumateriaali (JMAT): betoni, tiili, metalli, kivi, puu, lasi, muu
- kerrosala (KERALA): kerrosten yhteenlaskettu pinta-ala
- maanpäällisten kerrosten lukumäärä (MP)
- maanalaisten kerrosten lukumäärä (MA)
- käyttöönottovuosi (KAVU)
- lämmitysaine (LA): kauko, kvPÖ, rsPÖ, sähkö, kaasu, hiili, puu, turve, maalämpö, muu
- väestönsuojien henkilömäärä (VSHEN)

Tietojen perusteella voidaan kohtuullisella luotettavuudella jakaa rakennukset neljään eri luokkaan, sotilaallinen kymmenluokitus ei onnistu luotettavasti. Lisäksi voidaan esittää rakennuksen pinta-ala, jonka perusteella voidaan määrittää edelleen kohteen kokoluokka ja kohteen sisään jäävän alueen ala. Pommin oletetaan mallissa räjähtävän kohteen seinässä, jolloin kokonaisala lasketaan lisäämällä kohteen alan ympyrään asevaikutuksen edellyttämä vaikutussäde.

Tiestötietoja on kattavimmin maanmittauslaitoksen tietokannassa. Tiet on luokiteltu liikenteenvälityskyvyn ja nopeusrajoituksen perusteella. Aineistossa on esitetty myös siltojen paikkatiedot osana tieaineistoa, jossa silta on kuvattu tievektorina. Aineisto mahdollistaa kriisiaikana käytettäviin reitteihin perustuvan vektoriaineiston puskuroinnin, joka on perustana alueellisten hakujen tekemiselle tietokannasta.

Tiedoista kannattaa analyysija varten muodostaa oma tietokanta, jonka avainkenttänä on rakennustunnus (RAKTUN). Jos tarpeeseen tehdään paikkatietosovellus, kannattaa tietoja muokata lisäämällä omat kentät ainakin analyysin perusteella määritettävälle rakennuksen sotiilaaliselle suoja-alueelle, väestömäärälle asuin- ja yrityskäytössä sekä tärkeysluokalle, joka voidaan tehdä perusanalyysina. Poiminnat on mahdollista tehdä suoraan kannasta SQL-kyselyin vauriomallissa esitetyn alueen koordinaattien perusteella. Kanta voidaan päivittää massamaisesti uuden aineiston perusteella. Mikäli analyysia halutaan nopeuttaa, voidaan apuna käyttää myös rasterianalyysia tasoilta asukkaita tai työntekijöitä puurakennuksissa, tiilirakennuksissa ja betonirakennuksissa. Tällöin vahingoittuvan väestön määrän osoittava kysely voidaan tehdä suoraan asianomaisella rasteritasolla käyttäen kutakin tasoa vastaavaa kohdeympyrää ja laskemalla sen sisään jäävien pikselien kokonaisarvo. Mallissa kannattaa käyttää enintään 50 m x 50 m pikselikokoa, jolloin pienin vaurio kohdistuu vain yhteen pikseliin. Erilliseen kantaan on talletettava uhkakohteiden tiedot, jotka on täydennetty palotarkastuksien yhteydessä. Kerättävät tiedot on määriteltävä erikseen.

8.2.3 Ongelman paikkatietotekninen mallintaminen

Paikkatietotekniikka sopii riskianalyysoikaluksi mahdollistaen aluejakoon perustuvien analyysien tekemisen monipuolisesti ja dynaamisesti. Karttakäyttöliittymällä kohteiden tietoja on helppo hallita ja käyttää niitä paikkaan sidottujen analyysien lähtötietoina. Tekniikkaa on käytetty pelastustoiminnan optimoinnin apuna useissa eri maissa, Ihamäki [Iha97] on käyttänyt sitä pääkaupunkiseudun pelastustoiminnan analysointiin. Alueelle on tehty riskialuejako ja riskialueille on muodostettu saavutettavuusalueet tieverkon ja pelastusasemien sijainnin perusteella lasketuilla isokroneilla saavutettavuus-aikavyöhykkeinä. Tuloksena on esitetty tavoiteajassa saavutettavissa olevat alueet ja poikkeama-alueiden sijainti. Riskialueiden määrittämisessä on käytetty ruutumenetelmää, jossa tarkasteltavien ruutujen koko on 0,5 km x 0,5 km ja viisi toisiinsa liittyvää samantasoista ruutua muodostaa riskialueen, muutoin ruudut luokitellaan erilliseksi.

Menettely voidaan toteuttaa paikkatietoteknisesti kahdella tavalla:

- Jaetaan tarkasteltava alue ruutuihin, jotka käyttäjä luokittelee riskialuejaon pe-

rusteella. Tämän jälkeen muodostetaan riskialueet ja riskikohteet.

- Luodaan kohdetiedoista tietokanta, jonka perusteella muodostetaan alueet joko tasavälisinä tai vapaasti tihentyminä. Esitystapana voi olla joko rasteri tai vektorimuotoinen esitys.

Ensimmäinen tapa on helpompi toteuttaa manuaalisesti kerätyn tiedon perusteella, mutta sen haittana on poikkeusoloissa staattisuus. Toinen tapa mahdollistaa tietojen dynaamisen päivittämisen, toisaalta sen laatutekijänä on suuritöisen tietokannan oikeellisuus. Kun käytössä on väestömalli, kyetään osa kohteen ominaisuuksista (henkilöriski H ja osin todennäköisyys T) määrittämään laskennallisesti. Väestön sijoittuminen ei ole staattista edes normaalioloissa, poikkeusoloissa tapahtuu suuria muutoksia esimerkiksi evakuintien takia. Pelastusasemien sijainnin ja valmiuden optimointi on riskialuejaon muodostamisen jälkeen klassinen reitioptimointiongelman, joka on tehokkaasti ratkaistavissa paikkatietotekniikkaa käyttämällä. Lähtötietoina tarvitaan käytävissä oleva tieverkko ja arvioidut siirtymisnopeudet, jotka vaihtelevat vuorokaudenajan mukaan.

Optimointi kyetään suorittamaan ainakin kolmella eri tavalla:

- Muodostamalla kohteiden saavutettavuusalueet ja aika sekä tarkastelemalla näiden leikkauspintoja vektorianalyysillä pelastusasemien kanssa.
- Iteroimalla funktiolle lähtöpisteet ja laskemalla niille verkkoa pitkin hyvyysarvot.
- Muodostamalla verkosta laskennallinen funktio ja ratkaisemalla se.

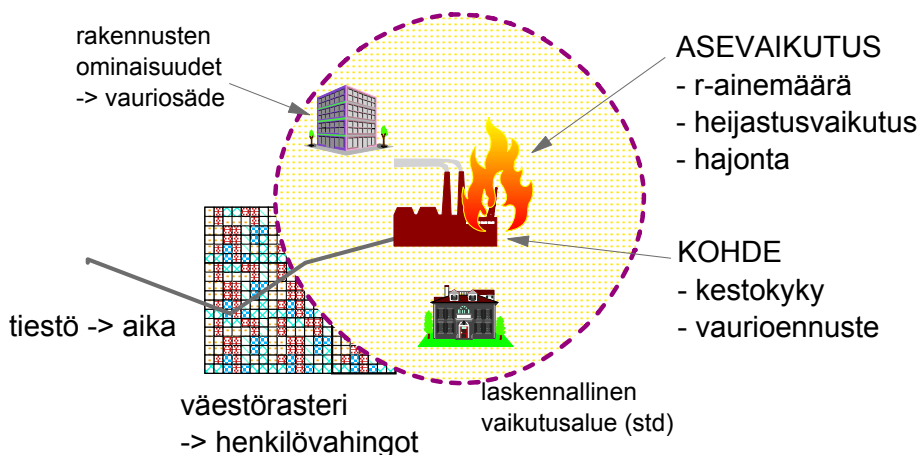
Ensimmäisen menetelmän etuna on sen käytön helppous. Tulokset tulkitaan yleensä visuaalisesti, jolloin analyysin käyttäjä voi korjata mallin virheitä. Toinen menetelmä vaatii ihmisen ennakkoarvion ja sitä voidaan käyttää tarvittavan lähdön koon määrittelyssä. Lisäksi menetelmä on tehokas tilanteissa, joissa aseman sijainnille on jostakin muista syistä vain rajallinen määrä vaihtoehtoja. Kolmas menetelmä on tehokas, muttei käytännön tilanteissa kovin käyttökelpoinen. Malliin on vaikea saada dynaamisuutta, koska verkko on kuvattu matemaattisesti. Mallin hyvyys ja oikeellisuus on vaikeasti todennettavissa nopeasti ja mallin käyttö vaatii teorian hallintaa [vrt Cova97].

Aluksi määritetään riskialuejako, joka antaa perustan maaston perusanalyysille. Lisäksi tärkeimpien kohteiden riskit arvioidaan yksityiskohtaisemmin ja niistä voidaan muodostaa erityiskohteita. Tämä voidaan toteuttaa kohdetietokantana ja huomioida erillisenä analyysissa. Aluejaossa käytetään luokkina [SAM99]:

- I alue: tiheät taajamat, suurteollisuus, tiheä liikenne
- II alue: taajamat, kaupungit, teollisuus
- III alue: kylätaajamat
- IV alue: harvaan asutut alueet

Kohteen vauriomalli perustuu käytettävään asevaikutukseen, joka voidaan mallintaa käyttämällä parametreina ammuksen läpäisevyyttä kohteessa, ammuksen räjähdysainemäärää ja asevaikutuksen hajontaa. [FOA89] Näiden perusteella määritetään standardoitu vaikutusalue kohteen keskipisteen suhteen. Jokaisessa vaiheessa on huomioitava mahdollisuus maalittamisen epäonnistumiseen [FOA95]. Vauriot kohteessa perustuvat kohteen ominaisuuksien arviointiin ja vaurioennusteeseen, joka saadaan kohdetietokannasta [vrt FOA88a ja 88b]. Mikäli tietoja ei ole käytettävissä, kohdevauriot arvioidaan kuten ympäristön vauriot.

Ympäristön vaurioarvio lasketaan standardoidun vaikutusalueen ja sille osuvien rakennusten suoja-arvojen perusteella. Rakennusten suoja-arvot määritetään rakennustietokannasta ulkoseinä- ja välipohjarakenteen sekä runkotyyppin perusteella [Linn76]. Perustana voidaan käyttää sotilaallista suojaluokittelua [AKTO85]. Tuloksena on arvio rakennusvaurioista kohteen vaikutusalueella. Pelastettavien henkilöiden määrä arvioidaan rakennustietokannan väestömäärän ja väestön sijoittumismallin perusteella. Vauriomallista saadaan vahingoittuneiden rakennusten määrä, laatu ja vauriotyyppi sekä pelastettavien henkilöiden kokonaismäärä ja vammajakauma.

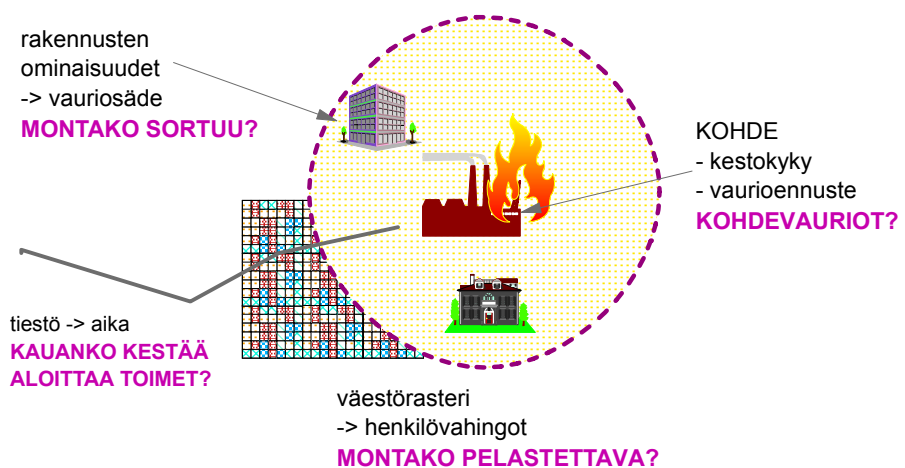


Kuva: Vauriomallin perusteet. Laskenta perustuu asevaikutuksen standardoituihin vaikutussäteisiin ja hajontoihin, rakennusten ominaisuuksiin ja väestötietoihin.

Asevaikutukset yhdistetään hyökkäysskenaarioiksi, joissa määrävinä tekijöinä ovat kohteen laajuus, kohteeseen käytettävä asetyyppi ja lavetti sekä käytettävä kriisiskenaario. Maalien luokittelu antaa perusteet käyttää tunnuspiirteisiin ja kriisin vaiheisiin sidottuja arvoja sotapeleissä. Asevaikutuksesta pääosan vaurioista aiheuttaa painevaikutus, koska se on rakennettua aluetta vastaan tarkoitetuissa aseissa optimointitekijänä. Tämän lisäksi käytettävät aseet on yleensä suunniteltu tunkeutumaan koh-

teeseen. Sirpalevaikutuksen merkitys on pieni johtuen rakennusten seinien antamasta suojasta ja rakennetun alueen lyhyistä vapaista etäisyyksistä varsinkin keskustan kortteleissa. Vaikutus kohdistuu lähinnä suojautumattomaan henkilöstöön. Tärinävaikutus on merkittävä vain suurilla korttelintuhoamispommeilla, sillä voi olla lisäksi pieni merkitys rajaetäisyyksillä kaukana kohteesta, jossa voi ilmetä ikkunoiden rikkoutumisia ja hiushalkeamia [Toi86] sekä palovaaraa lisäävänä tekijänä. Räjähdyksessä syntyy kraatteri, jonka suuruuteen vaikuttavat räjähdysaineen laatu ja määrä sekä maaperän laatu [Fort87a]. Aluepalossa tuli voi levitä rakennuksien välillä joko siirtymällä, lämpösäteilyn tai ilmassa lentävien palavien esineiden vaikutuksesta [Fort87b]. Tuulen nopeudella on suuri merkitys palon leviämiselle. Kun kaupunkirakenteen ominaisuudet, tuuli ja palon leviämistavat tunnetaan, on mahdollista muodostaa sovellettu maastoanalyysi kuvaamaan leviämismahdollisuuksia ajan suhteen [vrt Chu96].

Malli kohteen pelastustoiminnallisista resursseista perustuu vaurioiden määrään ja laatuun. Esiintyvien palojen määrän, rakennusten laadun ja sortumien perusteella määritetään tarvittavien sammutusresurssien ja raivausyksiköiden tarve sekä pelastettavien henkilöiden kokonaismäärän ja vammajakauman perusteella lääkinnällisten resurssien tarve. Uhkakuvan ja tilanteen äkillisyyden vaikutuksina on huomioitava rakennuksessa ja sen ulkopuolella olevien ihmisten määrät, moniko heistä on suojautunut rakennuksen sisällä ja moniko on ehtinyt suojautua varsinaisiin suojatiloihin. Lisäksi voidaan käyttää kohteen saavutettavuusanalyysia määrittäessä pelastustoi-
mien käynnistymisaikaa vaurion jälkeen, joka vaikuttaa pelastustoiminnan tehokkuuteen varsinkin tulipalojen ja ensiavun osalta.



Kuva: Kohteen pelastustoiminnan vaatimien resurssien arviointi. Tekijät saadaan vaurioiden perusteella parametrisoimalla.

Väestönsuojelun pelastus- ja raivausmuodostelmissa ryhmää ja joukkuetta voidaan pitää operatiivisesti käytettävänä yksiköinä ja vastaavia komppanioita lähinnä hallinnollisina ja koulutuksellisinä yksiköinä. Onnettomuuksissa toimintaa kentällä johdetaan yleensä johtolimillä. Näitä voidaan käyttää kokonaisarvoina resurssien määrää arvioitaessa.

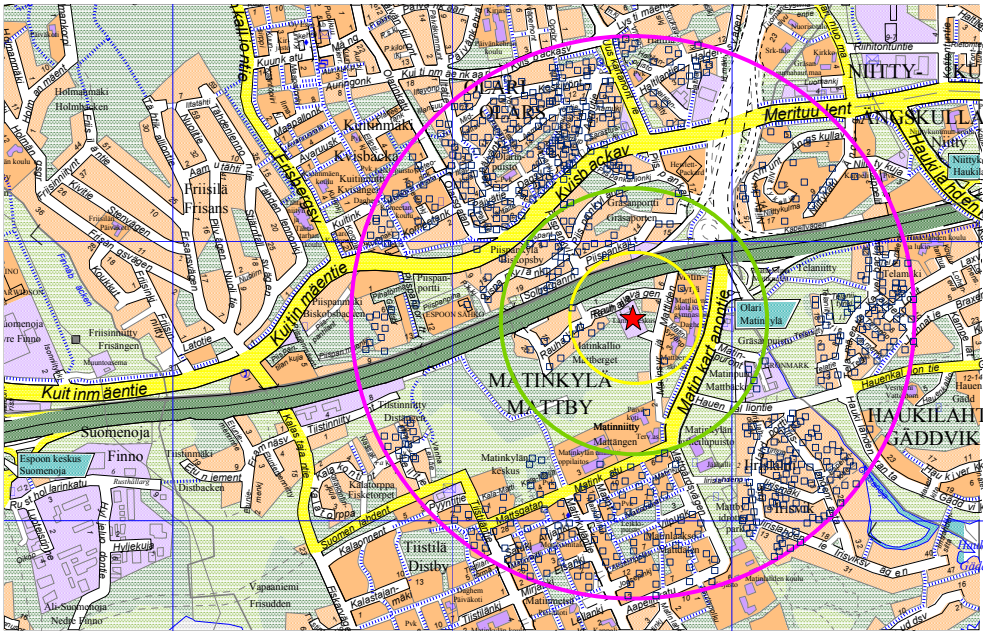
Vaurioiden kokonaisfrekvenssi määritetään sotilaallisen uhka-analyysin perusteella. Sen lähtötietoina ovat muun muassa vastustajan ilmatoiminnan ja erikoisjoukkojen suorituskyky koko alueella, arvio terroritoiminnan frekvenssistä, arvio vaikutettavista kohteissa kriisin eri vaiheissa ja arvio käytettävästä asevaikutuksesta kohteita vastaan. Menettely voidaan tehdä iteroimalla riittävä määrä hyökkäysskenaarioita valmiusharjoituksissa. Pelastustoimien palvelupäätös eli kokonaisresurssit määritetään kokonaismallin perusteella.

8.2.4 Analyysien toteutus hierarkkisen mallin mukaisesti

Työryhmän työssä käytettiin yksinkertaistettua mallia, jossa asevaikutus oli arvioitu vain lentopommille. Mallissa kokeiltiin kolmea eri vaikutussädettä, kolmea kohdeluokkaa ja useita eri tapoja mallintaa kohteen kokoa. Poiminnat tietokannasta tehtiin SQL-kyselyillä käsin; tapa havaittiin liian työlääksi analyysin tekemiseen. Menettelyllä pystyttiin kuitenkin varmistautumaan mallin toiminnasta.

Malleissa pitää yhdistää vaikutusalaksi rakennuksen koon lisäksi myös pommituksen hajonta ja aseiden yhteenlaskettu vaikutusala. Ala arvioidaan ympyräksi, koska iskun suuntaa ei voida ennakoida. Jokaisen maalin ympäristöön piirretään maalin keskipisteen mukaisesti viisi erilaista vaikutusaluetta, joista vaikutukset ulkopuolella arvioidaan. Tarvitavat resurssit on liitettään kohteen kokoon ja siihen aiheutuvaan vaurioon. Työn aikana tehdyt kokeilut osoittavat, että vahingoittuva henkilöstö pystytään useimmissa tapauksissa arvioimaan kohtuullisella luotettavuudella. Resurssianalyyseissa pidädytään pelastushenkilöstön lähtöjen neljään luokkaan: osalähtö, peruslähtö, kaksi peruslähtöä, aluelähtö. Raivausmuodostelmista osa voidaan kytkeä lähtöihin, koska räjähdys kohteessa aiheuttaa aina raivaustarvetta. Näin ero perusvalmiudessa käytettävien lähtöjen ja väestönsuojelussa käytettävien joukkueiden välillä pienenee. Osastojen tehokas peruskokoonpano tulisi tutkia erikseen kohdetarkasteluilla. Tarvittava johtolimien määrä voidaan arvioida joko pelastusyksiköiden määrän tai kohteiden alueittaisen jakauman perusteella. Tarkempia arvioita saadaan aikaiseksi erilaisissa tilannepeleissä. Lääkintäyksiköissä resurssianalyyseissa käytetään pelastettavan henkilöstön määrää perustana.

Kohteissa lasketaan ensimmäisenä kunkin kohdeluokan kaikkien yksittäisten kohteiden mukainen vaurioiden keskiarvo tai mediaani sekä näille hajontaluvut. Arvoa voi käyttää kohtuullisella luotettavuudella perustana kaikissa kohteissa: se, mihin yksittäiseen kohteeseen vastustajan isku kohdistuu ei ole pelastusopäätökseen tähtäävässä riskianalysissä oleellista. Kun kriisimalliin laaditun tapahtumafrekvenssin perusteella on esitetty iskujen määrät ja tyyppi suhteutettuna kohteiden kokoon, määritetään syntyvät vauriot siten, että iskut kohdistetaan eri kokosiin ja tyyppiin kohteisiin, arvioidaan iskujen vaikutus kohteessa ja lasketaan tämän perusteella iskun tulos ja syntyvät henkilövahingot, generoidaan kohteiden ympärille viisi vaikutusalueetta, lasketaan näiden avulla alueille jäävien rakennusten määrä tyypeittäin ja lasketaan näille aiheutuvat vauriot sekä tämän perusteella syntyvät henkilövahingot, lasketaan syntyvien kohteiden määrä ja yhdistetään tulokset kokonaisarvioksi.



Kuva: Esimerkki voimalaitoskohteen vaurioalueista ja niiden perusteella tehdystä poiminnasta.
[PelaGIS]

Arvioitaessa riskitasoa tulee huomioida, että kussakin kunnassa tulisi olla riittävät resurssit vastustajan pitkäaikaisen vaikutusfrekvenssin kestämiseen ja kyky johtaa lyhytaikaista iskujen kiihdyttämisen edellyttämiä resursseja. Maksimifrekvenssissä tulee määrittää kohteiden tärkeysjärjestys ja varautua kestämaan osa aiheutuvista tappioista. Palvelutasopäätöksessä voidaan resurssien mitoittamisessa käyttää apuna keski-

ja hajontalukuja ottamaan huomioon myös kohteiden erilaisuudesta johtuvat poikkeamat ja niiden aiheuttama tilastollinen riskitaso. Tarvittavat lisäresurssit voidaan kriisimallittain määrittää tämän jälkeen vähentämällä kokonaisresurssitarpeesta perusvalmiuden mukaiset resurssit. Kriisimallia käyttäen voidaan myös esittää vaatimukset resurssien käyttöön saamiselle ja koulutusajalle. Kuvattu laskenta voidaan tehdä myös alueittain, jolloin saadaan perusteita kullakin alueella tarvittavien pysyvien resurssien määrälle. Tällöin tasoina voitaisiin käyttää esimerkiksi pitkäaikaista tapahtumafrekvenssiä ja keskiarvo - keskihajonta vaurioarvoa alueen kohteista laskettuna. Riskianalyysin merkitys on suuri resurssitarve-arvion lisäksi arvioitaessa ennaltaehkäiseviä toimenpiteitä ja suunniteltaessa tarkastustoimintaa.

Täsmäevakuointia varten voidaan kohteiden ympärille muodostaa vielä kuudes vaikutussäde, jota käytetään turva-alueena kohteen ympärillä. Evakuoitavan väestön määrä voidaan tällöin laskea joko kohdetyypeittäin tai alueittain. Näin voidaan myös etsiä alueet, joille siirtyvä väestö voidaan siirtää turvallisesti.

Käytännön laskelmien tekoa varten tulee kehittää yksinkertainen analyysityökalu, jolla tietokantapöiminnat voidaan tehdä lähtöaineistosta. Työkalulla on oltava mahdollista muuttaa parametrien arvoja koodin ulkopuolella, pöiminta on pystyttävä tekemään useasta eri kohteesta yhtä aikaa joko manuaalisesti tai kohdeluokittain ja laskea näille keski- ja hajontaluvut, tulokset pitää olla siirrettävissä taulukkolaskentaohjelmaan edelleen käsiteltäväksi, kohteita varten on pystyttävä luomaan oma tietokanta, johon vaurioarviot ja kohdetyypit voidaan tallettaa, kohteilla on oltava tärkeysluokka eri kriisimallissa, lähtöaineistoa on pystyttävä päivittämään arvioitavan tilanteen mukaisesti ja sitä on kyettävä muuttamaan ilman ohjelmointia.

Vaurioanalyysin laskennassa tehokasta on rasterianalyysin käyttäminen. Tämä edellyttää, että lähtöaineistoista tehtävät pöiminnat muokataan ensin rasteritasoiksi, joista riskianalyysi sitten suoritetaan. Tasoina olisivat tällöin väestön kokonaismäärät rakennusluokittain sekä avoimessa tilassa estimoitu ihmismäärä, jolloin analyysissä prosessoitaisiin vain vaurioympyrät ja laskettaisiin tämän jälkeen jokaisen ympyrän ja sitä vastaavan rasteritason välisen leikkauksen osoittama väestömäärä ja ruutujen lukumäärä. Analyysityökalulla voidaan tukea myös operatiivista päätöksentekoa.

8.3 Helikopteritaktiikan tukeminen

Helikopteritoiminnan mahdollisia tukemistapoja paikkatietoanalyysilla on käytetty kokonaismallin verifiointissa ja validoinnissa, koska helikopterien tarpeita ei käsitelty analyysitarvekartoituksessa vuonna 1999. Uusi paikkatietoanalyysitarve on siis pyritty ratkaisemaan muiden perusteella kehitetyn mallin avulla. Koska tässä onnistuttiin, voidaan olettaa kehitetyn kokonaismallin kykenevän vastaamaan myös muihin tulevaisuuden haasteisiin. Esimerkit on laadittu pääosin Maanpuolustuskorkeakoulun esikunta- ja johtamisharjoituksessa 2001. Tavoitteena oli tutkia paikkatietoanalyysien hyödyllisyyttä ja hyödynnettävyyttä helikoptereiden käytön suunnittelussa ja johtamislaitetta määriteltäessä. Samalla pyrittiin löytämään suomalaisen maaston ominaispiirteitä, jotka ovat erityisasemassa helikoptereiden kannalta. Ohjelmointityön on tehnyt diplomi-insinööri Timo Ojala käyttäen ESRI Arc/Info 8.1 ohjelmistoa.

Suomalaista helikopteritaktiikkaa määritettäessä useasta muusta maasta poikkeavana piirteenä on, että helikoptereita on pystyttävä käyttämään ilman ilmaherruutta. Ilmasta helikoptereita voivat etsiä Joint Star tyyppiset valvontakoneet, jotka kykenevät laajojen alueiden valvontaan ja maalinosoitukseen liikkuvia kohteita, kuten maa-ajoneuvoja ja helikoptereita, vastaan. On realistista olettaa vastaavan tekniikan olevan yleisemminkin käytössä seuraavien vuosikymmenten aikana. Vastaava paikallisempi uhka syntyy hävittäjä- ja rynnäkkökoneiden alaspäin katsomaan pystyvistä tutkista. Myös vastustajan taisteluhelikopterit pyrkivät suojaamaan uhanalaisia sivustoja ja selustaa erilaisten sensorien avulla. Tyypillistä näille uhille on, että niiden suuntaa on vaikea ennustaa. Maasta merkittävin uhkatekijä on ilmatorjunta-asejärjestelmät sekä niitä ohjaavat sensorit. Yleensä maaliin on oltava ainakin laukaisutapahtuman alussa suora yhteys joko aselavetista tai sensorista. Järjestelmät sijoitetaan yleensä aukeille, mutta niiden tarkkaa ryhmitystä on vaikea ennustaa tai arvioida. Näkemäanalyysia voidaan käyttää vaara-alueiden osoittamiseen, ampumateknisten tekijöiden huomiointi on huomattavasti monimutkaisempaa. Näistä syistä tärkeimpänä maastoanalyysien tehtävänä voidaan pitää suojaan liittyvien tekijöiden korostamista maastosta.

Erityisen haasteen asettaa suotuisien maahanlaskualueiden etsintä. Suurvalloissa alueet pyritään valitsemaan siten, että mahdollisimman moni kuljetuskopteri sopii toisiaan vaarantamatta samalle aukealle, joka eristetään ilmasta. Meillä paras maahanlaskupaikka on yhdelle tai kahdelle kopterille sopiva jyrkkäreunainen hakkuuaukea, jossa maali on suojassa ilmasta tapahtuvalta valvonnalta ja kuljetettava jalkaväki pääsee nopeasti metsän suojaan. Vastaava tilanne on myös tukeutumisalueilla.

8.3.1 Maa- ja ilmakatveanalyysit perusanalyysina

Ilmakatveanalyysilla voidaan osoittaa alueet, joilla on mahdollista saada suojaa vastustajan ilmasta tapahtuvalta valvonnalta ja paikat, joita tulee välttää. Näin voidaan huomioida sekä kehittyneiden hävittäjätutkien käyttö että valvontakoneiden toiminta. Tulosta voidaan myös käyttää vastustajan helikoptereiden valvontamahdollisuuksien arvioimiseen. Analyysimenetelmä on vinovalovarjostus (hillshade) eri korkeuskulmista ja suunnista sekä osatulosten yhteenlasku, jolloin syntyy tarkastelusuunnasta riippumaton analyysitulokset. Esimerkiksi asteluku 3 eli 50 piirua on verrannollinen tilanteeseen, jossa tarkastelija katsoo jokaista maastonkohtaa kerrallaan ilmasta kyseisessä kulmassa. Kilometrin etäisyydellä tarkastelijan on tällöin oltava noin 50 metrin korkeudella maastomallin pinnasta. Muita korkeuskulmia vastaavat matkat on esitetty alla olevassa taulukossa. Sadan kilometrin etäisyyteen on huomioitu myös maan pinnan kaareutumisen vaikutus.

korkeuskulma	h et 1 km	h et 10 km	h et 100 km
3	50 m	500 m	6 km
5	85 m	850 m	850 m
8	140 m	1400 m	15 km
10	170 m	1700 m	18 km

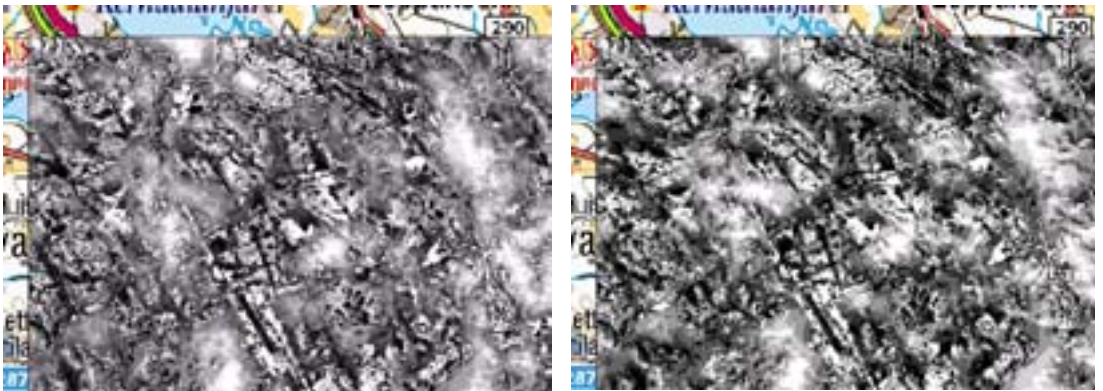
Taulukko: Korkeuskulman verrattavuus tarkasteluetäisyyteen ja korkeuteen

Sovelletussa maastoanalyysissä voidaan käyttää esimerkiksi pistetihennysfunktiota tuloksen rikkoutuneisuuden poistamiseksi ja laajempien ominaispiirteiden esiin saamiseksi. Myös suuntagradienntimenetelmä on mahdollinen. Yleistystaso pitää valita tarkasteltavan taktisen tilanteen mukaisesti, jolloin analyysitulokset antaa taktiikkaa vastaavalla tarkkuudella yleiskuvan maaston katveisuudesta.

Ilmakatveanalyysi on nopea toteuttaa. Toisaalta perusanalyysitulosten pysyvyyttä voidaan pitää hyvänä: ainoa muuttuva tekijä on puusto ja analyysituloksiin vaikuttavat merkittävästi vain hakkuut, koska puiden kasvu on suhteessa hyvin tasaista ja koko pinta nousee samaa tahtia. Analyysituloksia voidaan käyttää useiden vuosien ajan.



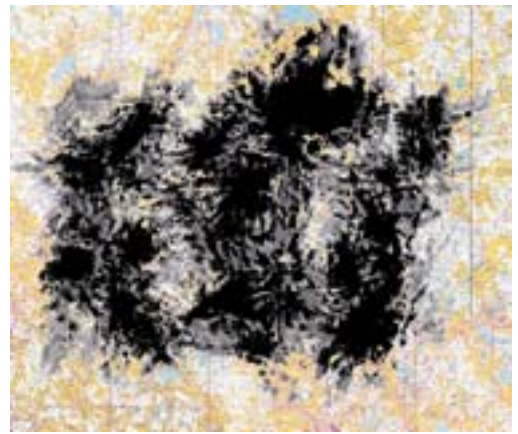
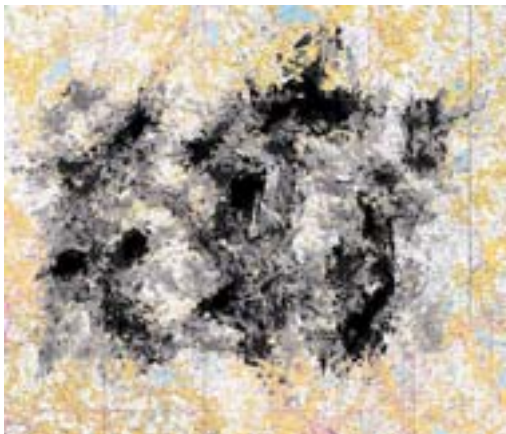
Kuva: Yleistetty 3 asteen ilmakatvealuekartta, tarkastelu suunta 360 astetta ja alueen leveys 100 km. Kuvaa voi käyttää esimerkiksi vastustajan taisteluhelikopterien välttämiseen: jos kone on esimerkiksi 100 m korkeudella, tummin alue antaa katveen yli 2 km päästä riippumatta sijainnista maalin suhteen.



Esimerkki: Alueen koko $11 \times 7 \text{ km}^2$, korkeuskulma 3° , tarkastelut 360° (vas.) ja 180° pääsuuntana etelä. Tarkastelusuunnan merkitys on kokonaisuutena pieni, mutta sen huomiointi luo yhtenäisempiä alueita. Täysiympyrätarkastelussa on 7% suotuisinta luokkaa (piste ei näy mistään suunnasta) ja 21% epäsuotuisia (piste näkyy kaikista suunnista). Vastaavat arvot puoliympyrätarkastelulle ovat suotuisille 12% ja epäsuotuisille 27%.

Menetelmä sopii operatiivisen karttatiedustelun tueksi, kun pyritään löytämään edullisia toiminta- ja lentosuuntia sekä arvioimaan kohdealueen pientopografiaa. Analyysitulokset auttaa löytämään suojaisia laskeutumisalueita, kun sen tulokset yhdistetään maaperä- (kantavuus) ja tiekarttojen (saavutettavuus) kanssa.

Maakatveanalyysillä pyritään osoittamaan alueet, joilta saadaan suojaa avoimesta maastosta tapahtuvalta tulenjohtolta ja tulen käytöltä. Menetelmänä on näkemäanalyysia käyttäen etsiä alueet, joihin ei voida tähyttää tai käyttää suora-ammuntatulta maan pinnalta. Analyysiperustana ovat 500 metrin hilaan aukeille asetetut pisteet. Metsässä näkemä oletetaan nolaksi, koska analyysilla kuvataan mahdollisuutta vaikuttaa lentävään helikopteriin. Periaatteena oli laskea näkemä jokaiselle pisteelle erikseen ja tallettaa tiedostoksi jokainen nähty rasteripiste. Tämän jälkeen tulokset yhdistettiin siten, että rasteripisteiden arvot laskettiin yhteen. Tulos kuvaa mainittu tarkkuus huomioiden, mitä aukeilta on ilmaan eri korkeuksille mahdollista nähdä. Siinä ei huomioida, kuinka kauan tietylle alueelle voi samoista asemista nähdä, tummuusarvot kuvaavat vain sitä, monestako eri suunnasta kukin piste kytetään näkemään. Lentokorkeus 10 metriä kuvaa tilannetta, jossa hiivittää taisteluun, ja sen tulosta voidaan käyttää tarkan tason suunnittelun apuna pyrittäessä löytämään sopivia popup-paikkoja tai taistelun alueen sisäisiä siirtymä- tai väistöreittejä. Lentokorkeus 30 metriä kuvaa siirtymistä taistelun alueelle ja liikettä alueen sisällä.

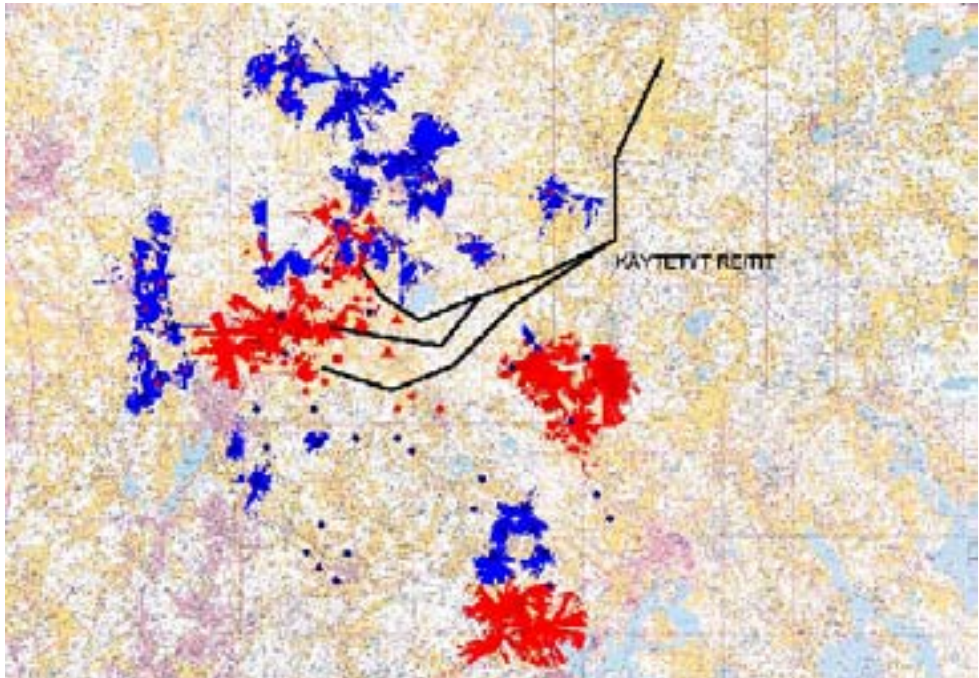


Kuva: Vasemmalla katvealueet 10 metrin korkeudella lentävään maaliin. Alle 30 vastinpisteestä näkyvät pikselit on esitetty harmaan sävyillä ja tätä suuremmat arvot mustalla. Oikealla alueet 30 metrin korkeudella lentävään maaliin. Vaikka alueiden kattavuus on tiheämpi, kaksi lentokäytävää näkyvät molemmilla korkeustasoilla lähes saman suuruisina ja muotoisina.

Maakatveanalyysi poikkeaa ilmakatveanalyysistä siten, että sen laskemiseen 60 x 60 km² alueelle vaadittiin yli 30 tuntia aikaa. Mikäli tämäntyyppisiä analyyseja halutaan käyttää, ne on tehtävä valmiiksi jo perusvalmiudessa. Laskentatehoa voidaan saavuttaa käyttämällä verkossa olevia koneita eräajotyyppisesti. Huomioiden laskentapisteidän pieni määrä voidaan arvioida yhden 25 m x 25 m suuruisen rasteripisteen olevan näkyvässä 100 km/h lentonopeudella noin sekunnin. Tietoa voidaan käyttää apuna arvioitaessa lentoreitin uhanalaisuutta eri asejärjestelmiä vastaan. Useimmille ilmatorjunta-asejärjestelmille vasta laajahko yhtenäinen alue on ampumateknisesti mahdollinen tulen käyttöä varten. Tulosta voitaisiin parantaa omien ilmatorjunta-asemien suorituskyvyn arvioinnin osalta siten, että huomioidaan tulialueiden raivaukset ja myös näille alueille sijoitetaan laskentapisteitä. Jos tämän tyyppisiä tuloksia päätetään käyttää, tarvitaan jatkotutkimuksia ainakin pistetiheyden määrittelyssä ja käytettävien lentokorkeuksien testaamisessa. Tuloksen luotettavuus voidaan selvittää maastossa valitsemalla sopivia alueita, jakamalla niihin riittävä määrä tähystäjiä ja kirjaamalla eri suunnista ja korkeuksilta lähestyvän helikopterin havainto- ja tulitusetäisyydet. Analyysi voisi soveltua käytettäväksi tulitehtävien tilanteen arvioinnin tukena lähestymis- ja väistösuuntien kartoittamiseen sekä oman ilmatorjunnan helikopterintorjuntakyvyn analysointiin. Analyysitulosta voi käyttää sovelletun analyysin pohjana ainakin pistetiheysfunktion lähtökohtana pyrittäessä tietyn tasoihin yleistykseen uhan yleiskuvan visualisoinnissa. Iteratiivisesti tulos voisi palvella reittien uhka-analyyseissa arvioitaessa paljastuvuutta eri suuntiin; mitä "mustempien" pisteiden kautta reitti kulkee, sitä suurempi on lennon paljastumisen todennäköisyys. Lisäksi tulos sopii yhteiskäyttöön muiden tulosten kanssa arvioitaessa edellä mainittuja tekijöitä osana tehtävän arviointia. Molemmat esitetyt analyysit ovat näkemäanalyysiprototyypistä poiketen yleistäviä. Sullivan [Sul01] on raportoinut vastaavan rakenteen.

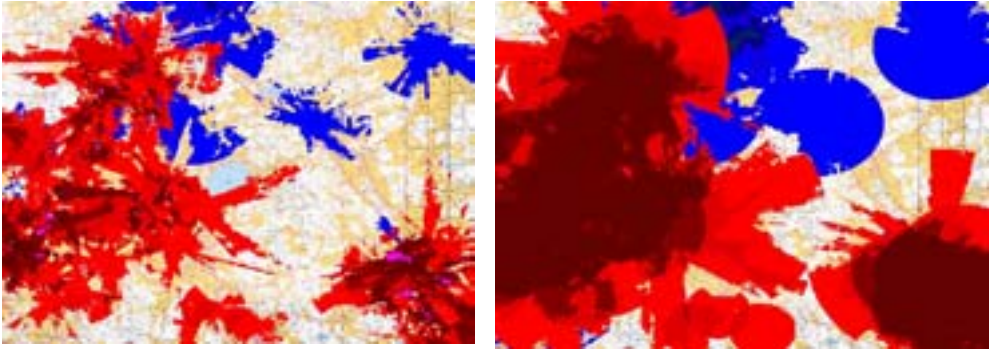
8.3.2 Uhka-analyysit ja tuliaseman valinnan tukeminen resurssianalyyseina

Ilmatorjunnan uhka-analyysillä arvioidaan omista ja vastustajan ilmatorjunta-aseista kohdistuvaa uhkaa helikopterien toiminnalle. Laskenta osoittaa vaara-alueen, jolle tulitoiminta on mahdollista; se ei siis ota huomioon esimerkiksi ampumateknisiä seikkoja muutoin kuin maksimikantaman muodossa. Analyysi on tyypillinen resurssianalyysi, joka on vahvasti tilanneriippuvainen asejärjestelmien paikkojen suhteen. Lähtötietoina voidaan käyttää tiedustelun luomaa tilannekuvaa, jota täydennetään arvioimalla kokonaisryhmitys. Analyysissa on käytetty harjoituksen maahanlaskua sovelletus esimerkkinä, jossa tavoitteena oli pika-analyysi perustuen pelin antamaan vastustajan ja omien joukkojen pääpiirteiseen ryhmittymiseen.



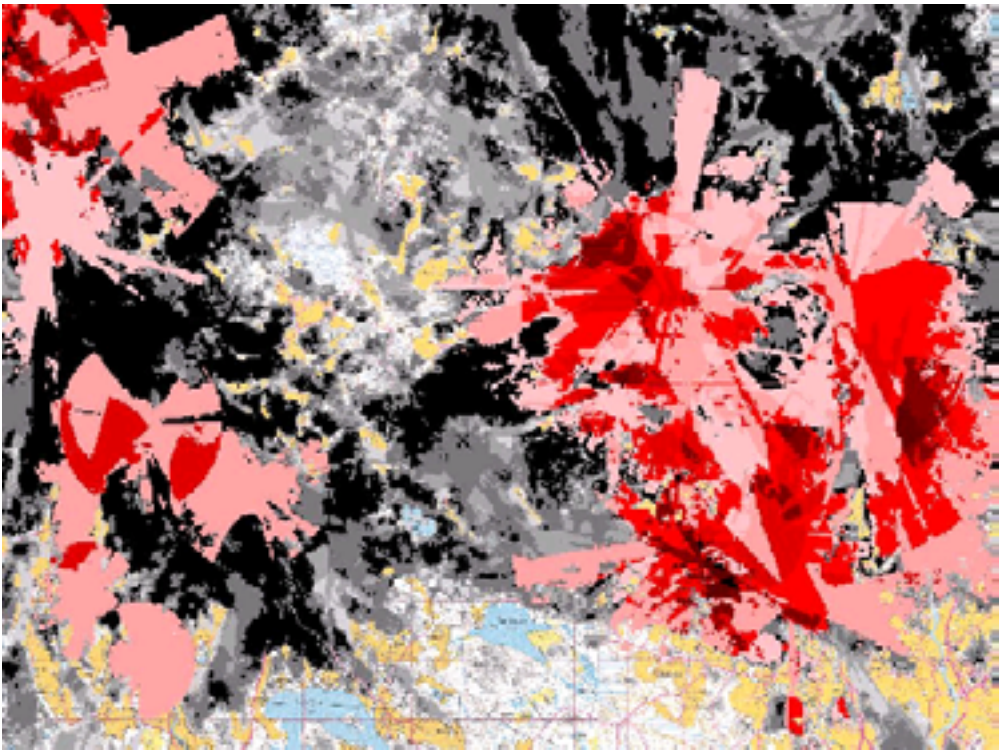
Kuva: Pelillinen uhkakuva 1..2 tuntia maahanlaskun alusta, alueella olevien omien (sininen) ja vastustajan joukkojen (punainen) arvioidut "vaara-alueet" 30 metrin korkeudessa lentävälle helikopterille. Pisteet kuvaavat vielä ryhmittymässä olevien joukkojen paikkoja. Alue on kooltaan noin 50 km x 50 km. Kuvaan on myös merkitty helikoptereille harjoituksessa käytetyt lentoreitit .

Käytössä oli joukkokirjasto, jossa määritettiin ammus- ja ohjusaseistukselle vaaralliset kantamat. Kirjastoja käyttämällä analyysien lähtöasetukset ovat sovelluksissa sekä nopeita että joustavia. Näin on myös mahdollista analysoida tehokkaimpia ampumatakyitä, peittoja tai valvontamahdollisuuksia sekä erilaisia asejärjestelmiä erikseen ja eri korkeuksille. Ilmatorjunta-aseiden asemia ei määritetty yksityiskohtaisesti, vaan asia pyrittiin huomioimaan sijoittamalla aseet korkeusmallin mukaisesti aukea-alueiden ampumateknisesti parhaille paikoille. Tämän jälkeen mahdollinen puusto poistettiin laskennallisesti lähikatveen alueelta 300 metrin säteeltä. Näin pyrittiin huomioimaan joukkojen älykäs asemien valinta ja estämään "puun takana" vaikutukset. On myös tyypillistä, että käyttäjä ei huomaa tai huomioi lähtöaineistojen epäjohtonmukaisuutta: ryhmittymä suunnitellaan taktiselta 1:50k referenssikartalta, jonka kanssa puustoaineisto voi olla ristiriidassa.



Kuvat: Uhkakuva määritettynä 30 ja 100 metrin lentokorkeuksille. Ilmatorjunnassa maakatveen merkitys on merkittävä. Lentokorkeudella 200 metriä tulialueet kuvautuvat käytännössä ympyröinä. Kuvissa alueen leveys on noin 20 kilometriä.

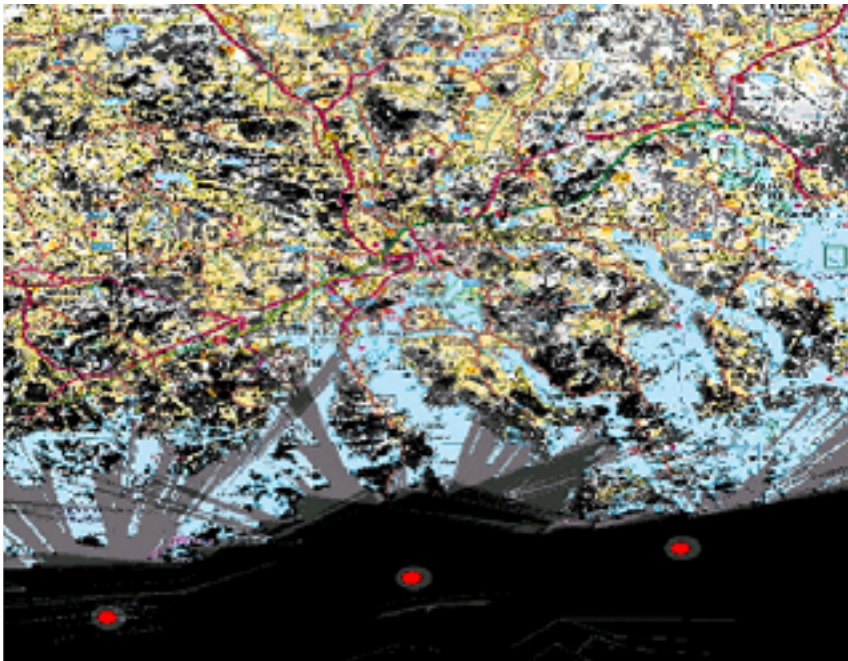
Ilmatorjunnan uhkakuvan ja maakatveanalyysin välillä on selvä korrelaatio. Jatkossa onkin mielenkiintoista selvittää, kuinka uhkiin voidaan varautua jo ennen tiedustelutietojen saamista. Lisäksi on aina huomioitava, että maakatveanalyysissa vastaavalle alueelle oli sijoitettu lähes tuhat "äärettömän kantaman" omaavaa asetta mahdollisimman tasaisesti.



Kuva: Vertailu uhkakuvan (punainen) ja maakatveen (musta) analyysitulosten välillä.

Maakatve on oman toiminnan kannalta varmempi, toisaalta uhkakuvassa on huomioitu myös tulialueen raivauksia. Oleellista on kuitenkin omalle toiminnalle suotuisten alueiden säilyminen molemmissa analyyseissa pääpiirtein samoina. Lisäksi tulialueiden leikkaukset ja maakatveanalyysin mustimmat kohdat yhtyvät erittäin hyvin, jolloin ainakin vaarallisimmat alueet pystytään analyysien perusteella löytämään hyvin suurella todennäköisyydellä. Maakatveanalyysia voitaisiin kehittää laskennallisesti kevyemmäksi käyttämällä organisaatioihin nähden esimerkiksi kolminkertaista ilmatorjunnan määrää ja määrittämällä aseille joko manuaalisesti ryhmittäen tai älykkäällä algoritmilla tuliasemat. Näin voitaisiin yhdistää tässä esitetyn sovelletun resurssianalyysin toteutustapa perusanalyysiin.

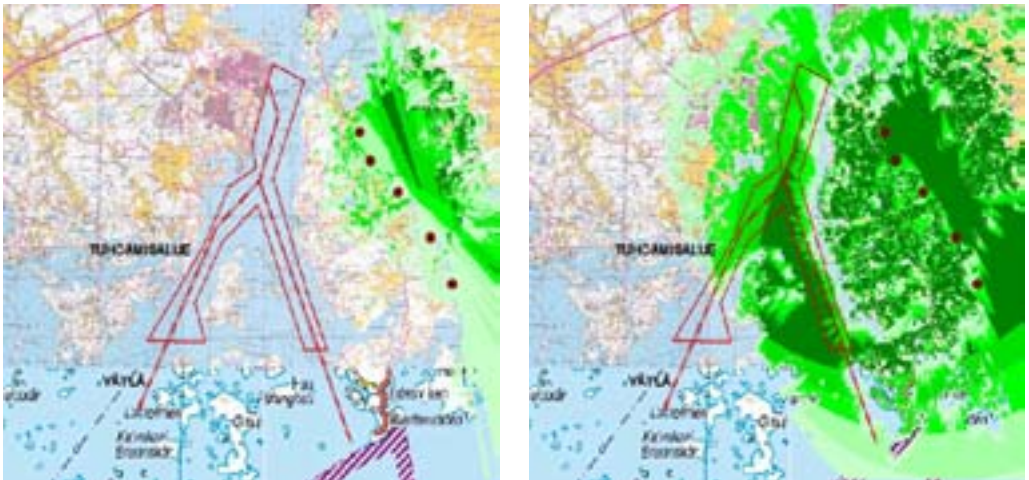
Tutkakatveanalyysilla pyritään selvittämään, mitkä alueet ovat vastustajan tutkien käytön kannalta suojaisia. Analyysitulosta voidaan käyttää ilmatorjunnan uhka-analyysin tavoin apuna suunniteltaessa lentoreittiä toiminta-alueen sisällä sekä varsinaisten tuliasemien valinnassa. Erityisen tehokasta on arvioida laiva-asenteisten tutkien mahdollisuuksia, koska ne voidaan mallintaa reitteinä: maastossa on vaikeampaa määrittää tutkille todennäköiset paikat.



Kuva: Esimerkki tutkakatveanalyysista. Tilanteessa on tarkasteltu laivatutkan näkemää kolmesta eri paikasta 30 metrin korkeudella lentävään helikopteriin.

Saariston suojaava vaikutus on tarkastelualueella suuri, vaikka tutka-antennin korkeus on 40 metriä. Kaukanakin sisämaassa olevat mäkien harjanteilla ja eteläreunoissa paljastuminen on mahdollista. Analyysissa ei oteta huomioon maalin taustan vaikutusta.

Tuliasemien valinnassa näkemäanalyysi voi paljastaa maastosta yllättäviäkin piirteitä. Sitä voidaan käyttää sekä itse tulialueen määrittelyyn että lokaalisti paljastamaan suotuisat lähestymistiet sopiviin aseisiin.

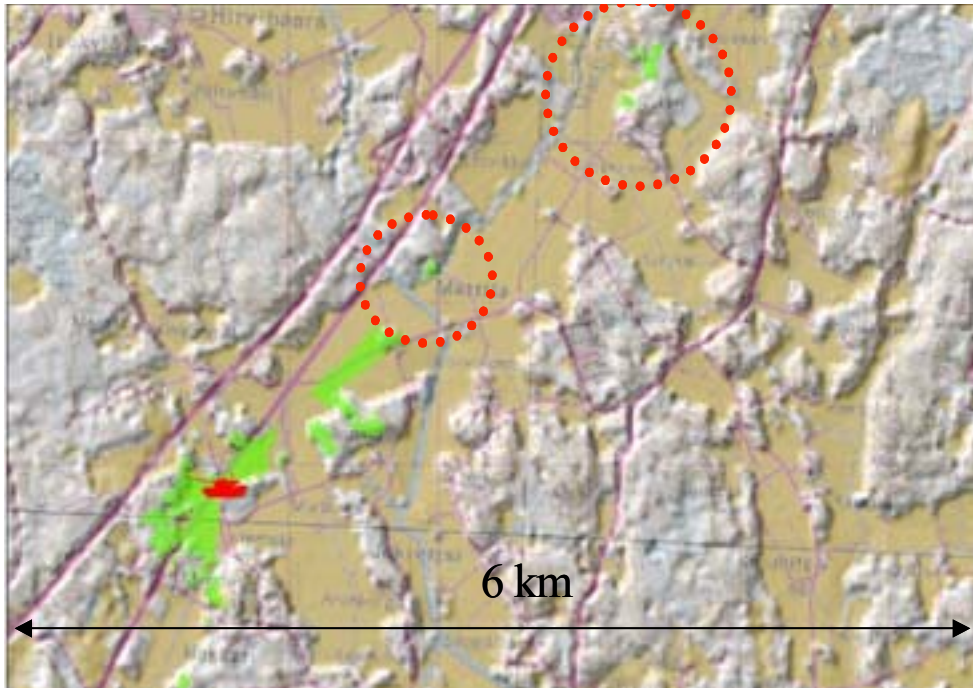


Kuva: Tarkastelu tuliasemien määrittämisestä. Vasemmalla 30 metrin popup meren pinnasta paljastaa edessä olevan mäen olevan noin 25 metriä korkean ja näyttää alueet, joissa mäen harjan läpi voidaan tunkeutua katveessa. Oikealla popup 150 metrin korkeudelle, joka vastaa nousua mäen harjan kohdalla noin 50 metrin korkeudelle; väylä on katettu. Sensorin toimintaetäisyytenä on käytetty 8 kilomeriä.

Tilanteessa on osattava yhdistää korkeusmalli, etsiä sen ja näkemäanalyysin avulla sopivat tunkeutumiskäytävät tuliasemaan ja yhdistää tiedot tutkan uhkakuvaan, jotta voidaan välttää vastustajan vastatoimet. Analyysit on mahdollista toteuttaa minuuttiluokassa ja niiden voimassaoloaika on lyhyt, joten ne pitää integroida osaksi tehtävän suunnittelulaitteita. Tuloksia voidaan käyttää perustana myös resurssianalyyseissa, joissa pitää huomioida tarkemmin aseiden ominaisuudet kuten tunnistamisen todennäköisyys ja lentoradan geometria.

Tulialueen määrittelyssä voidaan käyttää kahta eri menetelmää. Molemmissa vaaditaan tarkan tason tietoa joko kopterin tai maalin paikasta, joten menetelmät sopivat parhaiten joko yksittäisten kohteiden tuhoamisen suunnitteluun tai tutkimukseen ja perusvalmiuden tehtäväsuunnitteluun kohdetietokannan perustaksi.

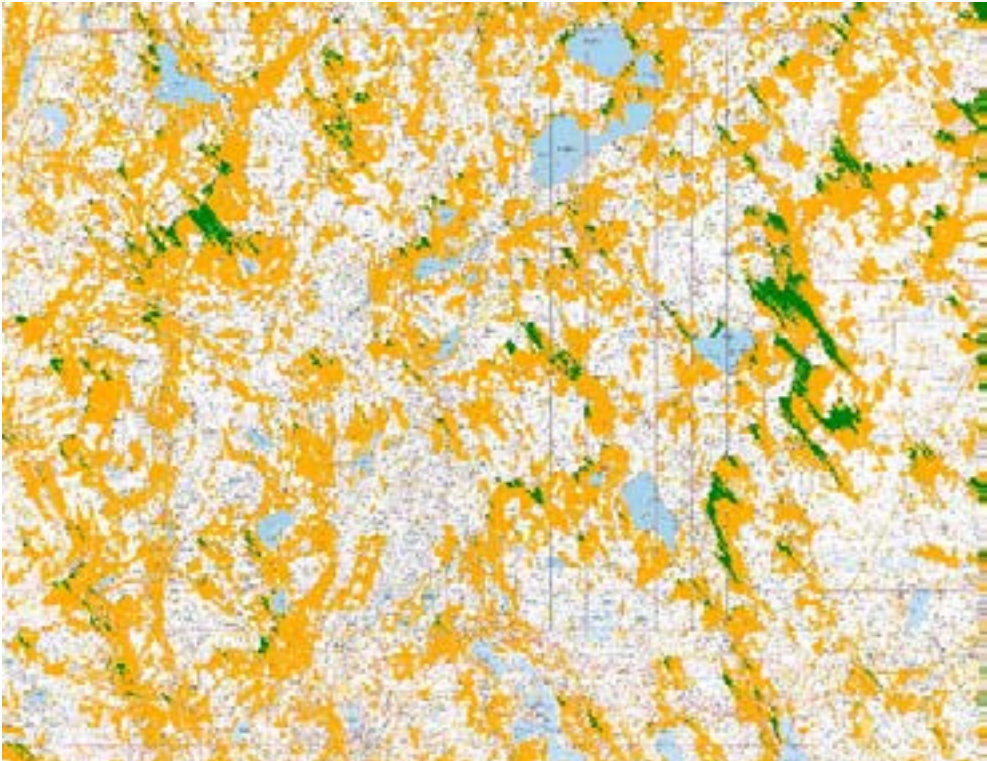
Ensimmäisessä menetelmässä määritetään maalin paikka maastossa. Tämän jälkeen lasketaan näkemä-alue maalista helikopterin asejärjestelmän maksimikantaman päähän sopivalle lentokorkeudelle.



Kuva: Näkemän määrittäminen maalista lähtien, näkemäpiste maalissa 1,4 metrin korkeudella ja helikopteri-maalin korkeudeksi on oletettu 2 metriä, joka vastaa rakettien tai laserohjatun ohjuksen ampumakorkeutta popup-tilanteessa. Kuvassa näkyy kohteen lähialue ja kaksi mahdollista tuliasemaa 1,9 ja 3,6 kilometrin päässä.

Antamalla maalille useita mahdollisia paikkoja ja laskemalla näkemien painotettu leikkausalue voidaan etsiä kohdat, joista on paras todennäköisyys nähdä maali vaikuttamista varten. Kun tieto yhdistetään ilma- ja maastokatveanalyysiin tai ilmatorjunnan uhka-analyysiin, voidaan helikopterille määrittää parhaat tuliasemat. Kuljetushelikoptereilla vastaavaa menetelmää voidaan käyttää pyrkiessä löytämään kohteet, joissa kuljetetulla miehistöllä on lyhyt ja suojaan siirtymistä tuhoamisasemaan. Toinen tapa on määrittää iteratiivisesti tuliasemia ja valita sellainen, joka kattaa parhaiten kohteen arvioidun sijaintialueen, lisäksi voidaan tehdä kattava yhdistelmä koko alueen peittämiseksi. Maalimenetelmällä on mahdollista määrittää keskimääräisiä ampumaetäisyyksiä eri maastotyypeissä ja arvioida yhden maalin löytymisen todennäköisyyttä eri etäisyyksillä. Maalista lähtien määritetään mahdolliset tuliasemat ja niiden jakauma kulman ja etäisyyden suhteen. Esimerkiksi maali voitaisiin ampua 5 asteen kulmasta olet-

taen, että helikopteri lähestyy maalia satunnaisesta suunnasta kunnes löytää sen tai siirtyy seuraavaan kulmaan. Lukuarvoa voidaan käyttää apuna, kun maalien kokonaisuus tunnetaan. Peittomenetelmällä voidaan arvioida, kuinka suuren pinta-alan maalien mahdollisesta sijaintialueesta kukin tulasema kattaa ja yleistää se aurinkokulmaa käyttäen. On kuitenkin huomattava, että MaPuTu-aineistosta puuttuvat pienet pensakit, oijen varsilla kasvavat puurivit ja pensasaidat, joten näkemät antavat teoreettisia maksimiarvoja, ellei käytettävä sensori ei kykene läpäisemään esteitä.



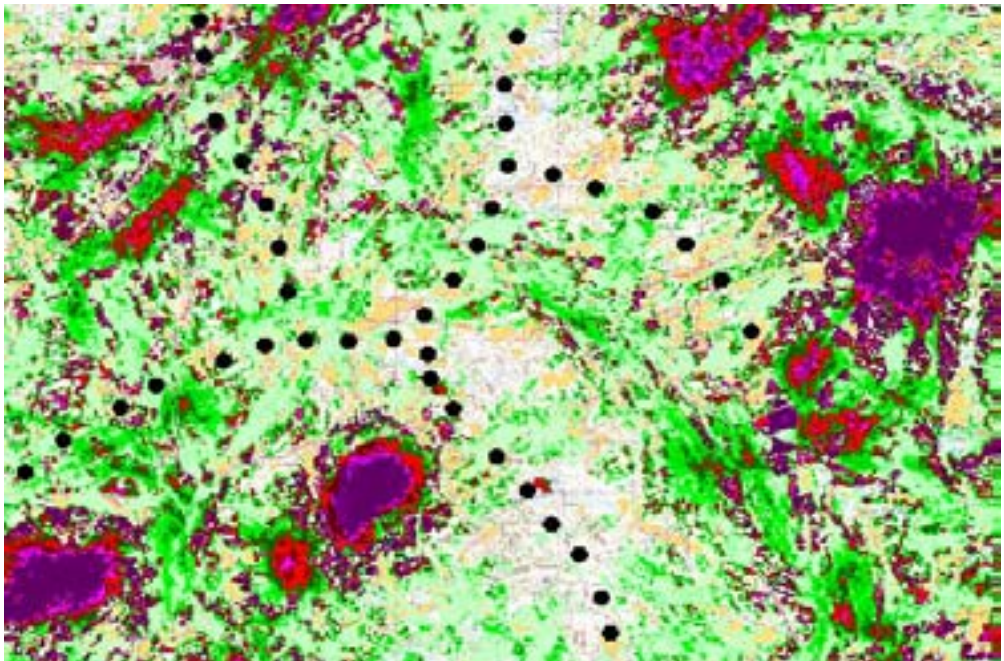
Kuva: Vinalovarjostuksen käyttö kokonaisampuma-alan arvioinnissa. Tilanne vastaa 30 metrin popup-korkeutta yli 3 kilometrin tai 10 metrin popup-korkeutta yli 1 kilometrin päästä. Suuntakulmana on 135 astetta, koska aukeiden oletettiin olevan alueella pohjois-etelä suuntaisia jääkauden liikesuunnasta johtuen. Osuus aukeiden kokonaisalasta on 6,96% yhdestä suunnasta lähestyen.

8.3.3 Lentokäytävä ja maahanlaskualueet yhdistettynä analyyseina

Helikoptereiden lentokäytävien määrittäminen vastaa loogisesti maaliikkeessä hyökkäyssuuntien (Mobility Corridors) määrittämistä. Vaikka käytössä ovat perusanalyysitasoiset kulkukelpoisuus-, näkemä- ja tiestökartat, nähdään tämäntyyppinen analyysi yleensä mahdollisena vain ihmisen suorittamana tulosten visualisoinnin avulla. Laajoille alueille tehtynä manuaalinen analyysi vie systemaattisena kauan aikaa ja ihmiselle on vaikeaa yhdistää mielessään useita erilaisia kuvia. Lentokäytävän voidaan ajatella muodostuvan seuraavista tekijöistä:

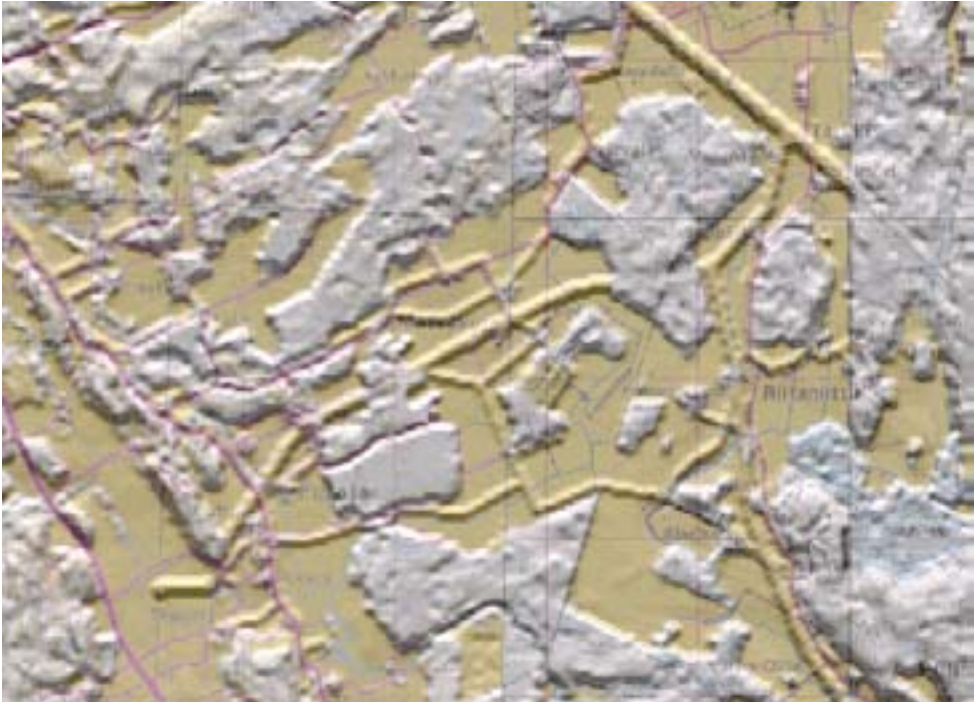
- Suhteellinen suojaisuus ilmasta tapahtuvalta valvonnalta ja kyky tunkeutua kohdealueella huomaamatta ja vastatoimia välttäen.
- Suhteellinen suojaisuus vastustajan ilmatorjuntajärjestelmiltä.
- Lentotekninen turvallisuus erilaisista esteistä.
- Mahdollisuus johtamisyhteyksiin lennon aikana.
- Riittävä selkeys suunnistamisen onnistumiseksi.

Kaksi ensimmäistä tekijää voidaan ottaa huomioon yhdistämällä ilma- ja maakatveanalyysien tulokset. Visuaalisen tulkinnan tukena voidaan käyttää suuntagradienttia ja pistetihennysfunktia korostamaan eri suuntien suhteellisia suojaisuuksia.



Kuva: Yhdistetty ilma- ja maakatveanalyysin tulos, alueen koko noin 20 km. Läpinäkyvä alue on suojaisinta, uhanalaiset alueet on merkitty asteikolla vihreä - punainen - lila. Mustalla pisteytyksellä on hahmoteltu mahdollisia lentoreittejä.

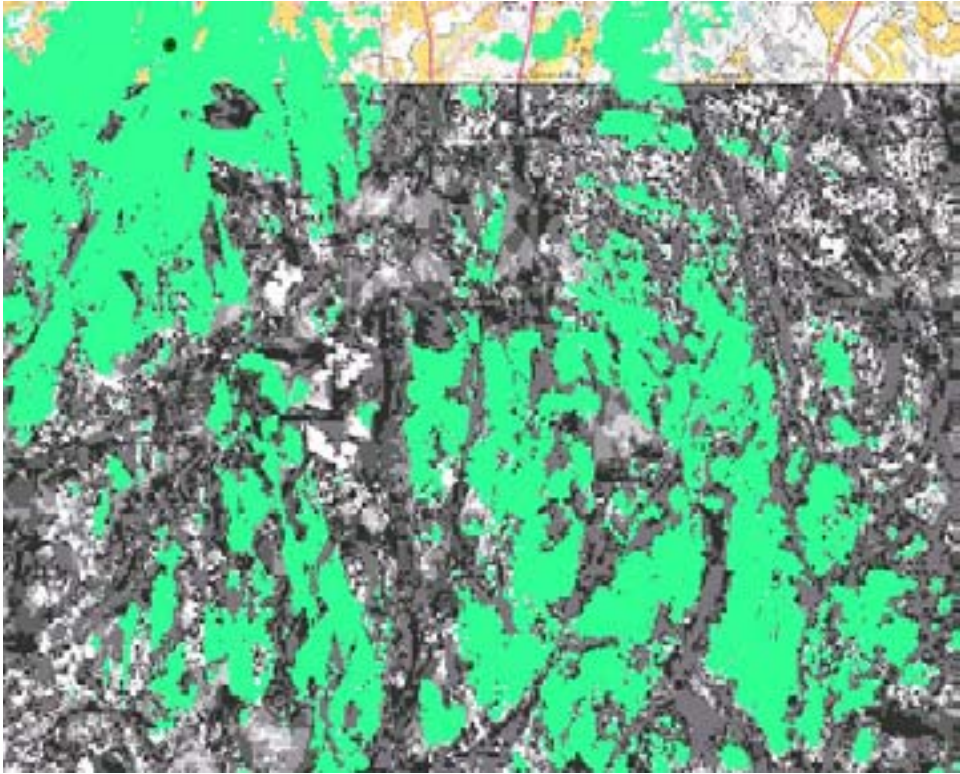
Lentotekniseen turvallisuuteen liittyy lentoesteiden kuten mastojen ja sähkölinjojen vaikutus. Tämä on mahdollista ottaa huomioon joko taustakarttaa tehtäessä visuaalista analyysia, erillistarkasteluilla jo määritetyille reiteille tai automatisoimalla toimintoja esimerkiksi yhdistämällä estevaikutus lentokäytäväkarttaan.



Kuva: Sähkölinjojen korostaminen lentoesteinä osana visuaalista tulkintaa. Myös metsän korkeus on korostettu kuvasta esiin, sen sijaan maanpinnan korkeusvaihteluja ei ole huomioitu. Vastaavalla tavalla voidaan huomioida myös mastot.

Tarkastelussa kullekin linjatyypille määritettiin estekorkeus ja vaakapuskuri. Estekorkeudella tarkoitetaan korkeutta, jolle helikopterin on noustava maan pinnasta ylittääkseen este taistelutilanteessa. Vaakapuskurilla tarkoitetaan sen alueen pituutta, jonka lentoliike on lakipisteessään. Linjoissa ongelmana on niiden huono havaittavuus helikopterista. Pimeällä linjojen puskurointia voidaan kasvattaa ja pyrkiä suuntaamaan lennot alueille, jotka ovat sähkölinjoista suunnistustarkkuuden puitteissa vapaita. Helikopterin älykäs suunnistusjärjestelmä voisi myös varoittaa lähestyvistä linjoista.

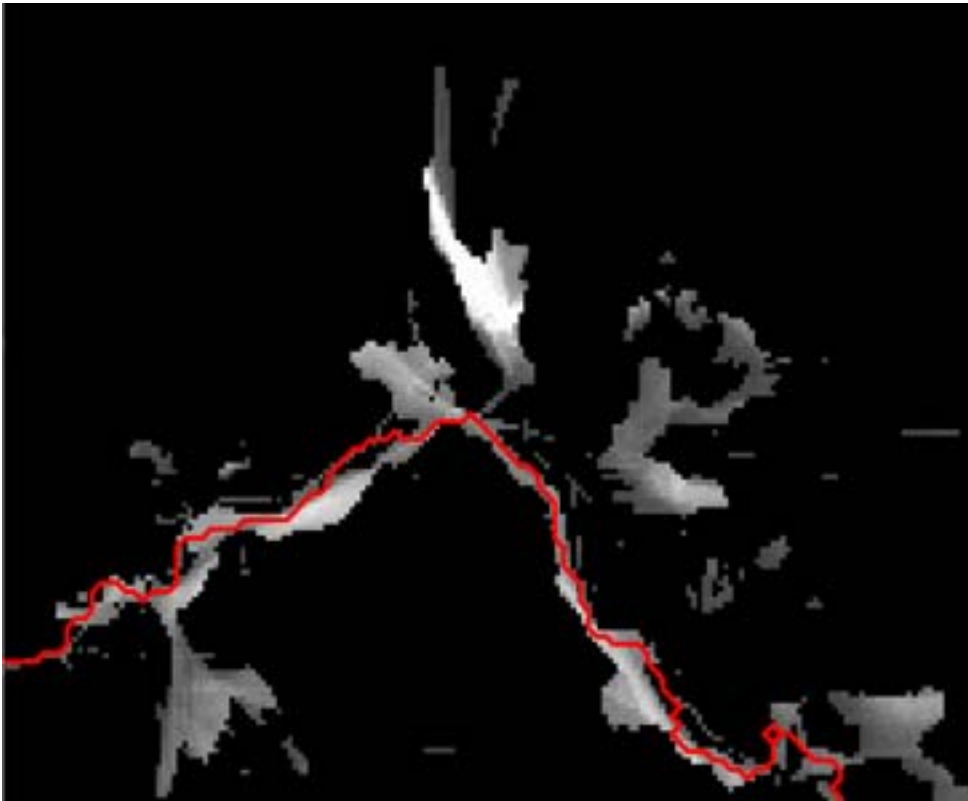
Alueet, joissa ilmatkatve on hyvä mutta tukiaseman radio kuuluu voisivat tarjota mahdollisuuden päivittää helikopterin tiedot datalinkillä, vaikka muuten pyritäänkin lentämään mahdollisimman paljon katveessa.



Kuva: Vasemmalla ylhäällä on tukiasema, jonka suora kuuluvuusalue 30 metrin lentokorkeudella on kuvattu vihreällä. Sen alla on harmaasävyillä kuvattuna 3 asteen suunnattu ilmakatveanalyysitulokset.

Riittävä selkeys lentotehtävää varten riippuu helikopterin suunnistuslaitteista. Visuaalisesti reitti tulisi suunnitella siten, että lentäjällä on riittävästi suunnistamiseen tarvittavia kiintopisteitä ja maastonmuotoja käytettävissään. Tämäntyyppiset seikat ovat parhaiten huomioitavissa visuaalisella analyysillä sen jälkeen, kun ensin on iteratiivisesti löydetty sopivat lähestymissuunnat.

Paikkatietotekniikalla voi tukea reittien valintaa ja valmistelua iteroidun reitin uhanalaisuusanalyysin avulla. Käytetty tapa vaatii ensin reitin määrittelyn, joten sitä voidaan toteustustavaltaan pitää sovellettuna maastoanalyysinä. Periaatteena on laskea reitin pisteiltä näkemä maan pinnalla oleviin kohteisiin, lähestymistapa on siis vastakkainen maakatveanalyysiin ja ilmatorjunnan uhka-analyysiin verrattuna. Reittipisteiden tiheys riippuu käytettävissä olevasta laskentatehosta. Kuvatulla menetelmällä voidaan myös ottaa huomioon ammuntaan vaadittava aika. Oma tiedustelu voidaan kohdentaa alueille, joilta on todella mahdollisuus vaikuttaa ja näin säästää aikaa.

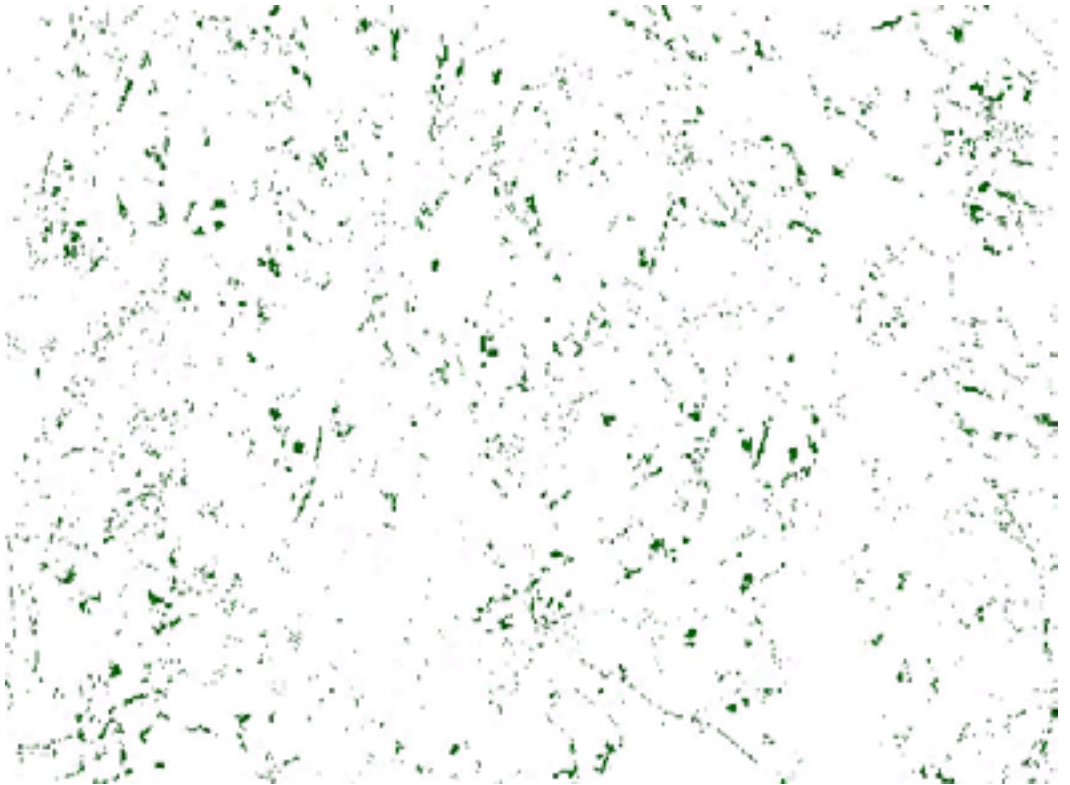


Kuva: Reitin uhanalaisuustarkastelu. Kuvassa vaaleimmilta alueilta on paras näkyvyys määritetylle reitille. Tiedustelun tehtävänä on ennen lentoa varmistaa, että nämä ovat vapaita vastustajan valvonta- ja asejärjestelmistä.

Taktisesti tarkasteltuna maahanlaskualueen tulee täyttää seuraavat vaatimukset:

- Suojaisuus ilmasta tapahtuvaa valvontaa ja tähystystä vastaan.
- Saavutettavuus turvallisesta suunnasta, lentokäytävän olemassaolo.
- Kuljetettävien mahdollisuus päästä nopeasti suojaan ja taktisesti edullinen lähestymissuunta kohdealueelle.

Laskeutumisalueanalyysillä (Helicopter Landing Zone, HLZ) määritetään sopivia alueita maahanlaskuille. Analyysi on yhdistelmä aineistoista ja aiemmin laadituista perustai sovelletuista analyyseistä. Analyysi toteutettiin rasterianalyysillä asettamalla eri aineistoille alueelle tyypillisiä raja-arvoja. Ehtoina pikselin kaltevuus saa olla enintään 3 astetta, sen pitää olla avoimessa maastossa tai taimikossa, se ei voi sijaita vedessä ja sen tulee olla ilmakatveessa 3 asteen aurinkokulmalla.



Kuva: Lopputuloksena saatu rasteritaso, joka täyttää edellä mainitut ehdot. Sopivien alueiden osuus oli 2,57 % koko tarkastelualueen pinta-alasta. Laskenta-alueen kokonaisleveys oli noin 80 km.

Sopivien alueiden osuus kokonaispinta-alasta saattaa ensivaikutelmana tuntua niin pieneltä, että sen perusteella myös vastustajan on helppoa ennakoida maahanlasku-alueet. Kuvatussa esimerkissä soveltuvien alueiden kokonaispinta-ala on kuitenkin yhteensä noin 100 neliökilometriä. Lisäksi ne ovat niin rikkonaisia, että yhdestä pisteestä kyetään valvomaan korkeintaan yksi alue kerrallaan. Osana tietoylivoimaa on tässä analyysityypissä olennainen merkitys hakkuualueiden reaaliaikaisella päivityksellä, jota varten on kehitetty nopeita aineistovertailuun perustuvia ajantasaistusmenetelmiä. Alueissa voidaan painottaa alueita, joissa on tapahtunut muutos lähiaikana.



Kuva: Mahdolliset maahanlaskualueet visualisoituna. Analyysin tulos on yhdistetty ilmatorjunnan uhka-analyysitulokseen. Sirpaleisten aukeiden koko vaihtelee puolesta hehtaarista noin viiteen hehtaariin.

Kuvattu tapa mahdollistaa toiminnan siten, että lähes jokaiselle kuljetushelikopterille voidaan määrittää oma "reikä", josta kuljetettu jalkaväki pääsee mahdollisimman nopeasti suojaan ja panssaritorjujat sopiviin tuliasemiin. Aukeiden jako voidaan huomioida jo lähtöalueella määritettäessä ensimmäiset tehtävät ja kuljetuserät helikoptereissa. Lähistöltä löytyy myös riittävästi vara-alueita. Mikäli määritettynä on tehtävään soveltuvat lentokäytävät, ne voidaan puskuroida ja keskittää maahanlaskualueiden hakeminen niille. Soveltuvia alueita voidaan myös painottaa suhteessa siirtymisreitteihin tai vastustajan epäsuoran tulen ulottuvuuteen. Maahanlaskualueiden määrittely voidaan myös tehdä hierarkkisena ketjuna. Perusanalyysissa esitetään vain teknisesti soveltuvat alueet, joita täydennetään sovelletussa analyysissä suunta- ja uhanalaisuustiedoilla. Lopuksi saatu tulos yhdistetään määritettyihin lentoreitteihin.

Tukeutumisalueella voidaan lisänä käyttää vaatimuksia maaperälle ja sen kantavuudelle joko maaperäkartan tai kulkukelpoisuuskartan muodossa. Tiestö voidaan ottaa huomioon joko osana visualisointia tai se voidaan puskuroida ja etsiä alueita, jotka sijaitsevat annetun puskurin sisällä halutuista tieluokista. Analyysia voisi jatkaa puskuroimalla huollolle riittävän kantavat tiet ja sopivat rakennukset sekä esittämällä vain ne aukeat, jotka sijaitsevat tarpeeksi lähellä haluttua tieluokkaa. Kuvatun tyyppinen analyysi helpottaa kohdentamaan alueiden tiedustelua, mutta vasta riittävän laaja kohde-

tietokanta mahdollistaa nopean toiminnan kriisitilanteessa.



Kuvat: Soveltuva alue tukeutumiselle. Aukea-alueiden sijoittuminen sopivasti tiestöön nähden voidaan ottaa huomioon puskuroimalla (oikealla).

8.3.4 Maaston kolmiulotteinen visualisointi osana analyysejä

Mahdollisuus tutustua toimintamaastoon tai tarkastaa analyysoimalla määritetyt tehtävät kolmiulotteisen visualisoinnin avulla on juuri helikoptereiden kohdalla merkittävä ja asian selvittämisen pitää olla osa helikoptereiden johtamislaitteen kehitystyötä. Ratkaisevaa on, että aineistotuotteet vastaavat mahdollisimman hyvin todellisuutta ja kehitettävä sovellus kykenee käyttämään niitä suoraan ylläpidettävistä paikkatietokannoista. Jos tämän tyyppisiä tarkasteluja aletaan toteuttaa, pitää aineistojen ajantasais- tamisen ja parantamisen olla luonnollinen osa maastossa tapahtuvaa suunnittelutyötä. Maastontiedustelun apuvälineenä on kolmiulotteisessa maailmassa mahdollisuus visualisoida muutoin näkymättömiä tekijöitä kuten ilmatorjunnan vaara-alueita, joukkojen ryhmyksiä, radion kuuluvuuksia ja maaston lentoturvallisia muotoja. Sovellus on mahdollista rakentaa siten, että näkyvät asiat räätälöidään kunkin tehtävä- ja kalustotyyppin mukaiseksi. Kun maastoanalyysejä käytetään apuna tehtävän ja reittien suunnittel- lemisessä, voidaan 3D-esitystä käyttää tehokkaasti suunniteltujen reittien tarkista- miseen - lentämällä reitit paikkatietojärjestelmässä voidaan vielä visuaalisesti tarkas- ta, että reitti on sopiva tehtävään. Menetelmää voi käyttää myös lentoturvallisuuden parantamiseen: visuaalisessa mallissa on mahdollista esimerkiksi korostaa sähköjoh- toja, mastoja ja muita lentoesteitä, jolloin ne on itse tehtävässä todennäköisesti hel- pompia huomata. Samalla voidaan arvioida reitin suunnistettavuutta eksymiselle uhan- alaisine vaiheineen. Visualisointijärjestelmissä on mahdollista simuloida myös ympä- ristötekijöiden kuten sumun, sateen tai pimeyden vaikutuksia. Lisäksi 3D-esitystä voi- daan käyttää sekä lento-osaston että maahanlaskuosaston perehdyttämisessä tehtä-

vään. Päätetty reitti voidaan lentää läpi osana käskynantoa ja käydä virtuaalimaastossa läpi maahan lasketun joukon mahdollisuudet toimintaan tai taisteluhelikoptereille suunnitellut tulasemat vaihtoasemineen. Suorittajille voidaan myös tarjota mahdollisuus omatoimiseen tarkasteluun, "maastontiedusteluun tietokoneella".

8.3.5 Johtopäätökset

Helikoptereiden analyysien hahmottelu ja toteutettavuuden sekä hyödyllisyyden testaaminen kyettiin tekemään yhden kalenterikuukauden aikana käyttäen apuna analyysihierarkiaa ja raskasta GIS-ohjelmistoa, joka kykenee sellaisenaan monipuoliseen toimintaan. Harjoituksessa asiakkaat eli helikopteritoiminnan suunnittelijat arvioivat tulosten hyödynnettävyyttä ja saivat jopa reaaliaikaisesti osan yksinkertaisimmista tuloksista käyttöönsä.

Analyysien tekotapa vastaa menettelyä, joka on uudessa kehittämisprosessissa ajateltu tapahtuvan vaatimusmäärittelyvaiheessa. Kun sopivat analyysit on löydetty, tiedetään myös niiden vaatimat lähtöaineistot, kaavat ja omataan käsitys mahdollisista vasteajoista. Lisäksi parametriarvojen määrittely voidaan aloittaa jo ennen ohjelmointia, jolloin käyttöönottovaiheessa on jo määritettynä ensimmäiset parametrikirjastot. Myös tulosten visualisointi voidaan suunnitella paremmin muun kehitystyön rinnalla eikä vasta sen päätteeksi. Kuvatun tyyppinen menettelytapa antaa myös toimittajaehdokkailla paremman kuvan haluttujen analyysien toteutettavuudesta ja vähentää molemminpuolista riskiä.

Helikopteritaktiikan tukeminen on myös siinä mielessä hyvä esimerkki, että taktiikkaa ollaan tässä mitassa vasta laatimassa. Analyysien tekeminen raskaalla alustalla antaa mahdollisuuden vuoropuheluun johtamisprosessin ja käytettävän tietotekniikan välillä, jolloin tekniikan mahdollisuudet ymmärretään ja ne kyetään ottamaan huomioon myös itse prosessin kehittämisessä. Lopputuloksena ei siis enää ole tapa, jossa tietokone kytetään helpottamaan manuaalisesti tehtävää työtä, vaan rakenne, jossa ihmisen päättelykyky yhdistetään tietokoneen laskenta- ja visualisointikykyyn. Merkittävä etu ei synny tekemällä vanhat asiat entistä paremmin, vaan tekemällä ne uudella tavalla.

9. LAATU OHJAAVANA KÄSITTEENÄ

Työn laadun viitekehyksenä on professori Paul Lillrankin kirjassa Laatuajattelu [Lil99] esittämä rakenne, jota sovelletaan kriisiajan sotilaallisessa viitekehyksessä paikkatietoihin ja analysointiprosesseihin. Kirjan alussa todetaan: *”Laadun soveltamisen suurin ongelma ei ole tekniikoiden ja johtamistempujen puute. Niitä saa konsultilta ja kirjakaupasta. Pikemminkin huolellinen pohdinta oman toiminnan tarkoituksesta ja luonteesta on jäänyt tekemättä.”* Haasteeseen on tässä yritetty vastata.

9.1 Laatuun liittyviä määritelmiä ja niiden soveltaminen maastoanalyysiin

Laatufilosofia tarkoittaa systemaattista ajatustyötä, jossa käsitteellisiä työkaluja käyttäen ja havaintoihin nojautuen määritellään laatu ja sen elementit erityisten tavara-, palvelu- ja tietotuotteiden tai näiden yhdisteiden eli toimitteiden kohdalla [Lil99]. Toimite tarkoittaa tässä tutkimuksessa maastoanalyysin tulosta, tietotuotetta, johon liittyy yleensä palveluna tekijän tulkinta.

Datan laatu palautuu määritelmänsä mukaisesti samanlaisuuteen todellisuuden kanssa. [Lil99] Maastoanalyysien metamallissa jokaisen rajapinnan jälkeen alemman tason informaatio muuttuu seuraavan tason dataksi. Tämä mahdollistaa prosessin säätämisen siten, että datan laatua voidaan koko ajan seurata. Informaation luonne kuitenkin tekee myös datasta elävää ja suhteutettua kuvattavaan ilmiöön.

Informaation laatu viittaa ensi sijassa sen raaka-aineena käytetyn datan laatuun, reliabiliteettiin. Seuraava tekijä on sopivuus kontekstiin eli validisuus ja kolmas tehokkuus: mitä informaatio saa aikaan. [Lil99] Maastoanalyysissa muodostettavan informaation laatu on vahvasti sidoksissa itse tuotantoprosessiin, tässä tapauksessa siis johtamisprosessiin, ja sitä toteuttaviin asiantuntijoihin. Reliabiliteetti syntyy lähtöaineistojen lisäksi itse analyysin ja analysoijan kyvystä tuottaa oikeaa tietoa. Tekijä kyetään myös mittaamaan ainakin jollakin tarkkuudella. Validisuus tarkoittaa tällöin analyysin laadintaa oikeaan aikaan ja oikean muotoisena tukemaan prosessia: tätä voidaan mitata osana esikuntatyöskentelyä ja asian äksiisiomainen kouluttaminen on mahdollista. Tehokkuus edellyttää, että analyysien tuloksilla on vaikutusta toimintaan. Tekijää on vaikea mitata muutoin kun vertaamalla ilman analyysija tehtyjä päätöksiä analyyseilla tuettujen kanssa. Vertailun tulokset ovat yleensä laadullisia.

Tieto syntyy maastoanalyyseissa useissa kantajissa [vrt. Lil99]. Analyysin varsinainen tekijä on primäärikantaja, joka käsittelee uutta informaatiota sellaisenaan. Sekundäärikantajat saavat informaation usein palvelun osana, joko primäärikantajan tulkitsemana tai vain tiettyä tarkoitusta varten muodostamana. Kyse on palvelusta.

Taito on tiedon soveltamista, mutta ei tiedon muoto. [Lil99] Maastoanalyseissa taidolla on sitä suurempi merkitys, mitä korkeammalle tasolle nouseaan. Vaikka työ liikkuu pääosin sotilastermistössä sotatieteen¹ (science of war) alueella, on siinä myös piirteitä taiteisiin tai käsityöhön verrattua sotataidosta² (art of war). Mitä soveltavampia ja iteratiivisempia analysointitapoja käytetään, sitä lähempänä ollaan taitoa ja siihen liittyvää laadun käsittelyä. Sodassa tieto ei omaa itseisarvoa, vain lopputulos ratkaisee. Clausewitz kuvaa asiaa: ” *Kaikkien sodassa vallitsevien olosuhteiden epävarmuuden vuoksi olisi aivan mahdotonta yrittää rakentaa ikään kuin sotataidon rungoksi jotakin oppijärjestelmää, joka sotaa käyväälle olisi kaikkialla ulkonaisena tukena ... kyvykkyys ja nerous syrjäyttävät lain ja teoriasta tulee todellisuuden vastakohta.*”

Pre-facto informaatio kertoo, mitä tuotannossa milloinkin pitää tehdä [Lil99]. Esimerkiksi ylemmän johtoportaan käskyn perusteella esikunnassa pitää tuottaa tehtävätaktiikan mukaisesti asetetun tavoitteen toteutumiseen vaadittava suunnitelma ja käsky, johon taas paikkatietoanalyysit ovat sidoksissa. Pre-facto tieto on tuotantoväline, tehtävän prosessointiin tarvittava tieto, joka on olemassa ennen kuin tekemiseen ryhdytään [Lil99] kuten esikuntaohje. Post-facto informaatio on systeemin säätämiseen tarkoitettua palautetta [Lil99], joka syntyy käskyn toteutumista seuraamalla ja ohjaamalla tilanteen mukaisella johtamisella. Post-facto tieto on oppimista [Lil99]: kriisissä oppiminen on henkilö- ja esikunta kohtaista, mutta rauhan aikana sen voi systematisoida kehityksen aikaansaamiseksi.

Doktriini tarkoittaa toistaiseksi todeksi uskottua käsitystä jonkin todellisuuden osan toiminnasta ja sen pohjalta rakennettua toimintatapaa [Lil99]. Doktriini muodostaa kokonaislaadulle kehyksen, jonka ulkopuolta ei kyseenalaisteta. Taistelussa, johon liittyyvää päätöksentekoa maastoanalyseilla tuetaan, sillä on keskeinen merkitys. Sotilasorganisaatiossa toiminnan pitää tukea doktriinia voiton mahdollistamiseksi. Doktriinia ei saa rinnastaa ajattelun kaavoittamiseen, pikemminkin päinvastoin.

Laatu tehdään prosessilla, jolla tarkoitetaan yhdestä tai useammasta vaiheesta koostuvaa toimintojen ketjua [Lil99]. Johtamisprosessi ja siihen kiinnitetty metamalli auttaa näiden ketjujen löytämistä ja sitomista kokonaisuuteen. Maastoa ja olosuhteita koskeva paikkatieto muodostaa johtamisjärjestelmissä perustan kaikelle muulle tilanteeseen liittyvälle tiedolle. Koska Suomessa on vakiintunut tapa kerätä paikkatietoja, johon puolustusvoimilla on vain vähän vaikutusvaltaa, laadun keskeiset toimenpiteet

¹ Tällä tarkoitetaan usein management-tyyppistä johtamista, systemaattista suunnittelua ja teknisperusteista laskentaa. Termin käyttö ei Suomessa ole vakiintunutta.

² Tällä käsitteellä kuvataan joskus koko taktiikkaa, joka on "kangistumatonta ja luovaa" toimintaa taistelun voittamiseksi.

tulee keskittää jo valmiin tiedon sotilaalliseen hyväksikäyttöön. Tässä suhteessa puolustusvoimat on lähtöaineistoihin nähden asiakkaan asemassa³, ainoastaan rajoitettua spesifistä tietoa voidaan itse kerätä.

Maastoanalyysitulosten laatutekijöille voidaan asettaa seuraavia kokonaisvaatimuksia:

- Riittävä oikeellisuus verrattuna tarkastelutarkkuuteen ja tilanteeseen. Mikäli tiedon oikeellisuus ei ole riittävä, sen käyttö tulee estää. Jäljempänä otetaan kantaa siihen, mikä on riittävän luotettavaa tietoa.
- Toimitus määräaikaan mennessä. Päätökset pitää tehdä omassa rytmissään aloitteen saavuttamiseksi ja pitämiseksi. Liian myöhään tuleva, epävarma tieto voi jopa olla vahingollista.
- Toimitus standardoidussa muodossa. Tällä vaikutetaan tiedon käytettävyyteen ja oikeaan ymmärtämiseen.
- Visualisointi siten, että ymmärrys voi syntyä.⁴

Teknologiausko on vienyt pohjaa arkisen työn kunnioitukselta, siltä, että on arvokasta tehdä huolellisesti ja kulloinkin käytössä olevin välinein [Lil99]. Tämä näkyy myös tietokoneiden käytössä: on merkittävämpää tehdä uutta ja teknisesti vaikeaa, vaikka kokonaisuus vaatisi hyvää rutiininomaista työtä. On kuitenkin muistettava, että vasta kokonaisuus ratkaisee onnistumisen: yhden osa-alueen onnistumista voi harvoin edes hyödyntää, mutta sen epäonnistuminen voi jopa kaataa kokonaisuuden. Nopeasti kehittyvällä alalla on syytä erottaa todellinen työ ja kehitystyö toisistaan, molemmille on oma aikansa ja paikkansa.

Maaston perusanalyysien toteutus voidaan standardoida hyvin pitkälle. Sovelletujen maastoanalyysien ja resurssianalyysien käyttö on aina tilannesidonnaista ja ainutlaatuista, lisäksi niihin liittyy aina palveluna tekijän kvalitatiivinen tulkinta. Yhdistetyt analyysit toimivat korkealla abstraktiotasolla ja niiden tulkinnaasta vastaa aina ihminen. Myös tässä suhteessa on huomioitava kaavoittumattoman ajattelun ja kokonaan uuden tekemisen välinen suhde: työkalut pitää tuntea ja niiden käyttöä harjoitella, jotta niitä voi käyttää kovassa aika- ja hermopaineessa luovasti. Analyysien sisältöä ja tulkintaa voi ja pitääkin koulutuksessa varioida, mutta käyttäjille on annettava mahdollisuus oppia analyysityökalunsa käyttö, vanhankin. Uusien sovellusten kehittämisessä on opittava toimimaan ihmisten oppimiskyvyn ehdoilla, tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä että kerran opittu pysyy sen jälkeen vakiona. Komponentti- ja palveluajattelu

³ Suuri asiakas voi toki asettaa vaatimuksia laadulle ja esimerkiksi metadatalle.

⁴ Käsitteenä voisi käyttää myös tietämystä, joka tässä tapauksessa sisältää sekä tiedon että osaamisen.

antaa mahdollisuuksia myös siihen, että teknistä kehittämistä voidaan tehdä ilman käyttäjän pakkoa koko ajan opetella uusia teknisiä toimintatapoja. Tietyllä tavalla analyysien laadinnassa ja yhdistämisessä on kyse JOT (just-on-time) lähestymistavasta. Vaikka kokonaisuuden lähtökohta on byrokraattinen, järjestelmässä pitää olla mahdollisuus myös verkkomaiseen ohjaukseen. Analyysitasojen käyttäminen antaa toteuttajille mahdollisuuden varioida omaa osuuttaan ja pitää samalla vakiona sen merkityksen osana isompaa kokonaisuutta.

Lilrank esittää yleistyksenä tietoyhteiskunnan organisaatioiden periaatteena älyn hajauttamisen mahdollisimman lähelle suorittavaa porrasta [Lil99]. Sotilaallisesti tästä käytetään käsitettä asejärjestelmätason integraatio, josta esimerkkinä on taisteluhelikopteri: se pystyy tietyssä mitassa hyvin itsenäiseen toimintaan. Tulevaisuuden sotilasorganisaatio toimii osin tätä valtavirtaa vastaan, koska kokonaistulos syntyy useiden osien yhteisvaikutuksesta ja maalien valinta on epäsuorassa strategiassa oleellinen vaihe, johon suoritusporras ei välttämättä pysty. Verkko mataloittaa johtamisrakennetta, jolloin päätökset voidaan tehdä antamalla resurssien käyttöoikeuksia tilanteen eikä suunnitelmien mukaisesti. Alainen voi vaikuttaa, kunhan analyyseilla tuetulla arvioilla on ensin todettu toimenpiteen olevan tehokas. Yhdysvaltalainen ajattelutapa toimii kahteen suuntaan: suoritusportaalla on mahdollisuus internet-tyyppiseen tietojen hakuun yhteisestä varastosta, samalla jokainen taistelija on ylemmän tason reaaliaikainen sensori. Täsmäaseteknologia toimii ajatuksellisesti siten, että operatiivinen porras määrittää maalialueet, suoritusporras maalittaa, operatiivinen valitsee tehokkaimman resurssin ja ohjaa sen vaikutuksen alueelle sekä lopuksi toinen suoritusporras tuhoaa maalin. Ideaalina on tilanne, jossa operatiivinen porras vain yhdistää verkon maalittavan ja vaikuttavan solmun toisiinsa, ja nämä vastaavat yhdessä toteutuksesta. Jos näin voitaisiin toimia, taistelijaotusta kyetään teoriassa muuttamaan tilanteen ehtoilla ja resurssien käyttö on optimaalista: päätöksenteon ylivoima on yhdistetty toteutustempoon ja reagoitukykyyn.

Maastoanalyyseissa on vastaava ketjuttaminen. Operatiivisella tasolla analyyseilla tuetaan toimintamahdollisuuksien löytämistä ja oikeaa resurssointia. Taktisella tasolla varmistutaan ennen kaikkea siitä, ettei tehdä virheitä ja mahdollistetaan suorittajien toiminta. Koska tehtävät ovat tarkemmin muotoiltuja, analyyseilla voidaan myös yrittää analysoida niiden toteutumista. Suoritustasolla lähinnä pyritään lokaalisti optimoimaan omaa toimintaa analyysituloksia hyödyntäen.

9.2 Paikkatiedon tekniset laatutekijät

Tiedon tuottajan kannalta laadun käsite on usein tekninen aineistovirheiden vähäisyys. Asiakkaan kannalta laadulla on ISO 8402 mukaisesti laajempi perspektiivi tuotteen kykynä täyttää asiakkaan asettamat vaatimukset. Laatua on myös tulostekijä hintalaatusuhteena tai kilpailutekijänä oman ja kilpailijoiden laadun erotuksena. Laadun määrittely riippuu katsantokannasta.

Paikkatietotekniikka on kokenut tietotekniikan kehityksen myötä murroksen. Maastoanalyysien lähtöaineistojen kannalta on yhteiskunnassa tapahtunut muutos, jonka tunnuspiirteinä kerätty paikkatietoaineisto nähdään tietokantaperusteisena infrastruktuurina perinteisen kartografisen lähtödatan rinnalla. Aineistojen tietomallit ovat muutoksessa siirtymisessä kartan valmistuksen näkökulmasta tiedon näkökulmaan, tästä esimerkkinä on NIMAn uusi lähestymistapa. GIS-tekniikoista ja ohjelmistoista alkaa tulla tavanomaisia ja niitä käytetään liitettynä muuhun yleisempään tietotekniikkaan, karttakäyttöliittymät yleistyvät tietokonesovelluksissa. Teknologian rajoitukset kuten levytila alkavat olla vähäisiä. Tuottajalähtöisestä toiminnasta on alettu siirtyä asiakaslähtöisyyteen ja valtioille on tullut paineita siirtää ainakin osa datan hankintakustannuksista käyttäjille veronmaksajien sijaan eli kaupallistaa tietotuotteita. Samalla tietojen tuottamisen monopolisointi on vähentymässä. [vrt. Tay98]

ISO/TC211 standardoinnin lähestymistapa on tekninen. Aineistojen laadun perustekijät on määritelty ISO/CD 15046-13 Quality Principles ja ISO/WD 15046-14 Quality Evaluation Procedures standardeissa. Suomessa Maanmittauslaitoksella on oma osin näihin perustuva laatukäsikirjansa.

Aineiston laatutekijät voidaan jakaa seuraavasti: [ISOTC211] [CEN]

1. Täydellisyys (completeness): ominaisuuksien sekä niiden attribuuttien ja relaatioiden olemassaolo tai puute; tietoa voi olla liikaa (commission) tai sitä voi puuttua (omission)
2. Looginen eheys (Logical consistency): kuvaa tietorakenteen kiinteyttä tietomalliin, ominaisuuksien ja topologian suhteen. Voidaan jakaa edelleen:
 - käsitemallin eheys (conceptual / semantic consistency)
 - arvojen valiliditeetti (domain consistency)
 - formaatin eheys (format consistency)
 - topologinen eheys (topological consistency)
 - geometrinen eheys (geometric consistency)

3. Sijaintitarkkuus (Positional accuracy): kuvaa kohteiden paikantamisen tarkkuutta, joka voidaan jakaa edelleen:

- ulkoiseen (absolute / external accuracy): tarkkuus koordinaattijärjestelmässä
- sisäiseen (relative / internal accuracy): kohteiden keskinäisen sijainnin oikeellisuus
- virhematkaan (standard error of distance)
rasterien sijaintitarkkuuteen (accuracy of pixel position)

4. Ajallinen tarkkuus (temporal accuracy): kuvaa ajallisten relaatioiden ja ominaisuuksien tarkkuutta.

- ajan mittaamisen tarkkuus
- ajallisen mittauksen eheys, mittausjärjestys oikea
- tiedon ajallinen validiteetti
- ajan tasalla pito ja tiedon muuttumisnopeus
- ajallinen heitto; aika, jonka kuluessa muuttunut tieto päivittyy oikeaksi

5. Temaattinen tarkkuus (Thematic accuracy): kuvaa määrällisten tietojen tarkkuutta sekä ei määrällisten ja ominaisuustietojen sekä niiden luokittelun oikeellisuutta ja niiden suhteita kuten todennäköisin väärinluokittelu (likely missclassification) ja oikeinkirjoituksen tarkkuus sekä lyhenteiden oikeellisuus.⁵

Aineiston laatu testataan laatujärjestelmän mukaisesti ja laatutekijät ilmoitetaan käytävien laatustandardien mukaisesti. Valvonnassa pyritään monitasoiseen tarkastukseen tekijä-, alue- ja laitostasoilla. Joitakin tarkastuksia voidaan tehdä koko tietoaineistolle kuten teiden yhdistyvyys, rasteriarvojen väärin arvojen poistaminen tai yhteenlasku referenssiaineiston kanssa. Yleensä tarkastus kuitenkin tehdään otoksesta. Standardeista ISO 2859 ja ISO 3951 määrittävät soveltuvat menetelmät. Tarkastus voidaan tehdä satunnaisesti, osa-satunnaisesti tai alueellisesti ohjatusti riippuen siitä, mitä laatutekijöitä testataan ja kuinka homogeenista aineisto on.

⁵ Jaottelun tulkinta on tehty Antti Jakobssonin Digital Map Datasets kurssin termeillä.

9.3 Laadun dimensiot

9.3.1 Suunnittelu- eli tuotokeskeinen laatu

Lilrankin mukaan tuotokeskeisessä laadussa oletetaan, että toimitteen hyvä suunnittelu riittää korkeaan laatuun: tuotannon tehtävänä on kopioida ja monistaa tuotetta. Lähtökohtana on, että asiakas yksioikaisesti arvostaa toimitteen teknisten ominaisuuksien maksimointia. Lähtöaineistoja ja analyysituloksia arvioidaan ennen kaikkea MITÄ-ominaisuuksien avulla. Palvelutuotteissa rakenneosien olemassaolo ei vielä takaa onnistunutta lopputulosta [Lil99]. Haasteen metamallissa muodostaa tietotuotteiden muuttuminen sitä enemmän palvelutuotteen luontoisiksi, mitä korkeammalle abstraktiotasolle nousee. Koko ketjun laadun hallinta voi muodostua monimutkaiseksi varsinkin, mikäli välituloksia ei tarkastella erikseen.

Tuotokeskeinen laatu korostuu perusanalyyseissa, koska käytettyjen algoritmien ja aineistojen hyvyys korreloi lopputulosten oikeellisuuden kanssa. Suunnittelussa voi pyrkiä koko ajan parempaan tulokseen, koska vasteaikavaatimukset ovat muita tasoja matalampia, aineistojen monimutkaisuutta voi hallitusti kasvattaa ja tuloksia testata ennalta maastossa. Perusanalyyseissa tuotokeskeinen laatu on avaintekijänä. Sovel-letuissa ja resurssianalyyseissa suunnittelulla on vastattava kohonneeseen vasteaikavaatimukseen, joka rajoittaa sekä algoritmien monimutkaisuutta että lähtöaineistojen laajuutta. Tuotteen laatuun vaikuttaa myös käyttäjän toiminta: osa suunnittelusta on käyttäjän opettamista, koska kyse ei ole rutiininomaisesta tuotannosta vaan luovasta ongelmanratkaisusta. Yhdistetyissä analyyseissa käyttäjän rooli on avainasemassa. Tällä tasolla on kyse enemmän palvelun kuin pelkän tuotteen laadusta. Suunnittelun laatu syntyy osana sotilaskoulutusta.

Tuotteiden suorituskyvyn arviointia varten on kehitetty arvoanalyysi, joka tarkastelee jokaisen osan arvoa halutun suorituskyvyn kannalta. Tuotelaadun ongelma on puristaa maksimaalinen suorituskyky erilaisista rakenteista [Lil99]. Analyysikomponenttien ja niiden toteutusratkaisujen arvioinnin kannalta tämäntyyppisen ratkaisun kehittäminen olisi erittäin tarpeellista. Menetelmässä komponenteista voitaisiin käyttää mittareina:

- Vasteaikoja erilaisissa käyttötarkoituksissa.
- Tulosten tarkkuutta suhteessa monimutkaisuuteen ja kustannuksiin.
- Valmiin COTS-toiminnallisuuden osuutta toteutuksessa, koska sen luotettavuutta ja käyttöönoton nopeutta voidaan pitää korkeana.
- Mahdollisuutta käyttää muita, jo valmiita komponentteja.
- Mahdollisuutta turvata ja eristää kriittinen informaatio komponentissa.

Tuotekeskeinen laatu näkemys syntyy tekniikan nopeasta kehitysvauhdista [Lil99]. Jos kyse on taistelun revoluutiosta, osio korostuu nopeasti kehittyvällä alalla. Asiaan voi varautua käyttämällä prototyyppi- ja iteratiivisia kehitysmenetelmiä, joissa voidaan samanaikaisesti kehittää käytettäviä työskentelytapoja. Näin tietotekniikasta tulee toiminnan muutokseen liitettynä kehityksen mullistaja, ei ainoastaan jo totutun tehostaja. Perinteinen vesiputousmalli sopii paremmin vakiintuneisiin, lineaarisiin tilanteisiin.

Lilrank esittää, että tuotekeskeisen laadun keskeinen rajoitus on päätöksenteko siitä, mitä on hyvä suorituskyky tai sen kombinaatio. Tämä asettaa haasteen sotilaallisille johtamisjärjestelmille kokonaisuutena ja paikkatietoanalyysille niiden osana. Vaikka kehittäjinä ovat sotilaat ja insinöörit, varsinaisia käyttäjiä harvoin voidaan todella kuunnella, varsinkin kun usein on kysymys muutoksen tekemisestä. Voidaan perustellusti esittää väite, että rivisotilas myös esikunnassa tai komentajana käyttää sitä sotavaruustusta, joka hänelle on käyttöön annettu ja koulutettu. Näin muutosrytmi ei voi olla kovin suurta, nykyisellä koulutus- ja tehtävävaihtorytmillä ehkä noin viisi vuotta varsinaisten sovellusversioiden välillä. Tänä aikana ehditään tehdä kaksikin iteraatiokierrosta ja ottaa uusi sovellus ehkä käyttöön ensin uudessa esikuntatyypissä, ja vasta sen vakiintumisen jälkeen muuttaa vanhoja tyyppisiä. Tämän tyyppinen kehitys on nähtävissä uuden valmiusprikaatin Pr05:n ja jalkaväkiprikaatin esikuntatyöskentelyn ja tietotekniikan käytön välillä.

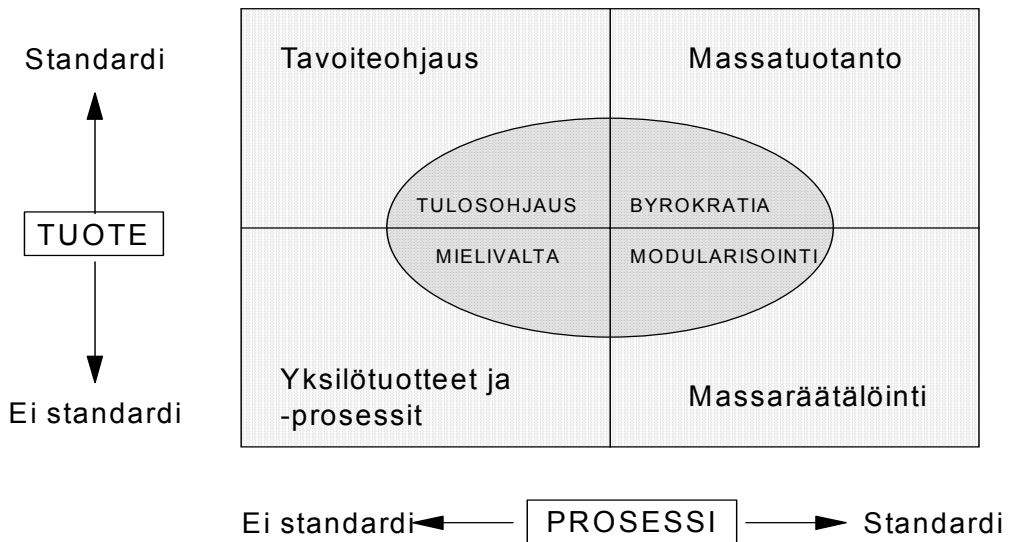
Hankaluuksia kuvatuista menettelyistä aiheutuu ainakin aselajien päätöksenteon tukijärjestelmille, jotka on yleensä tarkoitettu käytettäväksi aselajitiessä kaikissa esikuntatyypeissä: liityntä yleisen järjestelmän vanhempaan ja uudempaan sovellusversioon samanaikaisesti tuottaa lisää työtä. Komponenttiarkkitehtuuri voi antaa tähän vastauksen mahdollistamalla teknisen kehityksen ilman prosessin kokonaisuuden muuttamista. Esikuntien johtamisjärjestelmän rakennetta voidaan muuttaa myös jo vakiintuneilla komponenteilla, toisaalta aselajien erityisanalyysia voidaan integroida kaikkiin esikuntatyyppeihin, jos komponentin tiukasta sidonnaisuudesta johtamisprosessin vaiheeseen luovutaan. Edellytyksenä on yhteismäärittelyn hallitseminen osapuolten kesken, ei vain aselajien yli vaan myös eri johtamisjärjestelmäsukupolvien välillä.

9.3.2 Tuotantokeskeinen laatu

Tuotantokeskeisessä laadussa tarkasteltava ilmiö on virheettömyys ja mittarina on virheiden määrä. Laadun keskeisenä ennako-oletuksena on, että piirustukset ovat olemassa ja menetelmät liittyvät virheiden löytämiseen ja tunnistamiseen. Laadun asianomistaja on tuotannosta vastaava henkilö. [Li199] Maastanalyyseissa virheettömyys kohdistuu prosessiin, joka on pitkälti tietoteknisesti automatisoitu. Mikäli virheitä ilmenee, prosessi yleensä pysähtyy. Virhelähteitä voivat olla väärän lähtöaineiston tai parametrikirjaston käyttäminen ja syyt ovat pääosaltaan inhimillisiä. Laatu pyritään varmistamaan pitkälle viedyllä automatisoinnilla ja käyttäjän toimenpiteiden yksinkertaistamisella. Välineenä voi olla esimerkiksi wizard-tyyppisesti toteutettu prosessi, jossa käyttäjältä kysytään vain välttämätön määrä asioita. Ääritapauksena on yhden napin taakse tehty toiminnallisuus.

Lähtöaineistoissa ja eri välivaiheissa tehdyt virheet siirtyvät hierarkiassa seuraaville tasoille. Samalla menetetään helposti virheiden jäljitettävyys. Tästä syytä tuotteiden laatu pitää varmistaa jokaisessa välivaiheessa erikseen. Merkittävä osa laadusta syntyy jo lähtöaineistoissa. Perusanalyyseissa tuotantokeskeinen laatu voidaan rakentaa teollisuudesta opitulla tavalla työproseduureiksi ja tarkastuksiksi. Tehtävä ei ole helppo ja se vaatii paljon tarkkaavaisuutta, mutta asia osataan ja siihen on löydettävissä puolustusvoimien ulkopuolelta paljon hyödynnettävää. Sovelletuissa ja resurssi-analyyseissa tuotannosta vastaa osaltaan käyttäjä, koska luovalla työllä on suurempi merkitys. Haasteeseen voidaan vastata koulutuksella, tekemällä aineistopäivityksistä rutiinia ja laatimalla erilaisia kontrollimekanismeja. Laatua kutsutaan tässä mielessä sotilaallisesti esikuntatyöskentelyn rutiiniksi ja sillä on selkeä kytkentäpinta johtamisprosessiin. Asia vaatii ajattelutavan muuttamista. Yhdistetyissä analyyseissa tuotantokeskeisellä laadulla on vähiten merkitystä. Ohjelmat ovat helppokäyttöisiä ja asiat seläisellä abstraktiotasolla, että tulkinta on prosessia merkittävämpää.

Standardi on ilmaus parhaasta käytettävissä olevasta tiedosta ja osaamisesta jollakin ajan hetkellä, sen avulla järjestelmän ohjattavuus kasvaa [Li199]. Paikkatietoanalyysien käytölle pitää tehdä päivittyvä standardi. Tässä on kuitenkin oltava varovaisia, koska mallin ylemmillä tasoilla on taattava merkittävä määrä vapautta analyysien toteuttamisessa. Kokonaisuus on muodollisesti jäykkä, mutta sen osissa on suuri määrä vapausasteita.



Kuva: Tuotteen ja prosessien standardointi. [Lil99]

Esitetysssä viitekehyksessä kriisiajan sotilasesikunnan toiminta on massaräätelöinnin luonteista ja heijastuu myös maastoanalyysiin. Toiminnan kehittämisessä on kaksi erilaista ulottuvuutta. Esikunta tai tietty esikuntatyyppi ja sen toimijat ovat parhaita kehittäjiä, kun on kyse toimitteen parantamisesta. Tällä tarkoitetaan maastoanalyysien kannalta sen vapauden käyttämistä, joka sisältyy eri tasojen sisäiseen toteutukseen. Jokainen tuettava tehtävä on ainutlaatuinen, samoin jokainen esikunta. Itse prosessi taas on erillisen kehitystyön tulos, jossa työskentelymenetelmiä ja niitä tukevaa tai jopa ohjaavaa tietotekniikka on kehitetty yhtä aikaa. Kun uusi esikuntatyyppi ja sitä tukeva tietojärjestelmä luodaan, siitä tulee välttämättä tietyllä tapaa jäykkä. Koska maastoanalyysit palvelevat molempia аспектеja, niiden kokonaisuuden suunnittelu on haastava tehtävä. Resurssit vaativat toisaalta pienessä mitassa massatuotantoon sopivia, standardoituja ja yleiskäyttöisiä työkaluja, joilla on pystyttävä tukemaan isoja kokonaisuuksia luomisen vapaus säilyttäen. Valmisohjelmiston laadukkaaksi todetusta, mutta vaikeakäyttöisestä kokonaisuudesta on osattava poimia sellainen työkalupakki, jossa tärkeimmät välineet ovat isompina kokonaisuuksina nopeasti käytettävissä. Samalla kuitenkin säilytetään mahdollisuus improvisoida ei-standardoidusti. Jos kaikki tehdään itse, joudutaan jatkuvaan muutoksen kierteeseen, koska kaikki on standardoitu vain tiettyyn käyttötarkoitukseen ja joustava laajentaminen ei ole mahdollista.

NATOn tyyppinen, hyvin kompleksista järjestelmää johtava esikunta on usein organisoitu amerikkalaisen massatuotannon [Lil99] kulttuurin mukaisesti. Sen ominaisuuksia ovat kurinalaisuus, prosessien standardointi ja yleiset ratkaisut voiman ehdoilla. Myös

maastoanalyysit on valjastettu tähän, niiden tehtävänä on luoda maastosta ja sen päällä taistelukentästä mahdollisimman tarkka visualisaatio, joka mahdollistaa ylivoimaisen voiman käyttämisen. Tämä näkyy muun muassa siten, että analyysija ja visualisointia varten on perustettu oma aselajinsa asiantuntijoihin⁶. Meille luonnollisempi lähestymistapa on pohjoiseurooppalaisen insinööri maailman [Lil99] kulttuuri, jossa pyritään asiakaspohjaiseen räätälöintiin. Asiakkaalla ymmärretään tällöin itse tehtävää ja sitä toteuttavaa komentajaa. Analyysin toteuttajat ymmärtävät kokonaisuuden ja he kykenevät iteroimaan toteutusta siten, että tulos palvelee komentajan päätöksentekoa. Ruotsissa korostetaan vielä enemmän yhteistä toimintaa, asiakas on tällöin koko ryhmä komentajan ohella.

Laatuluudan⁷ [Lil99] kannalta sotilaallisessa päätöksenteossa liikutaan puolivälissä taitteen ja tieteen välillä: tilanteet toistuvat samankaltaisina ja ne ratkaistaan viitteellisellä rutiinilla. Viitteellisyys kohdistuu toiminnan muotoihin, joihin myös maastoanalyysien metamalli ja sen perusteella kehitetyt palvelut perustuvat. Tämä on luonnolliselta kuulostava johtopäätös kun muistaa, että taktiikka jaetaan yleensä kaavoittumattomaan sotataitoon ja laskelmoivaan sotatekniikkaan. Mikäli ajatus hyväksytään, se tarkoittaa Lilrankin [Lil99] mukaan laatupolitiikan painottamista laatu järjestelmää ja laatu kulttuuria enemmän.

9.3.3 Asiakaskeskeinen laatu

Asiakaskeskeisen laadun tarkastelukohteena on ilmiö, joka kuvaa toimitteen soveltuvuutta asiakkaan tarpeisiin. [Lil99]

Lähtöaineistoissa asiakkaat muodostuvat kaikista käyttäjistä, sovelluksista ja tietojärjestelmistä. Aikaisemmin lähtöaineistot on pitkälti hankittu yksittäisten asiakkaiden eli sovellusprojektien tarpeiden mukaisesti pyrkien mahdollisimman suureen tyytyväisyyteen. Tilanne on johtanut päällekkäisyyksiin hankinnoissa ja käytössä, aineistojen konsistenssiongelmiiin eri järjestelmien välillä ja suureen manuaaliseen työmäärään formaattimuunnoksineen ja paloitteluineen. Aineistojen päivittäminen on vaikea hallita. Voi jopa väittää Lilrankia mukaillen, että yksisilmäinen asiakaskeskeisyys on johtamassa ylilaatuun ja laatuominaisuuksien, kustannusten ja työn epäsuhtaan. Kun asiakkaaksi asetetaan koko Puolustusvoimat, tilanne näyttäytyy erilaisena. Koko-

⁶ Yhdysvaltalaiseen tapaan asiantuntijat koulutetaan tukiorganisaatioksi etupäässä opistoupseereista (NCO, Non-Commissioned Officer), joiden tehtävänä on toteuttaa itse analyysit. Upseerit vastaavat sen jälkeen tulkinnasta ja visualisoinnista. Rakenne on pakko standardoida melko pitkälle, koska analyysin tekijällä ei ole iteratiiviseen käyttöön tarvittavia taustatietoja.

⁷ Laatuluuta on Lilrankin tapa kuvata standardoinnin astetta osana laatu kulttuuri: luudan varressa vaihtelu on pieni, mutta kärjen haivenissa vaihtelua on paljon. Luudan rakenteeseen sidotaan mm. laadun ohjaustavat.

naisuuden kannalta on järkevää pyrkiä tilanteeseen, jossa yhdenlaatuinen tieto hankitaan, uudistetaan ja tarkistetaan vain kerran. Vastaava tavoite on myös kansallisen paikkatietoinfrastruktuurin takana. Koska puolustusvoimat muodostuu asiakaskoostuksesta, kyse on yhteisen tarpeen määrittelystä. Asiaa on käsitelty lähtöaineistojen osalta aiemmin luvussa 4 ja analyysien osalta tarvekartoituksessa luvussa 5.

Puolustusvoimille on kertynyt merkittävä tietovarallisuus paikkatiedon osalta. Sen laadun parantamiseksi voitaisiin käyttää seuraavaa lähestymistapaa:

- Lähtökohdaksi otetaan yksittäiset tiedot ja tietomallit aineistojen sijasta.
- Näistä laaditaan kartta, jota verrataan käyttäjien tarpeisiin.
- Tämän jälkeen valitaan perusaineistot, jotka täyttävät mahdollisimman suuren alueen tietomäärästä ja tarpeesta käyttäen valmiita aineistotuotteita hyväksi.
- Perusaineistot tuoteistetaan ja käsketään kaikille kehitystyön perustaksi.

Uuden sovelluksen tarpeita verrataan ensin muodostettuun karttaan. Mikäli tiedot jo omataan, sovellukselle osoitetaan paikkatietotuotteet, joita sen on käytettävä. Mikäli tiedot on saatavilla jostakin paremmin, laadun kohonnutta arvoa arvioidaan sekä kustannustehokkuutta että arvoanalyysia käyttäen vallitsevaan tilanteeseen ja hankinnasta päätetään näillä perusteilla. Mikäli tiedot puuttuvat kokonaan, on hankinnan lisäksi mietittävä, voiko ne lisätä johonkin jo olemassa olevaan tuotteeseen, vai muodostetaanko niistä kokonaan oma tuotensa. Mikäli halutaan miettiä uuden aineiston hankintaa ilman asiakkaan spesifioimaa tarvetta, voidaan esitettyä tapaa soveltaa myös tässä tapauksessa. Oleellinen kysymys on aina, miten uusi tieto parantaa olemassa olevaa tilannetta täydellisyyden, luotettavuuden tai kattavuuden osalta. Yhtenä arvioitavana kohteena voi myös olla, onko tarjotun tuotteen koostumus aiempia parempi, pystyykö se esimerkiksi liittämään syntyneitä rönsyjä yhteen tai tarjoamaan paremman yhdenmukaisuuden⁸ eri aineistojen välillä.

Yhdysvaltojen GII MP esittää tietynlaisen ideaalitalanteen. Sen perustaksi on laadittu yksi laaja, kaikki tiedetyt tarpeet käsittävä tietomalli, jota täydennetään tarvittaessa. Kaikki tiedot talletetaan yhteiseen kantaan, jota päivitetään jatkuvasti ja kukin tarvitsija voi itse käydä hakemassa tarvitsemansa tiedot – kyse on siis tietyllä tavalla metatuotteesta. Ruotsissa samaan ehkä pyritään purkamalla valmiita aineistoja vastaavaan kantaan. Meillä esimerkiksi maastotietokantaa voisi harkita käytettäväksi vastaavalla tavalla.

⁸ Vertaa SLICES, joka on muodostettu useasta eri aineistosta pitäen samalla huolta yhdenmukaisuudesta. Joidenkin aiempien aineistojen korvaamista voitaisiin perustellusti harkita, toisaalta aineiston metsätiedot ovat merkittäviltä osiltaan puutteelliset mutta tiedot voidaan liittää osaksi tuotetta.

Analyysien kohdalla voidaan käyttää vastaavaa menettelyä. Ensin arvioidaan, miten lähelle tarpeet täyttyvät jo käytössä olevilla analyysikomponenteilla. Mikäli kehitystyöhön päätetään ryhtyä, arvioidaan seuraavaksi, täydennetäänkö jotakin komponenttia uudella toiminnallisuudella vai kehitetäänkö kokonaan uusi komponentti. Menettely edellyttää päivitettävää arkkitehtuuria ja komponenttien kuvauskirjastoa.

9.3.4 Systemikeskeinen laatu

Systemi- eli ympäristökeskeisen laadun kehyksenä on asiakasta laajempi ympäristö. Tarkasteltava ilmiö on asiakkaan tarpeen tyydytyksen suhde muiden tahojen tarpeisiin ja laadun tavoite on yhteinen hyvä [Lil99]. Metamallissa asiaa voi käsitellä kahdesta eri näkökulmasta, joissa haitat käsitetään myös negaatioina eli hyötyinä.

Sovellusten välillä yhteismäärittely on yksi tapa hallita yhteisiä etuja. Vaikka se aiheuttaa ensimmäiselle kehittäjälle huomattavan lisärasituksen, se tulee maksettua takaisin kokonaisuuden kannalta parhaimmillaan jo komponentin seuraavan käyttäjän kohdalla. Toisaalta pakko käyttää jo tehtyjä komponentteja näyttää yksittäisen sovelluksen kannalta helposti kahleelta. Tätä saattaa vielä lisätä innostus uuteen tekniseen toteutukseen, jonka käyttö sitten kielletään. Toisaalta sopeutuminen tuo mukanaan kokonaisjärjestelmän tuen kuten testaamisen ja yhteen sovittamisen. Puolustusvoimissa regulaattoreina ovat pääesikunta ja tietotekniikkalaitos, joiden tahto näkyy kehitystä ohjaavissa asiakirjoissa. Näiden arvoa käskyinä lisää noudattamisen kautta kantoitava tuki. Ohjeiden noudattamatta jättäminen lyhyen tähtäimen hyödyn takia johtaa sovelluksen tuen ulkopuolelle ja ennen pitkää vaikeuksiin.

Sääntely asettaa haasteita regulaattorille. Ohjeistuksen tulee joka hetki olla ajan tasalla, koska jos näin ei ole, tekniikan nopea kehitys asettaa kannattavaksi ryhtyä kاپinoimaan. Kun puolustushaarojen ja maanpuolustusalueiden itsenäisyyttä on kasvatettu, ne pyrkivät luonnostaan toteuttamaan saamansa tehtävät mahdollisimman tehokkaasti ja pelkkään käskyn vetoaminen sanktiona osoittaa vanhanaikaista ajattelua. Toisaalta ohjeet on osattava perustella, jotta rikkomista harkitseva osaa ottaa huomioon menettelyn kaikki puolet. Pääosa tehdyistä ratkaisuista on kompromisseja⁹, joiden syyt on kaikkien syytä tietää. Kyse ei ole pelkästään siitä, että modernin esimiehen on aina perusteltava käskynsä, puhumattakaan siitä, että päätöksen järkevyyttä pitäisi koko ajan perusteella. Kyse on enemmänkin siitä, että myös kentällä olisi mahdollista etsiä uusia, parempia tapoja ratkaista yhteiset ongelmat ja esittää niitä

⁹ Vertaa tämänhetkinen päätös käyttää Shape File formaattia vektoritietojen siirtoon. Tämä todettiin pienimmäksi yhteiseksi avoimeksi nimittäjäksi COTS GIS ohjelmien välillä.

käyttöön otettavaksi. Käskyjen ja ohjeiden muuttamiseksi ja arvostelemiseksi on luotava järjestelmä, joka kerää innovaatiot ennalta.

Toisen näkökulman tuo Puolustusvoimien kokonaisuus paikkatietoaineistojen ja sovellusten hankkijana Suomessa. Vaikka ala on voimakkaassa kasvussa, on puolustusvoimat merkittävä toimija markkinoilla ja on myös syytä olettaa sen suhteellisen aseman pienenevän siirryttäessä kohti tulevaisuuden informaatiopainotteista sodankäyntiä. Aineistojen hankinnassa luonteva yhteys on puolustusvoimille syntynyt valtion muiden valtakunnallisten toimijoiden kuten Maanmittauslaitoksen, Merenkulkulaitoksen, Ilmailulaitoksen, Tiehallinnon, tutkimuslaitosten ja Ympäristökeskuksen kanssa. Tässä tuskin tapahtuu merkittävää muutosta, vaikka eräiden yritysten laajatkin tuotteet voittavat tietyissä laatuominaisuuksissa viranomaiset. Kyse on tavallaan myös siitä, että Puolustusvoimien on turha kilpailla valtion muiden toimijoiden kanssa: markkinatoudesta huolimatta päällekkäisyyksien välttäminen on yhteensopivuussyystä taistelun voittamisen kannalta tärkeämpää kuin marginaalinen parannus joissakin yksityiskohdissa. Yleisen edun kannalta on lisäksi merkityksellistä, että Puolustusvoimat on usein yhdensuuntainen tie, jolle tehdyt aineistot eivät yleensä ole muun yhteiskunnan edelleen hyödynnettävissä.

Räätälöityjen aineistojen tuotteistaminen soveltuu sen sijaan huonosti muiden viranomaisten toiminta-ajatukseen. Jos kyse on aineistojen yhdistämisestä, tehtävä sopii hyvin ylläpitöineen alan vakiintuneille yrityksille. Myös osa perusanalyyseista voitaisiin toteuttaa yrityksissä. Toiminnot vaativat pitkäjänteistä kumppanuutta ja yhteistoimintaa eri viranomaisten kesken, asialla on myös kokonaisuuspuolustuksellista merkitystä. Aineistojen ja analyysitulosten testaaminen ja niihin laadittavien referenssiaineistojen tuottaminen on myös mahdollista yrityksissä. Lisäksi uusien tietotarpeiden täyttäminen voi olla perusteltua rajatuilla alueilla myös Puolustusvoimien toimenpitein, mikäli kukaan muu viranomainen ei asiaan tunne mielenkiintoa. Tämän tyyppinen tapaus on kuvattu Salpa-aineistossa luvussa 4. Kohdetietokantojen keräämisessä yrityksiä ei pitäisi käyttää lähtökohtaisesti lainkaan. Kyse on ennen kaikkea salattavuudesta ja luotettavuudesta, useat kerättävät tekijät vaativat sotilaallista arviointia ja sotilaskoulutusta. Lähtökohtana tulisi olla, että tiedot kerätään puolustusvoimien muun toiminnan sivutuotteena.

Analyysikomponenttien ja sovellusten kehittämisessä yksi ratkaistava asia on COTS-tuotteiden valinnan ympäristövaikutukset alan suomalaiseen toimijakenttään. Vaikka avoin arkkitehtuuri periaatteessa mahdollistaa eri ohjelmistojen käytön, kilpailevia tuotteita ei ole yleensä suunniteltu toimimaan samassa tietokoneessa tai sovelluksessa.

Asiaan liittyy myös tietotekniseen tukeen, käyttäjien peruskoulutukseen ja lisenssi-kustannuksiin liittyviä vaikutuksia. Tuotevalinnassa tulisi yhtenä osatekijänä ottaa huomioon tekniikan ja sovelluskehityksen osajien määrä nimenomaan Suomessa. Lisäksi on varmistettava, että tuotteen pääedustaja ei käytä ylivoimaista osaamistaan aseena kilpailussa parhaista sovelluskehitysprojekteista, vaan jakaa tietämystään kaikille kehittäjille. Iteratiivinen kehittäminen ei resurssisyistä mahdollista yhden ja saman alihankkijan käyttämistä, koska toiminnan on oltava nopeaa ja joustavaa kehitystyön aikana. Lisäksi on Puolustusvoimien etu, että avaintekniikan osaaminen leviää mahdollisimman laajalle. Ruotsissa valinnasta on selvitty suhteellisen hyvin, tosin osin resursseja keskittäen, ja sen kokemuksista kannattaa ottaa oppia. Komponenttekehityksessä pätee periaate, jossa osavin ja nopein, usein samalla myös halvin, saa työn. Tämän tyyppinen lähestymistapa vaatii onnistuakseen joko tarkkoja määrittelyjä tai sopeutumista siihen, mitä tekniikkaa tarjoaa lähes valmiina. Näin häiriövaikutukset pysyvät pieninä. Yksi tapa hallita toimintaa on käyttää integraattoreita, jotka hoitavat kilpailuttamisen ja kehitystyön sovelluksen osana useana syklinä.

9.3.5 Tuotteen ja sen laadun hinnan arviointi

Lähtöaineistot muodostavat merkittävän osan maastoanalyysisovelluksen tai -komponentin kustannuksista. Esimerkiksi PionJohlassa viranomaishinnoittelullakin laitteen käyttämien lähtöaineistojen hankinta-arvo ylittää merkittävästi kehitystyön ja käyttöönoton kustannukset laitehankintoihin. Järjestelmän kokonaishinta on ulkopuolisina kuluina laskettavissa, mutta miten hintaa voidaan verrata uuden toimintatavan mahdollistamiseen pioneeritoiminnan johtamisessa? Vai käytetäänkö arvioissa perustana panssarimiinojen käytön tehostumista ja lasketaan säästyneet miinat tuloiksi tai lisätäänkö vastustajan uudet tuhoutuneet panssarivaunut tulevaisuuden optioiksi? Arvion järjestelmän kustannus – hyötysuhteesta ja sen nettoarvosta suhteessa koettuun laatuun pystyy tekemään lähinnä pioneeritarkastaja, joka on tietojärjestelmän omistaja. Sovellus pysyy pioneeritoiminnan segmentissä [Lil99] eli aselajin käyttötarpeen ja ostovoiman rajoissa.

Jos yksittäisen perusanalyysin tuotehintaa arvioidaan sen lähtöaineistojen kautta, päädytään usein suuriin summiin. Toisaalta on huomioitava, että samoja aineistoja käytetään myös muissa analyyseissä ja merkittävä osa aineistoista myös tukee päätöksentekoa sellaisenaan. Maaston perusanalyysit jaetaan kaikille toimijoille ainakin taustakartoiksi, tulisiko ne myös hinnoitella jakelumäärän mukaan? Oleellisempi tekijä laadun kannalta on pyrkiä hahmottamaan analyysisuotteen Kanon käyrä [Lil99], joka

kuvaa eroja pakollisten, lineaarisesti kasvavien ja houkuttelevien laatuominaisuuksien välillä. Kun analyyseilla tuetaan esikunnan kokonaisuutta, pitää jokainen analyysi ensin kehittää pakollisten laatutekijöiden tasolle, jotta yhteistulos on edes mahdollinen. Lähestymistapa puoltaa siirtymistä sovelluskohtaisesta kehittämisestä kohti maastoanalyyseiden hallittua kokonaiskehitystä, tai ainakin näiden osin ristiriitaisten tarkastelutapojen yhteensovittamista. Sovelletuissa ja yhdistetyissä analyyseissa paras hinnan ja tuotteen arviointiperusta on arvoperustainen ohjaus ja vertaaminen sen kokemiin. Kun tekniikan rinnalla kehitetään tasapainoisesti myös toimintatapoja, pitää syntynyt laatu arvottaa kokonaisuuden kautta. Näin absoluuttisen arvioinnin sijasta keskittyäisiin vain siihen, tapahtuuko kehitys oikeaan suuntaan. Tämän tyyppisessä iteroinnissa myös tietotekniikan omaksuminen tapahtuisi luonnollisesti eikä hyppäyksiä. Taistelussa uusi huomattu mahdollisuus voi olla avain voittoon ja yksi huomattamaton haittatekijä tappion siemen.

9.4 Esimerkki analyysin laatutestistä: PionJohlan maaston perusanalyysi (1.taso)

Esimerkki on valittu kuvaamaan yhtä tapaa soveltaa laadun testaamista maastoanalyyseiden tuloksiin. Kohteeksi on valittu luvussa 7.1.2 esitelty PionJohlan maaston perusanalyysi kokonaisuuden muodostamiseksi, joka on ollut teknisesti valmiina vuodesta 2000 lähtien. Analyysituloksia on sen jälkeen jaettu kokeilukäyttöön lähinnä sotakoulujen oppilaille, mutta virallista jakelua Topografikunnan toimesta ei ole toteutettu osin tulosten laadun mittaamisen keskeneräisyyden vuoksi. Kun koko tietojärjestelmä valmistuu vuoden 2002 aikana, aiotaan jakelu toteuttaa. Tilastollisten analyysitulosten sallavuusluokaksi on määritetty viranomaiskäyttö. Tärkeä osa analyysitulosten laadun määrittämisestä ovat kenttäkokeet, jotka suunniteltiin geologi Rami Immosen kanssa keväällä 2001. Tavoitteena oli kehittää menetelmä, joka antaa alustavan arvion analyysitulosten laadusta. Keväällä 2002 tapahtuneiden mittausten jälkeen lopullinen vastuu tulosten laadun tarkkailusta on tarkoitus siirtää Topografikunnalle osaksi aineistotutkimusta. Tämän lisäksi toteutetaan vuonna 2002 MATINENin puitteissa tutkimus Map Overlay -tyyppisen analyysin virhetekijöistä käyttäen PionJohlan kulkukelpoisuusanalyysia esimerkkinä. Osa arviointia on myös yli sadan jaetun aineistopakettin antama käyttäjäpalaute, joka kootaan erikseen.

Vuoden 2001 kenttäkokeen tavoitteena oli testata reaaliaikaisen maaston perusanalyysin toteutettavuutta, arvioida maaston perusanalyysin ja sovelletun maastoanalyyseiden tulosten luotettavuutta sekä kartoittaa keskeisimmät virhetekijät, verrata reaaliaikaisen ja tilastollisen perusanalyysin tuloksia ja arvioida reaaliaikaisen tuloksen merki-

tystä sekä kehittää menetelmä laajempien kenttäkokeiden toteuttamiseksi. Reaaliaikaisen maastoanalyysin toteutettavuus testattiin tilaamalla Suomen Ympäristökeskuksesta testausajankohtaa koskevat roudan, lumen ja jään mittaushavainnot, joista generoitiin interpoloimalla analyysissä käytettävät tasot ja toteutettiin analyysit näiden avulla. Kokeilu rajoitettiin resurssisyydestä vain Keuruun ympäristöön. Rajoitetusta aineistosta huolimatta reaaliaikaiset aineistot saatiin generoitua ja perusanalyysin päivitettävyyden todettiin tietoteknisesti ja hallinnollisesti yksinkertaiseksi ja suoraviivaiseksi. Tulosten luotettavuutta arvioitiin kohdennettuna otantana siten, että alueelta valittiin kaksi laajempaa, noin neljän neliökilometrin koealuetta, joiden tiedot tarkistettiin perusteellisemmin. Koealueiden valinnassa painotettiin paikkoja, joissa sotilaallinen toiminta olisi maastotekijät huomioiden todennäköistä, toisin sanoen ne olisivat olleet puolustus- ja hyökkäystaisteluille otollisia. Lisäksi määritettiin satunnaisesti kuusi yksittäistä jään ja roudan mittauspistettä. Jokaisesta pisteestä saatuja mittaushavaintoja verrattiin lähtöaineistoihin ja arvioitiin kulkukelpoisuusanalyysin oikeellisuus kokemuseräisen tiedon avulla.

Vuoden 2001 alustavien havaintojen perusteella todettiin, että:

- Interpoloidut reaaliaikaiset routatiedot vastasivat kohtuullisella tarkkuudella mitattuja, poikkeamat olivat noin 15% luokkaa. Mahdollisena systemaattisena virhetehtijänä oli metsän analyysistä poikkeava määrittely Ympäristökeskuksen referenssipisteissä: havaintojen mukaan routa näyttäisi olevan interpoloitua vahvempaa isossa metsässä, poikkeaman todennäköisenä syynä on ilmeisesti lumipeitteen ohuus. Virhe voidaan korjata analyysissä käyttämällä peittävässä metsässä vakioitua korjauskerrointa.
- Lumitiedot ja niiden käsittely vaativat tarkentamista. Lumi oli selkeästi syvempää aukeilla ja tulokset poikkesivat oleellisesti interpoloiduista. Virheen esiintymistäpa antaa olettaa, että joko interpoloinnissa tapahtuu systemaattinen virhe tai todennäköisemmin lumen syvyyden määrittely koeasemilla poikkeaa analyysissä käytetystä. Metsässä arvot vastasivat mittauksia muualla paitsi hyvin peitteisillä alueilla. Maaliskuun alkupuolella lumipeitteen lokaali vaihtelu oli kohtuullisen pientä.
- Metsätietojen oikeellisuus oli ennako-oletusten vastaisesti myös pituuden osalta kohtuullisen hyvää luokkaa, samoin reaaliaikaisuus. Suurin systemaattinen virhetehtijä vaikutti olevan aukearaja-arvon 53 m³ / ha läheisyys, koska kyseinen arvoaraja vaikuttaa oleellisesti analyysissä. Aineistoja arvioitiin vain kulkukelpoisuuden osalta. Latvuspeittoa todettiin parametrina tarvittavan ainakin aukeiden lumimäärän määrittelyssä.

- Jäätiedot olivat aineistoissa riittävän luotettavia sotilaalliseen käyttöön osana tilanteen arviointia ja toiminnan suunnittelua. Jäällä liikuttaessa toteutetaan muutenkin aina erilliset mittaukset.
- Käytetty kaltevuusaineisto on liian tasa-arvoistavaa eikä maaston todellista estevaikutusta saada pientopografiasta esiin. Aineistoa pitää yrittää seuraavassa vaiheessa parantaa joko 10 m rasterikokoa käyttäen tai tarkentamalla käytettyä kaltevuusalgoritmiä. Myös maastotietokannan jyrkänne- ja leikkaustietojen käyttäminen erillisenä prosessina osana kaltevuuden määrittelyä vaikuttaisi tehokkaalta tavalta parantaa analyysien tuloksia. Merkitystä arvioitaessa on muistettava, että sotilaallisesti tärkeimmät alueet sijoittuvat yleensä tiestön ja muiden tekemuotojen läheisyyteen, joissa pientopografian vaihtelu on merkittävää.

Kokonaisuudessaan todettiin sekä aineiston että analyysitulosten luotettavuuden olevan tasolla, jolla laajempi koekäyttö voidaan aloittaa. Sovellettua analyysia ei vuonna 2001 kyetty testaamaan lainkaan, koska Pioneeritoiminnan Johtamislaite ei vielä toiminut analyysien osalta luotettavasti. Reaaliaikaiset tulokset poikkeavat merkittävästi tilastollisista arvoista, suurin poikkeama oli routatekijässä.

Kenttätutkimusta jatkettiin huhtikuun alussa 2002 siten, että mittaukset tehtiin neljällä eri alueella: Kouvolan (Karjalan prikaati), Säskylän (Porin prikaati), Kajaanin (Kainuun prikaati) ympäristöissä sekä laajemmalla alueella Lapin alueella. Jokaisella alueella tavoitteena oli noin 50 havaintopistettä. Tavoitteena on saada alustava arvio analyysitulosten luotettavuuden mahdollisesta vaihtelusta maan eri osissa sekä kokeilla varusmiehistä muodostettujen ja koulutettujen pioneeritiedustelupartioiden käyttöä tietojen kerääjinä, jolloin on mahdollista arvioida myös mahdollisuuksia aluekorjausten käytölle kriisin aikana. Mittausajankohta valittiin siten, että se oli tilastollisesti määritetyn "talven" ja "kevään" vaihtumiskohdassa¹⁰. Näin pyrittiin tilanteeseen, jossa muutoksia ympäristötekijöissä on jo alkanut tapahtua, siis tietyn tyyppinen worst case skenaario. Mittausta varten partioilla oli käytössä piikki roudan paksuuden ja maalajien määrittämiseksi, jäänpaksuusmitta, GPS-paikannin, mittavaijeri ja digitaalikamera jälkiarvioinnin mahdollistavien kuvien ottamiseksi. Puiden pituuden arviointiin todettiin tarvittavan vielä kehitystyötä kenttäkelpoisen menetelmän aikaansaamiseksi nykyisen mittaustarkkuuden jäädessä noin 10..20% tasolle¹¹. Partioiden kouluttaminen vei aikaa noin kolme tuntia, jota voidaan pitää realistisena pioneeritiedustelukoulutusta ajatellen.

¹⁰ Analyysissa käsitteet "talvi" ja "kevät" on määritelty kullekin alueelle eri pituisina, joten kalenteriin sitoen yhtenäistä vaihtumisaikaa ei ole olemassa.

¹¹ Tässä on huomattava, että tarkkuus riittää lähtöaineistojen karkeiden virheiden kuten vääralajisuuden tai kuutiomäärästä tapahtuneen vääran tulkinnan paljastamiseen. Tässä suhteessa mittaustapaa voidaan pitää luotettavana.

Varusmiesten arviointikyky ei koulutussyistä kuitenkaan riitä analyysituloksen oikeellisuuden luotettavaan arviointiin varsinkaan sovellettujen analyysien osalta, joten se on tehtävä jälkikäteen kuvien perusteella. Analyyseja varten on kehitetty tulosten luokittelua vastaava seitsemänportainen arviointiasteikko neljälle eri ajoneuvotyypille ja neljälle linnoitettavuustekijälle.

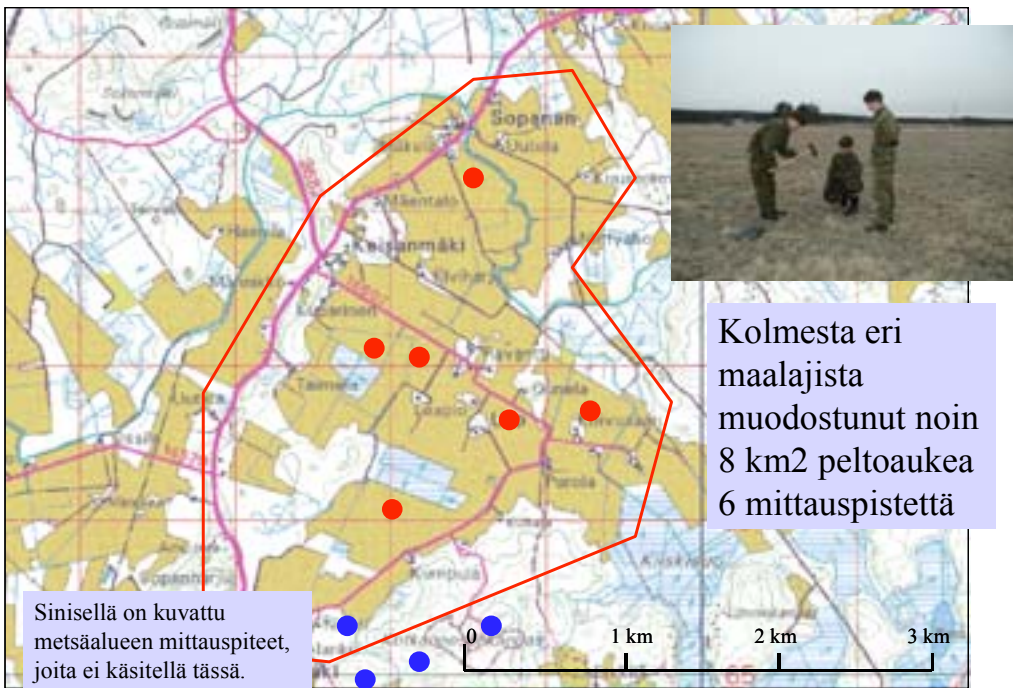
Maastosta mitattiin koordinaattien lisäksi kymmentä päätekijää: luokittelua, maaperää, lumen ja roudan paksuutta, kaltevuutta, puuston laatua, halkaisijaa, pituutta ja keskietäisyyttä sekä tiettyjä erityistekijöitä. Pisteet valittiin kuvioista, joiden koko oli vähintään 50 m x 50 m. Yhden alueen tietojen luotettava määrittely kolmesta lokaalista pisteestä¹² vei kolmimiehiseltä partiolta aikaa harjaantumisen jälkeen noin 20 minuuttia. Pellolla, jossa mitattavia parametreja on vähemmän, aikaa kului noin 10 minuuttia. Jäästä määritettiin paksuus, laatu, lumen määrä ja veden syvyys. Mittaustapa mahdollistaa pataljoonan hyökkäysalueen maastoon liittyvän pioneeritiedusteluun toteutuksen kaksipartioisella ryhmällä muutamassa tunnissa, johon on lisättävä aika erikoiskohteista kuten ylimenopaikoista. Tiedustelu on mahdollista myös pimeällä, roudan mittaamista on nykyisellä menetelmällä mahdotonta toteuttaa hiljaisesti. Aluekorjauksen vaatimat tiedot voidaan prikaatitasolla määrittää kohtuullisen suuriltakin alueita muutamassa vuorokaudessa, mikäli tiedustelu suunnitellaan hyvin.

Alueiden valinnassa käytettiin edellisvuoden tapaan kohdeotantaa, johon lisättiin sotilaallisten perusteiden lisäksi vaatimus maaperä-, kaltevuus- ja metsäaineistojen riittävästä lokaalista varianssista. Näin pystyttiin arvioimaan myös aineistoihin liittyvän tulokinnan spatiaalista virhettä. Seuraavassa on kuvattu esimerkkinä yhden kohdealueen tiedustelun toteutus.

Kohdealue on noin 8 km² aukea, joka on osa mekanisoidun rykmentin hyökkäykselle soveliaista aukeaketjua¹³. Mittauksia tehtiin kuuden pisteen ympäristössä, jotka oli valittu eri maalajityypeistä ja eri osista tarkastelualueelta. Kokonaisuudessaan tiedustelu vei partiolta aikaa noin puolitoista tuntia siirtymisineen. Tarkasteluajankohtana peltojen todettiin mittauksien perusteella olevan maaperätyypistä riippumatta sopivia telaita jopa pyöräajoneuvojen käytölle.

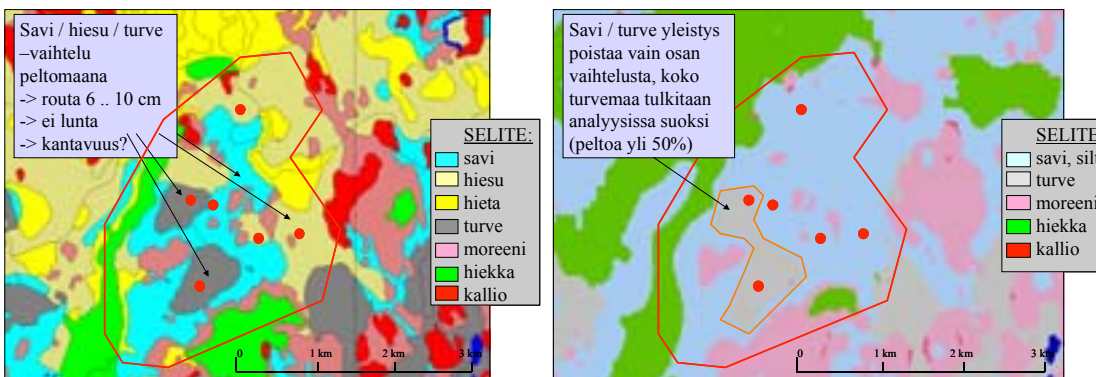
¹² Kolmen pisteen käytöllä eri tekijöiden mittaamisessa pyrittiin satunnaisten virhetekijöiden karsimiseen. Tämän lisäksi on huomattava, että partio pyrki jo lähtökohtaisesti valitsemaan edustavat pisteet oman arvionsa perusteella.

¹³ Kuvattu kohde kuului Pioneerikoulun vanhaan koulutukselliseen kehukseen, jossa hyökkäyssuunta oli pohjoisesta. Arvio ei siis liity mihinkään operatiiviseen suunnitelmaan vaan se on pelkästään mahdollisuuksia kuvaava.



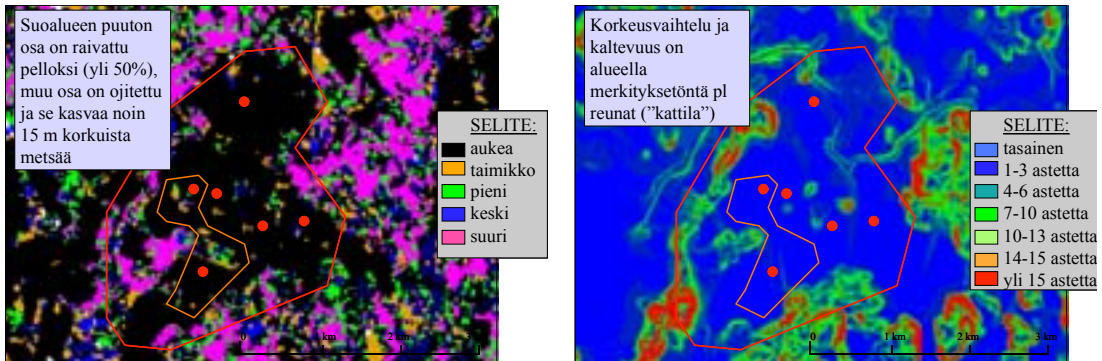
Kuva: Esimerkkialue 1:50k taktisella kartalla kuvattuna.

Kulkukelpoisuusanalyysin lähtökohtana on maaperätieto, josta johdettuun peruskulkukelpoisuuteen muut tekijät vaikuttavat heikentävien ja parantavien kertoimien kautta. Kuvatulta alueelta oli käytössä sekä 1:20k vektorimuotoinen maaperäkartta että sotilaallisesti luokiteltu maaperäkarttayhdistelmä, joka perustuu 1:100k rasterimuotoiseen maaperäkartaan. Jäljempänä esitetty analyysitulokset huomioi vain jälkimmäisen, mutta jatkossa analyysi toteutetaan edellisen aineiston perusteella.



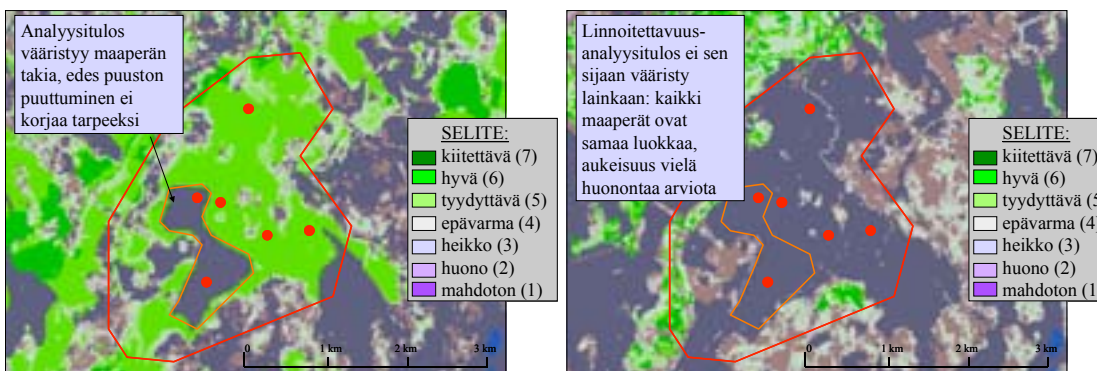
Kuva: Maaperätieto esimerkkialueelta 1:20k (V) ja 1:100k (R) aineistojen perusteella. Pellot koostuvat kolmesta eri maaperätyypistä. Huomaa suopellon osuus turvemaasta.

Analyysitulokseen vaikuttavat seuraavaksi puusto ja kaltevuus. Maankäyttö- ja puustotulkinnassa erottuu selvästi koko alueen aukeisuus ja kaltevuusaineistossa tasaisuus. Tekijät eivät tässä tapauksessa käytännössä vaikuta analyysitulokseen.



Kuva: Puuston määrä (vas.) ja kaltevuuden jakautuminen (oik.).

Kun analyysit toteutettiin tilastollisilla aineistoilla, huomattiin systemaattinen virhe turvemaalajin käyttäytymisessä pelloilla. Tämä aiheutti kulkukelpoisuusanalyysin tuloksen vääristymisen siten, että hyvän alueen absoluuttinen koko kutistui noin kolmanneksella. Merkityksellisempää kuitenkin oli, että alue näyttää aukean osalta katkeavan turvemaan vaikutuksesta, jolloin päättäjälle syntyy mielikuva hyökkäykselle edullisimman alueen sijoittumisesta länsipuolelle. Resurssianalyysissa alueen sulkemiseen tarvittava miinamäärä olisi vähentynyt noin neljänneksellä. Linnoittamisanalyysin tulokseen virheellä ei ole mitään vaikutusta.



Kuva: Kulkukelpoisuusanalyysi (vas.) ja linnoitettavuusanalyysin (oik.) tulokset.

Kun analyysituloksia vertaa 1:50k taktisen kartan avulla tehtyyn arviointiin, niiden voidaan todeta olevan esitettyä systemaattista virhettä lukuun ottamatta samanlaisia. Päättäjälle syntyy selkeä mielikuva sekä alueen muodosta että sen koosta suhteessa

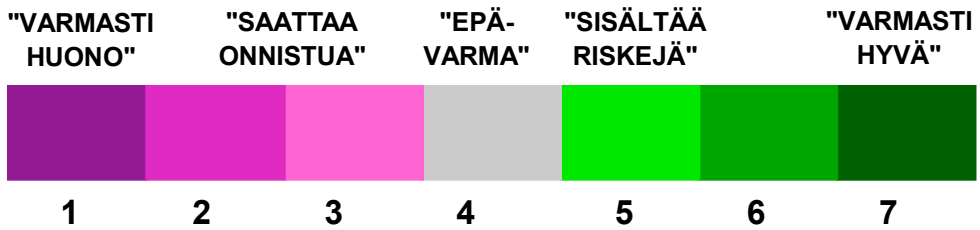
käytettäviin joukkoihin. Panssarintorjunnan ryhmittämiselle soveltuva alue kuvan alareunassa nousee taktista karttaa selkeästi paremmin esiin linnoitettavuusanalyysin tuloksessa. Mikäli esitetyt kaksi analyysitulosta haluttaisiin yhdistää kuvaamaan edullisia puolustusalueita, joissa linnoitettavuus on hyvää mutta kulkukelpoisuus heikkoa, alue nousisi vielä paremmin esiin. Vastaavia analyysituloksia on jaettu kokeilukäyttöön lähes sadalle ammattisotilaalle ja pääpiirteinen vastaavuus on todettu usealta taholta, yhtään havaintoa oleellisista poikkeamista ei ole raportoitu. Kuvattua systemaattista virhettä ei ole raportoitu, joka saattaa johtua sen vaikutusten pienestä mittakaavasta ja sirpaleisesta jakautumisesta verrattuna analyysien käyttöalueisiin. Virhe on kuitenkin niin merkittävä, että se on korjattava jatkossa.

Esimerkkitapauksessa voidaan arvioida ympäristötekijöillä olevan suuri merkitys kulkukelpoisuuden määrittelyssä. Turvepeltojen kantavuus on todennäköisesti eniten riippuvainen kosteudesta ja roudasta, myös siltti- ja hiesupelloilla tekijän vaikutus on huomattava. Mikäli analyysi olisi tehty noin kuukautta myöhemmin, voi arvioida kulkukelpoisen esimerkkiaukean kutistuvan alle puoleen nyt esitetystä. Tekijä voidaan ottaa huomioon pienillä muutoksilla analyysialgoritmiin ja päivitys voidaan toteuttaa myös kenttämittauksilla aluekorjausta käyttäen.

Tiedustelua käytettiin hyväksi myös Map Overlay -tutkimuksen perusteiden suunnittelussa ja tutkijan johdattelussa asiakkaan käsitykseen laadusta. Näiltä osin päädyttiin seuraaviin arvioihin:

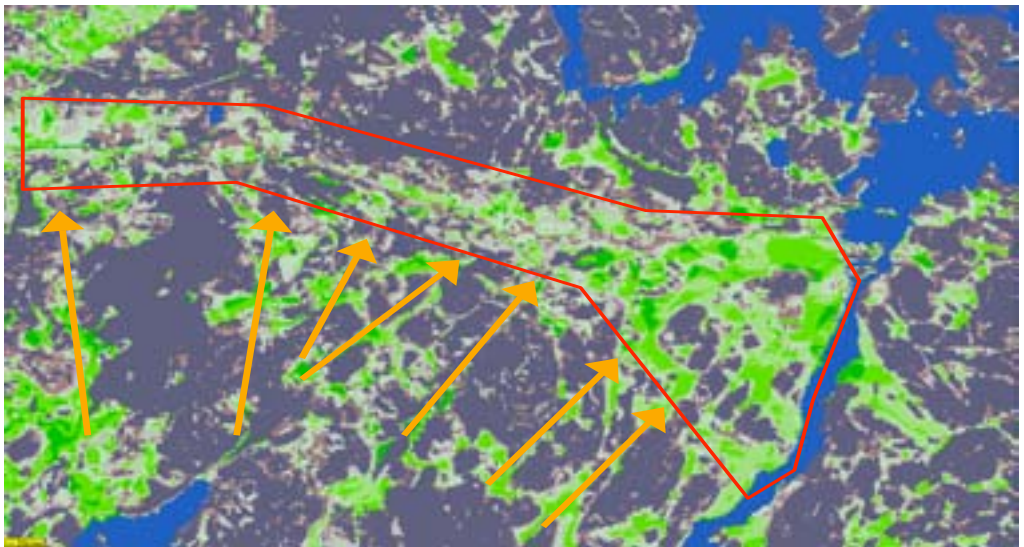
- Perusanalyysisovellukseen jo sisään rakennettua ominaisuutta painottaa uudelleen käytettävien lähtöaineistojen vaikutusta voidaan käyttää herkkyysanalyysin tekemiseen ja merkittävimpien tekijöiden kartoittamiseen.
- Kun aineistojen yleiset virhetekijät on havaittu, niiden vaikutuksia voidaan tutkia simuloimalla generoimalla vastaavia virheitä lähtöaineistoihin, toteuttamalla analyysit ja vertaamalla niitä alkuperäisiin. Tulokset pitää tulkita sekä määrällisinä että laadullisina, jotta kokonaisvaikutukset koko prosessin laatuun voidaan arvioida.
- Rinnakkaisena menetelmänä voidaan käyttää tapaa, jossa analyysialgoritmi mallinetaan siten, että virheiden vaikutus kyetään arvioimaan absoluuttisina. Näin voidaan löytää erityisen virheherkät tilanteet ja käyttää niitä algoritmin parantamiseen. Mallin osana on tärkeää tutkia myös lähtöaineistoissa esiintyvien tekijöiden keskinäisiä korrelaatioita, jotta "mahdottomilta" virheyhdistelmiltä vältytään.

Oleellinen huomioitava tekijä laadun määrittelyssä ja virheiden korjaamisessa on tulosten käyttötarkoituksen ymmärtäminen. Näkökulma analyysituloksiin muuttuu siirryttäessä taktiselta tasolta operatiiviselle. Käytetty seitsenportainen asteikko on jo sinällään tuloksen laatua kuvaava jakauma.



Kuva: Laatonäkökulma käytettyyn luokitteluun.

Nykyinen analyysimenetelmä painottaa helposti epäedullisuutta, se on tavallaan pessimistinen arvio maaston vaikutuksista toimintaan. Varmuuden näkökulma aiheuttaa sen, että mahdollisuudet nousevat heikommin esiin, jolloin operatiiviselle suunnittelulle voidaan päätyä asettamaan liian tiukkoja reunaehtoja tai jättämään teknisesti heikompi tasoisia mutta taktisesti vahvoja mahdollisuuksia huomiotta.



Kuva: Esimerkki tilanteesta, jossa liika painotus epäedullisiin tekijöihin aiheuttaisi merkittävän virheen. Vastustajan hyökkäysalue länsi - itä suunnassa on rajattu punaisella ja omat sivustahyökkäysmahdollisuudet kuvattu oransseilla nuolilla. Jos analyysia painotetaan epäedullisuudella, jäävät hyökkäyskäytävät näkymättömiin jo perusanalyysissa ja ne eivät voi nousta esiin sovelletussa analyysissa. Kuvassa näkyy ajattelun skaalaero: vastustajan joukko on massamainen, oma joukko tehtävaktiikan mahdollistamana ja maaston käyttöä painottavana hienojakoisempi.

Toinen houkutteleva tapa parantaa yksittäisten luokkien luotettavuutta on suurentaa keskellä olevaa epävarmaa harmaata aluetta. mutta tämä on vastoin analyysien alkuperäistä käyttöajatusta eli rajoitusten ja mahdollisuuksien osoittamista. Tavoite on pitää keskimmäisen luokka mahdollisimman pienenä, jolloin siinä esitetään lähinnä

normaalista aidosti poikkeavia tilanteita, joita algoritmin mallissa ei ole huomioitu.

Mikäli laatumallin peruslähtökohdaksi hyväksytään esitetty kolmijako suotuisaan, epäsuotuisaan ja epävarmaan, kyetään asteikon tihentämistä käyttämään laadun ja riskin osoittamiseen. Tilanteeseen sitoen suotuisiksi arvioidut alueet voidaan ensin varmentaa ihmisen tekemällä perinteisellä karttatulkinnalla ja sen jälkeen vielä kohdennetulla maastontiedustelulla, jolloin analyysissa osoitetuista epävarmoista alueista voidaan valita tilanteeseen sopivin. Tästä syystä tuloksissa voidaan sallia kohtuullisen paljon virheitä, mikäli niiden olemassaolon perusteena on oikeiden oljenkorsien löytäminen. Laadulle ja virheille on vaikeaa muodostaa absoluuttista mittaria, mikäli tavoitteena on nimenomaan tietoylivoiman hyödyntäminen.

9.5 Laadun ohjausjärjestelmä

Laadun ohjausjärjestelmä on osa Puolustusvoimien paikkatietostrategiaa, jossa tulee vastuiden lisäksi ottaa selkeä kanta laadukkaan yhteisen kokonaisuuden muodostamiseen. Ohjausjärjestelmän perusteena on tieto tavoitteista eli niistä ominaisuuksista, joka tekee toimitteen hyväksi tai huonoksi [Lil99]. Analyysien metamallissa tavoitteen sanelee mahdollisimman hyvä kyky tukea kriisiajan tilanteen arviointia, päätöksentekoa ja suunnittelua osana digitaalista taistelukenttää. Tässä viitekehyksessä rauhan ajan pienet epäjohtonmukaisuudet, turhan tuntuinen byrokratia tai kehitystyön näennäinen hitaus ovat sekundäärisiä haittoja niin kauan kun kehitysvauhti pysyy ajan tasalla. Tavoitteet pitää asettaa kokonaisuuden kannalta, metamallissa siis yhdistetyistä analyyseistä lähtien. Toinen keskeinen tekijä on tieto nykytilasta ja sen suhteesta tavoitetilaan [Lil99]. Koska kehitys on nopeaa, paikalleen jääminen tarkoittaa nopeaa kulkemista taaksepäin ja erityisen vaaralliseksi asian tekee, mikäli käynnissä taistelun kannalta todella on revoluutio. Nykytilan kartoittaminen onkin paikkatietostrategian ensimmäinen tehtävä. Vaikka menneisyys näyttää nykytietämyksellä usein sisältävän lähes pelkkiä virheitä, hedelmällistä on keskittyä siihen, minkä varaan voidaan laadukkaasti rakentaa. Vähimmäistasollakin tämä tarkoittaa jo paljon. Ensimmäinen kierros monoliittisia johtamisjärjestelmiä karttakäyttöliittymineen on nyt käytössä. Vaikka sovelluksilla itsellään on rajallinen käyttöikä ja niiden käytössä on tiettyjä ongelmia, ovat työtavat jo ehtineet kehittyä tietotekniikan kanssa. Maastoanalyysien osalla tämä ei aselajikattavuuden osalta pidä vielä täysin paikkaansa. Jää on kuitenkin murrettu ja matka kohti uutta toimintatapaa on aloitettu. Vaikka lähtöaineistot on pääosin hankittu kartantuotannon tai yksittäisten sovellusten lähtökohdista, niistä on samalla muodostunut vahva perusta hallitulle tuotteistamiselle. Lisäksi järjestelmät aineistojen käsitte-

lyä ja jakelua varten on saatu perustasolla kuntoon ja henkilöstö koulutettua numeeristen aineistojen hallintaan. Kehitys, joka vie tyhjästä aloitettuna ehkä vuosikymmenen. Aineistoperusta on pian olemassa.

Vaikka jo valmiina olevat maastoanalyysit ovat suhteellisen yksinkertaisia, niitä ei ole kehitetty komponenteiksi ja niiden COTS- tai GOTS-perusta on heterogeeninen, ovat ainakin analyysien logiikka ja suhde aineistoihin käyttökelpoista myös tulevaisuudessa, koska kuvattavat ilmiöt tuskin muuttuvat oleellisesti ajan mukana. Lisäksi siirtyminen yhteiseen tiedonvaihtomaattiin helpottaa yhteensovittamista ainakin teknisellä tasolla, jolloin osa yhdistetyistä analyyseistä voitaisiin jo nyt toteuttaa ainakin visuaalisen tulkinnan avulla. Huomion arvoista on paikkatietojärjestelmien käytön laajuus sekä käyttäjiltään että käyttötavoiltaan alkaen käsitetokoneista ja päätyen tehotyöasemiin, kattaen kaikki puolustushaarat ja lähes kaikki aselajit.

Kolmas päätekijä on tieto menetelmistä [Li199]. Vaikka Puolustusvoimien laatutoiminta onkin jo muilla alueilla vakiintunutta ja järjestelmällistä, tällä alueella ollaan kokonaisuuden kannalta vasta alussa. Voidaan toki väittää, että menetelmien puute on mahdollistanut innovatiivisen kehityksen, mutta kovin pitkälle ei tähän suuntaan kannata enää jatkaa. Menetelmistä painottuvat lähtöaineistojen osalla tuotanto- ja kokonaisasiakaskeskeiset tekijät. Tuotelaatu on myös tärkeä, mutta suuressa mitassa Puolustusvoimat on aineistoissa muiden toimijoiden asiakas. Alueella on mahdollisuus soveltaa muualla jo vakiintuneita käytäntöjä ja työ on Topografikunnassa jo aloitettu, muutos karttatalosta paikkatietokeskukseksi vaatii paljon työtä myös laadun saralla.

Perusanalyyseissa korostuvat tuotelaatuun liittyvät tekijät. Tällä tasolla syntyy merkittävä lisäarvo lähtöaineistoihin. Koska analyysien tulokset on mahdollista optimoida juuri meidän olosuhteisiimme ja meidän lähtöaineistoillemme, merkittävä osa paikkatietoylivoiman sotilaallisesta perustasta rakennetaan tässä vaiheessa. Perusanalyysin hajautettua kehittämistä puoltaa se, että paras tietämys ja testaamismahdollisuus kuvattavan ilmiön luonteesta on aselajikouluilla. Toisaalta pätevät tilastolliset testausmenetelmät ja hyväksymiskäytäntö sekä analyysien tuottaminen kannattanee resursisyydestä keskittää yhteen paikkaan. Luonnollista olisi myös kehitystuen järjestäminen vastaavalla tavalla.

Sovelletuissa ja resurssianalyyseissa tuotekeskeinen laatu siirtyy kohti palvelun laatua. Kyse ei ole pelkästään tekniikasta ja sen käytön tehostamisesta, vaan sotilaskäyttäjän ja maastoanalyysin vuorovaikutuksesta ja iteratiivisesta käytöstä. Yhdistetyissä analyyseissa painopiste on jo selvästi ihmisen kouluttamisen puolella. Tämä asettaa suuren haasteen upseerien koulutusjärjestelmälle, asiantuntijoilla tarpeeseen ei meillä

voida Yhdysvaltojen tavoin vastata. Tulevaisuudessa tietokoneen käytön pitää olla rynnäkkökiväärin käytön tasolla, samoin järjestelmien luotettavuuden ja helppokäyttöisyyden. Kriisissä toimivan sotilaan paikkatietojärjestelmän käyttö on mahdollisimman kaukana GIS-ammattilaisista, sotilasta varten on käytännössä aina tehtävä yksinkertaistettu, standardoitu ja intuitiivista käyttötapaa tukeva sovellus, jossa oikea GIS-ohjelmisto on upotettu mahdollisimman syväälle. Toivottavasti internetin ja mobiilin paikannuksen nopea kehitys tavallisten käyttäjien suuntaan tukee käytettävyyden helpoutta.

Esitetty ohjausmekanismi on lähtökohdiltaan paljolti keskitettyyn normiohjaukseen perustuva. Tämä ei kuitenkaan saa tarkoittaa ideoiden keskittämistä, vaan perustan ja kehitystuen keskittämistä ideoiden tukemiseksi. Puolustusvoimien sodan tekemisen perinteenä ei ole byrokratia vaan yhdessä ymmärrettyihin tehtäviin perustuva hajautettu taktiikka. Uuden tekniikan ja toimintatavan kynnyksellä tätä pitäisi tukea myös rauhan aikana, mutta kun tukevia tuliyksiköjä sekä aineistoissa että kehittämisessä on vain muutama, on jokaisen hyökkääjän maltettava odottaa omaa vuoroaan. Sovelluissa, resurssi- ja erityisesti yhdistetyissä analyyseissä tiukka normitus ei sen sijaan ole perusteltua. Niin kauan kun ihminen pystyy intuitiivisesti tarkistamaan analyysien perustan oikeellisuuden ja johdonmukaisuuden, on varaa antaa innovaatioiden elää. Vaikka esikuntarutiini vaatiikin analyysien toteuttamista tietyllä kiivaalla rytmillä, on parhaan toteutustavan hakemisessa sallittava myös kokeiluja ja uutta soveltamista. Tässä suhteessa hajautettu ohjausmalli yhdistettynä sellaiseen hajautettuun asiakasohjaukseen, jossa jokainen komentaja ja hänen kauttaan tehtävän toteuttaminen on asiakkaana, tuottanee parhaan tuloksen kaavoihin sidottuun suurvalta-armeijaan verrattuna.

Paikkatietojen ja –analyysien laatustrategiaa voidaan tarkastella kokonaisvaltaisen laatujohtamisen (TQM, Total Quality Management) doktriinin kautta. Lilrank [Lil99]¹⁴ tiivistää perusolettamukset seuraavasti:

Olettamukset laadusta: Huonon laadun kustannukset ovat merkittäviä, halvinta on tehdä kerralla oikein. Sotilastehtävissä tähän ei ole edes mahdollisuutta, koska kaikki tehtävät ovat ainutlaatuisia ja epäonnistumisen seuraamukset vakavia.

Olettamukset asiakkaista: Tyytyväinen asiakas on laadun kriteeri. Maastoanalyysien kannalta asiakkaita ovat tekijät ja käyttäjät. Sotilasorganisaatioissa on tyypillisesti aina korvaava menettely, varamenetelmä, johon tuloksia voidaan verrata. Tilanne on siinä suhteessa hankala, että tietotekniikkaa vahvasti hyödyntävässä esikunnasta ei välttämättä ole korvaavaa menettelyä, joka ei aiheuttaisi heijastevaikutuksia muualle.

¹⁴ Alkuperäiseksi lähteeksi esitetään Hackman&Wageman 1995: Total Quality Management.

Olettamukset organisaatiosta: Systeemiteoreettinen näkemys. Tämä vastaa täysin sotilasorganisaation perusteita.

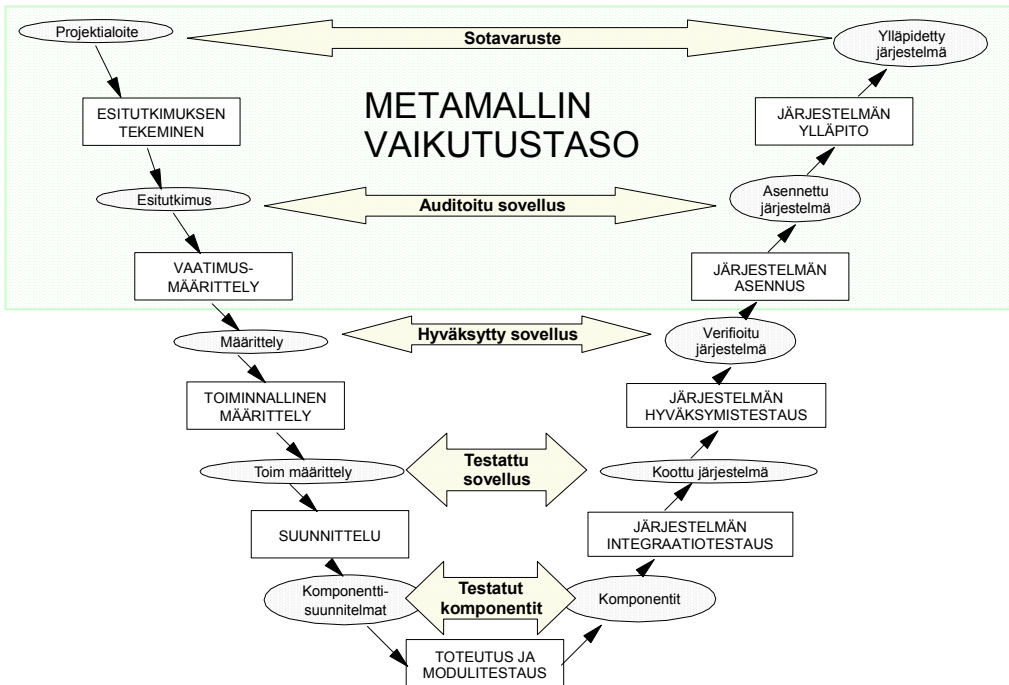
Olettamukset ihmisistä: Työntekijät välittävät luonnostaan työnsä laadusta. Tähän perustuu koko sotilasorganisaation olemassaolo. Jokaisen moraalia voidaan pitää korkeana tehtävän toteuttamisen kannalta.

Olettamukset johtajien roolista: Vastuu laadusta. Tekijää korostetaan kaikilla tasoilla ja vastuu on komentajalla jakamattomana. Johtajat kyllä sitoutuvat, kunhan analyysien merkitys kyetään osoittamaan. Sodassa doping ei pelkästään ole sallittua, se on pakollista.

Näkökulman laadun toteuttamiseen tarjoaa NATO Reference Mobility Model (NRMM II) käytötapa. Analyysi on kehitetty kuvaamaan ajoneuvojen maastoliikkuvuutta tiestöllä, maastourilla ja kaikissa maastotyypeissä huomioiden kaikki sää- ja ympäristötekijät. Malli tuottaa ajoneuvokohtaisesti arvioidun keskinopeuden, nopeuden ala- ja ylämäkeen sekä suhteutetun hidastusarvon referenssiin verrattuna. Analyysin lähtöaineistoina käytetään NIMAn standardoimia tuotteita sekä standardoidun mukaisia säätekijöitä. Tulosten oikeellisuus on testattu laajalla ohjelmalla ja malliversiot on erikseen hyväksytty käyttöön otettavaksi. Kehitystyö on tehty useassa eri laboratorioissa. Sovelluskehittäjän kannalta käyttöön saadaan ohjelmakokonaisuus ja vaatimukset lähtöaineistoista. Komponentin mukana toimitetaan referenssiaineistot ja referenssitulos, joilla voidaan integroinnin yhteydessä testata modulin oikea toiminta. Mallia käytetään muun muassa DTSS-järjestelmissä, erilaisissa simulaattoreissa ja tutkimuskäytössä. Lisäksi mallia voidaan nimensä mukaisesti käyttää referenssinä yksinkertaisimmille analyyseille, jolloin niiden poikkeamat ja vahvuudet saadaan nopeasti selvitettyä.

9.6 Maastoanalyysikomponenttien ohjelmistotuotannon laatu metamallin kannalta

Softa 9000 projektissa todetaan, että sovelluskehityksessä tarvitaan määrittely vaihejakomalli. Siinä esitetään käyttöön otettavaksi niin sanottu V-malli, joka on esitetty sotilaallisesti sovellettuna seuraavassa kuvassa.



Kuva: Toteutuksen V-malli[Sof91], jota on sovellettu metamallin mukaisesti.

Mallin vasemmalla puolella painopiste on suunnittelussa ja tuettavassa prosessissa. Sillä puolella laatuikäytännöt ovat yleensä katselmuksia, joissa toteutusta verrataan edellisen vaiheen tuloksiin. Maastoanalyysien metamalli muodostaa näille ainakin ylätasolla selkeän referenssin, jolloin katselmointi voidaan tehdä myös sitä vasten. Oikealla puolella pääpaino on toteutuksessa ja laatuikäytännöt testauksia, joissa toteutusta verrataan katselmoituihin määrittelyihin. Koska sovellusten kehittäminen on painopisteisesti räätälöintiä valmishjelmajohdasta huolimatta, vaatii kehittäminen koko ajan tiilajalta vahvaa osallistumista ja osaamista.

Lilrankin jaottelua käyttäen mallissa on pääpaino tuotokeskeisessä laadussa, jossa analyysia kehitetään teknisesti yhä paremmaksi. Haastattelussa Terrain Visualization Centerissä esitetty kommentti antaa ajattelun aihetta: ”Analyysi on erittäin hyvä, parempi ja nopeampi kuin yksikään ihminen ... meiltä vain puuttuu yleensä riittävän hyvät lähtöaineistot kylmän sodan päätyttyä Euroopassa, ja vaikka tarkkuus riittäisikin,

aineistoissa on liikaa virheitä. Lisäksi toteutus on jäykkää, parametrisointi käyttäjälle vähän monimutkaista ja muutokset hitaita. Erillinen analyysikomponentti alkaa helpposti myös elää omaa elämäänsä, jolloin sitä on vaikea soveltaa muuttuneissa tai uusissa tilanteissa. Tässä suhteessa COTS-tekniikan käyttö voi luoda uusia mahdollisuuksia: vaikka sovellus onkin jäykkä ja optimoitu, osaava käyttäjä voi tehdä myös muuta. On siis mahdollisuus painottaa laadun eri tekijöitä uudella tavalla.

9.7 Metadatan laadun apuvälineenä

Metadatan tarkoitetaan vapaasti ilmaistuna tietoa tiedosta, tietoaineiston tuoteselostetta. Metadatan on suuri käyttäjän laatua kuvaava merkitys.

Metadatan on tietoa paikkatietoaineiston sisällöstä ja rakenteesta (content), laadusta (quality), tilasta ja saatavuudesta (condition) ja muista ominaisuuksista. [FGDC98] [ISO19115]

Suomeksi metadatan käytetään myös nimitystä tietotuoteseloste [JHS137a]. Käytettäessä Lilrankin [Lil99] laajaa laatuksitystä metadatan kuvaa merkittävää osaa aineiston kokonaislaadusta mahdollistaen laadun arvioinnin käyttäjän kannalta. Suomessa pioneerinä on toiminut vuodesta 1987 lähtien Maanmittauslaitoksen ylläpitämä paikkatietohakemisto, joka julkaistiin internetissä vuonna 1994. [PTK] Vuonna 1992 CEN/TC 287 aloitti metadatan määrittelyn ja vuonna 1998 saatiin ensimmäinen Eurooppalainen esistandardi käyttöön. Työtä on jatkettu myös ISO/TC 211 puitteissa vuodesta 1994 ja vuonna 2000 syntyi ensimmäinen standardiluonnos, joka hyväksyttäneen kesällä 2002. NATO:n STANAG-järjestelmän piirissä vastaavaa työtä oli tehty jo aiemmin ja muun muassa DIGEST-standardi sisältää oman määrittelynsä metadatan kuvaamisesta tietoaineistotasolle saakka. Suomessa Julkisen Hallinnon Standardi JHS1372 käsittelee tietotuoteselosteita ja sen tarkennus JHS137a erityisesti paikkatietoa. Suositus määrittelee yhtenäisen tavan kuvata kaikkia numeerisessa muodossa olevia tietotuotteita, havainto- ja tutkimusaineistoja, perusrekistereitä sekä muita tietojärjestelmien tietoaineistoja. Seloste antaa tiedontuottajalle mahdollisuuden kuvata tietotuote niin, että tiedon mahdollinen käyttäjä voi ymmärtää tietotuotteen sisällön rajoituksineen ja arvioida sen soveltuvuutta käyttötarpeisiinsa. Lähestymistapaa voidaan kuvata asiakaslähtöiseksi.

Puolustusvoimien paikkatietoaineistojen metadatan käytössä tutkimus, jonka tavoitteena on ”kartoittaa Puolustusvoimien paikkatietoaineistoihin liittyvät kotimaiset ja kansainväliseen toimintaan liittyvät vaatimukset ja tehdä esitys Topografikunnassa tällä hetkellä olevan Metadatan järjestelmän kehittämiseksi. Projektissa laaditaan myös

esitys paikkatietoaineistojen metadatan visualisoinnista käyttäjille puolustusvoimien intranet-verkossa.” [META02]¹⁵ Metadatajärjestelmän avulla on tarkoituksena parantaa paikkatieto-aineistojen laadun valvontaa ja mahdollistaa käyttäjille ja eri tietojärjestelmäprojekteille paikkatietoaineistojen käyttökelpoisuuden arviointi. Metadata on myös askel kohti kansainvälistä yhteistoimintaa. Seuraavassa esitetään tutkimukselle asetettujen tavoitteiden tausta ja kommentoidaan sitä yleisemmällä, metamallin asettamalla tasolla. Tässä käytetään nelitahoista asiakasnäkökulmaa.

Peruskäyttäjänä tai -asiakkaana on toimija, joka hakee paikkatietoaineistoja tietyn paikkaan sidotun tehtävän toteuttamiseksi. Rauhan aikana ja kriisin alkuvaiheessa toiminta tapahtuu pääosin Puolustusvoimien oman intranet-järjestelmän avulla käyttäen aineistojen jakelijoiden paikkatietopalvelimia. Kriisiaikana aineistot jaetaan joko esikuntien palvelimilta tai CD / DVD-jakeluna. Innovatiivisen peruskäyttäjän lähestymistapa paikkatietoaineistoihin on sidottu tiettyyn toiminta-alueeseen, jolloin keskeistä on tiedon saatavuus ja laatu juuri tietyltä alueelta. Kysymyksenä ”mitä aineistoja on alueesta X” sisältää oletuksen, että käyttäjä näkee aineistot suunnittelua tukevana voimavarana. Tämän tyyppinen lähestymistapa sopii henkilöille, joilla on käytössään hyvät GIS-analyysivälineet ja kyky käsitellä erilaista informaatiota, improvisoida. Käyttäjä analysoi ensin tietosisältöä ja vasta sitten muita laatutekijöitä kuten oikeellisuutta tai ajantasaisuutta. Koulutetun peruskäyttäjän lähestymistapana on kysymys ”mistä löydän aineiston X alueelta Y”. Käytössä on tietty sovellus, joka vaatii lähtötiedoikseen kyseisen aineiston. Kun aineisto on löydetty, käyttäjä on erityisesti kiinnostunut sen perinteisestä laadusta. Johtamislaitteissa on lähtökohtaisesti aina perusasennettuna kaikki tarvittavat paikkatietoaineistot, joten käyttäjä saattaa olla kiinnostunut vain muutoksista, lähinnä päivityksistä. Oma merkityksensä on myös lähtötiedon oikeellisuudella, jotta käyttäjä kykenee ottamaan sen vaikutukset huomioon analyysien luotettavuutta arvioidessaan. Koulutetun peruskäyttäjän profiili on selvästi kriisiajan toimintaan ja aineistojen käyttöön sidonnainen, mutta tulevaisuudessa koulutuksen ja osaamisen kasvaessa on varauduttava myös innovatiiviseen käyttötapaan. Tapa on mahdollinen ainakin siinä tapauksessa, että sovelluksien perustana käytetään COTS-ohjelmistoja.

Peruskäyttäjällä voi olla kahdenlainen suhde aineistojen laatuun. Toisaalta hän saattaa olla kiinnostunut tiedoista, joka on suurella luotettavuudelta totta. Tätä lähestymistapaa kutsutaan turvallisuuskäyttäjäksi: tavoitte on karttaa virheitä ja käyttää maastotietoja siten, että suunnitellun tehtävän onnistuminen voidaan optimoida. Mik-

¹⁵ Esitetty teksti on asiakirjasta, jolla tutkimushanke käynnistettiin. Tutkijoina ovat tekn-yo Meri Louhisola (TKK, diplomityö) ja DI Paula Ahonen (TKK, väitöskirjatyo), kirjoittaja kuuluu hankkeen käynnistäjiin ja sen ohjausryhmään.

kelssonin [Mik00] tutkimuksessa näkökulma osoittautui vallitsevaksi taktisesta joukkoyksikkötasasta alaspäin ja sillä oli käänteinen korrelaatio tarkastelualueen laajuuden kanssa. Toista lähestymistapaa aineistojen luotettavuuteen voi kutsua mahdollisuusnäkökulmaksi. Siinä käyttäjä on kiinnostunut löytämään analyyseilla uusia mahdollisuuksia, joita voi käyttää taistelussa hyväksi. Lähestymistapa on vallitseva yhtymätasalla, jossa operointitilaa on käytettävissä ja korrelaatio on suhteessa toiminta-alueen laajuuteen ja toisaalta siihen, ehditäänkö datan laatu tarkistaa ennen sen käyttöä suunnittelun perustana. Tulevaisuuden tyhjä taistelukenttä korostanee jälkimmäistä lähestymistapaa. Mahdollisuusnäkökulman äärimuotona on tilanne, jossa ollaan kiinnostuneita epävarmaksi ja luotettavuudeltaan heikoksi tiedetystä datasta, tätä voisi kutsua oljenkorsinäkökulmaksi. Dataa pitää voida tarkastella ja seuloa usealla eri tavalla.

Sovelluskehittäjän näkökulma metadataan poikkeaa oleellisesti peruskäyttäjistä, koska toiminta-alueena on yleensä koko maa, jopa ulkomaat. Oleellisen lähtökohdan muodostaa tiedon kattavuuden laatulementti. Tärkeää on saada tietoa myös aineiston kehitymisestä, ylläpidosta ja päivittämisestä. Kysymys ”onko Puolustusvoimilla tai ylipäätään saatavissa riittävästi aineistoja analyysia X varten?”. Kun lähtöaineistot on löydetty, alkaa vuoropuhelu kuvattavan sotilaallisen ilmiön eli analyysin logiikan ja lähtöaineistojen rakenteen eli tietomallien välillä. Haasteena on muodostaa looginen rakenne, jonka avulla ilmiö mallinnetaan ja jolle analyysi lopulta perustetaan. Yhtenä huomioitavana tekijänä on myös käytettävä tekniikka ja sen asettamat rajoitukset aineistojen käytölle kuten koolle, tyyppille ja formaatille. Seuraavana vaiheena on syntyvien virheiden arviointi, jonka tulee näkyä ainakin analyysin esitystarkkuutta päätettäessä. Usein on tehokasta tehdä analyysit ensin prototyyppeinä raskaalla GIS-ohjelmistolla, jonka jälkeen vasta aloitetaan varsinaisen analyysikomponentin suunnittelu ja ohjelmointi. Tätä varten on oltava mahdollisuus saada käyttöön yhdenmukainen koeaineisto kehitystyön pohjaksi. Teknisesti suuntautunut sovelluskehittäjä on joko Puolustusvoimien tai sovellusta kehittävän yrityksen asiantuntija, jonka tehtävänä on ratkaista analyysin tekninen toteuttaminen. Metadatan pitää sisältää tarvittavat tiedot aineistojen teknisestä käytöstä kuten sisällöstä, asemoinnista ja koordinaatistoista. Mikäli sovellus on hyvin määritelty, kyse ei ole tietojen löytämisestä, mutta se voi olla oikean valmisohjelmiston valinnasta, analyysin testaamisesta tai sovelluksen teknisestä määrittelystä ja suunnittelusta.

Vuonna 2000 aloitettiin laadultaan sovelluskehittäjiä palvelevan testialueen, GIS-labran, muodostaminen Puolustusvoimille [Puuaine]. Tavoitteena oli löytää alue, joka

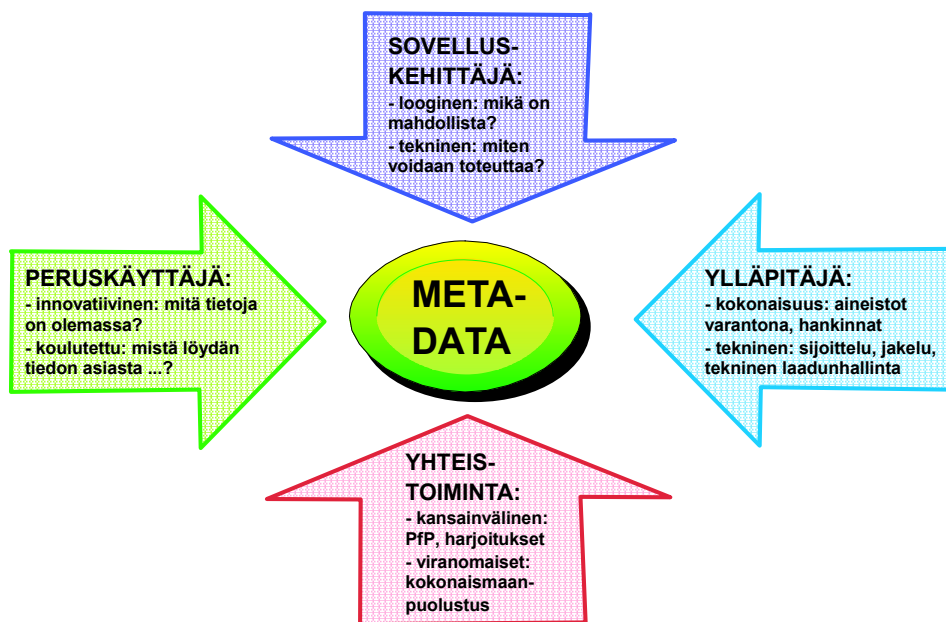
on maastotyypeiltään mahdollisimman edustava, siltä on saatavissa laajalti aineistoja, se mahdollistaa maastokokeet varuskunnissa tai harjoitusalueilla ja matka keskeisistä tutkimuspisteistä on mahdollisimman lyhyt. Lisäksi valinnassa otettiin huomioon turvallisuusnäkökulma, esimerkiksi rajojen läheisyyttä vältettiin tietoisesti. Ensimmäiseksi alueeksi valittiin pelastuspalveluruutu 20P laajennettuna. Alue käsittää pääpiirtein neljän Lahti – Kouvola – Kotka – Porvoo ja sille osuu neljä varuskuntaa harjoitusalueineen. Uusille aineistoille koealue muodostaa referenssin, jota vastaan voidaan arvioida Puolustusvoimille syntyvää lisähyötyä ja peilata aineistojen laatuominaisuuksia. Sovelluskehittäjille koealue tarjoaa ensimmäisenä käyttöön hankittavat aineistot ja mahdollistaa myös sellaisten aineistojen arvioinnin, joita ei ole hankittu muualta maasta. Jatkossa voitaisiin myös ylläpitää reaaliaikaista tilannetta ajallisesti nopeasti muuttuvia aineistoja kuten routaa, lunta ja jätää koealueen osalta tai vakioida päivitykset kenttäkokeita varten. Koealue mahdollistaa myös maastokokeiden standardoinnin analyysien laadun osalta: kun lähtötietojen virheet tunnetaan ja ne on osakoealoilta minimoitu, voidaan monimutkaistenkin analyysien luotettavuutta arvioida tilastollisilla menetelmillä.

Aineistojen ylläpitäjän näkökulma metadataan on lähinnä hallinnollinen. Koska aineistojen säilyttäminen jakelu on toiminnallisesti järkevää hajauttaa ainakin puolustushaaroittain, keskitetty metadatajärjestelmä mahdollistaa kokonaistilanteen seuraamisen ja esittämisen ulospäin. Metadataan laatulementtien kautta on mahdollista arvioida aineistojen kokonaislaatua Puolustusvoimien kannalta usealla eri lähestymistavalla, myös kustannustehokkuuden kannalta. Tällöin oleellinen tieto on, missä kaikissa järjestelmissä kyseistä aineistoa käytetään ja minkälaisia kustannuksia aineisto on aiheuttanut. Viimeistään tällä tasolla on oltava tieto datan alkuperästä ja sille tehdyistä toimenpiteistä. Ajan tasalla oleva ja kattavasti kuvattu metadata parantaa ennen kaikkea asiakaspalvelun laatua ja vähentää Puolustusvoimien tyypisessä suuressa organisaatiossa turhia kysymyksiä ja väärinkäsityksiä. Kun menettelytavat hallitaan ja vakioidaan, voidaan niitä myös tukea pienemmillä resursseilla. Myös tässä käyttäjäryhmässä voidaan nähdä kaksi roolia, kokonaisuuden hallinnan ja teknisemmän aineistojen ylläpidon näkökulmat.

Kansainvälinen yhteistoiminta asettaa neljännen näkökulman metadataan. Jo tällä hetkellä osa Partnership for Peace ja muissa kansainvälisissä puitteissa tehtävistä harjoituksista ja mahdollisesti myös tehtävistä tapahtuu ainakin osin Suomen alueella. Kun digitalisointi lisääntyy eri puolilla, tulee järjestelmien ”maailman” muodostamisesta entistä merkittävämpi valmistelutehtävä, joka jo nyt vaikuttaa jopa koko operaation

käynnistämiseen. Vaikka ainakin NIMAlla onkin mittavat resurssit aineistojen muodostamiseen, päällekkäistä työtä kannattaa pyrkiä välttämään. Lisäksi on huomioitava harjoituksiin liittyvät turvallisuusvaatimukset ja se, että kaikilla toimijoilla on oltava samat lähtötiedot: mikäli meidän käyttämämme aineistot eivät sovellu muille, on myös meidän käytettävä kansainvälisissä harjoituksissa muiden toimittamia, laadullisesti huonompia aineistoja myös omasta alueestamme. Osana Yhdysvaltojen paikkatietojen infrastruktuuria on käsite Qualified data, jolla tarkoitetaan muualta hankittua aineistoa, jonka laatutekijät tunnetaan. [GIIMP97] Metadata on merkittävä tekijä tässä arvioinnissa. Yhteistoiminnassa voidaan arvioida kasvavan myös kokonaisuusmuotoisuuden osuuden. Todennäköisesti Puolustusvoimat on ainoa toimija, joka kykenee ylläpitämään maanlaajuisesti kattavaa ja riittävän monipuolista aineistovarantoa. Tämä nostaa esiin yhteistoiminnan muiden viranomaisten kanssa.

Kokonaisuutena vaatimukset metadatalle voidaan kuvata seuraavasti:



Kuva: Neljä lähestymistapaa metadataan.

10 YHDISTELMÄ

10.1 Työn tärkeimmät väitteet

Työn tavoitteena on sotilaallisten maastoanalyysien kytkeminen Suomen puolustusvoimien johtamisprosessiin osana tulevaisuuden digitaalista taistelukenttää, jolla käytettävän taktiikan oletetaan edelleen korostavan maaston ja vaikeiden olosuhteiden hyväksikäyttöä sekä omaperäistä epäsymmetristä taistelutapaa. Yleistä taistelutapaa tai johtamisprosessia ei maailmalla ole.

Teknisesti oletetaan, että Puolustusvoimat siirtyy johtamisjärjestelmissä komponenttiarkkitehtuuriin ja kehitystyö pyritään perustamaan yleisiin standardeihin sekä käytävissä olevaan COTS-teknologiaan. Tätä voidaan pitää kehityksen trendinä myös alan johtavissa maissa. Lisääntyvän integroitumisen sekä kansainvälisellä että kansallisella eri viranomaisten tasolla oletetaan lisäävän merkittävästi kehitettävien järjestelmien avoimuuteen ja vuorovaikutuskykyyn kohdistettuja vaatimuksia.

(1) Tärkein väite on, että sotilaalliset maastoanalyysit on tehokasta¹ toteuttaa esitetyn hierarkkisen mallin ohjaamana. Metamalli on tapa suunnitella ja hallita komponenttiarkkitehtuuria koko yrityksen laajuudessa, jolloin mallin tuella komponenttien tunnistaminen palvelujen kautta sekä niiden kehittäminen ja ylläpito on helpompaa. Myös analyysien laatujärjestelmän rakentaminen yksinkertaistuu, koska sisäiset ja ulkoiset vastuut on helpompi määrittää ja sisällöllisesti muuttuva laatu on mahdollista testata vaiheittain osana prosessia.

Sovelluskehitystyön alussa metamalli helpottaa tietyn alan kokonaisuuden hahmottamista sekä sisäisten ja ulkoisten riippuvuuksien määrittelyä. Lisäksi malli antaa perusteet analyysien kehittämiseen eri kohdissa tuettavaa johtamisprosessia erityisesti aikakriittisyyden ja intensiivisyyden suhteen. Mallin vahvuus on kyky sisällyttää nykyiset tiedetyt analyysit myös simuloinnin osalta ja esitettyä mallia voi soveltaa myös muuhun kuin sotilaalliseen toimintaan, joten sillä on todennäköisesti kyky vastata myös tulevaisuuden haasteisiin. Metamallin tueksi työssä on kuvattu empiiriset esimerkit kaikilta tasoilta, jotta kynnys mallin soveltamiseen olisi mahdollisimman matala.

¹ Tehokkaalla tarkoitetaan tässä suhdetta käytettävän työmäärän ja kehitysajan välillä. Uudelleenkäytettävyyden kustannus-hyödyistä on useita näkökulmia, mm. SEC oy esittää materiaaleissaan säästöä syntyvän 3-5 käyttökerran jälkeen. Tässä esitetyn mallin kannalta oleellisia piirteitä ovat kuitenkin analyysien oikeellisuuden testaamiseen liittyvät aika- ja henkilökustannukset sekä esikunnan oppimiskustannukset. Molemmissa ovat avainasemassa sotilaat, jotka myös resurssina ovat rajalliset eivätkä organisaation kannalta ulkoistettavissa, lisäksi heitä voidaan kouluttaa sodan ajan tehtäviin vain sykleittäin jolloin jatkuva adaptoituminen ei ole mahdollista. Tämän perusteella uudelleenkäyttö on todennäköisesti edullista jo toisella käyttökerralla maastoanalyysien osalta. Jo kerran toteutettua ja opetettua palvelua voidaan sen sijaan muokata teknisesti helpommin, mikäli itse palvelun luonteeseen tai sen lopputulokseen ei arkkitehtuurissa puututa.

(2) Paikkatietoylivoiman perustana ovat suomalaiset paikkatietoaineistot täydennettynä sotilaallisella kohdetietojen keruulla. Esimerkiksi Yhdysvaltojen kokonaissuunnitelmaan [GIIMP97] verrattuna lähtötietojen taso täyttää ja ylittää sekä tarkkuudeltaan, luotettavuudeltaan että monipuolisuudeltaan asetetut vaatimukset. Tässä viitekehelyssä kartta on käsitteenä vanhentunut, ympäristö ja maailma kuvaavat sanoina tavoitetilaa paremmin tietojärjestelmien matemaattisten yhtälöiden ja niiden tuottamien tulosten visualisoinnin kannalta.

(3) Paikkatietoylivoiman jatkona on väite, että analyyseilla kyetään vahventamaan johtamisprosessia merkittävästi. Tietokoneperusteisena analyysien nopeus, tarkkuus ja tehokkuus ovat uutta luokkaa aiempaan manuaaliseen toteutukseen verrattuna. Tilanekuvan osana analyyseilla ja visualisoinnilla on mahdollisuus syventää päättäjien ymmärrystä ja siten kaventaa epätietoisuuden aluetta sodassa. Tietokoneen mukanaolo vaatii kuitenkin uutta ajattelua, kyse ei ole vanhan tukemisesta vaan uuden luomisesta yhdistämään ihmisen ja tietokoneen ominaisuudet.

(4) Osana johtamisprosessia taktinen simulointi on merkittävä osa paikkatietoanalyseja. Taktinen simulaattori on ymmärrettävissä vaativana ja reaaliaikaisena² paikkatietojärjestelmänä, joka tukee päätöksentekoa ylimmällä hierarkiatasolla sotapeleillä ja siten ennusteilla. Haasteena on teknologioiden yhdistäminen sekä mallien tasolla determinismin ja stokastisuuden hallittu käyttö, jotta myös riskien hallinta ja taistelun kaoottisuuteen varautuminen on mahdollista.

(5) Analyysit on nopeinta toteuttaa kaupallisiin ohjelmiin perustuen ja standardit ovat riittävän kypsiä takaamaan järjestelmien avoimuuden. Väite perustuu yleiseen havaintoon ja empiirisiin kokemuksiin, että COTS lisääntyy kaikissa maissa ainakin analyyseissa, mutta pienemmissä maissa myös johtamisjärjestelmien ja taktisten simulaattoreiden alustana. Yhdysvaltojen DTSS, Ruotsin GeoPres ja CATS-simulaattorit, Tanskan uusi DACCIS C3I järjestelmä ja Iso-Britannian CommanderSE kehitystyö tukevat väitettä. Tässä tutkimuksessa on käytetty COTS komponenttitekniologiaa analyysisovellusten rakentamiseen kaikilla tasoilla käyttäen perustana useita erilaisia teknologioita: AutoCAD LT maastosuunnittelussa, Bentley GeoOutLook ja ERMapper PionJohlassa, ESRI ArcGIS näkemäanalyysissä, ESRI MapObject LT julkaisussa, InterGraph GeoMedia visualisoinnissa ja MapInfo-tekniologia reittioptimoinnissa. Kaupallisten ratkaisujen varmuus, avoimuus, standardinmukaisuus ja laajuus painavat turvallisuutta enemmän, mikäli teknologia halutaan käyttää maksimaalisesti hyväksi.

² Reaaliaikaisella tarkoitetaan tässä järjestelmää, jonka ajantasaisuus on suhteutettu kuvattavan ilmiön kanssa. Taktisella tasolla kyse on kymmenien minuuttien - joidenkin tuntien aikajänteestä. Asetasolle vietäessä kyse on sekunneista.

(6) Tietokone kykenee tukemaan riskien arviointia ja parantamaan päätöksiä siviilien ja yhteiskunnan tärkeän infrastruktuurin suojaamisessa, paikkatietotekniikka on tässä suhteessa tärkeässä asemassa – GIS saves lives. Pelastuslaitoksen riskianalyysityössä mallin todettiin soveltuvan myös pelastustasopäätöksen ja täsmäevakuoinnin sekä todennäköisesti myös tilanteen mukaisen päätöksenteon tueksi. Paikkatiedolla ja -analyysillä on tulevaisuudessa tehtäviä viranomaisyhteistoiminnassa tilannekuvan ja tietojen vaihdon lisäksi yhteisen käsityksen muodostamisessa tapahtuneesta.

10.2 Tutkimuksen luotettavuuden ja käytettävyyden arviointi

Tutkimuksen suurin vaikeus on avoimuus eli tarve käsitellä suurelta osin luottamuksellista tietoa aiheesta, joka on sotilaallisesti yksi digitaalisen taistelukentän avainalueista. Alan tutkimuksia ei julkaista, tämä koskee paitsi tämän työn takana olevien tutkimus- ja kehityshankkeiden yksityiskohtia myös merkittävää osaa alan teorianäkökulmista. Kaupallisten ohjelmien kehittyminen on kuitenkin raottanut salaisuuden verhoa, samoin kehitystä johtavan Yhdysvaltojen ja erilaisen tavan valinneen Ruotsin tavat julkaista tietoa. Tietoa on syvennetty tuhansien asiakirjasivujen ja esitysten lisäksi matkoilla alan keskeisiin kehityslaitoksiin ja niistä hankitulla ymmärryksellä. Lisänä on simulaattorihankkeen laaja materiaali, joka kuvaa toimivia, käytössä olevia järjestelmiä sekä niiden faktisia kehitysmahdollisuuksia ja visioita lähitulevaisuudessa.

Tutkimus on tehty työskentelemällä useassa tutkimus- ja kehitysprojektissa. Usein tehtävät ovat limittyneet, koska kaikki esitetty tekeminen on ollut Suomessa uutta sotilaallisessa viitekehityksessä. Siviilimaailmaan verrattuna vallitsevat poikkeavat vaatimukset: aikakriittisyys, fyysisen tuhon kestäminen, matala koulutustaso yhdistettynä suureen epävarmuuden keston. Tämä on ollut myös vahvuus, koska työtä on tehty alan parhaiden suomalaisten asiantuntijoiden kanssa ja moni yksityiskohta on ollut mahdollista selvittää osana kokonaisuutta.

Paikkatietotutkimus on tämän työn kannalta tärkein projekti, joka on kulkenut käsitteiden määrittelystä tarvekartoituksen kautta arkkitehtuurin toteutussuositukseen sekä uusia komponenttikehitysmenetelmiä ja COTS-teknologiaa testaavaan prototyyppien rakentamiseen. Menetelmät ovat ensin innovoituja ja sitten kokeiltuja. Sovellusarkkitehtuuri on laajin projekti, kehys, jonka sisällä työtä on viime vuodet tehty. Sen kautta komponenttikehitystyö, standardit ja sovellusten kehitysprosessien kuvaus on saanut lähtökohdat kohti tulevaisuutta. Esitetty malli tukee esitettyjen vaatimusten täyttämistä. Molemmat hankkeista ovat olleet koko Puolustusvoimien laajuisia ja niihin on ollut käyt-

tössä tarvittavat resurssit. Myös alan yritykset ovat suhtautuneet asiaan erittäin vakavasti muistakin kuin kaupallisista syistä.

Pioneeritoiminnan Johtamislaite on ollut henkilökohtainen lähtölaukaus tutkimukselle työn ohessa. Tietämättä on tehty sellaista, mitä aiemminkin oli yritetty ja huomattu, että teknologia on nyt kypsää hyödynnettäväksi. Kehitystyön aikana on osin mullistettu tapa johtaa pioneeritoimintaa ja tukea yleistä johtamisprosessia, joka näkyy uudessa Pioneeriooppaassa ja linnoittamisoppaissa saakka. Pionjohlan maastosuunnittelussa on kehitetty perusarkkitehtuuri maastotietojen keräämiselle, jota on ensin prototyypeillä ja sitten sovelluksilla testattu usealta eri näkökannalta. Kehitetyt ratkaisut toimivat ja kykenevät tuottamaan kentältä digitaalista tietoa.

KESI on avannut ikkunan taisteluyhtälöiden ja massiivisten taktisten simulaattoreiden paikkatietomaailmaan, jota on tuettu opinnoilla RMSC:ssa ja NATO:n luentosarjassa. Neljäntoista toteutettuun ratkaisuun tutustuminen on mahdollistanut vertailevan ja luokittelevan tutkimustyön ja tämän tyyppisten päätöksenteon tukijärjestelmien liittämisen osaksi mallia, vaikka Suomessa kehitystyötä ei ole pystytty itse tekemään. Keskustelut, jopa väittelyt brittiläisten, ruotsalaisten ja saksalaisten kehittäjien, tohtorien ja sotilaiden, kanssa ovat avanneet silmät ongelmille ja alan tämän hetken kehitystyölle.

Puuaine antoi projektina mahdollisuuden käydä läpi suomalainen paikkatietoaineistokanta sekä osallistua ympäristöä ja siltoja koskevan uuden tiedon yhdistämiseen. SALPA antoi mahdollisuuden kokeilla sotilaallisen aineiston digitoinnin toteuttamista; tätä tulee tulevaisuudessa riittämään osana todellista siirtymistä digitaaliselle taistelukentälle. Sotilasmetsä päästi tiedon alkulähteille saakka, muodostamaan aineistoa puun juurelta lähtien alan parhaan suomalaisen tutkimuslaitoksen kanssa. Ohjatut kolme ohjelmistotyötä, neljän tutkimuksellisen diplomityön ohjauskokemukset ja lukuisat alaan liittyvät sotilastutkimukset ovat muokanneet perustaa ymmärrykselle ja esitettyjen asioiden liittämiseksi suurempaan viitekehykseen.

Tutkimuksen lopputuloksena oleva metamalli on esitys toteutustavasta, jota on systemaattisesti koeteltu ja kehitetty empiirisen osan avulla. Sen lopullinen arvo on nähtävissä vasta sitten, mikäli malli otetaan käyttöön ja sen käytöstä saadaan kokemukset, ja tällöinkin vertaaminen johonkin muuhun ratkaisuun on vaikeaa. Tehtyjä sovelluksia ja osatutkimusten tuloksia voi onneksi käyttää ilman niiden taustalla olevaa malliakin. Toisaalta nykytilaan verrattuna malli antaa idean kokonaisuudesta, joka tällä hetkellä puuttuu kokonaan. Kokonaisuuden luotettavuuden arviointia ei pystytä edes tukemaan vertaamalla esitettyä mallia jonkun toisen tutkimuksen tai maan ratkaisuun, koska sellaista ei yrityksistä huolimatta ole kyetty dokumentoituna julkisista lähteistä löytämään.

Epäilemättä vastaavia yrityksiä on kuitenkin tehty eri puolilla maailmaa. Tutkimuksen luotettavuutta voidaan kuitenkin pitää siinä mielessä hyvänä, että esitetyt asiat on käytännössä tehty ja saatu toimimaan, usea kehitystyö on myös otettu tai sitä ollaan ottamassa käyttöön Puolustusvoimissa.

Tapa asettaa analyysin perustana olevat ilmiöt eri viitekehykseen hierarkian eri tasoilla aiheuttaa sen, ettei perinteisiä tilastotieteen metodeja voida käyttää hyväksi yleistyksen oikeellisuuden tarkastelussa. Tämä näkyy selvästi esimerkiksi kulkukelpoisuuden ketjussa, jossa yksittäisen ajoneuvon liikkeen vertaaminen taktiseen muodostelmaan sovelletussa maastoanalyysissä tai muodostelman pysäyttämiseen suluttamisen resurssianalyyseissä on jo oikeellisuuden osalta tehtävä heuristisesti. Kun ylimmällä tasolla tähän liitetään esimerkiksi kyky tähystää ja käyttää tulta, muuttuu tilanne entistä monimutkaisemmaksi. Vastaus on kuitenkin löydettävissä mallista siten, että tasojen välillä on selkeä rajapinta ja jokaisella tasolla käsittelyalgoritmit ovat vapaasti valittavissa. Näin ongelma palautuu siihen, onko kyseinen analyysi ylipäättään loogisesti toteutettavissa tietokoneella, ja vastaus on haettava tapauskohtaisesti.

Koska metamallia ei pystytä vertaamaan mihinkään olemassa olevaan tai kilpailevaan malliin, sen hyödyt on mahdollista arvioida vain sitä vasten, ettei mitään mallia otettaisi käyttöön. Tämä vahvistaisi jo tällä hetkellä nähtävissä olevaa trendiä, jossa jokainen kehitettävä tietojärjestelmä lähtee maastoanalyysien ja suuressa määrin koko paikkatiedon osalta ilman yleistä kehystä, asettaa omat vaateensa lähtöaineistoille ja kehittää omaan tarkoitukseensa täysin räätälöidyt analyysitoiminnot. Hetkellisesti tarkastellen täysin asiakaslähtöinen tarkastelutapa voi näyttää hyvältä ja modernilta, mutta se johtaa päällekkäisyyksiin ja rajoitetuilla resursseilla tuen puutteeseen kaikilta järjestelmiltä. Hierarkiassa ylempänä toimivien ja alemman tason järjestelmistä tietoa tarvitsevien järjestelmien kehittäminen pitää perustaa vain olemassa olevien järjestelmien nykytilaan eikä tulevaisuuteen. Lisäksi jokainen muutos alempana heijastuu ylös saakka. Keskeinen kysymys viitekehyksenä käytetyn esikunnan työskentelyn kannalta on, ketä ja mitä tietojärjestelmien on palveltava. Kun tietojärjestelmän kokonaishierarkia vietään päätöksenteon tukemisen tasolle saakka yksittäisten joukkojen tai asiantuntijoiden yli, jonkinlainen metamalli on ainoa mahdollinen ratkaisutapa kokonaiskehityksen hallitsemiseksi. Tämä kuitenkin vaatii myös päätöksenteossa sen hyväksymistä, että tietokone ei vain korvaa sodankäynnissä kynää, tussia ja karttaa, vaan se kykenee tuomaan jotakin uutta myös tälle tasolle.

Metamallin voidaan katsoa alkavan taistelutekniseltä ajoneuvon tasalta ja ylettyvän operatiiviselle yhtymätasolle. Voisi johdonmukaisesti arvata, että strategisen tasan, so-

tilasmaantieteen, mukaan ottaminen toisi malliin vielä yhden tason lisää. Koska maantiede tarkastelee asioita hyvinkin holistisesti, ylhäältä alaspäin eikä kuten esitetty malli yksityiskohtista yleistäen, voisi mallin ylin taso myös saada merkittäviä syötteitä tästä suunnasta. Kun vertaa mallia luvussa 6.1.4 esitettyyn ympäristötieteiden näkökulmaan [Wil00] huomaa, että hierarkian voi muodostaa myös kokonaisuudessaan ylhäältä alas resoluutiota kasvattamalla. Myös luvussa 2.1 esitetty Yhdysvaltalainen perusdatan ja tehtäväkohtaisen datan struktuurin voidaan ajatella maastoanalyysien ja lähtöaineistojen osalta toimivan tällä periaatteella. Näkökulma kuitenkin vaatisi vastaavaa lähtöaineistojen muodostamistapaa myös Suomessa, joka tälle hetkellä on pääosin yksityiskohtia yleistävä. On myös mahdollista esittää hypoteesi, että neljännen tason muodostaminen alhaalta ylös voisi tuoda uusia näkökantoja myös sotilasmaantieteen nykyiseen käsitteistöön ja tarkastelutapoihin, onhan lähtötietojen jatkuva tarkentuminen aiheuttanut rikastumista myös maantieteen alalla. Tutkimuksessa ei kuitenkaan ole ollut mahdollista käsitellä tätä näkökulmaa systemaattisesti, eikä kirjoittajan käytännön kompetenssi myöskään yllä tähän mittakaavaan - sota on pragmaattista toimintaa. Tämä asia jää siis jatkotutkimusten varaan.

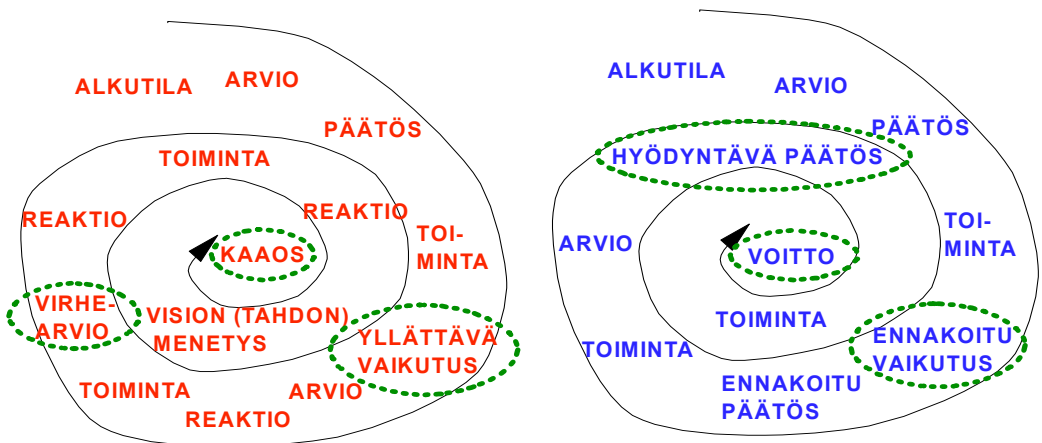
Mallin soveltuvuus muualle kuin puolustusvoimiin on kokeiltu vain pelastuslaitoksen poikkeusolojen riskianalyyysissa, joka on perinteisesti ollut organisatorisesti ja operatiivisen johtamisen osalta hyvinkin sotilaallista toimintaa. Koska metamallin keskeisenä tekijänä on aikakriittisyys, ei muita sovellusaloja ole helppoa löytää viranomais-toimintojen ulkopuolelta. Toisaalta mallia voinee käyttää muiden testaamiseen ja sen rakenteesta sekä muodostamisesta voinee oppia myös toisenlaisessa viitekehyksessä asettamalla kriteerit toisella tavalla. Mitä enemmän data digitalisoituu, sitä suurempi merkitys on sen hallitulla käsittelyllä ihmisen ymmärryksen tukemiseksi.

Vaikka työ perustuukin kirjoittajan uskalle sodankäynnin vallankumouksen olemassaolosta, perustana mallille on käytetty tämän hetkistä, uudenlaista mutta vielä paljon vanhaa sisältävää johtamisprosessia. Vaikkei vallankumousta siis tulisikaan, kykenevät maastoanalyysit merkittävästi helpottamaan nykyistäkin työskentelyä ja metamallin käyttö helpottaa sovellusten koordinoitua kehittämistä. Kun tietokoneen ja ihmisen käsityksen jonkun mahdollisuudesta ovat ristiriidassa, on aina muistettava, että ainakin vielä toistaiseksi ihminen tekee päätökset.

10.3 Prosessiajattelu ja taistelu systeeminä

Maastoanalyysien käyttö ja niiden kehukseksi esitetty metamalli on kuvattu tässä työssä prosessina. Kuitenkin jo johdannossa todetaan taistelun viitekehysten olevan systeemi, joka "voidaan yksinkertaisimmillaan pelkistää kahden muuttujan, oman ja vastustajan taisteluvoiman, vuorovaikutukseksi ajan ja paikan suhteen" [Ahv02a] Lisäksi esimerkiksi Clausewitz esittää syntyvän systeemin olevan luonteeltaan kaottinen ja ennustamaton. Onko tässä ristiriitaa?

Riihijärvi [Rii98] [Rii99] kuvaa Hermannin [Her72] kriisiteorian vastustajan systeemin saattamista kaaokseen kolmivaiheisena tapahtumasarjana. Ensimmäisenä pyritään suunnitellulla, yllättävällä ja vaikutuksiltaan ennalta arvioidulla tapahtumasarjalla saavuttamaan lähtöetu, jota kutsutaan aloitteen tempaamiseksi. Näin alkaa vaikuttaminen vastustajan päätöksentekoon. Kun vastustaja joutuu reagoimaan yllättävään tilanteeseen, sen johtamisprosessin kitka nostaa samalla päätösten riskitasoa ja johtaa inkrementaaliseen³ päätöksentekoon. Toisessa vaiheessa siis vastustajan johtamisprosessi pyritään kiihdyttämään yli sen suorituskyvyn. Kolmannessa vaiheessa sitten murretaan vastustajan komentajan tahto, jonka seurauksena on saavutettu fyysisesti ja henkisesti sellainen asetelma, että myös tuhoaminen on mahdollista ja taistelu on voitettu.



Kuva: Riihijärven [Rii98] mallin perusteella yhdistetty rakenne, jossa johtamisprosessin kautta kuvataan taistelusysteemin romahtaminen kolmessa vaiheessa. Maastoanalyysit tukevat päätöksentekoa parantamalla arvioiden oikeellisuutta ja tukemalla ennakoitua. Ympäröidyt osat kuvaavat päätössiiklien nopeutta.

³ Inkrementaalaisella Riihijärvi tarkoittaa päätöksentekoa, jossa tavoitteena on jostakin tilasta pois pääseminen. Vastakohtana on prosessimainen synoptinen ajattelu, jossa nykytilasta johdetaan vaihe vaiheelta keinot määritetyn (taistelun kannalta positiivisen) tavoitetilan saavuttamiseksi.

Oleellista Riihijärven ajattelussa on, että kaottista systeemiä pyritään hallitsemaan johtamisprosessilla, jonka kyky tehdä suunniteltuja ja vaikutuksiltaan ennakoituja ratkaisuja pyritään suojaamaan. Vaikka hän korostaakin komentajan ajattelukykyä eli tämän työn puitteissa ymmärrystä, hän samalla vastustaa tietokoneen käyttämistä siten, ettei se enää ole korvattavissa. Maastanalyseilla ei taistelua ratkaista, mutta niillä kyetään merkittävästi lisäämään päätöksenteon luotettavuutta ja tuottamaan laskennallisia ennusteita kuten näkemä tai tulialueita ja maastoliikemahdollisuuksia. Lisäksi tietokone kykenee tähän ihmistä nopeammin ja monipuolisemmin.

Jos hyväksyy taistelun kaottisen luonteen voi perustellusti kysyä, auttavatko maastanalyysit siinä tapauksessa, että oma johtamisprosessi luhistuu ja muuttuu inkrementaaliseksi. Riihijärven viitekehyksessä kyseessä on joko oman reagointikyvyn kasvattaminen, johon yhtenä vastauksena tarjotaan tapaa määrittää koko ajan ennalta mahdollisia tapauskulkuja ja tehdä niihin valmiita päätöksiä, siis ennustaa ja suunnitella sen perusteella "varastoon". Vastaus tähän kysymykseen on kyllä, mikäli tilannetta kyetään seuraamaan ja tunnistamaan, mikä ennakoitu kehitys on käynnistymässä. Bifurkaatiopisteiden⁴ [Gle89] löytäminen on tässä avainasemassa, ja yksi tapa hahmottaa näitä voisi olla etsiä kohtia, joissa joukon mahdollisuudet toimia heikentyvät merkittävästi maaston takia. Toinen vastaustapa on käyttää jo lähtökohtaisesti ad-hoc organisoimisperiaatetta, jota on tarkasteltu seuraavassa luvussa.

Kolmas lähestymistapa asiaan tulee organisaatioteorian kautta. Sotilaallinen linja-esikuntaorganisaatio on rakennettu byrokraattisen mallin mukaisesti ja sen toiminnan analogia tulee konemaisuudesta ja persoonattomuudesta. Tässä suhteessa voidaan edelleen käyttää lähestymistapana Nurmisen mukaan [Nur86] teknisen ohjaustavan ja systeemiteoreettisen näkökulman⁵ mukaista informaatiosteemiä, jolla päätöksentekoa tuetaan. Maastanalyseilla on tässä tutkimuksessa tavoitteena tukea johtamisprosessia eikä niinkään ymmärtää itse ilmiötä.

⁴ Bifurkaatiopisteitä tai kriisipisteitä pyritään aina löytämään, mutta kaaoksessa näitä pisteitä on Gleickin mukaan kaikkialla. Tilannekuvan oikeellisuus ja siitä tehtävien analyysien sekä ennusteiden oikeellisuus on keskeinen tapa ymmärtää kaaosta, tässä viitekehyksessä maastanalyysit kohdistuvat pääosin analyysien oikeellisuuteen ja välillisesti ennusteisiin.

⁵ Nurminen esittää lisäksi näkökulmina sosioteknisen ja humanistisen näkökulman. Keskeisenä erottavana tekijänä on lähestymistapa juuri yksilöihin organisaatioiden sisällä, ja tässä suhteessa sotilaallinen lähestymistapa on hyvin konservatiivinen, pragmaattinen ja lähiajan tehokkuutta maksimoiva.

10.4 Taistelun vallankumous ja paikkatietotekniikka

Tietokone kykenee tekemään taistelussa revoluution ja paikkatietotekniikka on keskeinen osa tätä voimaa – GIS takes lives. Väite on kiistanalainen ja sitä ei voi todistaa oikeaksi tai vääräksi kuin riittävän suurilla sodilla. Vallankumouksesta on voimassa useita ristiriitaisia ja todistamattomia näkökulmia. Michael O'Hanlon⁶ jakaa suhteen väitetyyn vallankumoukseen kuuteen eri koulukuntaan, joista jokaisella on oma sisältönsä käsitteelle. [Han01]

(1) Johtamisjärjestelmäkoulukunnan (C4)⁷ mielestä tieto- ja viestijärjestelmien räjähdysmäisen nopea kehitys mullistaa sodankäynnin ja taistelut siirtyvät osittain tietoverkkoihin. Aseellisissa taisteluissa modernin tekniikan haltija pystyy entistä nopeampien päätöksenteko- ja käskytysmenetelmien ansiosta pitämään aloitteen koko ajan itsellään ja saa näin ylivoiman.⁸ Tämä vastaa pääpiirtein luvussa 2 esitettyä päätöksenteon syklimallia. Esimerkkejä tietoverkkotaistelun mahdollisesta luonteesta ovat uudet virukset ja madot. Tässä työssä maastoanalyysit nähdään painopisteisesti juuri tätä koulukuntaa tukevana toimintana.

(2) Hallintakoulukunta (C4ISR)⁹ suhtautuu käsitteeseen laiveammin ja katsoo valvonta- ja tiedustelujärjestelmien nopean kehityksen yhdessä C4-järjestelmien kanssa johtavan täydelliseen taistelutilan hallintaan, mikä mullistaa sodankäynnin.¹⁰ Väite on esitetystä vahvin, koska se kumoaisi osan sodan kaoottisesta luonteesta ja vaikuttaisi sotateorian tasolle saakka. Tässä työssä näkökulma ilmenee vahvimmin jäljempänä esitetystä visiossa ja konkretisoituu tietojen keräämisen kautta lähinnä luvussa 4. Jos taistelutilalla on peilikuva tietokoneen maailmassa, paikkatiedot ja kyky ymmärtää niiden merkitystä analyyseilla ovat oleellinen osa tätä maailmaa.

(3) Globaalin kaukovaikutteisen iskukyvyn koulukunta uskoo mullistavaa olevan mahdollisuus sotia tehostuneessa C4ISR-ympäristössä Yhdysvalloista käsin ilman, että suurten joukkojen läsnäoloa itse sotatoimialueella tarvittaisiin. Sotilaallinen voimankäyttö toteutetaan pääasiassa tietoverkoissa ja pitkän matkan ilma-aseella sekä ohjuksin. Esimerkki tästä on luvussa 2.1.1 esitetty kuvaus ilma-aseen tulivaikutuksen joh-

⁶ Jaottelu on esitetty VTT Energy STYX-seminaarissa 6.9.2001 aiheesta "RMA - An American View". Hanlon pyrki määrittelemään vallankumouksen (Revolution in Military Affairs, RMA) eri koulukuntien kautta. Hän tunnusti itse kuuluvansa skeptiseen koulukuntaan. Esitys perustuu Taktiikan laitoksen luentotiiivistelmään (Rami Peltonen) ja jaettuun seminaarimateriaaliin.

⁷ C4 = Command, Control, Communications and Computers. Suomessa käytetään yleisesti nimitystä johtamisjärjestelmä, joka käsittää myös henkilöstön, tilat, välineet ja koulutuksen.

⁸ Tämän koulukunnan "isänä" O'Hanlon piti Amiraali Bill Owensia (1995).

⁹ C4ISR lisää edelliseen tiedustelun (Intelligence), valvonnan (Surveillance) ja tietojen hankinnan (Reconnaissance). Suomessa termi ei ole vielä vakiintunut, yleinen käänös on taistelutilan hallinta.

¹⁰ Koulukuntaa edustavat O'Hanlonin mielestä mm. RAND-tutkimuslaitoksen edustajat

tamisesta. Tässä työssä asiaa tarkastellaan vain välillisesti maalin kannalta, koska Suomen ei oleteta omaavan tämän tyyppistä kykyä edes tulevaisuudessa.

(4) Haavoittuvuuksien koulukunnan mielestä tekninen kehitys johtaa eri maiden asevoimien rakenteellisten erojen suureen kasvuun, minkä seurauksena sota muuttuu asymmetriseksi. Joukot eivät enää kykene sotimaan toisiansa vastaan, vaan sota-toimet suunnataan vastustajan haavoittuvuuksia kuten viestijärjestelmiä tai siviili-yhteiskuntaa ja hallintoa vastaan. Esimerkkinä tästä ovat esimerkiksi Kosovon sodan operaatiot ja Persianlahden sodan iskut Irakin avainkohteisiin. Viimeisimpänä epäsymmetrisenä esimerkkinä voidaan pitää 11.9.2001 tapahtumia. Suomen kaltaisessa korkean teknologian maassa vaikutus voisi olla edellä mainittuja paljon vakavampi ja strategisen iskun uhkakuvassa onkin nähtävissä piirteitä tästä. Tässä työssä teemaa tarkastellaan teknisellä tasolla luvussa 8.2 pelastuslaitoksen näkökannalta.

(5) Jälkivallankumouksen (post RMA) koulukunta katsoo, että vallankumous on jo toteutunut ja nykyiset muutokset aseistuksessa ja sodankäynnin tavoissa eivät ole mullistavia, toisin kuin esimerkiksi ydinaseen käyttöönotto 1940-luvulla. Asia voi olla näin Yhdysvalloissa, muttei ainakaan vielä Suomessa.

(6) Skeptisen koulukunta mielestä vallankumouksesta ei pitäisi puhua lainkaan: kehitys sodankäynnin ja aseteknologian alalla on jatkuvaa, muttei välttämättä mullistavaa ja vaikka joillakin tekniikan aloilla saataisiinkin suuria läpimurtoja, ei suurten organisaatioiden muuttaminen teknisen kehityksen tahdissa ole taloudellisten ja poliittisten rajoitteiden takia mahdollista. Näin ollen todellisuus vaimentaa tekniset edistys-askleet evolutionäärisiksi. Tämä on osin ristiriidassa sen tieteenfilosofisen käsityksen kanssa, että sotatieteessä voisi suunnittelutieteenä tapahtua myös vallankumouksia. Kyse lienee termin määrittelystä ajan suhteen eikä näin kuulu tämän työn piiriin.

Rekkedal [Rek02] käsittelee vallankumousta Ruotsin lähtökohdista. Hänen mukaansa muutos taistelun tasolla perustuu verkottumiseen ja kaukovaikutteisen tulen kasvuun, joka muuttaa oleellisesti myös tapaa käydä taistelua. Hän nostaa kolme muutostekijää esiin: kaukotäsmätulivaikuttamisen korvaamassa ainakin osin lähitaistelua, merkittävät muutokset johtamisjärjestelmissä ja johtamistavassa sekä tappioiden vähenemisen miesten ja ympäristön kannalta.

Miksi sodassa operatiivisella tasolla olisi tietokoneen luoma vallankumous? Vallankumous on itse asiassa siinä, että tiedosta on tullut keskeinen tekijä taistelun tehokkuuden kasvattamisessa kaikilla tasoilla. Tämän mahdollistaja on tietokone, jota ilman vallankumous ei olisi mahdollista. Todellinen kumous syntyy vasta sitten, kun tietoko-

neesta otetaan ”kaikki irti” panssarivaunun ja salamasodan tavoin – siis kun toimitaan uuden aseiden ehdoilla. Erikoista on se, että tietokone on kerroin, jolla voi vaikuttaa jokaiseen vanhaan taistelun komponenttiin – tuleen, liikkeeseen ja suojaan – ja niiden osiin joko toimintaa tehostamalla tai muuttamalla. Painotuksen voi tehdä mille taistelun osa-alueelle tahansa.

Maastoanalyysillä on tilannekuvaan yhdistettynä mahdollisuus syventää ymmärrystä ja ennustaa kehitystä sekä seuloa pois mahdottomuuksia, hallita nollatietoa, tutkia pimeyttä ja siihen liittyvää epätietoa sekä käyttää tietoa hyväksi. Analyysien tulosten visualisointi antaa uuden mahdollisuuden syvään ymmärrykseen ja maaston tiedusteluun tietokoneella esittämällä näkymätöntä ja antamalla tapahtumille ajallista ulottuvuutta aikasarjoilla. Kirjoittajan näkemyksen mukaan paikkatietotekniikka on yksi uuden sodankäytävän avaintekniikoista. Seuraavassa luvussa on vastattu tältä kannalta yhteen uuteen haasteeseen, verkottuneen ad-hoc organisoitumistavan käyttämiseen.

11 VISIO PAIKKATIEDOSTA SUOMALAISELLA DIGITAALISELLA TAISTELUKENTÄLLÄ

Merkille pantavaa uudessakin suomalaisessa esikuntatyöskentelyssä on, että suunnittelu on pystyttävä toteuttamaan kokonaan täysin manuaalisillakin välineillä ja vieläpä siten, että *"keskeiset tehtävät on pystyttävä tekemään samassa ajassa."* [Esik01] Tietokoneen mahdollisuuksista ei siis käytetä niitä osia, jotka todella vaativat itse toimintatapojen muuttamista ja kyse on perinteisen, tosin modernisoidun, manuaaliseen työskentelyyn perustuvan prosessin tietoteknisestä tukemisesta. Päätöksenteossa pyritään tehostamaan lähinnä tilannekuvaa ja hajauttamista, ei analyysien tai suunnittelun sisällöllistä laatua¹. Tietokone tuskin pystyy näin käytettynä tekemään mitään mullistavaa, lisäksi se joutuu jatkuvasti vertailulle vanhaan ja osattuun manuaaliseen menetelmään. Hankaluutena on, että tietokoneella kaikki on tehtävä sillä alusta saakka, tietokoneesta taas voi aina ottaa tulosteen ja jatkaa siitä manuaalisesti. Tätä käytetäänkin varmistusmenetelmänä.

Onko esitetylle ratkaisutavalle olemassa vaihtoehtoa? Tietotekniikka koetaan edelleen niin haavoittuvaksi, että sen varaan ei uskalleta perustaa koko johtamista Yhdysvaltojen ja Ruotsin tapaan. Merkittävä osa epäluulosta ei itse asiassa johdu tekniikasta, vaan siitä, että sen käyttäjät opettelevat asiaa ensimmäistä kertaa vasta 30-50 vuoden iässä samalla, kun he yrittävät poisoppia aiemmat menetelmät. Systemaattista koulutusta ei myöskään ole Suomessa vielä järjestetty, koska johtamisjärjestelmien ensimmäinen sukupolvi on vasta tulossa käyttöön. Kun tähän lisää havainnon siitä, että samoja järjestelminä on kaatuilevina kehitysversioina käytetty jo usean vuoden ajan eri kurssien tärkeimmissä harjoituksissa vahvistamassa negatiivista käsitystä, saa käsityksen muutosvastarinnan suuruudesta. Asia on markkinoitu huonosti: jos kyseessä olisi asejärjestelmä, sitä ei koskaan otettaisi käyttöön. Toisaalta kukaan ei uskaltaisi edes yrittää vastaavaa asejärjestelmällä, jossa yli neljäkymmentä vuotta sitten kehitetyn rynnäkkökiväärin soveltumista edelleen sotavarusteena jokaisen sotilaan perustyökaluksi ei aseteta kyseenalaiseksi. Sen sijaan kolme vuotta vanhaa johtamisjärjestelmää saa arvostella vapaasti eikä sen käyttöä tarvitse opetella. Aika kuitenkin toimii tietotekniikan eduksi. Seuraavat johtajasukupolvet ovat oppineet siihen jo koulussa ja sitä seuraavat pitävät tietokonetta luonnollisena osana elämäänsä. Mikäli samaan aikaan pystytään todistamaan, että ihmisen ja tietokoneen yhteistoiminnalla voidaan saavuttaa merkittäviä etuja, vallankumous johtamisessa voi myös syntyä.

¹ JOTI-tietojärjestelmän oleelliset "uudet" asiat ovat yhteinen tilannekuva ja kyky työskennellä esikunnan sisällä hajautevasti. Mitään analyysien kannalta uutta ei sen sijaan ole käytössä.

Yhdysvaltojen ja Ruotsin näkökulmana on painottuminen ilmasta ja kaukaa tapahtuvaan täsmätulivaikutukseen suurella taistelutempolla. Maastotieto nähdään painopisteisesti maalitus- ja visualisointivälineenä, jotta johtajat kykenevät valitsemaan oikeat maalit. Asevaikutukseen maastolla on vain vähän merkitystä, koska valitut maalit kyetään yleensä ilmasta myös valaisemaan ja tuhoamaan. Taistelunhallintajärjestelmän tehtävänä on päätöksen jälkeen ensin tuhoamisvälineen valinta ja sen jälkeen yksilöidyn välineen etsintä ja käskeminen peninkulmien mittaluokassa tehtävää toteuttamaan. Yhdysvalloissa tosin ollaan huolestuneita asutuskeskustaistelun ja peitteisen "viidakkotaistelun" tyyppisten taistelukenttien sopivuudesta² uuteen ampumarata-taistelutapaan.

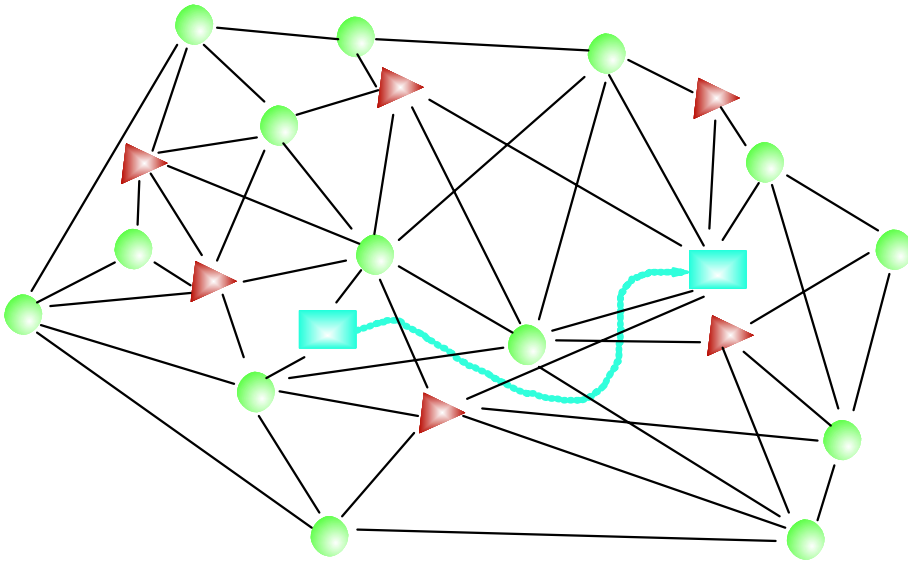
Suomessa taistellaan yleensä joko peitteisessä maastossa tai asutuskeskuksessa, lisäksi meiltä puuttuu kyky aseelliseen kaukovaikutukseen. Jos Suomen puolustaminen myös tulevaisuudessa perustuu kohtuullisen suuriin maavoimiin, pitää vaikutusta hakea joukkojen fyysisellä liikkeellä, jotta tulivaikutus kyetään aikaansaamaan kantaman puitteissa. Tämä aikaansaa onnistuessaan epäsuoran taistelun, koska tekninen vastustaja pyrkii välttämään juuri suuria tappiota aiheuttavia lähitaisteluita, joissa tekninen ylivoima tasoittuu. Suomalaisen taktiikan vahvuus on perinteisesti ollut siinä, että tehtävätaktiikalla on siirretty merkittävä osa päätösvallasta matalalle yksikkötasolle. Parhaiten varustetuissa valmiusjoukoissa ja rajallisen kaukotulivaikutuksen kohdentamisessa voidaan meilläkin tarvittaessa käyttää komentotaktiikan tyyppisiä menettelytapoja.

Mikäli tulen käyttö perustuu pääosin maassa liikuteltaviin sensoreihin ja lyhyen kantaman tykistöasejärjestelmien tuleen, sekä näiden kanssa aikautettuun jalkaväkijoukkojen liikkeeseen, joita kuitenkin pyritään käyttämään uudella verkottuneella tavalla, nousevat maastoa käsittelevän yksityiskohtaisen paikkatiedon antamat mahdollisuudet Yhdysvaltoihin ja Ruotsiin verrattuna toiselle tasolle. Mikäli vastustajamme käyttäytyy tietoyhteiskunnan armeijan tavoin on suojan hankinnan tukeminen maalittamiselta ja kaukoasevaikutukselta analyysien tärkein tehtävä. Mikäli vastustaja taas toimii teollisuusyhteiskunnan armeijan³ tavoin, muuttuu liikkeen käsittely sekä vastustajan että omalta kannalta keskeiseksi. Molemmissa maaston oikea käyttö yhdistetty-

² Katso esimerkiksi [RAND01] ja kokemukset Kosovon operaatiosta. Tämän tyyppisten olosuhteiden vaikutukset täsmäaseteknologian tehokkuuteen on tunnustettu, mutta useimmiten niihin vastaaminen on jätetty tulevaisuuden teknisten järjestelmien vastattavaksi.

³ Käsite on alun perin Alvin Tofflerin kirjassaan War and anti war käyttämä termi, jolla kuvataan panssaroitua, tehokasta tulta ja liikettä käyttävää konemaista organisaatiota. Käsite voidaan ajatuksellisesti laajentaa kuvaamaan myös ilmamekanisoituja joukkoja vastakohtana tietoyhteiskunnan sotavoimalle, joka käyttää kaukovaikutteista täsmäaseteknologiaa.

nä erikoisolosuhteiden ymmärtämiseen antaa meille mahdollisuuden voimasuhteiden tasoittamiseen - näin on korostetusti myös maastotiedon kanssa.

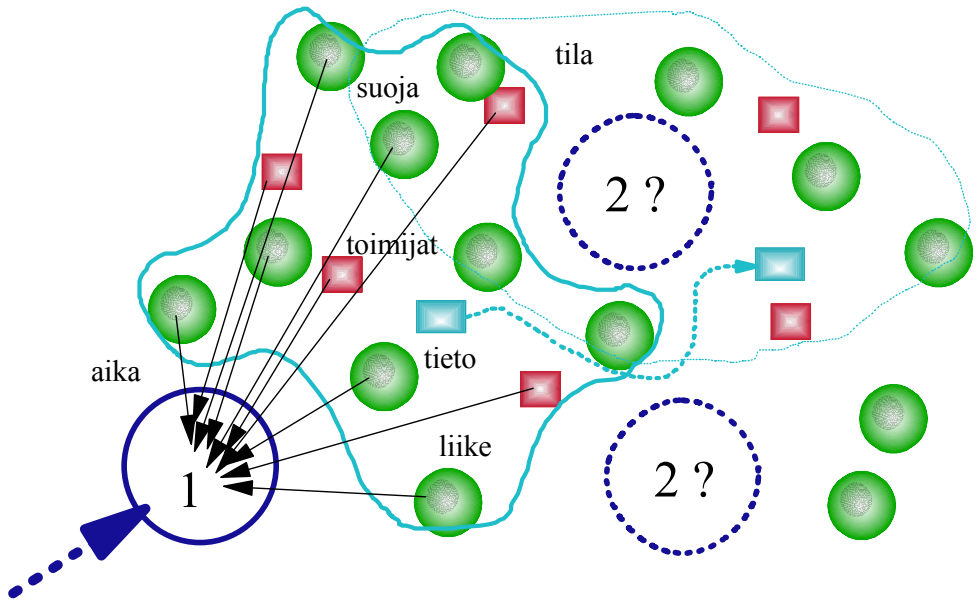


Kuva: Matala verkottunut organisaatio hajautettuna maastoon. Viestijärjestelmätekniikka pystynee tulevaisuudessa tukemaan kuvatus tyypistä ad hoc verkon muodostumista. Neliöllä on kuvattu johtamispaikkaa, ympyrällä liikkuvaa taisteluvoimaa ja kolmiolla epäsuoran tulen yksiköitä. Kuva on mukailtu Rauno Kuusiston⁴ [Kuu02] tutkimustyön työkappaleesta.

Verkottunut rakenne antaa mahdollisuuden muodostaa ad hoc organisaatioita myös muun kuin tulen käytössä, jonka perinteet kenraali Nenonen loi jo 1930-luvulla. Nopea ja joustava taistelijaotuksen muodostaminen hitaasti liikkuvilla ja hajautetuilla joukoilla vaatii kykyä ennustaa ja rajoittaa vastustajan toimintaa sekä arvioida nopeasti, mitkä resurssit ehtivät tilanteessa vaikuttaa ja miten voimasuhteet tällöin aikaan sitoen muodostuvat. Molemmat kysymykset ovat suuressa määrin spatiaalisia.⁵ Jos me kykenemme tunnistamaan vastustajan kriittiset kohteet ja ohjaamaan pienetkin iskut niitä vastaan, suurikin järjestelmä voidaan romahduttaa.

⁴ Everstilutnantti Rauno Kuusisto on tutkinut muun muassa Puolustusvoimien Teknisellä Tutkimuslaitoksella jo usean vuoden verkottuneen taistelutavan johtamista. Ääriesimerkkinä on täydellinen ad hoc, jossa joukot organisoituvat itsenäisesti. Tässä työssä käsitteellä ad hoc tarkoitetaan periaatetta, jossa joukko kootaan nopeasti tilanteen vaatimalla tavalla ilman aiempaa vahvaa organisaatio- ja komentoketjurakennetta.

⁵ Vertaa [Lap94], jossa juuri tämän analyysityypin käytettävyyttä korostetaan.



Kuva: Ad hoc tyyppinen organisoituminen halutun operatiivisen tavoitteen saavuttamiseksi Rauno Kuusiston mukaan. Tapa mahdollistaa tehtävaktiikan käyttämisen sillä edellytyksellä, että verkkoa käytetään aikautuksen ja välirajojen määrittelyyn. Tapa poikkeaa oleellisesti edellä kuvatusta Yhdysvaltalaisesta ajattelutavasta.

Mahdollisuuksista uuteen ajatteluun tieto on seuraavassa jaettu kolmeen eri tyyppiin:⁶

1-data (informaatio, tieto) kohdistuu jonkin sotilaallisesti merkityksellisen asian tai kohteen olemassaoloon. Pääosa tiedusteluponnistuksista kohdistuu tähän tiedon lajiin, "mitä vastustaja on tekemässä ja missä?".

0-data (informaatio, tieto) on tietoa siitä, että mitään merkityksellistä ei tapahdu tietystä kohteesta. Se on 1-datan vastakohta.

no-data (informaatio, tieto) on tietoa siitä, että 1-datan ja 0-datan hankinta ei kyseisessä kohdassa ole jostakin syystä mahdollista.

Merkittävä osa tiedusteluponnistuksista kohdistuu olevan havaitsemiseen, tunnistamiseen, luokitteluun ja analysointiin. Tästä tiedon muodosta voi käyttää nimitystä **1-data** viittaamaan jonkin merkityksellisen olemassaoloon. Sensorifuusio ja siihen liittyvä tietotekniikka pyrkii jalostamaan raakadatasta informaatiota. Datan yhdistäviä omi-

⁶ Sakari Ahvenainen on esittänyt, että ensimmäiset kaksi voidaan itse asiassa esittää matriisina neljänä tapauksena. 1 - 1 johtaa tilanteeseen, jossa päättäjät tietävät tietävänsä ja 1 - 0 siihen, että tiedetään tiedon puuttuvan. Vastaavasti 0 - 1 on tietoa, joka on järjestelmässä muttei päättäjällä ja 0 - 0 tietoa, jota ei edes kaipaa koska ei tiedä sen olemassaolosta. Esitettyyn rakenteeseen verrattuna no data poikkeaa viimeksi mainitusta siinä, että tietoa ei pystytä hankkimaan riippumatta siitä, olisiko sitä ko. paikassa olemassa.

naisuuksia ovat paikka ja aika; jos ne ovat riittävällä tarkkuudella samoja, voidaan saavuttaa informaatiota. Kun prosessia jatketaan esimerkiksi tietämysjärjestelmien avulla, voidaan informaatiolle yrittää antaa myös sisältöä ja totuusarvoa, muuttaa sitä tiedoksi. Ymmärrykseen koneet eivät vielä suurista toiveista huolimatta yllä, siihen tarvitaan edelleen ihmistä. Aikaleiman ansa syntyy, kun datan käsittelyä automatisoidaan yksiulotteisesti. Klassinen esimerkki on rikkoutunut silta, jonka välituen epäonnistunut räjäytysyritys raportoidaan tiedustelupartion ilmoituksena ja päivitetään tietokantaan vakavana kantavuuden alenemisena. Ennen hyökkäystä lennokki havaitsee ehjän kannen ja uudempi tieto ohittaa aiemman: sillalle palautetaan sille tiedetty, sekin ehkä väärä kantavuus. Tietokone voi ylittää esimerkin kaltaisissa tilanteissa ihmisen kyvyt. Sen tietämykseen voidaan määrittää, että sillan kantavuus kehittyy vain tiettyyn suuntaan ja tiettyjen prosessien kautta, aivan kuten ihmisellekin. Mutta tietokone jaksaa väsymättä kerätä, liittää ja tarkistaa tämän tyyppistä tietoa. Se voi nopeasti yhdistää tiedon muuhun paikasta ja ajasta tietämäänsä: voiko päätelty ilmiö esiintyä esitettyssä kohdassa neliulotteista avaruutta. Kone voi myös matemaattisen johdonmukaisesti epäillä jo tekemiään johtopäätöksiä ja kysyä jokaisen uuden tiedon murun kohdalla, vahvistuuko vai heikentyykö tehty päätelmä. Neuroverkkona ja tietämysjärjestelmänä toteutettuna kone voi jopa oppia virheistään.

1-tiedon luotettavuuteen liittyy sotilaallisesti tärkeä ajatuksellinen ulottuvuus. Tietyissä tilanteissa, kuten hyökkäyksen suojaamisessa tai helikopterin maahanlaskualueen teknisessä sopivuudessa, ei haluta riskeerata ja tiedolta vaaditaan korkeaa luotettavuutta. Toisaalta on myös usein tilanteita, joissa oljenkorteenkin tarttuminen on perusteltua, yksiselitteisen ykkösen tilalla halutaan nähdä myös väliarvot kohti nollaa. Tämän tyyppistä tietojen käsittelyä voidaan ratkaisevasti parantaa keräämällä analysoitua reaali maailman tietoa laajasti jo rauhan aikana. Tiedetylle 1-tiedolle on ominaista, että sen totuusarvo kuluu ajan mukana. Havainto liikkuvasta marssiosastosta muuttuu epätiedoksi hyvin nopeasti. Mikäli tietojärjestelmä ei tätä hallitse, vanha tieto jää roikkumaan kerran jo todeksi todistettuna. Se voi lisäksi monistua, kolmesta saman komppanian havainnosta syntyy synteisissä kolmikomppaniainen pataljoona. Tietokoneen etuna on, että se jaksaa tarkistaa myös jo tallennettua tietoa ja elättää sen totuusarvoa ohjelmoidun mallin mukaisesti. Tilannekuva hämärtyy samaan tahtiin tiedetyn kanssa ja se voidaan joka hetki piirtää uudelleen. Vanhan tiedon palauttaminen on myös mahdollista, tapahtumien kuva alkaa elää temporaalisesti.

Harvoin näkee tilanteita, joissa **0-dataa** eli olemattomaksi tiedettyä, käytettäisiin sotilaallisesti hyväksi. Jos tiedustelija ei ilmoita mitään, hän on epäonnistunut. Kun tietää,

missä vihollinen on ja mitä se tekee, omaa perusteet iskeä kipeästi. Jos sen lisäksi tietää, missä vihollinen ei ole, omaa mahdollisuuden päästä iskemään yllättävästi ja sitoutumatta toisarvoiseen taisteluun. Nyrkkeilijäkään ei vahdi vastustajan suojausta, vaan seuraa leukaa ja etsii suojasta aukkoja.

Tyhjän tiedon käsittelyssä on tärkeää tietää, mille alueelle tieto kohdistuu. Kun tiedustelija näkee vihollisen, hän automaattisesti paikantaa tämän ja ilmoittaa eteenpäin. Sen sijaan 0-datalle on vaikeaa määrittää yksiselitteistä paikkaa, koska kyse on yleensä alueesta. Paikkatietoanalyysseilla voidaan tehokkaasti muodostaa näitä alueita, kun sensoreiden omat paikat tiedetään ja määrittely on sitä tarkempaa, mitä parempia lähtöaineistoja ja analyysialgoritmeja on käytössä. Tekijät voidaan lisäksi optimoida ja niiden käyttö harjoitella jo rauhan aikana, ne eivät ole tilannesidonnaisia muun kuin sensorin paikan suhteen.

0-tietoa voi käyttää myös toisinpäin. Miksei tiedustelun tarkoitus voisi olla olemattomuuden varmistaminen? Lennokki kykenee tuottamaan nopeasti ja reaaliaikaisesti tietoa lentoalueeltaan, mutta se on ilmassa haavoittuva ja 1-data on monessa tapauksessa vaikeaa löytää sensoreiden tuottamasta suuresta datahälyn määrästä. Voisiko lennokkia käyttääkin siten, että reitin varrella varmistetaan ensin tarvittava 0-data ja vasta maalialueella päivitetään 1-dataa? Tyhjälle tiedolle on ominaista, että se ei kulu yhtä nopeasti kuin 1-tieto. Kun tiedustelija on alueellaan hiljaa, siellä ei todennäköisesti tapahdu mitään. Suomessa on alueellisen puolustusjärjestelmän ansiosta mahdollisuus kattavaan tietoon, sekä nolliin että ykkösiin. Kun sensorit ovat inhimillisellä päätelykyvyllä varustettuja, heissä on myös hermoverkot jo valmiina. Lisäksi tämän tyyppinen sensorikenttä omaa kyvyn toimia ad hoc, ilman ulkopuolista ohjausta "tehtävänä valvonta, mutta karttalaukuliset ammutaan aina". Tämän tekijän vaikutusta ei kannata aliarvioida teknologiauskossa.

Vaikein tiedon laji on **no data**, se mitä ei tiedetä. Tähän myös kiinnitetään vähiten huomiota. Vaikka ihmisenä pelkäämme pimeää, sotilaina emme ole kovin huolestuneita edes sen olemassaolosta. Onko mahdollista yrittää arvioida sitä, mitä ei tiedetä? Yksi tapa lähestyä asiaa on määrittää no data jäännöksenä, joka jää kun 1-data ja 0-data vähennetään kokonaisuudesta. Hyödyllisempää on kuitenkin arvioida, mitä ei voida tietää, jolloin erotus kertoo vielä mahdollisen tiedon määrän. Meillä on etuna, että tiedämme omasta alueestamme hyvin paljon. Kun tietokoneen maailma muodostuu paikkatiedosta, meillä on lisäksi ylivoima kaikkiin muihin toimijoihin verrattuna. Mutta osaammeko me hyödyntää tätä ylivoimamme osaa? "Myrsky" harjoituksessa käytim-

me maakatveanalyysiksi⁷ kutsuttua tapaa hahmottaa helikopterin kannalta sitä, mitä ei edes voida tietää. Ideana oli, että ilmatorjunnalle sopivat alueet sijoitetaan systemaattisesti täyteen aseita, jonka jälkeen yritetään löytää ne alueet, joille ei missään tapauksessa voida vaikuttaa. Syntynyt no data on tämän jälkeen täysin riippumatonta siitä, missä omat tai vastustaja kulloinkin ovat. Näin syntyi perusta, jota voi käyttää ellei parempaakaan ole käytössä, lentää pimeydessä ja toivoa parasta.

Oletetaan, että 1- ja 0-data saadaan kerättyä alueellisella puolustusjärjestelmällä ja päivitettyä omalle toiminnalle tärkeillä alueilla kehittyneen tekniikan avulla. Lisäksi no-datasta on jonkinlainen käsitys. Mitä tiedolla voidaan tehdä taistelun voittamiseksi?

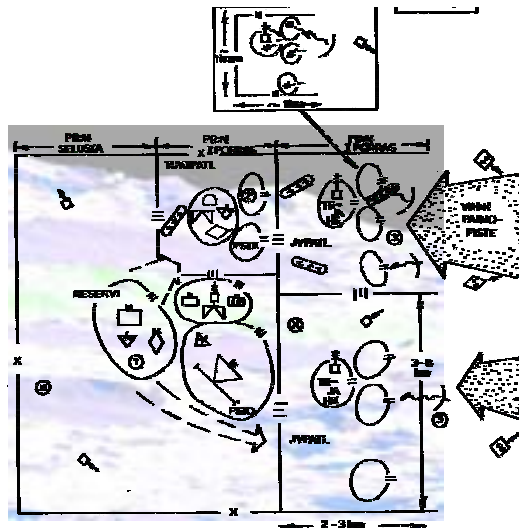
Tärkein tavoiteltava ulottuvuus on saada ylivoimainen käsitys siitä, mitä vihollinen on tekemässä.⁸ Tämän saavuttamiseksi kasvava ja teknistyvä tiedustelu ponnistelee kaikissa maissa, mutta yksittäisistä 1-databiteistä on pitkä matka vihollisen joukon hahmoon. Tällä hetkellä 1-dataa verrataan ensin eri joukkojen osien piirteisiin, jonka jälkeen tietyllä alueella olevat tunnistetut pisteet yhdistetään ihmisen päättelykyvyn avulla ensin suuremmaksi joukoksi ja sitten sen todennäköisesti toiminnaksi. Tyhjät aukot täytetään. Ajatus perustuu siihen, että meillä on tiedossa vihollisen joukkojen käyttämä taktiikka ja organisaatioiden kalustolliset ominaispiirteet, ja jokainen oma johtoporras siirtää analysoimansa kuvan eteenpäin siten, että tunnistetun vihollisjoukon koko kasvaa porras portaalta. Lisäksi jokaisessa portaassa verrataan samoilta alueilta saatuja arvioita ja ratkotaan ristiriitoja. Ihmisen tekemänä tässä prosessissa on sekä vahvuuksia että heikkouksia:

- + Koulutettu ihminen voi käyttää intuitiivista päättelyä, johon kone tuskin pystyy ainakaan samanlaisella tavalla. Ihminen on mestari hahmon tunnistamisessa.
- + Analyysi ja synteesi alkavat kentältä saakka, missä johtopäätöksiä voidaan tukea omakohtaisilla havainnoilla.
- Inhimillinen tarve liioitella kertautuu helposti. Varsinkin laadulliset virheet jäävät helposti huomaamatta. Lisäksi pian on vaikea erottaa, mitkä osat synteesisistä perustuvat aukkojen täyttämiseen, mitkä havaintoihin.
- Peräkkäinen analyysi – synteesisprosessi eri tasoilla vie paljon aikaa.
- Ihminen ei jaksakaan koko aikaa tarkistaa päätelmiään uusien havaintojen vasten, toisin kuin kone. Jo tehtyjen päätelmien muuttaminen on jäykkää.
- Ihmiselle ajassa tapahtuvan hitaan muutoksen huomaaminen on vaikeaa, varsinkin jos havainnot ovat eri paikoista ja eri joukoista eri aikoina. Vanhentunut tieto jää helposti roikkumaan.

⁷ Katso luku 8.3.1.

⁸ Vertaa edellä O'Hanlonin esittämä valvontakoulukunta.

Käyttämällä tietokonetta ihmisen päättelyn apuna ja tarkistajana, voidaan sekä analyysien että synteessin luotettavuutta parantaa. Lisäksi 1-datan ja 0-datan animaation tyyppinen 4D-visualisointi voi merkittäväällä tavalla tukea ihmisen päättelyä. Mikäli raakadataa vielä kyetään siirtämään sellaisenaan tehtyjen synteessien rinnalla ja edellä, tietokone voi lisäksi yrittää kokonaan omaa analyysia ja synteesiä esimerkiksi vertaamalla ensin havaintojen laadullisia pääkomponentteja erilaisiin joukkoihin, valitsemalla sitten kyseisen joukon eri taistelulajit ja laskemalla niiden hahmon korrelaatio aikaan ja paikkaan sidottujen havaintojen ja mallin välille.



Kuva: Jokaisella joukolla on toiminnassa tietty perushahmo, joka kertoo, miten joukon osat liittyvät toisiinsa. Hahmoon vaikuttaa taktisen tehtävän ja vastustajan lisäksi oleellisena tekijänä maasto, joka muovaa toiminnalle suotuisien ja toimintaa estävien piirteiden takia lokaalisti jokaisen alajoukon hahmoa ja sen liikettä aikaan sitoen.

Maastoanalyyseja käyttämällä myös 0-data ja no data voidaan ottaa huomioon sulkeamalla mahdolliset joukkojen paikat pois ja korostamalla suotuisiksi arvioituja. Tieto-

kone voi tarjota erilaisia vaihtoehtoja korrelaation osoittamassa järjestyksessä ja esittää niitä ihmiselle, joka yhdistää hahmoin oman intuitionsa. Lisäksi kone ei sekoita tehtyjä arvauksia ja todellisia havaintoja keskenään, ihmisen tietokannassa havainto ja siitä tehty päätelmä sen sijaan harvoin pysyvät erillisinä. Rakenteen voi myös kääntää: ihminen esittää iteratiivisesti erilaisia johtopäätöksiä ja laskettaa niihin tietokoneella mekaanisia korrelaatioita. Molemmat prosessit voivat myös olla käynnissä samanaikaisesti. Tietokoneen mahdollisuuksia synteessissä kasvattaa robottien lisääntyminen taistelukentällä, koska nekin ajattelevat tietokonemaailmassa tyytyen vertaamaan reaalia maailmasta saamiaan mittaustuloksia sisäisen mallinsa kanssa. Niille kartta ja sitä täydentävä informaatio on totuus, aivan kuten ihmiselle on totta aistien datavirran villinlaisen tulkinnan avulla luotu sisäinen kuva todellisuudesta.

Kun vihollisen joukon hahmo on kerran saatu kiinni, sen seuraaminen on helpompaa ja syherölle mennyt aika alkaa oieta [vrt. Rii98] [Kuu02]. Tämän jälkeen iskulle pitää valita hyvä aika ja paikka, jolloin isku menee tiedon perusteella suojaukseen jääneestä aukosta heikkoon kohtaan. Tyrmätäänkö vastustaja riippuu iskun kovuudesta eli resurssoinnista. Hidas ja lyhytkin liike kykenee läpäisyy, jos ennustamisessa onnistutaan. Taistelumallit voivat auttaa ymmärtämään sitä, mitä on tapahtumassa ja mitä on mahdollista tehdä. Mikäli komentajalle tarjotaan valtava määrä sirpaleista tietoa, hän tukahtuu tai alkaa toimia yksityiskohtien perusteella. Tieto on osattava visualisoida siten, että se tukee komentajan kognitiivista prosessia. Havainto on erotettava arvauksesta, varma epävarmasta.

Jos taistelukentän oletetaan olevan luonteeltaan kaoottinen, ei siitä voi syntyä ennalta tiedettyä hahmoa vaan ainoastaan sirpaloituneita osataisteluja. Tämän tyyppiseen tilanteeseen voi yrittää käyttää ainakin kahta ratkaisutapaa. Sissitoiminta on perinteisesti perustunut pitkäaikaisiin toimintaohjeisiin tiukan ohjaamisen sijasta. Tiedon tasolla tämä tarkoittaa, että omalle, valmiiksi sirpaleisiksi organisoiduille joukoille annetaan lupa nopeaan toimintaan silloin, kun tietty tilanne tunnistetaan. Näin pyritään aikaansaamaan järjestelmävaikutus, joka kohdistuu satunnaisesti mutta johdonmukaisesti vihollisen kriittisiin prosesseihin pyrkien luhistamaan kokonaisuuden. Vaihtoehtona on kerätä tieto ja antaa heuristisen järjestelmän kuten Kohosen verkon yrittää saada tiedon paloihin tunnistettavaa logiikkaa. Tämän jälkeen osia manipuloimalla voidaan yrittää kasvattaa vihollisen kaaosta samalla kun pyritään lisäämään omaa järjestystä. Yhdistämällä esitetyt tavat voidaan paikalliset ja operatiiviset resurssit yhdistää yhteiseen päämäärään, jolloin toiminnan painopiste ja tavoite on nostettu abstraktille tasolle.

Lähteet:

Projektit ja niiden tärkeimmät tuotteet:

- [GISP00] Kaartinen, Kimmo; Kuoppamäki, Jarkko ja Sireeni, Jarmo: GISP Pioneerisovellus. TKK Maa 6.430 GIS ohjelmatyö 1999-2000. Kirjoittaja oli työn asettaja ja ohjaaja. Työssä testattiin kevyttä COTSGIS -komponenttikirjastoa analyysitulosten jakelussa.
- [HEKOGIS] Puolustusvoimien helikopterihankkeeseen liittyvä tutkimusprojekti. Käynnistetty vuonna 2000 ja liitetty iskukykytutkimukseen vuonna 2002.
- [HEKO01a] Hyytiäinen, Mika: Esikunta- ja johtamisharjoituksen 2001 tutkimus – paikkatieto. Raportti, Maanpuolustuskorkeakoulu, Taktiikan laitos 17.05.2001. Viranomaiskäyttö.
- [HEKO01b] Hyytiäinen, Mika: Numeerinen maastotieto helikopteritaktiikan tukena. Seminaariesitelmä, Maanpuolustuskorkeakoulu, Taktiikan laitos 12.10.2001.
- [HEKO02] Hyytiäinen, Mika: Supporting Finnish Helicopter Tactics with GIS-analysis – Opportunities for the future, artikkeli seminaarijulkaisussa Helicopters - A new branch of service in the Finnish Ground Forces, toimittaneet Jorma Aherto, Jorma Saarelainen, Laura Loikkanen, Tuomas Hynynen. Maanpuolustuskorkeakoulu, Taktiikan laitos, julkaisusarja 2 n:o1/2002. ISBN 951-25-1367-6.
- [KESI] Komentaja- ja esikuntakoulutusta tukevan simulointijärjestelmän tutkimus ja hankinta. Vaatimusmäärittely vuonna 1999, hankintavaihe käynnistetty helmikuussa 2000 ja päätös hankinnasta tehty elokuussa 2002.
- [KESI99a] Komentaja- ja esikuntakoulutuksen simulointijärjestelmä (KESI), Käyttäjän vaatimusmäärittely, Maanpuolustuskorkeakoulu 15.12.1999, Viranomaiskäyttö.
- [KESI99b] Komentaja- ja esikuntakoulutuksen simulointijärjestelmä (KESI), RFI-vastaukset ulkomaisilta simulaattorivalmistajilta (8), marraskuu 1999, Luottamuksellinen.
- [KESI00] Komentaja- ja esikuntakoulutuksen simulointijärjestelmä (KESI), Vaatimusmäärittely - kotimainen osuus, Maanpuolustuskorkeakoulu 24.03.2000, Viranomaiskäyttö.
- [KESI01a] Simulation System for Commander and Staff Training (KESI), Requirement Specification – Foreign Part, National Defence College 5 March 2001, For Authorities.
- [KESI01b] Komentaja- ja esikuntakoulutuksen simulointijärjestelmä (KESI), RFQ-vastaukset ulkomaisilta simulaattorivalmistajilta (9), heinäkuu 2001, Luottamuksellinen.
- [KESI01c] Hyytiäinen, Mika, CAE modifications - Finnish GESI-system, FDF Standpopint, FNDC Memo 26 Nov 2001. Viranomaiskäyttö.
- [KESI02] Hyytiäinen, Mika: Maasodankäynnin taistelumallit ja taktiset simulaattorit – Paikkatiedon käyttötapaa, TKK Maa 123.520 erikoistyö, 149 sivua 04.02.2002. Viranomaiskäyttö.
- [LeMaSu] Liikkeen edistämisen maastosuunnitteluovellus, osa PionJohla-järjestelmää. Projektin esitkimusvaihe käynnistetty vuonna 1998, ohjelmointia ei vielä aloitettu.
- [LeMaSu01] Kukko, Antero; Louhisola, Meri; Korhonen, Kati: Ylimenon ja ylikulun maastosuunnitteluovellus-proto, TKK Maa 6.523 GIS-ohjelmatyö 2000 – 2001, loppuraportti.
- [LiMaSu] Linnoittamisen maastosuunnitteluovellus, osa PionJohla-järjestelmää. Kehitystyö aloitettu vuonna 1998 ja sovellus tuotteistettu vuonna 2001.
- [MaSu00] Hyytiäinen, Mika: Maastosuunnitteluovellus (PionJohla) – Kartta-aineistot. TKK Maa 6.383 Digital Map Datasets raportti toukokuu 2000. Sisältää analyysin maastosuunnittelua tukevista paikkatieto-aineistoista.
- [MATI02] Rasterianalyysituotteen luotettavuus. Käynnissä oleva MATINE-tutkimus, TKK 2002.
- [META02] Louhisola, Meri ja Ahonen-Rainio, Paula: Paikkatietojen metadata. Käynnissä oleva tilaustutkimus, TKK 2002-03. Ensimmäisenä raporttina julkaistu Louhisola, Meri: Puolustusvoimien paikkatiedon metadata, Teknillisen Korkeakoulun diplomityö, Elokuu 2002.
- [PATU] Paikkatietoanalyysialustan valinta ja paikkatietoanalyysitutkimus. Tutkimus käynnistetty vuonna 1998 ja tutkimusvaihe päätetty keväällä 2002. Projekti jatkuu alustan hankintana vuonna 2003.
- [PATU98] Paikkatieto (GIS) -analyysituotteen valinta, käsitteiden kuvaus, laajan kohdealueen käsitteet (toimitus I). Puolustusvoimien Tietotekniikkalaitos, Tietojärjestelmäosasto, 30.10.1998.
- [PATU99a] Paikkatieto (GIS) -analyysituotteen valinta, käsitteiden kuvaus, rajattu kohdealue (toimitus II). Puolustusvoimien Tietotekniikkalaitos, Tietojärjestelmäosasto, 28.01.1999.
- [PATU99b] Paikkatieto (GIS) -analyysituotteen valinta, käyttäjien analyysitarpeet (toimitus III). Puolustusvoimien Tietotekniikkalaitos, Tietojärjestelmäosasto, 20.09.1999.

- [PATU00] Paikkatieto (GIS) -analyysituotteen valinta, suositusten laadinta (toimitus IV). Puolustusvoimien Tietotekniikkalaitos, Tietojärjestelmäosasto, 22.02.2000.
- [PATU01a] PATU-tutkimusprojektin prototyyppien tarjouspyynnön tekninen osa, Puolustusvoimien Tietotekniikkalaitos, Tietojärjestelmäosasto, 11.12.2000 (perusta) ja 17.01.2001 (tarkennus).
- [PATU01b] PATU näkemäanalyysiprototyyppi tekninen käsikirja ja spesifikaatio, Novo Meridian Oy 28.09.2001.
- [PATU02] Paikkatietoanalyysien tutkimusprojekti (PATU) loppuraportti ja kokeilukertomukset. Puolustusvoimien Tietotekniikkalaitos, Tietojärjestelmäosasto, 06.02.2002.
- [PeLaRA] Pääkaupunkiseudun pelastuslaitosten riskianalyysityö. Työ käynnistetty vuonna 1999 ja päätetty tutkijan osalta vuonna 2000 palvelutasopäätökseen.
- [Pela00a] Hyytiäinen, Mika: Paikkatietoanalyysit väestönsuojelun riskianalyysissa, Esitutkimus. Maanpuolustuskorkeakoulu, Taktiikan laitos 17.03.2000.
- [Pela00b] Hyytiäinen, Mika: Paikkatietoanalyysit väestönsuojelun riskianalyysissa, Laskentamalli. Maanpuolustuskorkeakoulu, Taktiikan laitos 05.05.2000.
- [Pela00c] Kohvakka, Kimmo; Laaksonen, Juha-Pekka; Saarmala, Hannu: Pelastustoimen palvelutasopäätös, Analyysit. Helsingin kaupungin pelastuslaitos, joulukuu 2000.
- [PJohla] Pioneeritoiminnan Johtamislaitteen kehitysprojekti. Projekti käynnistetty vuonna 1996 ja päätetty kirjoittajan osalta syksyllä 1999 suunnittelun hyväksymiseen. Käyttöönottovaiheessa.
- [PJohla97] Pioneeritoiminnan Johtamislaitte, käyttäjän vaatimusmäärittely. Pioneerikoulu 5.10.1997. Tarkennettu versio 8.6.1998. Sisältää maastoanalyysille asetetut kehitystavoitteet.
- [PJohla98a] Pioneeritoiminnan Johtamislaitte, aineistokanta ja perusanalyysi, Pioneerikoulu 05.06.1998. Sisältää kuvauksen maaston perusanalyysin tavoitteista.
- [PJohla98b] Pioneeritoiminnan Johtamislaitte, taktiset esimerkit. Pioneerikoulu 08.06.1998. Sisältää kuvauksen maastoanalyysien taktisesta käytöstä.
- [PJohla98c] Pioneeritoiminnan Johtamislaitte, Parametrit ja kaavat II. Pioneerikoulu 08.06.1998. Sisältää maasto- ja resurssianalyysien laskennalliset perusteet.
- [Puuaine] Puolustusvoimien paikkatietoaineistojen aineistoprojekti. Projekti aloitettu vuonna 1999 ja päätetty hankintojen osalta vuonna 2002.
- [Salpa] Salpa-linnoitusketjua koskeva paikkatietoaineistoprojekti, osa PionJohla-järjestelmää. Projekti toteutettu kokonaisuudessaan vuonna 1999.
- [Sotmetsä] Sotilaallisten metsää koskevien paikkatietoaineistojen kehittämisprojekti. Projekti toteutettu esitutkimuksen osalta yhdessä Metsäntutkimuslaitoksen kanssa vuonna 2001.
- [Sotm01] Surakka, Heikki ja Hyytiäinen, Mika: Sotilasmetsä, Esitutkimus - sotilaalliset vaatimukset metsään liittyville paikkatietoaineistoille. Metsäntutkimuslaitos ja Maanpuolustuskorkeakoulu, versio 1.2 06.08.2001.
- [SovA] Sovellusarkkitehtuuriprojekti. Käynnistetty vuonna 2000 ja päättyy vuonna 2003.
- [Sov02] Uusitalo, Jukka ja Hyytiäinen, Mika: Tietojärjestelmien sovelluskehittämismalli. Luonnos 28.1.2002. Kuvaa sovellusten kehittämisprosessin ja keskeisen terminologian. Viranomaiskäyttö.
- [SuMaSu] Suluttamisen maastosuunnittelusovellus, osa PionJohla-järjestelmää. Projekti aloitettu vuonna 1998 ja kokeilukäyttö toteutettu vuoden 2002 aikana.
- [SuMaSu99] Hyytiäinen, Mika: Maastosuunnittelusovellus (PionJohla) Suluttaminen - esitutkimus. TKK Maa 6.523 GIS-ohjelmatyö raportti marraskuu 1999.
- [SuMaSu00a] Hyytiäinen, Mika: Maastosuunnittelusovellus (PionJohla) Suluttaminen - käyttäjän vaatimukset. TKK Maa 6.523 GIS-ohjelmatyö raportti lokakuu 2000.
- [SuMaSu00b] Hyytiäinen, Mika: Maastosuunnittelusovellus (PionJohla) Suluttaminen - toiminnallinen määrittely. TKK Maa 6.523 GIS-ohjelmatyö raportti joulukuu 2000.
- [SuMaSu00c] Hyytiäinen, Mika: Maastosuunnittelusovellus (PionJohla) Suluttaminen - toteutettavuustarkastelu. TKK Maa 6.523 GIS-ohjelmatyö raportti joulukuu 2000.
- [SuMaSu01] Hyytiäinen, Mika: Miinojen paikannus – tekninen tarkastelu. TKK Maa 123.620 GIS Postgraduate course raportti ja seminaariesitelmä 22.11.2001.
- [Väri99] Immonen, Jussi; Mikkelsen, Maarit; Surakka, Markku; Hienonen, Jani ja Ruohonen, Juha: Väriku- sovellus. TKK Maa 6.430 GIS ohjelmatyö 1998-1999. Kirjoittaja oli työn asettaja ja ohjaaja. So- vellus kehitettiin tutkimusvälineeksi analyysituotteiden visualisointia varten.

Julkaisemattomat lähteet:

- [Ahv02a] Ahvenainen, Sakari: Verkostosota. Maanpuolustuskorkeakoulun Taktiikan laitoksen julkaisusarja. Jätetty käsikirjoitus 2002.
- [Ahv02b] Ahvenainen, Sakari: Informaatioidankäynti. Viitteistetty luentomoniste (59 s.), Etelä-Suomen alueellinen maanpuolustuskurssi, kevät 2002.
- [Ala98] Alamäki, Marko: Liikkeen edistämisen tietojärjestelmä. Maanpuolustuskorkeakoulun esiupeeri-kurssin tutkimustyö E3137, maaliskuu 1998. Työ liittyy PionJohlan kehittämiseen, kirjoittaja toimi työn ohjaajana.
- [Ala99] Alamäki, Marko: Liikkeenedistämisen tietojärjestelmän käyttö yhtymän operatiivisen liikkeen tuke-misessa. Maanpuolustuskorkeakoulun yleisesikuntaupseerikurssin diplomityö Y2161, elokuu 1999. Kirjoittaja toimi työn ohjaajana.
- [Art95a] Artimo, Kirsi: Paikkatietotekniikan perusteet. 1995, julkaisematon
- [Dig99] Digitaalinen taistelukenttä. Päätoimittaja Mikko Heiskanen. PEv-os 1999. Raportti on muokattu FOAn teknis-strategisen tutkimuksen 1996 pohjalta suomalaisten asiantuntijoiden toimesta suoma-laiseen toimintaympäristöön, taktiikkaan ja resursseihin.
- [Esik99] Esikunnan kokoonpano ja työjärjestys. Jääkäriprikaati 2005 esikuntaohjeen tarkistettu luonnos 10.5.1999. Viranomaiskäyttö.
- [Esik01] Maavoimien sodan ajan yhtymien esikuntien kehittämisen tutkimus 1997 - 2001. Tutkimus koski esikuntien organisaatioiden, työskentelyprosessin, tilojen, koulutuksen ja tukiyksiköiden kehittämistä. Pääesikunta, Maavoimaosasto. Loppuraportti 3.9.2001 441/12/D/I Luottamuksellinen.
- [ESRI98] ESRI käyttäjäkonferenssi heinäkuu 1998 luentomateriaalit military and government käyttäjien osalta, kirjoittajan hallussa. Konferenssissa keskeinen teema oli kaupallisten alustojen tulo sotilaskäyt-töön, josta näkyvänä ja paljon puheaikaa saaneena esimerkkinä oli Ruotsin GeoPres. Tuolloin nyt jo käynnissä oleva kaupallistaminen oli periaatetasolla päätetty myös Yhdysvalloissa.
- [Evh97] Maanpuolustuskorkeakoulun yleisesikuntaupseerikurssi 44 Esikunta- ja viestiharjoituksen pelioh-je, 1997, Luottamuksellinen.
- [Haj98] Hajautetut järjestelmät: Tietojen ristiriidattomuus. Kehitysosasto, Puolustusvoimien Tietotekniikka-laitos. Selvitys 1998.
- [Han01] O'Hanlon, Michael: RMA - An American View. Donald Rumsfeld's QDR, Brookings Institution. Esi-telmä VTT Energyn STYX-seminaarissa 6.9.2001 sodankäynnin vallankumouksesta. MpKK TaktL esitelmämuistio ja jaettu aineisto.
- [Hyy97] Hyytiäinen, Mika: Yhtymän linnoittamisjärjestelmä ja sen kehittäminen. Maanpuolustuskorkea-koulun yleisesikuntaupseerikurssin diplomityö, maasotalinja 44 tekninen Y2028, elokuu 1997. Tut-kimus kuvaa vaatimukset linnoittamisen maastoanalyysille, siihen perustuvalla laskennalla ja näitä tukevalle tietojärjestelmälle.
- [Iha97] Ihmäki Veli-Matti: Paikkatietojärjestelmien (GIS) käyttö palo- ja pelastustoimen yhteistoiminnan suunnittelussa, ProGradu-työ Helsingin yliopiston maantieteen laitokselle 1997.
- [Kii81] Kiiskinen, Osmo: Pelaajatoiminta sotapeleissä ja johtamisharjoituksissa. Sotakorkeakoulun yleis-esikuntaupseerikurssin diplomityö, MSL 36, 1981, ETS.
- [Koli87] Koli, Markku: Kenttätykistön ampumatarvikkeiden käytön optimointimalli. Sotakorkeakoulun yleis-esikuntaupseerikurssin diplomityö, MSL 39, 1987, ETS.
- [Kuu02] Kuusisto, Rauno: Informaation hallinta ja hyöty. Esitelmä viestiupseeriyhdistyksen Tiedonhallinta ja johtaminen tietoyhteiskunnassa seminaarissa 14.3.2002. Kuusisto tutkii sotilaallista tietoa Puolus-tusvoimien Teknillisessä Tutkimuslaitoksessa ja laatii asiasta väitöskirjaa.
- [Lap94] Lappalainen, Esa: Paikkatiedon analysointitoiminnot, sotilaallinen tarkastelu. Tekniikan lisensiaatin-työ, Teknillinen Korkeakoulu, Tietotekniikan osasto, 30.11.1994.
- [Leh00] Lehtinen, Matti: Matematiikan mahdollisuudet taistelun mallintamisessa, MpKK Tekniikan laitoksen opetusmoniste, 2000.
- [Lehto] Lehto, Lassi. Luennot: WepTop GIS, GIS in internet, Koulutuskeskus Dipoli syksy 1999. TTK Maa 6.464 WebTop GIS kevät 2001. Mobile Communications Expo 17.4.2002 Standardointi. Lehto on laatinut aiheesta lisensiaattityönsä ja toimii OGC:n suomalaisena edustajana.
- [Lip00] Lipponen, Timo: Selvitystyö DGN ja SHP formaattien välisistä muunnoksista. Geodata Oy selvitys Topografikunnalle Micro Station Design File ja ESRI Shape File välisten konversioiden toteuttami-sesta. 2.10.2000.

- [Läh02] Lähteinen, Kaarina: Käyttäjakeskeinen näkökulma paikkatietojärjestelmän suunnittelussa. Teknillisen Korkeakoulun lisensiaattityö 2002.
- [MAS95] Maavoimien simulointikoulutus (MASIKO) –työryhmän loppuraportti, Pääesikunta, Maavoimaosasto, 30.6.1995.
- [MATI01a] Lukka, Markku, Mallien ja menetelmien kehittäminen komentaja- ja esikuntakoulutussimulaattorille, BATTLESIM -simulointimalli, loppuraportti, Maanpuolustuksen Tieteellinen Neuvottelukunta MATINE, 17.01.2001.
- [MATI01b] Törmä, Markus ja Ikola, Timo: Maastouttamiskartta, loppuraportti. Maanpuolustuksen Tieteellinen Neuvottelukunta MATINE, 14.12.2001.
- [MATI01c] Törmä, Markus: Tiedustelu kaukokartoituksen avulla: Välineitä, menetelmiä ja suojautumismahdollisuuksia. Teoriakartoitus, Novosat Oy, Maanpuolustuksen Tieteellinen Neuvottelukunta MATINE, 14.12.2001.
- [Met02] Metteri, Jussi: SFS-menetelmä eli tilanteenmukainen joukon taisteluarvo (Situational Force Scoring). Maanpuolustuskorkeakoulun Taktiikan laitoksen raportti. 2002.
- [Miet98] Miettinen, Tuuli: Pioneerijohtamislaitteen maastoanalyysi. Päättötyö, Pioneerikoulu 19.01.1998. Työssä on kuvattu maastoanalyysien kehityksen ensimmäiset vaiheet, kirjoittaja toimi työn toisena ohjaajana.
- [Mik00] Mikkelsso, Maarit: Sotilaallisten maastoanalyysien tulosten visualisointi. Teknillisen korkeakoulun diplomityö, Maanmittausosasto 2000. Työ esittää menetelmän rasterianalyysien tulosten visualisoinniksi ja sitä edelsi GIS-ohjelmatyö vuonna 1999. Kirjoittaja toimi työn ohjaajana.
- [Myl97] Myllykangas, Mikko: Prikaatin ja pataljoonien komentaja- ja esikuntakoulutuksen tarpeita vastaavan taistelusimulointijärjestelmän rakenne ja yleiset toimintamallit. Maanpuolustuskorkeakoulun diplomityö Y2031, 1997.
- [Nen02] Nenonen, Juhana: Näkemäanalyysien käyttö jääkäripataljoona 2005:n tulenkäytön suunnittelussa ja johtamisessa. Maanpuolustuskorkeakoulun esiupeeerikurssin tutkimustyö 3599, maaliskuu 2002. Kirjoittaja toimi työn ohjaajana.
- [Nil99] Nilsson, Erik: Metod för utveckling av terränganalysmoduler och utveckling av ett siktfältsanalytiskt lägg till ArcView. Examensarbete, Luleå Tekniska Universitet 1999:153 CIV. ISSN: 1402-1617.
- [Niu99] Niukkanen, Jyrki: Paikkatietotekniikan hyödyntäminen lentotukikohdan raivaamisen tiedustelussa ja päätöksenteossa. Maanpuolustuskorkeakoulun yleisesikuntaupseerikurssin diplomityö Y2196, elokuu 1999. Työ liittyy Pionjohlan analyysien käytön soveltamiseen, kirjoittaja toimi työn ohjaajana.
- [Ora99] Orava, Esa: Maastoanalyysi sotilaskäyttöön. Teknillisen korkeakoulun diplomityö, Maanmittausosasto 1999. Työ kuvaa Pionjohlan maaston perusanalyysin tekniset toteutusperiaatteet.
- [Rek02] Rekkedal, Nils: Central Features of the debate on RMA and network-centric warfare - with a starting point in the Parliamentary Bill 2001 / 02:10. Rehtorin esipuheella varustettu viitteistetty jaettava muistio, Swedish National Defence College, Department of War Studies. 28.8.2002.
- [Rii98] Riihijärvi, Petri: Tiedon käyttö johtamisessa. Maanpuolustuskorkeakoulun yleisesikuntaupseerikurssin diplomityö Y2109, 1998.
- [Rik93] Rikkinen, Pasi: Prikaatin taistelun simulointimalli. Maanpuolustuskorkeakoulun yleisesikuntaupseerikurssin diplomityö Y1873, 1993.
- [RMCS] Opinnot ja opetusmateriaalit kurssilla Applied Mathematics & Operational Research, War Gaming & Combat Modelling, Royal Military College of Science, Cranfield University, syksy 2000.
- [RuoM99] Hyytiäinen, Mika: Matkakertomus Ruotsi 1999. Viranomaiskäyttö.
- [Saa01] Saarentaus, Juha: Paikkatiedon siirtoformaatit. Centroid Oy selvitys Puolustusvoimien Tietotekniikkalaitokselle Shape File ja Tagged Image File sopivuudesta kaupallisiin alustoihin perustuvien paikkatietojärjestelmien väliseen tietojen siirtoon ja niille sopivista pakkausmenetelmistä. 2001.
- [Salo01] Salo-Merta, Leena: UML mallintaa myös paikkatietoa. Positio 1/2001. GIS jatko-opiskelijaseminaariesitelmä TKK kevät 2001.
- [Sav01] Savisalo, Sauli: Tietojärjestelmien kvantitatiivinen uhka-analyysi. Teknillisen Korkeakoulun lisensiaattityö, 2001.
- [Sii98] Siivonen, Pasi: Kaupallisten sotapeliohjelmien soveltuvuus komentajien sekä operaatiotaidon ja taktiikan opetukseen. Maanpuolustuskorkeakoulun esiupeeerikurssin tutkimustyö E3198, 1998.
- [Sot94] Sotapelit ja johtamisharjoitukset. Maanpuolustuskorkeakoulun Taktiikan laitoksen ohje 1994.
- [Tas99] Tastula, Hannu: Ylimenopaikan suunnitelman kehittäminen. Pioneerikoulun luutnanttikurssi 26 tutkielma, joulukuu 1999. Kirjoittaja toimi tutkielman ensimmäisenä ohjaajana.

- [Tek01] QJM-analyysi. Maanpuolustuskorkeakoulun Tekniikan laitos, menetelmähakemisto. Intranet-sovellus, lainattu 2.2.2002.
- [TopK66] Kulkukelpoisuuskartta 1:200 000. Topografikunta 1966.
- [USM01] Hyytiäinen, Mika: Matkakertomus NIMA, TEC, TVC ja NSC, Yhdysvallat 2001. Viranomaiskäyttö.
- [Uus98] Uusitalo, Jukka: Komponenttitekniikat, esiselvitys. Puolustusvoimien tietotekniikkalaitos 10.6.1998. Viranomaiskäyttö.
- [Uus00] Uusitalo, Jukka: UML toiminnan asiantuntijoiden käytössä tietojärjestelmähankkeissa, Puolustusvoimien tietotekniikkalaitoksen suositus 3.7.2000. Viranomaiskäyttö.
- [Vai00] Vainio, Vesa: Kaksipuolisen sotapelin vaikutuslaskentaohjelman jatkokehittäminen. Maanpuolustuskorkeakoulun esiupeeerikurssin tutkimustyö E3479, 2001.
- [Vai01] Vainio, Vesa. QJM-analyysi yhtymän operatiivisen suunnittelun tukena. Maanpuolustuskorkeakoulun diplomityö Y2331, 2001.

Julkaistut lähteet:

- [Ahv95a] Ahvenainen, Sakari: Johtamisjärjestelmäoppi - paradoksaalista logiikkaa ja suhteellista etua. Sotilasaikakauslehti 9 / 1995.
- [Ahv95b] Ahvenainen, Sakari: Kehitä, hyökkää ja puolusta. Sotilasaikakauslehti 10 / 1995.
- [Ahv97] Ahvenainen, Sakari: Informaatiosodankäynnin perusteista. Tiede ja ase n:o 55. Suomen Sotatieteellinen seura, 1997. ISSN 0358-8882.
- [Ahv02c] Ahvenainen, Sakari: Verkostosodankäynti - 21.vuosisadan teknis-organisatorinen vaikuttamistapa. Sotilasaikakauslehti, I osa 4 / 2002, II osa 5 / 2002.
- [Alho99] Alho Rainer: Pelastustoimen operaatiosuunnittelu ja pelastustoiminnan johtaminen, 1999. ISBN 951-797-078-1.
- [Allen92] Allen, Patrick: Situational Force Scoring: Accounting for Combined Arms Effects in Aggregate Combat Models. Rand, 1992.
- [Alli94] Allinniemi Jouko: Uhat ja mahdollisuudet - tapa tutkia onnettomuuksia ja niiden vaikutuksia, 1994. ISBN 951-53-0071-1.
- [Aro91] Aronoff, Stan: Geographic Information System: A management perspective. 1991.
- [Art95b] Artimo, Kirsi: Spatial analysis in geographical information systems - data model oriented approach. Proceedings of ScanGIS, Trondheim, 12.-14.6.1995.
- [Bai95] Bailey, Trevor ja Gatrell, Anthony: Interactive spatial data analysis. ISBN 0-582-24493-5.
- [Beu99] van Beurden, A ja Douwen, W: Aggregation issues of spatial information in environmental research. International Journal of Geographical Information Science. Vol 5/13, July-August 1999. ISSN 1365-8816.
- [Bis98] Bishr, Yaser: Overcoming the semantic and other barriers to GIS interoperability. International Journal of Geographical Information Science. Vol 4/12, June 1998. ISSN 1365-8816.
- [Bla93] C.W.Blandy, Calculating Combat Outcomes, RMA Sandhurst, Soviet Studies Research Centre, AA24, 1993. Teos on käännetty teoksen useista 1970- ja 80-luvun alkuperäislähteistä. Raportista on laadittu suomenkielinen soveltava työryhmätyö: Taistelun lopputuloksen arvioimisesta laskemalla, Neuvostoliiton taktiikan laskentamallit, MpKK Taktiikan laitos, 1996.
- [Bur98] Burrough, Peter ja McDonnell, Rachael: Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press 1998. ISBN 0-19-823365-5.
- [Chan98] Chan, Tai ja Williamson, Ian: Long term management of a corporate GIS. International Journal of Geographical Information Science. Vol 3/14, April-May 2000. ISSN 1365-8816.
- [Chu96] Chuvieco, Emilio ja Salas, Javier: Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS. International Journal of Geographical Information Science. Vol 3/10, April-May 1996. ISSN 0269-3798.
- [Cre91] Cressie, Noel: Statistics for Spatial Data. 1991.
- [Cova97] Cova, Thomas ja Church, Richard: Modelling community evacuation vulnerability using GIS. International Journal of Geographical Information Science. Vol 8/11, December 1997. ISSN 1365-8816.
- [Dav96] Davies, C ja Medyckyj-Scott, D: GIS Users observed. International Journal of Geographical Information Science. Vol 4/10, June 1996. ISSN 0269-3798.

- [DigS96] Teknisk-Strategisk Studie av "Det Digitala Slagfältet", TSS/DigS. Försvarets Forskningsanstalt, Avdelningen för Försvarsanalys, 30.8.1996. Nr 96-3276/S.
- [Dom95] Johnson, Stuart ja Libicki, Martin (ed): Dominant Battlespace Knowledge. National Defence University, October 1995. NDU Press. Lähde <http://www.dodccrp.org/>.
- [Dup79] Dupuy, Trevor: Numbers, Predictions and War. Lontoo, 1979.
- [Dup87] Dupuy, Trevor: Understanding war, History and Theory of Combat, 1987.
- [FOA95] FOA: Skydd mot ballistista robotar. Försvarets Forskningsanstalt, Försvarsanalys, November 1995. ISSN 1104-9154.
- [FOA89] FOA: VEBE - datoriserad dynamisk modell för konventionell vapenverkan i bebyggelse. Försvarets Forskningsanstalt, Huvudavdelning, November 1989. ISSN 0347 - 3694.
- [FOA88a] FOA: PROMIX - ett datorprogram som beräknar verkningarna av inneslutna explosioner i byggnader. Försvarets Forskningsanstalt, Huvudavdelning, Juni 1988. ISSN 0347 - 3694.
- [FOA88b] FOA: Vapenverkan mot flervånings betongbyggnad. Försvarets Forskningsanstalt, Huvudavdelning, October 1988. ISSN 0347 - 3694.
- [FOA88c] FOA: Vapenverkan, konsekvenser för civilbefolkningen vid olika skyddsalternativ. Försvarets Forskningsanstalt, Huvudavdelning, Juni 1988. ISSN 0347 - 3694.
- [FOA83] FOA: Vapenverkan. Risbergs Tryckeri, Uddevalla 1983.
- [Fow98] Fowler, Martin ja Scott, Kendall: UML Distilled. Applying the Standard Object Modedeling Language. Addison-Wesley 1998.
- [Gah99] Gahegan, Mark: Four barriers to the development of effective exploratory visualization tools for the geosciences. Artikkel International Geographical Information Science June 1999 Special Issue: Visualization for exploration of Spatial data ed. Menno-Jan Kraak.
- [Gle89] Gleick James: Kaaos. Suom. Raimo Keskinen. Art House, Helsinki 1989. ISBN 951-884-012-1
- [Goo97] Goovaerts, Pierre: Geostatistics for Natural Resources Evaluation, 1997.
- [Gra86] Grabau, Rudolf: Sechs Dimension des Krieges; Versuch einer analytischen Betrachtung. Kolmi-osainen artikkelisarja, Soldat und Technik 5-7/1986.
- [Hai00] Haikala, Ilkka ja Märijärvi, Jukka: Ohjelmistotuotanto. SATKU, Espoo 2000.
- [Hal00] Halonen, Kalevi: Operatiivinen turvallisuus teoksessa Johtamissodankäynti, seminaariaineisto. Maanpuolustuskorkeakoulun Taktiikan laitos julkaisusarja 2 n:o 2/2000. ISBN 951-25-1187-8.
- [Hat87] Hatva, Anja: Kuva - hyvä renki, huono isäntä. Porvoo 1987. ISBN 951-99781-4-3.
- [Hei00] Heiskanen, Mikko: Informaatioodankäynti johtamissodankäynnin yläkäsitteenä. Teoksessa Johtamissodankäynti, Maanpuolustuskorkeakoulun Taktiikan laitoksen johtamissodankäynnin seminaarijulkaisu. Toimituskunta, n:o 2 / 2000.
- [Helo95] Helokunnas, Tuija: Object-Oriented Approaches Applied to GIS Development. Acta Polytechnica Scandinavica, Helsinki 1995. ISBN 951-666-462-3.
- [Hen98] Hendriks, Paul: Information strategies for Geographical Information systems. International Journal of Geographical Information Science. Vol 6/12, September 1998. ISSN 1365-8816.
- [Her72] Hermann, Charles (toim.): International Crises - Insights from behavioural Research. The free Press, New York 1972.
- [Huh00] Huhtakallio, Janne; Niemi, Martti ja Valkola, Eero: Kaupallisten (COTS-) tuotteiden hyödyntämismahdollisuudet Puolustusvoimien taktisissa viestijärjestelmissä. Maanpuolustuskorkeakoulun Tekniikan laitoksen Julkaisusarja 3 3/2000. ISBN 951-25-1147-9.
- [Huh01a] Huhtinen, Aki-Mauri: Oppilasupseerit tutkijoina. Maanpuolustuskorkeakoulun Johtamisen laitoksen julkaisusarja 1, 19/2001. ISBN 951-25-1220-3.
- [Huh01b] Huhtinen, Aki ja Rantapelkonen, Jari: Image wars - Beyond the Mask of Information Warfare. Finnish Arme Signals School 2001. ISBN 952-91-3634-X.
- [Hug80] Huggett, Richard: Systems Analysis in Geography. Oxford 1980. ISBN 0-19-874082-4.
- [Hyy99] Hyytiäinen, Mika: Passiivisen suojan konsepti. Tiede ja ase. Suomen sotatieteellisen seuran vuosijulkaisu n:o 57. 1999. ISSN 0358-8882.
- [Imh82] Imhof, Eduard: Cartographic relief presentation. Berlin 1982. ISBN 3-11-006711-0.
- [Info00] Rantapelkonen, Jari (toim): Informaatioajan viestitaktisia ajatuksia. Viestikoulu 2000. ISBN 952-91-2444-9.
- [Int95] McDonnell, Rachael ja Kemp Karen: International GIS Dictionary. Geoinformation International, Pearson Professional Ltd 1995. ISBN 1-899761-19-5.

- [Jai97] Jaiswal, N. K.: Military Operations Research, Quantitative Decision Making, Kluwer, 1997.
- [Jan97] Jankowski, Piotr etc: Spatial group choice: a SDSS tool for collaborative spatial decision making. International Journal of Geographical Information Science. Vol 6/11, September 1997. ISSN 1365-8816.
- [Jan01] Jankowski, Piotr; Andrienko, Natalia ja Andrienko, Gennady: Map-centered exploratory approach to multiple criteria spatial decision making. International Journal of Geographical Information Science. Vol 2/15, March 2001. ISSN 1365-8816.
- [JV2020] Joint Vision 2020, America's Military Preparing for Tomorrow, päivitetty 8.12.2000, ladattu 23.1.2001 www.dtic.mil/jv2020/. Kuvaa digitaalisen taistelun strategiset lähtökohdat ja tavoitteet.
- [Kaje63] Kaje, L: Maaston korkeusvaihteluiden matemaattinen kuvaus ja sen merkitys. Tiede ja ase, Suomen sotatieteellisen seuran vuosijulkaisu n:o 21. 1963. ISSN 0358-8882.
- [Kaje68] Kaje, L: Maaston kulkukelpoisuus. Tiede ja ase, Suomen sotatieteellisen seuran vuosijulkaisu n:o 26. 1968. ISSN 0358-8882.
- [Kal96] Kalimo, Anna (toim): Graafisen käyttöliittymän suunnittelu - Opas ohjelmistojen käytettävyyteen. Jyväskylä 1996. ISSN 0786-2601.
- [Kar99] Karppinen, Antero: Digitaalisten liikenneverkkoja kuvaavien karttojen kansainvälisen kehityksen ja standardoinnin selvitys. Karttakeskus, 28.10.1999. <http://www.mintc.fi>.
- [Kea96] Keates, John: Understanding maps. 2nd ed, London 1996. ISBN 0-582-23927-3.
- [Kil97] Kilpeläinen, Tiina: Multiple representation and generalization of geo-databases for topographic maps. Tekniikan alaan kuuluva väitöskirja, Geodeettinen laitos 1997. ISBN 951-711-211-4.
- [Kok00] Kokkarinen, Ilkka ja Ala-Mutka, Kirsi: Tietorakenteet ja algoritmit. Satku - Kauppakaari 2000. ISBN 951-762-779-3.
- [Koli92] Koli, Markku: Development of Military Technology and its Impact on the Finnish Land Warfare Doctrine. War College, Finnish Defence Studies 4. Valtion Painatuskeskus 1992. ISBN 951-25-0604-1. ISSN 0788-5571.
- [Koli95] Koli, Markku: Sodankäynnin muutokset ja puolustusjärjestelmän kehittämistarpeet, Maanpuolustuskorkeakoulun Taktiikan laitoksen julkaisusarja 2, 2/1995. ISBN 951-25-0732-3.
- [Kos00a] Kosola, Jyri: Maasodankäynti vuonna 2020. Pääesikunnan teknisen kehittämisosaston julkaisu 28.04.2000. Kommentoitu käännös NATO Rerearch and Technology Organization Technical Report 8 teoksesta Land Operations in the Year 2020.
- [Kos00b] Kosola, Jyri ja Solante, Tero: Digitaalinen taistelukenttä - Informaatioajan sotakoneen tekniikka. Maanpuolustuskorkeakoulun Tekniikan laitoksen julkaisusarja 1 n:o 7. Edita 2000. ISBN 951-25-1143-6. ISSN 1239-3819.
- [Kuhn70] Kuhn, Thomas: The Structure of Scientific Revolutions. 2nd edition, University of Chicago, 1970.
- [Kuu99] Kuusi, Osmo ja Niiniluoto, Ilkka (toim): Edistyvien ja rikastuvien tieteiden vaikutukset tulevaisuuteen, Tulevaisuuden tutkimuksen seura, Top Ten Futures III seminaarin esitelmäaineisto, Tammer-Paino 1999. ISSN 0785-5494.
- [Laari98] Laari, Jouni: Joustavuus pienen maan vastaus tulevaisuuden taistelukentän haasteisiin. Tiede ja ase n:o 56, Suomen sotatieteellisen seuran vuosijulkaisu 1998. ISSN 0358-8882.
- [Lau92] Laurini, Robert ja Thompson, Derek: Fundamentals of spatial information systems. Academic Press 1992. 5th print 1996 ISBN 0-12-438380-7.
- [Lau98] Laurini, Robert: Spatial multi-database topological continuity and indexing: a step towards seamless GIS data interoperability. International Journal of Geographical Information Science. Vol 4/12, June 1998. ISSN 1365-8816.
- [Lee99] Lee, David: Collection and Analysis of Digital Terrain Data Requirements for Selected U.S. Army Models and Simulations, Special Report, Topographic Engineer Center, 1999.
- [Lil99] Lillrank, Paul: Laatuajattelu – Laadun filosofia, tekniikka ja johtaminen tietoyhteiskunnassa. 1.-2.painos, Otava 1999. ISBN 951-1-15812-0.
- [LIS91] Rainio, Antti (toim.): LIS-Projektin loppuraportti - Liite J. Maanmittauslaitoksen julkaisu nro 60, Maanmittaushallitus 1991. ISBN 951-37-0419-X.
- [Lon99] Longley, Paul; Goodchild, Michael; Maguire, David ja Rhind, David (ed.): Geographical Information Systems - vol 1 Principles and Technical Issues. 2nd edition 1999. ISBN 0471-33132-5.
- [Luk94] Lukka, Anita: Algorithms for scheduling transfers in a network with time and arc condition constraints. Lappeenrannan Teknillinen Korkeakoulu, Tuotantotalouden osasto. Tutkimusraportti 73, 1994. ISBN 951-763-895-7.

- [Mal99] Malczewski, Jacek: GIS and Multicriteria Decision Analysis. 1999. ISBN 0-471-32944-4. Kirjoittajan laatima referaatti tutkimuksen kannalta tehty 13.11.2001.
- [Mas98] Masser, Ian: Governments and Geographic Information. 1998. ISBN 07484-0789-8.
- [Mas99] Masser, Ian: All shapes and sizes: the first generation of national spatial data infrastructures. International Journal of Geographical Information Science. Vol 1/13, January-February 1999. ISSN 1365-8816.
- [Mat02] Matsamura, John; Steeb, Randall; Gordon, John ja Steinberg, Paul: Preparing for Future Warfare with Advanced Technologies. RAND 2002. Internet julkaisu <http://www.rand.org>.
- [Mey01] Meyers, B.C. ja Oberndorf, P.: Managing Software Acquisition. Open Systems and COTS products. SEI Series in Software Engineering, Addison-Wesley 2001.
- [Mik99] Mikkola, Aaro; Jaakkola, Olli ja Suckdorff, Yrjö: Valtakunnallisten maankäyttö-, peitteisyys- ja maaperäaineistojen muodostaminen. Ympäristöministeriö 1999. ISBN 952-11-0557-7.
- [Mol98] Molenaar, Martin: An Introduction to the Theory of Spatial Object Modelling for GIS. 1998. ISBN 074-84-0774-X.
- [Mon91] Monmonier, Mark: How to lie with maps. Chicago 1991. ISBN 0-226-53415-4.
- [MORS94] Olsen, Warren K (ed): Military Operations Research Analyst's Handbook vol I – Terrain, Unit Movement and Environment.
- [MORS95] Bracken, Kress, Rosenthal (ed). MORS Warfare Modeling (594 s.), Military Operations Research Society, John Wiley & Sons, 1995.
- [MORS97] Wayne, Hughes Jr (ed). MORS Military Modeling for Decision Making (375 s.), Military Operations Research Society, ISBN 0-930473-01-9, 1997.
- [Nel00] Nelson, Howard, Major: A Study of the Human-Computer Interaction for a Unit tactical trainer. Defence Technology MSc, Royal Military College of Science, Cranfield University, Shrivenham. 2000.
- [Niemi98] Niemi, Heikki: Tietojärjestelmäprojekti - Tietojärjestelmän kehittämisen suunnittelu ja ohjaus. Helsinki 1998.
- [Nii84] Niiniluoto, Ilkka: Johdatus tieteenfilosofiaan, Käsitteen- ja teorianmuodostus, Otava 1984. ISBN 951-1-05435-X.
- [Nur86] Nurminen, Markku: Kolme näkökulmaa tietotekniikkaan. WSOY 1986. ISBN 951-0-13535-6.
- [Pag89] Pagels, Heinz: The Dreams of Reason; The Computer and the Rise of Sciences of Complexity. Bantam Books, USA 1989.
- [Pau97] Paulaharju, Jyrki: Sotilaat kartoittavat; Suomen sotilaskartoituksen historia. Topografikunnan karttapaino. 1997. ISBN 952-90-8935-X.
- [Pelin90] Pelin, Risto: Projektin suunnittelu ja ohjaus, Käsikirja. 1990. ISBN 951-35-5045-1.
- [Pen97] Penttonen, Markku: Johdatus algoritmien suunnitteluun ja analysointiin. Otatieto n:o 579, 1997. ISBN 951-672-249-0.
- [PN99] Varautuminen yhteiskunnan häiriötilanteisiin ja poikkeusoloihin. Puolustusneuvoston ohje 25.8.1999.
- [Pow01] Power, Conrad; Simms, Alvin ja White, Roger: Hierarchical fuzzy pattern matching for the regional comparison of land use maps. International Journal of Geographical Information Science. Vol 1/15, January-February 2001. ISSN 1365-8816.
- [Prz90] Przemienicki, J.S: Mathematical Methods in Defence Analysis (296 s.), Air Force Institute of Technology, AIAA education series, ISBN 0-930-103-71-1, 1990.
- [Ran02] Rantapelkonen, Jari: Psykologiset operaatiot – Propagandasta informaatio-operaatioihin, Maanpuolustuskorkeakoulun Taktiikan laitoksen julkaisusarja 1 Taktiikan tutkimuksia 1/2002. ISBN 951-25-1287-4.
- [RAND01] RAND High Resolution Force-on-Force Modeling and Simulation Capability, liite teoksessa Matsamura, John etc: Lightning over Water, Sharpening America's Light Force for Rapid Reaction Missions, ISBN 0-8330-2845-6, 2001. Ladattu <http://www.rand.org/publications/MR/MR1199> 17.12.2001.
- [Rii99] Riihijärvi, Petri: Operaatioiden suunnittelu ja johtaminen - tarkastelua suomalaisen, yhdysvaltalaisen ja venäläisen johtamisprosessin näkökulmasta. Tiede ja ase, Suomen sotatieteellisen seuran vuosijulkaisu n:o 57. 1999. ISSN 0358-8882.
- [ROLF97] Sundin, Claes: Rörlig Operativ LedningsFunktion år 2010. Internet-julkaisu october 1997, ladattu 5.4.2002. <http://www.fhs.mil.se/about/Forskning/rolf/index2.htm>.

- [ROLF98] Sundin, Claes ja Friman, Henrik: ROLF 2010 A Mobile Joint Command and Control Concept. The Swedish National Defence College, Department of Operational Studies. Alkuperäinen raportti 1998, englanninkielinen käännös 1999. ISBN 91-87136-33-3.
- [ROLF99] Brehmer, Brendt; Sundin, Claes ja Christensson, Anders: ROLF 2010 and AQUA, Status report February 1st 1999. The Swedish National Defence College, Department of Operational Studies. Alkuperäinen raportti ja englanninkielinen käännös 1999.
- [ROLF99b] Brehmer, Brendt ja Sundin, Claes: Joint and Coalition Command and Control for the Digitized Battle Space: a Swedish View. Esitelmä ROLF workshop February 17-19 at Naval Postgraduate School, USA. 1999.
- [Rom99] van Rompaey, Anton; Govers, Gerard ja Baudet, Mark: A Strategy for controlling error of distributed environmental models in aggregation. International Journal of Geographical Information Science. Vol 6/13, September 1999. ISSN 1365-8816.
- [RTO01] NATO Research and Technology Organization, Lecture series 222 Simulation of and for Military Decision Making, October 2001.
- [SAL92a] Karlsson, Petri; Lintula, Juha ja Sartjärvi, Timo: Tietokoneella voi helpottaa operatiivista suunnittelua. Sotilasaikakauslehti 4 / 1992.
- [SAL92b] Koli, Markku: Tarvitaan vaikeissakin oloissa toimiva johtamisjärjestelmä. Sotilasaikakauslehti 12 / 1992. Kirjoitus perustuu lähteeseen [Koli92]
- [SAL93] Halonen, Kyösti: Ei lyijykynästä suinpäin lähiverkkoon maasto-olosuhteissa. Sotilasaikakauslehti 8 / 1993.
- [SAL95] Einola, Esa: Vain pelkoa ei voi simuloida. Sotilasaikakauslehti 9 / 1995.
- [SAM99] Riskien hallinta pelastustoimessa. Sisäasianministeriön pelastusosaston ohje 1.9.1999.
- [SAM97] Poikkeusolojen huomioiminen pelastustoiminnan riskianalyseissa. Sisäasianministeriön pelastusosaston projektiraportti 1997.
- [Sal00] Salminen, Esa: Satelliittien hyväksikäyttö puolustusvoimissa. Tekniikan lisensiaattityö. Maanpuolustuskorkeakoulun Tekniikan laitos, julkaisusarja 1. 2000. ISBN 951-25-1173-8.
- [Sel01] Suomen turvallisuus- ja puolustuspolitiikka 2001, Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 13.6.2001.
- [Sep83] Seppälä, Yrjö: Uushumanistinen systeemanalyysi. Gaudeamus, Mäntän kirjapaino 1983. ISBN 951-662-332-8.
- [Sri96] Srivastava, Millerja Soares: Environmental Geostatistics: an Introduction, 1996.
- [Sof91] Yli-Olli, Pekka ja Hokkanen, Timo: Softa 9000, Ohjelmistotuotannon laadun kehittäminen. Mecrator-ryhmä 1991. ISBN 951-96282-0-7.
- [Sot00] Koskinen, Hannu ja Holopainen, Timo. Sotapeliohje ja CD, Maanpuolustuskorkeakoulun Taktiikan laitoksen julkaisusarja 3 työpapereita 4 / 2000.
- [Sten96] Stenlund, Heikki: Projektijohtamisen perusteet. 1996. ISBN 952-9592-51-5.
- [Sul01] O'Sullivan, David ja Turner, Alasdair: Visibility graphs and landscape visibility analysis. International Journal of Geographical Information Science. Vol 3/15, April-May 2001. ISSN 1365-8816.
- [Sur01] Surdu, John ja Pooch, Udo: Simulations during operations. Military Review March - April 2001. <http://cgsc.leavenworth.army.mil/milrev/English/MarApr01/surd.htm>. Ladattu 4.1.2002.
- [Sum00] Sumiloff, Lasse: Graafisen suunnittelijan teknologia. 3. korjattu painos, Opetushallitus, Helsinki 2000. ISBN 952-13-0739-0.
- [Suu98] Hägglung, Sami (toim): Suunnitteluprosessi. Maanpuolustuskorkeakoulun Taktiikan laitos, julkaisusarja 3 2/1998. Julkaisu on laitoksen opettajien laatima ohjeistus esikunnan työskentelystä.
- [Taha97] Taha, Hamdy: Operations Research - An Introduction. 6th edition, 1997. ISBN 0-13-281172-3.
- [Taist00] Huhtinen, Aki-Mauri ja Rantapelkonen, Jari: Taistelut, kokemus ja tieto – Näkemys sotatieteellisestä viestitaktiikasta. Viestikoulu 2001. ISBN 952-91-3850-4.
- [Tay98] Taylor, Fraser: Policy issues in modern cartography. 1998. ISBN 0-08-043111-9.
- [Thie01] Thierauf, Robert: Effective Business Intelligence Systems. 2001. ISBN 1-56720-370-1.
- [Tie95] Tietoyhteiskunnan maavoimat - Maavoimien kehittämisohjelma 2020. Maavoimaesikunta 1995. ISBN 951-25-0785-4.
- [Toi86] Toivola, Esko: Bombningar av Helsingfors 1944, Försvarets Forskningsanstalt, Huvudavdelning, Januari 1986. ISSN 0348 - 4580.
- [Tol98] Tolvanen, Juha-Pekka: Incremental Method Engineering with Modeling Tools. University Library of Jyväskylä, 1998. ISBN 951-39-0303-6.

- [Tom90] Tomlin, Dana: Geographic Information Systems and cartographic modelling. 1990.
- [Tom98] Tomppo, E., Katila, M., Moilanen, J., Mäkelä, H. ja Peräsaari, J: Kunnittaiset metsävaratiedot 1990-94. Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia 4B/1998: 619-839.
- [Tuf97] Tufte, Edward: Visual explanations, Images and quantities, evidence and narrative. Graphics Press, Cheshire 1997.
- [Tuomi99] Tuomi, Ilkka: Corporate knowledge - Theory and practice of intelligent organizations. Helsingin Yliopiston väitöskirja, Metaxix 1999. ISBN 951-98280-0-1.
- [Ung02] Ungerer, Matthew ja Goodchild, Michael: Integrating spatial data analysis and GIS: a new implementation using the Component Object Model (COM). International Journal of Geographical Information Science. Vol 1/16, January-February 2002. ISSN 1365-8816.
- [Uus95] Uusitalo, Hannu: Tiede, tutkimus ja tutkielma – johdatus tutkielman maailmaan. 2.painos WSOY 1995. ISBN 951-0-17457-2.
- [Vaa98] Vaattovaara, Mari: Pääkaupunkiseudun sosiaalinen erilaistuminen. Helsingin kaupungin tilastokeskus, 1998. ISBN 951-718-175-2.
- [Virk63] Virkkala, K: Maaston sotilasgeologisesta tulkinnasta. Tiede ja ase, Suomen sotatieteellisen seuran vuosijulkaisu n:o 21. 1963.
- [VMI00] Valtakunnan metsien 9. inventointi (VMI9). Metsäntutkimuslaitos, maastotyön ohjeet 2000 osa Pohjois-Karjala. Helsinki 2000.
- [Waltz98] Waltz, Edvard: Information Warfare Principles and Operations. Artech House 1998.
- [Wal00] Wallace, Jim: The ghost of Jomini: the effects of digitalisation on commanders and the workings of headquarters, teoksessa The Human face of warfare – killing, fear and chaos in battle, ed Michael Evans ja Alan Ryan. Australia, 2000. ISBN 1 86508 374 7.
- [War86] Waterman, Donald: A Guide to Expert Systems. 1985. ISBN 0-201-08313-2.
- [Wil00] Wilson, John P ja Gallant John C (ed): Terrain Analysis – Principles and Applications. John Wiley&Sons 2000. ISBN 0-471-32188-5. Kirjoittajan laatima referaatti tutkimuksen kannalta tehty 02.12.2001.
- [Wor95] Worboys, Michael: GIS - A Computing Perspective. 1995 (reprint 2000). ISBN 0-7484-0065-8.
- [YTO00] Yhtymän taisteluohjesääntö (luonnos). Maanpuolustuskorkeakoulun Taktiikan laitos, julkaisusarja 3 5/2000.
- [YTV98] Suunnittelussa hyödynnettävien paikkatietojen käytön edistäminen Helsingin seudulla, Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1998:2. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV). ISSN 0357-5454.
- [Xio96] Xiong, Demin ja Marble, Duane: Startegies for real-time spatial analysis using massively parallel SIMD computers: an application to urban traffic flow analysis. International Journal of Geographical Information Science. Vol 6/10, September 1996. ISSN 0269-3798.
- [Års01] Försvarsmaktsidé och målbild, årsrapport från Perspektivplaneringen 2000-01. Försvarsmakten, Högkvarteret Rapport 5, 2001.
- [Års02] Idébilder och fördjupningsområden inför Försvarsbelut 2004, årsrapport från Perspektivplaneringen 2001-02. Försvarsmakten, Högkvarteret Rapport 6, 2002.

Tiedonhankintahaastattelut:

- [Ada01] Adams, Mark, TVC maastoanalyysitekniikko: Maastoanalyysit DTSS-järjestelmässä 7.9.2001.
- [Bel01] Belford, Matthew, National Simulation Center apulaisjohtaja: Konstruktiivisten simulaattoreiden käyttö päätöksenteon tukijärjestelminä Yhdysvalloissa 12.9.2001.
- [Cal01] Caldwell, Doug, tutkija, TEC: Uudet tutkimushaasteet. 4.9.2001.
- [Col01] Collins, Mike, tutkija, TEC: JTAT kehitystyö 4.9.2001.
- [Kra01] Kramer, Ken, majuri, MANCHEN Engineer School GIS-järjestelmien opettaja: GIS-analyysien opettaminen ja ohjelmistot Yhdysvaltojen pioneerikoulutuksessa. 8.9.2001.
- [Lea01] League, Al, Chief Applied Technology and Process Innovation Division, Integrated Program Office, JWID-ohjelma: NIMA aineistomallin toimivuus ja kokemukset 3.9.2001.
- [Smi00] Smith, Jeremy, PhD, RMCS Modelling and Simulation opettaja: Taktisten simulaattoreiden paikkatiedon käyttötapa 7.11.2000.
- [Swa01] Swanson, Randy, tutkija, TEC: COTS käyttö kehitystyön perustana. 4.9.2001.

- [Tup01] Tupper, Steve, everstiluutnantti, MANCHEN Terrain Visualization Centerin johtaja: Maastotietojen ja -analyysien sekä visualisoinnin käyttö TPIO-TD ohjelman perusteella 6.-8.9.2001.
- [Vis01] Visone, Dan, tutkija, TEC: CTIS ja DTSS kehitystyö 4.9.2001.
- [Wei99] Weinmar, Jan, everstiluutnantti: Ruotsin GeoPres-konseptin toimivuus toteuttajan kannalta ja pioneerialan sovelluksen kehittämistyö 13.-15.9.1999.
- Haastatteluihin on niiden luonteen vuoksi viitattu tekstissä vain välillisesti organisaatioiden kautta.

Ohjesäännöt, standardit ja vastaavat määräykset:

- [A2Kelt80] Harjoitusvahvuudet A2 Keltainen (HarjVahv A 2). Pääesikunta, Mikkeli 1980. ISBN 951-25-0160-0
- [AGeoP-1] Terrain Analysis. NATO STANAG 3992 tarkennus 30.5.1988. Määritelmät.
- [AKTO85] Asutuskeskustaistelun opas II osa, 1985.
- [ATCCIS01] Army Tactical Command and Control Information System ATCCIS, CCI Competence Center Informatik GmbH, November 2001.
- [Elso84] Elektronisen sodankäynnin opas. Pääesikunta, VMN 7610-468-0678. 2.painos, Helsinki 1987. Viranomaiskäyttö.
- [Ero00] Erotuomariohje. Puolustusvoimien koulutuksen kehittämiskeskus, 2000. ISBN 951-25-1134-7.
- [ESLH98] Riskien arviointi ja riskienhallinta Etelä-Suomen läänissä. Etelä-Suomen Lääninhallitus, Pelastusosasto 16.11.1998.
- [FGDC98] Federal Geographic Data Committee FGDC standardi STD-001-1998 Content Standard for Digital Geospatial Metadata. www.fgdc.er.usgs.gov.
- [FM 3-34] Topographic Operations, U.S. Army Field Manual 3-34.230, hyväksytty 03.08.2000. Korvaa FM 5-105:n sisältäen digitaalisen taistelukentän aiheuttamat muutokset.
- [FM 34-130] Intelligence Preparation of the Battlefield, U.S. Army Field Manual 34-130, hyväksytty Toukokuussa 1994. Tässä kuvattu prosessi on ollut pääosin meillä saman vuosikymmenen lopussa käyttöön otetun menetelmän pohjana.
- [FM 5-33] Terrain Analysis, U.S. Army Field Manual 5-33, hyväksytty 11.7.1990. Päivitettävänä oleva ohjesääntö, joka kuvaa maastoanalyysien perustekniikat ja sotilaalliset tavoitteet.
- [Fort87a] Fortifikationshandbok del 4, Kapitel 11, Beräkning av träffsannolikheter. Försvarets bok- och blankettförråd 1987.
- [Fort87b] Fortifikationshandbok del 3, Kapitel 7-10, Verkan av joniserande strålning, EMP, brand, B- och C-stridsmedel. Försvarets bok- och blankettförråd 1987.
- [GIIMP97a] Geospatial Information Infrastructure Master Plan vol 1 Overview. National Imagery and Mapping Agency NIMA, October 1997. Kuvaa Yhdysvaltojen sotilaallisten paikkatietoaineiston muodostamisen ja rakenteen osana digitaalista taistelukenttää.
- [GIIMP97b] Geospatial Information Infrastructure Master Plan vol 1-1 Stakeholders Annexes. National Imagery and Mapping Agency NIMA, October 1997. Rri toimijoiden näkemykset osana kokonaisuutta.
- [GIIMP97c] Geospatial Information Infrastructure Master Plan vol 2 Technical Overview. National Imagery and Mapping Agency NIMA, October 1997. Käytettävät menettelytavat ja standardit.
- [GIIMP97d] Geospatial Information Infrastructure Master Plan vol 3 Overview of the GII Technology Assessment. National Imagery and Mapping Agency NIMA, October 1997. Kuvaa tutkimuksen toteutuksen ja teknologia-arvioinnit.
- [GISS95] The Swedish Armed Forces Geographic Information System Strategy. Swedish Armed Forces, Headquarters, Joint Operations Staff 15.5.1995.
- [ISO19115] International Standardisation Organisation standardi ISO 19115 Geographic Information – Metadata.
- [Linn76] Linnoittamisohjesääntö I, 1976.
- [LO202] Linnoittamisopas 2 käsikirjoitus, uusittu nimi Linnoittamisen suunnittelun perusteet. Kirjoittajan vastuulla olevan pioneerialan oppaan laatimistyö, jossa käsitellään suojan käyttöä taktisesta näkökulmasta. Käsikirjoitus on hyväksytty vuonna 2002 ja käytössä PINKKI-tietokannan kautta.
- [MaastO86] Maastouttamisopas. Pääesikunta 1986.
- [MIL2525A] Military Standard MIL STD-2525A. APP-6A Military Symbols for land based systems. 1999. Myös Suomen puolustusvoimien taktisten merkkien esitystapa perustuu tähän standardiin.

- [MSMP98] NATO Modelling and Simulation Master Plan, 1998. Päivityvä asiakirja NATO:n dokumentointisivuilla, Unclassified. Ladattu 12.11.2001.
- [NC3TA101] NATO C3 Technical Architecture Volume 1, Management. Allied Data Publication ADatP-34. ISSC NATO Open Systems Working Group. Version 3.0, 15 December 2001. Unclassified.
- [NC3TA201] NATO C3 Technical Architecture Volume 2, Architectural Descriptions and Models. Allied Data Publication ADatP-34. ISSC NATO Open Systems Working Group. Version 3.0, 15 December 2001. Unclassified.
- [NC3TA401] NATO C3 Technical Architecture Volume 4, NC3 Common Standards Profile (NCSP). Allied Data Publication ADatP-34. ISSC NATO Open Systems Working Group. Version 3.0, 15 December 2001. Unclassified.
- [NC3TA501] NATO C3 Technical Architecture Volume 5, NC3 Common Operating Environment (NCOE). Allied Data Publication ADatP-34. ISSC NATO Open Systems Working Group. Version 3.0, 15 December 2001. Unclassified.
- [SotGeo97] Sotilasgeologia I. Puolustusvoimien Koulutuksen Kehittämiskeskus 1997. ISBN 951-25-0939-3.
- [ST101-5] Command and Staff Making Process. Student Text 101-5, U.S. Command and General Staff College. Helmikuu 1996.
- [Taop84] Todennäköisyys- ja ampumaopin perusteet. Pääesikunta 1984.
- [TSTV] Topographic Support for Terrain Visualization. TRADOC Pamphlet 525-41 01.05.1997. Kuvaa vastuualueet.
- [TVMP] Terrain Visualization Master Plan. www.wood.army.mil/tvc/con_mp.htm. Hyväksytty 23.6.1995, päivityvä asiakirja, joka esittää maavoimissa kokonaistavoitteet käyttäjän kannalta.
- [Ylase98] Yleinen ase- ja asejärjestelmäoppi (luonnos). Puolustusvoimien Koulutuksen Kehittämiskeskus 1998. ISBN 951-25-0986-5.

Työssä seurattut internet-palvelimet:

- [AutoDesk] Autodesk corporation kotisivut <http://www.autodesk.com>.
- [Bentley] Bentley corporationin kotisivut <http://www2.bentley.com>.
- [CEN] Eurooppalainen paikkatiedon standardointijärjestö <http://www.cenorm.be>.
- [DGIWG] Digital Geographic Information Working Group <http://www.digest.org>. NATO:n paikkatietojen vaihtoa edistävän DIGEST -paikkatietostandardeja laativa järjestö.
- [Digiroad] Digiroad tiestöaineistohanke. <http://www.mintc.fi>. Liikenneministeriön mietintöjä ja muistioita B12/2001 TETRA ja B16/2001 Digiroad. Ladattu 31.11.2001.
- [DMSO] US Defence Modeling and Simulation Office. www.dmsomil.com. Yhdysvaltojen simulaattoreiden käyttöä ohjaava ja standardoiva osasto.
- [EODIS] EOD IS raivaamisen asiantuntijajärjestelmä <http://www.eodis.mil.se>.
- [ERDAS] ERDAS corporation <http://www.erdas.com>.
- [ERMapper] ERMapper kotisivut <http://ermapper.com>.
- [ESRI] Environmental Research Institute ESRI kotisivut <http://www.esri.com>. Sivulla on oma Defence User Group, joka järjestää seminaareja useita kertoja vuodessa.
- [FGI] Suomen Geodeettinen laitos. www.fgi.fi.
- [FMVGI] Försvarets Materielverk, GIS / GIT Geografisk Information kotisivut. <http://www.fmv.se/>
- [GDF] Geographic Data Files standardi <http://www.ertico.com>.
- [Geoinfo02] Försvarmakten GIS-Geoinfo kotisivut <http://www.hkv.mil.se/Geoinfo/>. Ladattu viimeksi 28.3.2002.
- [GTK] Geologian tutkimuslaitos. www.gsf.fi.
- [HLA] High Level Architecture HLA standardi. www.dmsomil.com. Ladattu 29.1.2002. Työn kannalta keskeistä on eri tasoisten simulaattoreiden yhteenliittäminen.
- [Intergraph] Intergraph Corporation kotisivut <http://www.intergraph.com>. Puolustusalan käyttäjillä on omat sivustonsa ja käyttäjäpäivänsä.
- [JHS137a] Julkisen hallinnon suositus, tietotuoteseloste – paikkatiedot. Voimassaoloaika 1.11.1998 – 31.10.2001. www.intermin.fi/juhta/suosituksset/jhs137a.htm. Ladattu 02.09.2000.
- [MapInfo] Mapinfo corporation kotisivut <http://www.mapinfo.com>. Yrityksellä on erilliset sivut turvallisuusosalalle kuten pelastus- ja poliisiviranomaisille.

- [MML] Maanmittauslaitos. www.nls.fi.
- [MORS] Military Operations Research Society. www.mors.org.
- [NIMA] National Imagery and Mapping Agency kotisivut. www.nima.mil. Vuonna 1996 perustettu kartoitus-organisaatio, jonka tavoitteena on tukea Yhdysvaltojen turvallisuusorganisaatioita tehtävissä eri puolilla maapalloa. Suurimmat asiakkaat NSA, CIA ja DoD. Kirjoittaja vieraili syksyllä 2001.
- [NGDF] Iso-Britannian metadatatapalvelu <http://www.ngdf.org.uk/uksgb>
- [NSC] US National Simulation Center. www.leav.army.mil/nsc. Yhdysvaltojen simulointikeskus.
- [OGC] Open GIS Consortium <http://www.opengis.org>. Paikkatietoalan yhteiskäyttöä edistävä ja standardeja laativa, pääosin alan yrityksistä koostuva organisaatio. Työn kannalta keskeistä Simple Features ja Geographic Markup Language GML.
- [OMG] Object Management Group. <http://www.omg.org>. Komponenttiarkkitehtuuria standardoiva sekä yrityksistä että julkisen palvelun organisaatioista koostuva järjestö. Työn kannalta keskeistä CORBA ja UML / MDA määrittelytyö.
- [Oracle] Oracle corporation kotisivut ja spatiaalilaajennus <http://www.oracle.com>.
- [PTK] Suomen Maanmittauslaitoksen paikkatietohakemisto. www.nls.fi/ptk. Sisältää kuvaukset pääosasta suomalaisia paikkatietoaineistoja.
- [PTKper] Paikkatietotekniikan perusteet. Päivittyvä Internetopas paikkatiedon peruskäsitteisiin. <http://www.nls.fi/ptk/perusteet/analyysit>. Ladattu 30.1.2001
- [PTY97] Paikkatietoydin. Sisäasianministeriön tutkimushankkeen projektiraportti 5.12.1997. http://www.intermin.fi/julkaisut/PTY2_98.htm.
- [ROLF] Rolf 2010 ja AQUA – tutkimusohjelmat. Swedish National Defence College. <http://www.fhs.mil.se/about/Forskning/rolf>.
- [Smallworld] Smallworld kotisivut <http://smallworldwide.com>.
- [SEDRIS] Synthetic Environment Data Representation and Interchange Specification standardi. www.sedris.org. Työn kannalta keskeistä on simulaattoreiden paikkatietoaineistoja koskeva standardointityö ja Master Ebnvironmental Libraryn suunniteltu rakenne.
- [S-Plus] Mathsoft corporation kotisivut <http://mathsoft.com/splus>.
- [SYKE] Suomen Ympäristökeskus. www.vyh.fi/syke.
- [TC211] International Standardisation Organisation paikkatietoalan standardointihanke TC211. <http://www.statkart.no/isotc211>.
- [TEC] Topographic Engineer Center kotisivut www.tec.army.mil. Yhdysvaltojen pioneeriaselajiin kuuluva tutkimuskeskus, jonka tehtävänä on kehittää paikkatietojärjestelmiä, -ohjelmistoja ja -analyysseja maavoimien käyttöön. Kirjoittaja vieraili syksyllä 2001.
- [TVC] Terrain Visualization Center kotisivut www.wood.army.mil/tvc. Yhdysvaltojen pioneerikouluun kuuluva organisaatio maastoanalyysien vaatimusten määrittämiseksi ja käytön toteuttamiseksi. TRADOC Program Integration Officeen Terrain Data osion TPIO-TD toteuttaja osana siirtymistä digitaaliseen taistelukenttään. Kirjoittaja vieraili syksyllä 2001.
- [W3C] Word Wide Web Consortium. www.w3c.org. Internet-teknologiaa standardoiva järjestö. Työn kannalta keskeisiä XML ja SOAP -kehitys.

Työssä käytetyt ja kuvatut tietokoneohjelmat:

- [DTSS00] Operational Requirements Document for the Digital Topographic Support System (DTSS), U.S.Army Engineer School. 22 January 2000. Ladattu koulun palvelimelta <http://www.wood.army.mil/TVC> 4.5.2001.
- [GeoPres] Ruotsin armeijan GIS-ohjelmisto. www.geopres.mil.se.
- [GISIM98] GIS IM, Geografisk Informationssystem för Internationella Missioner, Bilaga 4 Geodata Bosnia, GIS-Centrum version 1.0, September 1998.
- [GPEng98] GeoPres Decision Support for Engineering Version 1.2, Report and instruction. Swedish Armed Forces, Northern Joint Command 5.5.1998.
- [SeutuCD] Pääkaupunkiseudun suunnitteluaineistot. Data ja ohjekirja 1998.
- [Terra] TerraBase II / MICRODEM, version 3.0, version 5.2 ja version 6.0 Alpha. Yhdysvaltojen armeijan käytössä oleva maaston analysointi ja visualisointiohjelma. <http://www.wood.army.mil/TVC>. Ladattu 23.4.2002. Shareware-versio <http://www.usna.edu/Users/oceano/pguth/website/plghome.htm>.

KÄSITTEET JA MÄÄRITELMÄT

0 D	Nollaulotteinen. Piste on geometrialtaan 0-D yksilötyyppi. [PTK]
1D	Yksiulotteinen. Sijainti esitetään janalla ja ilmoitetaan koordinaatteina. Esimerkiksi viiva on 1D yksilötyyppi.[PTK]
2D	Kaksiulotteinen. Geometrinen tieto esitetään tasolla ja sijainti ilmoitetaan koordinaattiparilla (x,y). Esimerkiksi alue ja pinta. [PTK]
2½D	Kaksi ja puoliulotteinen. Tiedonhallintatapa, jossa geometrisen tiedon sijaintia käsitellään 2D avaruudessa, mutta kohteisiin liitetään tieto kolmannesta ulottuvuudesta eli korkeudesta. [PTK] Visualisoinnin yhteydessä tässä työssä tarkoitetaan korkeusmallin avulla tehtyä esitystä, jota voi katsella eri kulmista.
3D	Kolmiulotteinen. Teknisesti tasosijainnin lisäksi hallitaan korkeus ja sijainti ilmoitetaan kolmella koordinaattiluvulla (x,y,z). [PTK] Visualisoinnin yhteydessä tässä työssä tarkoitetaan esitystä, jossa maailmaa voi tarkastella myös kohteiden sisältä ja lomasta virtuaalisesti, niin sanottu aito 3D esitys.
4D	Neliulotteinen. 3D-sijaintiin on liitetty myös tieto ajasta. Aika voidaan liittää myös 0 D, 1D, 2D ja 2½D sijainteihin. Vertaa ajoittava ominaisuus [PTK].
COTS	(Commercial off the self) Kaupallisesti valmiina saatavana oleva ja kappaleina keskenään identtinen tietokoneohjelma ja / tai -komponentti, jota myyjä tukee ja kehittää itsenäisesti saadakseen taloudellista hyötyä. [Mey01] Vastaavana määritelmänä GOTS (Governmental ..) tarkoittaa julkisen viranomaisen vastaavia ohjelmia ja / tai komponentteja ja NDI (Non-Development-Item) tietojärjestelmän kannalta valmiina saatavaa osaa, joka tässä työssä voidaan käsittää valmiina palveluna.
data	Jäsentymätöntä, erilaisten sensorien tuottamaa raaka-ainetta, joka maastoon liittyvänä on digitaalisella taistelukentällä joko hankittu ennalta aineistojen muodossa tai se digitoidaan erikseen.
digitaalinen taistelukenttä	Tapa, jossa tieto muodostetaan, välitetään, käsitellään ja tallennetaan digitaalisesti [oma määritelmä, vrt. Dig99]
formaatti	Esitysmuoto (suos.). Muotosääntöjen (syntaksin) mukainen tiedon järjestys ja esitysmuoto tietovälineessä. [PTK]
hyväksyminen	(accreditation) Virallinen todistus siitä, että malli tai simulointi on hyväksytty käytettäväksi määritellyn tarkoitukseen. [DMSO]
informaatio	dataa, joka on liitetty tiettyyn asiayhteyteen, tässä työssä yleensä yhdistetty paikan ja ajan suhteen. Maastoanalyysi on tapa yhdistää maastoon liittyvää dataa informaatioksi.

informaatio­sota Toisen valtion yhteiskunnalliseen ja sotilaalliseen päätöksentekoon ja toimintakykyyn sekä kansalaisten mielipiteisiin vaikuttaminen ja siltä suojautuminen. [Ran02]

johtamissodankäynti

Informaatio­sodankäynnin sotilaallinen toteuttaminen päämääränä vastustajan sotilaallisen ja johtamiskyvyn lamauttaminen ja oman johtamisen turvaaminen. [Ran02]

karttati­eto Käsiteltyä paikkati­etoa, jossa paikkati­eto on muutettu kartografisilla säännöillä visuaaliseen muotoon. [vrt. PTK]

karttatuote Visuaalinen paperi- tai kuvaruutukartta. Tässä työssä käytetään yleensä käsitettä referenssikartta.

käsitemalli Malli, joka määrittelee kuvattavan todellisuuden esittämiseksi tarvittavat yksilötyypit, niiden ominaisuustyypit ja yksilötyyppien väliset yhteystyypit. Käytetään myös nimitystä kohdemalli [PTK] ja yleisempänä tietomalli. Maastoanalyyssejä voidaan formaalisti suunnitella ja hallita käsitemallien tasolta lähtien.

maastoti­eto (topographic data) Paikkati­eto, joka kuvaa maapallon pintaa ml. tekoainesta eli maastossa näkyviä ihmisen toiminnan tuloksia. [PTK]

Tässä työssä sotilaallisella maastotiedolla (terrain data) tarkoitetaan huomattavasti laajempaa kokonaisuutta, joka sisältää kaikki sotilaalliseen toimintaan ympäristössä liittyvät tekijät väestöstä ja ilmastosta alkaen. Myös sotilaalliset tekemuodot kuten miinoitteet, taistelukaasut ja abstraktiot kuten tulialueet kuuluvat maastoti­etoon.

näkemy­s Tietämykseen perustuva visio eli suunta, johon tilanteessa pyritään. [Ahv02c]

oikeaskaalaisuus Ilmiön ja sen ympäristön kuvaustarkkuuden välinen riippuvuussuhde.

ominaisuustieto Kohteen yksilöivien, paikantavien, ajoittavien ja kuvailevien ominaisuuksien kokonaisuus. [PTK]

paikkati­eto Paikannettua kohdetta tai ilmiötä kuvaava sijaintitiedon ja ominaisuustiedon looginen tietokokonaisuus. [PTK]

paikkati­etojärjestelmä

(Geographical Information System, GIS) Tietojärjestelmä, joka tukee paikkati­etojen keruuta, ylläpitoa ja syöttöä, paikkati­edon hallintaa, paikkati­etoanalyysijä ja paikkati­edon visualisointia. [PATU98]

paikkati­etotuote Paikkati­etoa sisältävä suunniteltu, johdonmukainen, yksilöidysti määritelty ja hyväksytty tietokokonaisuus, johon analyysit perustuvat.

paikkati­etoylivoima

Kyky hankkia, analysoida ja käyttää (tässä työssä maastoon) liittyvää paikkati­etoa vastustajaa paremmin. [oma määritelmä, vrt. tietoylivoima]

- sijaintitieto** Kohdetta esittävän geometrisen yksilötyypin ja kohteen sijaintia osoittavien koordinaattitietojen sekä mahdollisten topologiatietojen muodostama kokonaisuus. [PTK]
- sotilaallinen maastoanalyysi**
- Paikkatietoanalyysi, joka kohdistuu sotilaalliseen maastotietoon sekä niihin osiin sotilaallista toimintaa, jotka muovaavat ja vaikuttavat maastotietoon. [oma laajennettu määritelmä, vrt. TVMP]
- sotilaallinen maastotieto**
- maastoa, ympäristöä, olosuhteita ja esimerkiksi väestöä esittävää sotilaallisten toimintojen kannalta oleellista paikkatietoa. Muodostuvaa kokonaisuutta kutsutaan tietokoneen maailmaksi. [oma laajennettu määritelmä]
- tieto** Jalostettua ja yhdistettyä informaatiota, johon liittyy merkittävä tulkinnallinen ja siten myös taidollinen aspekti. [Thie01]
- tietotuote** Tarkoittaa tässä työssä joko karttatuotetta tai paikkatietotuotetta.
- tietoylivoima** Kyky kerätä, prosessoida ja käyttää keskeytymätöntä datan ja siitä jalostetun informaation sekä tiedon virtaa vastustajaa paremmin kiistämällä samalla tämän mahdollisuuksia. [JV2010]
- validointi** (validation) Prosessi, jossa määritetään mallin tai simuloinnin vastaavuus mallinnettavan kohteen kanssa suhteutettuna tutkittavaan ilmiöön. [DMSO] Mallin kyky ottaa huomioon kaikki relevantit tekijät.
- verifointi** (verification) Prosessi, jossa testataan mallin tuottavan oikeita tuloksia verrattuna spesifikaatioon. [DMSO] Mallin tulosten virheettömyys.
- virtuaalinen taistelutila**
- (virtual battlespace) Illuusio, joka syntyy ihmisessä esitettäessä oikeaa taistelutilaa simuloimalla. [DMSO] Merkittävä tekijä myös maastoanalyysien tulosten visualisoinnissa.
- ymmärrys** Arvottaa tiedon ja antaa sille merkityksen osana kokonaisuutta. [Kuu02]
- yleistäminen** (aggregation) Taistelumalleissa kyky ryhmittää yksiköjä siten, että niiden luonne ja interaktiot säilyvät.

Erilliset lähteet:

- [PTK] viittaa osana paikkatietohakemistoa olevaan suomalaiseen paikkatietotekniikan sanastoon <http://www.nls.fi/ptk/pyk-käsikirja/sanasto>.
- [DMSO] viittaa US Defence Modelling and Simulation Officeen mallintamista käsittelevään sanastoon <http://www.dmsomil/index>.

TYÖHÖN LIITTYVÄT PROJEKTIT JA NIIDEN TÄRKEIMMÄT DOKUMENTIT

1 Sovellusarkkitehtuuri

Sovellusarkkitehtuuriprojekti [SovA] perustettiin vuonna 2000 määrittämään perusteet siirtymiselle tiedustelun-, valvonnan- ja johtamisjärjestelmien osalta komponenttiarkkitehtuurin käyttöön. Projektin tavoiteaika on vuoden 2003 loppuun. Projektin johtajana on Pasi Rikkinen. Kirjoittaja on toiminut alusta saakka projektissa paikkatietoasiantuntijana ja sovelluskehittämismallin laatijana DI Jukka Uusitalon kanssa. Näkemäanalyysin prototyyppi on toteutettu hahmotellun arkkitehtuurin puitteissa kirjoittajan ohjaamana.

Projektin luonteen vuoksi siitä ei ole käytössä julkista materiaalia. Sovelluskehittämismallin luonnos [Sov02] on ollut väitöskirjan materiaalina.

2 Paikkatietotutkimus

Paikkatietotutkimus [PATU] viittaa paikkatietoanalyysialustan valinta ja paikkatietoanalyysitutkimus projekteihin kokonaisuudessaan. Projektin vastuullisena toteuttajana on Puolustusvoimien Tietotekniikkalaitoksen tietojärjestelmäosasto vuosina 1998 – 2001. Projektipäällikkönä on DI Anna Liukko. Projektissa on toteutettu neljä vaihetta: (1) Käsitteiden kuvaus ja tarkennus puolustusvoimien käyttöön vuosina 1998-1999 [PATU98 ja PATU99a], (2) Käyttäjien analyysitarpeiden kerääminen vuonna 1999 [PATU99b], (3) suositusten laadinta vuonna 2000 [PATU00] ja (4) prototyyppien laadinta vuonna 2001 [PATU01a ja loppuraportti PATU02]. Tutkimuksen viides vaihe on käynnissä.

Kirjoittaja toimi aluksi asiantuntijana ja vuodesta 2000 varsinaisena jäsenenä. Merkittävä osa väitöskirjatyöstä on laadittu osana näitä tutkimusprojekteja. Metamallin hypoteettinen rakenne on julkaistu käsitteiden tarkennuksessa. Kirjoittaja osallistui tarvekartoituksessa kyselyn muodostamiseen ja vastasi analyysitarpeiden synteesistä, muodosti palvelujen ja tietotuotteiden kehittämissmallit suositusten laadinnassa ja vastasi näkemäanalyysiprototyypistä myös osana SovA-projektia.

Suosituksen laadintaa ja tarkentamista varten teetettiin myös kaksi laajaa selvitystyötä [Lip00] [Saa01]. Projektin raportit ovat viranomaiskäyttöön luokiteltuja.

3 Pioneeritoiminnan johtamislaite

Pioneeritoiminnan johtamislaite [PJohla] viittaa tietojärjestelmän kehitysprojektiin kokonaisuudessaan. Projekti alkoi LIKE-työryhmän tekemällä tavoiteasettelulla vuonna 1996 ja Pioneerikoulun johtamana kehitysprojektina vuosina 1997 – 2002. Tietojärjestelmän taustatavoitteeksi asetettiin pioneeritoiminnan johtamisen muuttaminen tietotekniikan avulla osaksi digitaalista taistelulenttää.

Kirjoittaja laati yleisesikuntaupseerikurssin tekniikan diplomityön [Hyy97] osaksi esitutkimusta ja toimi sihteerinä tavoiteasetteluvaiheen ajan sekä projektipäällikkönä vuosina 1997-1999 puolustusvoimien sisäisen vaatimusmäärittelyvaiheen [PJohla97] [Miet98], paikkatietoalan yrityksen kanssa 50 / 50% työpanoksella toteutetun toiminnallisen määrittelyvaiheen [PJohla98b, PJohla98c], teknologioiden evaluoinnin, systeemisuunnittelu- ja käyttöliittymäprototyypivaiheen sekä maaston perusanalyysin [PJohla98a] toteutuksen ajan.

Projektiin liittyy kolme kirjoittajan ohjaamaa Maanpuolustuskorkeakoulun esiupseerikurssin tutkimus- [Ala98] ja yleisesikuntaupseerikurssin diplomityötä [Ala99] [Niu99] sekä kaksi TKK:n diplomityötä [Ora99], joista toinen [Mik00, liittyy Väri99] on kirjoittajan määrittelemillä tavoitteilla toteutettu ja ohjaama tilaustyö. Teknillisellä Korkeakoululla on lisäksi käynnissä vuonna 2002 MATINE-tutkimushankkeena toteutettava overlay-analyysin luotettavuutta selvittävä tutkimustyö [MATI02], jonka lähtöaineistona ovat maastoanalyysit.

Linnoittamisen maastosuunnittelusovellus [LiMaSu] toteutettiin prototyypiperiaatteella vastuullisena Kymen sotilasläänin esikunta 1998 – 2001. Projektipäällikkö kapteeni Harri Veijola 1998 – 99 ja teknikkoluutnantti Jukka-Pekka Nurmela 1999-2001. Kirjoittaja toimi projektissa koordinaattorina, määrittelijänä ja kehittäjänä.

Suluttamisen maastosuunnittelusovellus [SuMaSu] toteutettiin edellisen kokemusten perusteella, vastuullisena Kymen sotilasläänin esikunta 1999 ja Kymen Pioneeripataljoona 2000-2002, projektipäällikkö kapteeni Harri Veijola 1999 ja yli luutnantti Tuomas Liukko 2000-2002. Kirjoittaja toimi koordinaattorina ja kehittäjänä, laati esitutkimuksen [SuMaSu99], vaatimus- [SuMaSu00a] ja toiminnallisen määrittelyn [SuMaSu00b] sekä teknisen toteutettavuustarkastelun [SuMaSu00c] ohjelmistotyönä TKK:ssa vuonna 1999-2000, erillisen paikkatietoaineistonselvityksen [MaSu00] sekä miinojen paikannettavuustarkastelun [SuMaSu01] seminaarissa vuonna 2001.

Liikkeen edistämisen maastosuunnittelusovelluksen [LeMaSu] kehitysprojektia ei ole vielä käynnistetty. Kirjoittaja ohjasi vuonna 1999 lomaketutkimuksen [Tas99] ja vuonna 2001 järjestelmää protoilevan ohjelmistotyön [LeMaSu01] sekä laati esitutkimuksen järjestelmän kehittämiseksi.

Salpa-linnoitusketjua koskeva paikkatietoaineistoprojekti [Salpa] toteutettiin osana tietojärjestelmää, vastuullisena Kymen sotilasläänin esikunta vuonna 1999 ja projektipäällikkö Jukka-Pekka Nurmela. Kirjoittaja toimi koordinaattorina, määrittelijänä ja kehittäjänä.

Projektityöstä saadut kokemukset ja sen aikana käynnistetyt tutkimukset muodostavat perustan väitöskirjassa kuvattujen maaston perus-, sovellettujen ja resurssi-analysien toteutukselle sekä analyysitulosten laatujärjestelmän kehittämiseksi. Maastosuunnitteluprojekteista saadut kokemukset ja mittaukselliset tulokset muodostavat perustan maastotietojen keruuseen osana paikkatietoaineistoja.

Projektin asiakirjat ovat viranomaiskäyttöön luokiteltuja.

4 Aineistohankintaprojekti PuuAine ja tarkentava Sotilasmetsä

Puolustusvoimien paikkatietoaineistojen aineistoprojekti [PuuAine] perustettiin PionJohla tietojärjestelmän edellyttämien lisäaineistojen hankkimiseksi, vastuullisena Topografikunta vuosina 1999-2001, projektipäällikkö kapteeni Juha Ruohonen. Kirjoittaja toimi projektin jäsenenä. Sisälsi yhteistoiminnan Geologisen tutkimuskeskuksen kanssa maaperäkartoista, Ympäristökeskuksen kanssa routa-, lumi- ja jää-tietojen muodostamisesta ja hankinnasta sekä Tielaitoksen kanssa silta-aineistoista. Osa tuloksista on raportissa [Ain01].

Sotilaallisten metsää koskevien paikkatietoaineistojen kehittämisprojekti [Sotmetsä] on tavallaan jatkoa Puuaine-projektille yhteistyössä Metsäntutkimuslaitoksen kanssa vuosina 2001 - 2002, tutkimusta pyritään jatkamaan vuoden 2003 alusta. Kirjoittaja osallistui tutkimuksen tavoitemäärittelyyn ja esitutkimukseen vuonna 2001.

5 Komentaja- ja esikuntakoulutuksen simulointijärjestelmä

Komentaja- ja esikuntakoulutuksen simulointijärjestelmä [KESI] perustettiin vuonna 1997 toteuttamaan järjestelmän hankinta ulkomailta. Tässä työssä projekti viittaa tiedonhankinta (RFI) ja tarjouspyyntövaiheiden (RFQ) sekä sopimusvaiheen materiaaleihin, projektin aikana käytyihin tarjouksia täsmentäviin keskusteluihin ja kahden ITEC simulointikonferenssiin vuosina 2000 ja 2001 osallistumiseen kokonai-

suutena. Vastuullisena Maanpuolustuskorkeakoulun Taktiikan laitos vuosina 1999-2000 ja Johtamisen laitos vuodesta 2000, projekti on kesken. Projektipäälliköt everstiluutnantti Paavo Heiskanen vuosina 1999-2000, kirjoittaja maaliskuu - lokakuussa vuonna 2000 ja majuri Pertti Kuokkanen marraskuusta 2000.

Kirjoittaja on toiminut projektin paikkatiedoista vastaavana jäsenenä ja koonnut vaatimusmäärittelyt [KESI99a, KESI00, KESI01a]. Projektityö ja kokemukset sekä yhteistyö useiden ulkomaisten kehittäjien kanssa muodostavat perustan simulaattoreiden ja korkean tason päätösten tukijärjestelmien analysoinnille ja kuvaamiselle osana mallia. Osallistuminen projektiin on tapahtunut alusta saakka tutkimusorientoituneesti ja tutkimuskysymykset ja niiden vastaukset on sisällytetty RFI ja RFQ -asiakirjoihin. Kokemukset on koottu 149-sivuiseen tutkimusraporttiin [KESI02].

Projektin asiakirjat ovat viranomaiskäyttöön luokiteltuja, vastaukset kaupallisesti luottamuksellisia. Projektiin liittyy laaja perustutkimushanke [MAS95], Maanpuolustuskorkeakoulun diplomityö [Myl97] ja MATINE-tutkimus malleista [MATI01a].

6 Pääkaupunkiseudun pelastuslaitosten riskianalyysityö

Pääkaupunkiseudun pelastuslaitosten riskianalyysityö [PeLaRA] toteutettiin vuosina 1999-2000 yhteistoiminnassa Helsingin, Espoon, Vantaan ja Kauniaisten välillä, projektipäällikkö johtava väestönsuojelusuunnittelija Kimmo Kohvakka. Kirjoittaja osallistui työskentelyyn paikkatietoanalyysiasiantuntijana ja laati esitutkimusraportin [Pela00a] sekä laskentamallin [Pela00b]. Työtä käytetään metamallin soveltamiseen kokonaismaanpuolustuksen viitekehyksessä ja se toimii väitöskirjassa mallin validoinnin apuvälineenä.

Projektin kokonaistulokset on julkaistu pelastustoimen palvelutasopäätöksessä [Pela00c], raportit on luokiteltu viranomaiskäyttöön.

7 Helikopterihankkeen tutkimusprojekti

Puolustusvoimien helikopterihankkeeseen liittyvä tutkimusprojekti [HEKOGIS] vastaa helikopterihankintoihin liittyvästä tutkimustoiminnasta, vastuullisena Maavoimien ilmailuosasto. Kirjoittaja osallistui tutkimukseen paikkatiedon käytön tutkijana, tärkein osatutkimus [HEKO01a] toteutettiin Maanpuolustuskorkeakoulun esikunta- ja johtamisharjoituksessa MYRSKY keväällä 2001 yhteistoiminnassa Puolustusvoimien Tietotekniikkalaitoksen erikoistutkijan DI Timo Ojalan kanssa. Kuvaa mallin so-

veltamisen uudessa ympäristössä. Toimii väitöskirjassa mallin validoinnin apuvälineenä.

Projektin luonteen vuoksi siitä ei ole käytössä julkista materiaalia. Paikkatieto-osuuden kokemukset [HEKO01a] on esitetty Maanpuolustuskorkeakoulun seminaarissa [HEKO01b] syksyllä 2001 ja julkaistu [HEKO02] syksyllä 2002.

8 Muut tutkimukset

MATINE-tutkimuksena toteutettiin vuonna 2001 maastouttamiskartan kehittämisprojekti, jossa lähtöaineistoina käytettiin painopisteisesti satelliittikuvia. Kirjoittaja osallistui projektin tavoitteenasetteluun ja työskentelyyn.

Esikuntien kehittämistä on tehty useassa eri vaiheessa. Kirjoittaja osallistui Maanpuolustuskorkeakoulun suunnitteluprosessin [Suu98] muodostamiseen sekä Maa-voimien sodan ajan esikuntien kehittämisen tutkimuksen kokeiluihin [Esik01].

KAUPALLISTEN PAIKKATIETO-OHJELMISTOJEN ESITTELY

Katsauksessa on jokaiseen esiteltyyn tekniikkaan valittu erilainen näkökulma kattavuuden saavuttamiseksi, vaikka useimmat ohjelmistot skaalautuvat muillekin alueille - on siis luonnollista, että myöhemmin esitellyt ohjelmistot ovat saaneet vähemmän tilaa. Esittelyyn on valittu Suomessa laajalti käytössä olevia ja tuettuja teknologioita. Tiedot on pääosin koottu valmistajien esitteistä ja internet-sivustoista, lisänä on käytetty vuoden 2001 alussa toteutetun PATU-projektin evaluointikierroksen kokemuksia.

1. ESRI ohjelmistoperhe: laaja kokonaisuus¹

Vuonna 1969 perustettu Environmental Systems Research Institute Inc (ESRI) omaa tällä hetkellä laajimman ja 36% markkinaosuudella käytetyimmän paikkatieto-ohjelmien teknologiaperustan, jonka ratkaisut skaalautuvat raskaasta relaatiotietokannasta käsitetokoneisiin, stand alone järjestelmistä internet-ratkaisuihin ja alustoiltaan Microsoftista Javaan ja UNIXiin. Myös LINUXin on tulossa sen tilanteen vakiinnuttua.

ESRI:n uutta komponenttipohjaista ArcGIS arkkitehtuuria alettiin kehittää 1990-luvun lopulla ja yritys on ilmoittanut käyttäneensä siihen neljän vuoden aikana yli puoli miljardia dollaria. Uusi kokonaisarkkitehtuuri koostuu kolmesta pääosasta: ArcGIS Desktop ohjelmistoista, ArcSDE tietokantapalvelimesta (gateway) ja ArcIMS Internet-teknologiasta. Skaalautuva rakenne mahdollistaa sovellukset henkilökohtaisista sovelluksista (personal GIS) jaettuun (workgroup) ja yritystason ratkaisuihin (enterprise GIS) saakka. Perustana on oma relaatiotietokantaan perustuva tietomalli sekä tiedostotyytit, joista Shape File on muodostettu avoimeksi teollisuusstandardiksi yleisen tason tietojen vaihtoa varten. Käyttäjälle näkyvä ArcGIS desktop koostuu edelleen kolmesta sovelluksesta (application). ArcMap muodostaa varsinaisen karttakäyttöliittymän toiminteineen, ArcCatalog helpottaa tietojen hallintaa ja ArcToolbox sisältää geoprosessointityökalut. Näistä voidaan edelleen koota kolme tuotetta: peruskäyttäjän ArcView, aineistojen hallintaan tarkoitettu ArcEditor ja kaikki ominaisuudet sisältävä ArcInfo.

Tuoteperheeseen kuuluu tällä hetkellä kolme varsinaista analyysilaaajennusta, joista Spatial Analyst pystyy yhdistettyyn vektori- ja rasterianalyysiin, 3D Analyst kolmiulotteiseen mallinnukseen ja Geostatistical Analyst tilastollisiin analyyseihin. Lisälaajen-

¹ Tärkeimpinä lähteinä ovat What is ArcGIS? 2001, eri sovellusten esitteet 1998 - 2002, yrityksen asiakaslehti 1999-2002, internet-sivut www.esri.com, Defence User Group julkaisut ja verkkosivut sekä käyttäjäkonferenssi 1998 ja Euroopan sotilas-käyttäjäkonferenssi EUDUG 2002.

nuksena ovat ArcPress kartanjulkaisuun, MrSID Encoder raskaiden kuvien kompresointiin ja mosaikointiin sekä TIFF/LZW tuki aineistojen pakkaukseen. Vanhemmassa ArcView 3.2 teknologiassa on laajennuksina saatavissa lisäksi Network Analyst verkko-optimointiin, Tracking Analyst ajassa tapahtuvan liikkeen analysointiin, ERDASin kanssa yhteistyössä kehitetty Image Analysis ilmakuvien käsittelyyn ja Business Analyst erilaisten taloudellisten ongelmien ratkaisemiseen. Näiden lisäksi on kehitetty erillinen ArcLogistics Route yritysten ajoneuvokaluston ja logistiikan hallintaan.

ArcObjects muodostaa uuden arkkitehtuurin mukaisen komponenttikirjaston, joilla valmisohjelmien jatkokehittäminen sovelluksiksi on toteutettavissa. Perustana on Unified Modeling Language (UML) mukaiset julkaistut kuvaukset, integrointiteknologiana on käytetty COM-standardin mukaisia komponenttirajapintoja. Yksinkertaisin tapa muokata perustoiminnallisuutta on käyttää käyttöliittymien valmiita räätälöintitoimintoja. Seuraavalla tasolla on käytössä yleinen Visual Basic for Applications (VBA), jolla voi luoda uusia lomakkeita, työkaluja ja vakioituja työketjuja. Tällä on korvattu vanhempien ArcInfo:n ARC Macro Language (AML) ja ArcViewin Avenue ohjelmointikielien. Microsoft yhdenmukaisuus antaa mahdollisuuden ActiveX kontrollien käyttöön. Kolmannella tasolla on mahdollisuus täydelliseen räätälöintiin käyttäen COM-yhteensopivaa ohjelmointikieltä kuten Visual Basicia, Visual C++ tai Delphi-kehittäjä.

ESRI on tarjonnut MapObjects komponenttikirjaston sovelluskehitystyön pohjaksi jo kymmenen vuotta, ja sitä käytetään muun muassa Ruotsin GeoPres-laajennuksen perustana. Versio 1.2 koostui ActiveX kontrollista ja kolmestakymmenestä objektista, jotka versiossa 2.0 laajennettiin neljäänkymmeneen viiteen. Näiden avulla paikkatietotoinnallisuus voidaan upottaa esimerkiksi Visual Basic, Visual C++, Delphi, PowerBuilder, Visual FoxPro ja Borland C++ sovelluksiin. Kirjastot sisältävät tuen useille eri formaateille ja projektiolle sekä mahdollisuuden kytkeä GPS-toiminnallisuus osaksi sovelluksia. Lisäksi käyttöön saadaan ArcSDE tietokantayhteys, joka mahdollistaa laajojen ja monimutkaistenkin tietojen käsittelyn. MapObject LT² sisältää vain 24 objektia, mutta sillä tehtyjä sovelluksia saa levittää vapaasti ilman lisenssimaksuja. Lisäksi on mahdollista käyttää täysin ilmaista ArcExplorer selainta, joka on tehty tällä teknologialla ja josta on saatavilla myös Java-perustainen versio.

ArcIMS arkkitehtuuri on kehitetty verkkopohjaisiin ratkaisuihin. Se muodostuu verkkopalvelimen rinnalla olevasta ArcIMS palvelimesta ja eri tasoista asiakkaista, joita voi-

² Tekniikkaa käytettiin kirjoittajan ohjaamassa GIS ohjelmatyössä vuonna 2000, jolloin laadittiin prototyypin Pioneeritoiminnan johtamislaitteen lumi-, routa- ja jääaineistojen katselua ja tietojen hakua varten. Työssä sovellukseen integroitiin myös ulkopuolinen vapaasti käytettävä Tagged Image File (TIF) kyselytoiminnallisuus.

vat olla sekä Java että HTML-selain (viever), ArcExplorer, ArcDesktop sovellukset sekä erilaiset langattomat päätelaitteet. ArcPad on tarkoitettu käsitietokoneisiin ja optimoitu Windows CE käyttöjärjestelmälle. Se mahdollistaa ESRIn mukaisten formaattien käytön sekä GPS-laitteiden kytkennän esimerkiksi tietojen keruuta varten. Yrityksen ArcXML on yhtenä perustana uudelle GML 3.0 määrittelylle.

ESRI SDE teknologia mahdollistaa paikkatiedon tallettamisen relaatiotietokantaan ja sen käsittelyn rajattomasti (seamless). Oraclen kanssa on solmittu yhteistyösopimus liittynnästä Oracle8i ja Oracle Spatial teknologiaan, vaikka SDE onkin tälle tavallaan kilpailija. Vastaavanlainen yhteistyösopimus on myös SAP-teknologiaan ArcIMS arkkitehtuurilla mySAP.com karttapalvelujen, MapObjects komponenteilla osana Business Information Warehouse (BW) -rakennetta, ajoneuvoreitityksellä ArcLogistics Route ohjelmistolla ja tietokantakyselyillä SAP R/3 käyttäjille Desktop-sovelluksilla.

ESRI on panostanut paljon sotilassovelluksiin. Uuden arkkitehtuurin mukana tuleva Military Overlay Editor MOLE sisältää MIL-STD 2525B mukaiset symbolit ja uudessa MOLE 2-versiossa on useita sotilaallisen tilannekuvakäyttöliittymän vakio toimintoja valmiina. Kehitteillä on erillinen Military Analyst laajennus, joka sisältää yleisimmin käytetyt analyysityypit perusrakenteiltaan. Yksi laajennus on Military Installations, joka on tarkoitettu varuskuntien hallinnan apuvälineeksi käyttämään Yhdysvaltojen CADD / GIS Technology Centerin laatimaa SDSFIE-standardia. Lisäksi saatavilla on muunnokset standardoituihin DGIWG:n mukaisiin Yhdysvaltojen armeijan ja NATO:n käytämiin sotilasformaatteihin. Teknologia on käytössä alustana ainakin Yhdysvaltojen DTSS-järjestelmissä, Ruotsin GeoPres-laajennuksessa, Australian, Etelä-Afrikan Tasavallan, Saudi-Arabian, Israelin ja Tanskan johtamisjärjestelmissä sekä Iso-Britannian päätöksenteon tukijärjestelmässä. ESRIn teknologiasta ja kokemuksista sen komponenttien käytöstä on kerrottu laajemmin luvussa 8.1 näkemäanalyysiprototyypin yhteydessä.

2. Intergraph: vanhin komponenttirakenne ja avoin tietojen käyttö³

Intergraph on yrityksenä ESRIn kanssa vaihdellut alan johtoasemassa neljännesvuosisadan ajan. Vuonna 2000 sen osuus maailmanmarkkinoista oli 16%.

Modular GIS Environment eli MGE muodostaa raskaan ammattikäyttäjien järjestelmän, jonka pohjana on Bentley'n Micro Station alusta. Basic Nucleus (MGNUC) muodostaa rungon, johon liitettynä kahdeksalla eri modulilla hallitaan laajojen tietojen tuot-

³ Tärkeimpinä lähteinä <http://www.intergraph.com>, yrityksen tiedotuslehdet, ohjelmistotutustuminen vuonna 2001 ja kokemukset GIS-ohjelmistotyön ohjaamisesta vuonna 1999-2000.

taminen, käsittely, muokkaus ja tulostus. Lisänä on MGE Analyst lähinnä perusoperaatioihin⁴, Grid Analyst rasterianalyysiin, Terrain Analyst maaston 3D mallinnukseen ja Image Analyst kuvien käsittelyyn. Näiden lisäksi on saatavilla erillinen I/RAS C kuvienkäsittelyohjelma ja edullinen Image Viewer ohjelma kuvien katseluun ja julkaisuun. Järjestelmän kehittäminen jatkuu edelleen ja yhteensopivuus uudempaan teknologiaan on toteutettu GeoData Client laajennuksella.

DeskTopGIS -ohjelmien syntyessä 1990-luvulla Intergraph ei lähtenyt heti mukaan, joka osaltaan johti markkina-aseman heikkenemiseen. Kehitykseen kuitenkin vastattiin luvun lopulla kehittämällä GeoMedia, joka on ilmeisesti ensimmäinen komponentti-perusteinen GIS-teknologia. Lähtökohtana oli tietojen käsittely tietokannassa ilman varsinaista formaattia, jolloin myös muilla järjestelmillä tuotettua dataa voidaan nopeasti hyödyntää ja samaan kantaan voidaan kytkeä sekä kolmannen osapuolen analyysisovelluksia että kilpailijoiden tuotteita. Sovelluskehitys tehdään standardoiduilla Windows maailman kehittimillä kuten Powerbuilderilla, Visual basicilla tai Visual C++ välineillä. Tältä perustalta on laajennettu GeoMedia Professional tukemaan vaativaa-kin paikkatiedon käsittelyä. Uusin versio on 5.0.

Internet-teknologiaan on saatavilla GeoMedia WebMap. IntelliWhere kokonaisuus on kehitetty liikkuvien käyttäjien tukemiseen Location Server täysin standardoidulla XML-rajapintaisella palvelinsovelluksella, Demand PDA-laiteohjelmalla ja Tracking tiedonkeruuohjelmalla. Tietoja voidaan hallita GeoMedia tuotteilla. Saatavilla on myös ilmaiset Viewer-ohjelmat tietojen katseluun.

Intergraph-teknologian sotilaskäyttö on jatkunut kauan aikaa. Yhdysvaltojen lisäksi käyttäjänä ovat muun muassa Topografikunta sekä vastaavia karttalaitoksia. Myös Helsingin ja Vantaan kaupungit perustavat paikkatietonsa tälle teknologialle.

3. MapInfo : kolmas vahva tekniikka Suomessa⁵

MapInfo on perustanut menestyksensä helppokäyttöisen desktopGIS -ohjelman varaan ja omasi vuonna 2000 6% markkinaosuuden GIS-ohjelmistotoimituksista. Tuotevalikoima kattaa edellisten tavoin desktop ohjelmistot, internetpalvelut, ilmaisen katseluohjelman ja PDA-laitteiden kehitysympäristön. Lisäksi yrityksen ActiveX-pohjainen ja standardoituja ohjelmointikieliä käyttävä komponenttikehitysympäristö MapX on ollut käytössä usean vuoden ajan. Nykyinen versio on v4.5. Analyysilaajennuksista merkit-

⁴ vertaa [Lau91] esittämä jako edellä.

⁵ Tärkeimmät lähteet <http://www.mapinfo.com> sekä kokemukset Pelastuslaitos GIS-työstä ja PATU reittioptimointiprototyypin toteuttamisesta.

tävin on kolmannen osapuolen kehittämä Vertical Mapper rasterianalyysiohjelmisto, joka kykenee muun muassa monipuolisiin näkemäanalyysiin. Alenia Marconin kehittämä Commander SE taktinen simulaattori käytti alustanaan tätä teknologiaa.

Yritys on painottunut vahvasti turvallisuusalalle ja pyrkii laajentamaan Yhdysvaltojen Homeland Security -teeman kautta myös kokonaismaanpuolustuksen markkinoille. Suomessa MapInfo on ohjelmalla laajasti käytössä sekä kunnilla että sisäasiainministeriön hallinnanalalla poliisilla ja pelastuslaitoksilla. Siihen perustuu muun muassa luvussa XX pelastuslaitoksen kohdalla esitetty SeutuCD. Genimap Oy:n graafiserveri-ohjelmisto sovelluksineen ja sitä hyödyntävä PATU reittioptimointiprototyyppi on rakennettu osin tätä teknologiaa käyttäen.

4. AutoCAD Map2000: teknisen suunnittelun lähestymistapa⁶

Autodesk on raportissa esitellyistä yrityksistä suurin AutoCAD 2D ja 3D insinööri- ja arkkitehtuurisuunnitteluohjelmistojensa ansiosta. Sen markkinaosuus varsinaisista GIS-ohjelmistoista oli vuonna 2000 noin 6 %. Yritys on hyvä esimerkki paikkatietotekniikan toisesta päälähestymistavasta, jossa esimerkiksi kaupunki nähdään rakennusten ja tekniikan kokonaisuutena. Tässä ympäristössä AutoCAD Map mahdollistaa lähes neljäkymmeneen muuhun erikoissovellukseen kytkeytyvänä laajojen vektorimuotoisten tietoaineistojen käsittelyn ja rasterimuotoisten referenssikarttojen käytön sekä visualisoinnin myös kolmiulotteisesti. Usea kunta Suomessa käyttää tätä teknologiaa.

AutoCAD LT valittiin Pioneeritoiminnan Johtamislaitteen luvussa 4.3.1 esitetyn linnoittamisen maastoanalyysisovelluksen alustaksi, koska sillä on laaja osaajakunta rakentajajoukkojen reserviläisissä ja ohjelman lisenssikustannukset ovat matalat. Reserviläisarmeijassa tämäkin näkökulma on huomioitava.

5. Bentley: esimerkki sovellusalustasta⁷

Bentley Systems Inc laajeni MicroStation CAD-alustallaan Intergraph-teknologian kanssa, mutta erkani joitakin vuosia sitten omaksi kokonaisuudekseen. GeoGraphics kehitettiin tuotantoympäristöksi ja GeoOutLook katseluohjelmaksi. Lisänä on saatavilla laajennuksia kuvien käsittelyyn, koordinaatti- ja formaattimuunnoksiin sekä uuden ModelServer teknologian kautta Internetjulkaisuun. Suomessa teknologiaa käyttäen on kehitetty Stella-ohjelmistoperhe, joka on useilla kunnilla käytössä, suurimpana näistä

⁶ Tärkeimmät lähteet <http://www.autodesk.com> sekä kokemukset PionJohla LiMaSu-työstä.

⁷ Tärkeimmät lähteet <http://www2.bentley.com> sekä kokemukset PionJohlan ohjelmointityöstä.

on Tampereen kaupunki, tosin Helsingin ja Vantaankin paikkatiedot perustuvat samaan alustateknologiaan. Luvussa 7 laajemmin esitelty Pioneeritoiminnan Johtamislaitte on rakennettu GeoOutLook ohjelmistoa käyttäen.

6. Smallword: esimerkki oliotekniikasta⁸

Smallword on Iso-Britannialaisen GE Network Solutionsin tuotemerkki tietokantamuotoisen ja oliopohjaisen paikkatiedon hallintaan erittäin suurissa tietokannoissa. Sen suurin käyttäjä Suomessa on myös puolustusvoimienkin tärkein aineistotoimittaja Maanmittauslaitos, joka aloitti maanomistusta säätelevän JAKO-järjestelmänsä rakentamisen tälle teknologialle 1990-luvun puolivälissä. Tietojen hallinta perustetaan internet-laajennuksessa täysin XML- ja GML-standardien pohjalle. Teknologia on parhaimmillaan suurissa ympäristöissä, joissa usea käyttäjä editoi, syöttää ja käyttää tietoja yhdenaikaisesti. Tässä työssä teknologiaa ei käsitellä laajemmin.

7. ERDAS Imagine: rasterianalyysin monipuolisuutta⁹

Leica Geosystems'in omistama ja vuonna 1978 perustettu ERDAS on maailman johtava ilma- ja satelliittikuva-aineistojen käsittelyohjelmien kehittäjä ja myyjä. Yrityksen liikevaihdosta merkittävä osa tulee eri maiden, lähinnä kuitenkin Yhdysvaltojen puolustusvoimilta. Kuvien analysoinnin lisäksi ohjelmalla on mahdollista tuottaa nopeasti georeferoitua tietoa, luoda 2½D näkymiä sekä toteuttaa esimerkiksi helikoptereiden laskeutumisalueiden etsintään tai kulkukelpoisuuteen liittyviä maastoanalyyssejä. Analyysien suunnittelua varten on myös kokonaan oma mallinnusympäristö. Ohjelmistot ovat käytössä muun muassa osana Yhdysvaltojen uusia DTSS-järjestelmiä sekä useissa tiedustelualan sovelluksissa. Tässä työssä teknologia näkyy lähinnä maastoanalyysien esittelyn yleisissä rakenteissa.

8. ER Mapper: kuvan käsittelyn laskentavoimaa¹⁰

Vuonna 1989 perustettu australialainen Earth Resource Mapping on toinen kuvankäsittelyn suurista yhtiöistä, jonka vahvuutena on kyky käsitellä suuria rasteriaineistoja sekä työasemissa että verkkopalvelimilla. ER Mapper ohjelmisto valittiin vuonna 1999 Pioneeritoiminnan johtamislaitteen rasterianalyysiympäristöksi sekä perusanalyysissa että osana varsinaista johtamislaitetta.

⁸ Tärkeimmät lähteet <http://smallworldwide.com> sekä PATU ohjelmistotutustumisen vuonna 2001.

⁹ Tärkeimmät <http://www.erdas.com> sekä kaksi erillistä asiantuntijaseminaaria vuosina 2000 ja 2001.

9. S-Plus: tilastollinen käsittely ja spatiaalilaajennus¹¹

MathSoftin S-PLUS on yksi kehittyneistä tilastomatematiikkaohjelmistoista, joka kykenee käsittelemään useimmilla kaupallisilla ohjelmilla tuotettua dataa sadoilla valmiilla malleilla ja funktioilla. Ohjelmistossa on valmiina laajennus ArcView ohjelmaan, jolla tulosten visualisointi ja tietojen siirto ohjelmien välillä onnistuu joustavasti. Vaikka tämä työ ei käytä esimerkkeinä spatiaalitilastollisia analyyseja, on syytä todeta niiden olevan mahdollisia myös useimmilla muilla suurilla tilastollisilla ohjelmilla. Vastaavalla tavalla onnistuu myös lineaarisen optimoinnin tapaisten ratkaisujen käsittely [Mal99].

10. Oracle Spatial: standardoitu spatiaalilaajennus¹²

Oracle Corporation on maailman suurin tietokantojen toimittaja noin 10 miljardin dollarin liikevaihdolla vuonna 2000. Yritys on solminut yhteistyösopimukset lähes kaikkien paikkatietotoimittajien kanssa. Vaikka tietokantaa sinällään muodostaa varaston kaikille tiedoille, on sen Spatial-laajennusta ainakin versiosta 8i alkaen voinut hyvällä syyllä pitää paikkatietosovelluksena. Yrityksen keskeisenä toimintaideana on sitoutuminen hyväksytyihin standardeihin ja pitäytyminen niiden mukaisena, paikkatiedon osalta näistä keskeisin on Open GIS Consortium. Oracle Spatial sisältää perustoiminnot pisteiden, viivojen ja alueiden indeksointiin, sijaintikyselyihin, bufferointiin, lineaariseen referointiin ja dynaamiseen segmentointiin sekä koordinaatistomuunnoksiin. Näiden perustoimintojen avulla voidaan edelleen ohjelmoida monimutkaisempia analyyseja kuten reittioptimointia. Yrityksistä Bentley tarjoaa mahdollisuuden käsitellä tietoja tietokannassa tiedostopohjaisen käsittelyn rinnalla tai sijasta. ESRIn uusi Geodatabase malli toimii sinällään Oraclen tietokannan kanssa, mutta sen SDE-moottoria voidaan tietyllä tavalla pitää kilpailijana Spatial teknologialle. Geomedian tapa käyttää tietokantaa on avoin myös Oraclen kanssa, myös MapX toimii sen kanssa suoraan. Tietokannan kautta saavutettavina etuina pidetään erityisesti tietojen vaihdon hallintaa ja yhteisen tietovaraston mahdollisuutta. Myös Suomesta on löydettävissä suuria tietovarastojen integrointeja, joissa on yhdistetty usean paikkatietoteknologian tietoja ja käyttöä yhteisen tietokannan avulla.

¹⁰ Tärkeimmät lähteet <http://ermapper.com> sekä kokemukset PionJohla ohjelmointityöstä.

¹¹ Tärkeimmät lähteet <http://mathsoft.com/splus> ja spatiaalilaajennuksen testaaminen vuonna 2000.

¹² Tärkeimmät lähteet <http://www.oracle.com>, yrityksen tiedotuslehdet, asiantuntijaseminaari 13.6.2001 sekä kokemukset PionJohlan kehitystyöstä tietokantaperusteisena Oracle Personal tuotteella.

TIETOJA KESKEISISTÄ TAISTELUMALLEISTA

1. Lanchesterin taistelumalli

Lanchesterin neliölaki eli tähdätyn tulen laki olettaa, että: [Leh00] [Prz90]

- taistelevien osapuolien B ja R joukot ovat homogeenisia ja osallistuvat kokonaisuudessaan ja jatkuvasti taisteluun,
- kumpikin osapuoli pystyy tähtäämään jokaista vastustajan yksikköä optimaalisella tai vakioidulla tehokkaalla etäisyydellä
- jokainen osajoukko tietää, milloin on eliminoinut vastustajan eikä päällekkäisiä tappiota esiinny, ns. täydellinen tappioinformaatio,
- vastustajan väheneminen ei aiheuta tulinopeuden muutoksia ja
- tulitus jakautuu tasaisesti vastustajaan, vallitsee niin sanottu täydellinen maalivalintainformaatio.

Laki esitetään yleensä differentiaaliyhtälöparina muodossa: [Prz90]

$$\frac{dm_B}{dt} = -a_R m_R \quad \text{ja} \quad \frac{dm_R}{dt} = -a_B m_B$$

missä m_B ja m_R kuvaavat joukkojen määrää sekä a_B ja a_R joukkojen tuhoamisnopeutta.

Tästä voidaan ratkaista useita tekijöitä kuten [Prz90] [RMCS00]

$\mu_B = m_B(t) / M_B$ joukon voima ajan suhteen,

$\tau = \text{sqr}(a_B a_R)t$ ei-dimensionaalinen aika ja

$\Phi_0 = (M_B / M_R) \text{sqr}(a_B a_R)$ ylivoimasuhde.

M_B / M_R jäljellä olevien joukkojen puhdas määräsuhde

$(M_A - m_A(t)) / (M_B - m_B(t))$ voimasuhteen kehittyminen

$T_{\text{AIKAVAATIMUS}}$ maastokohteen valtaamiseen tarvittava aika tai aikahäviö

$m_A(t) / S_{\text{ETENEMÄ}}$ hyökkääjän tappiot edettyä pituusyksikköä kohden

$m_A(t) / A_{\text{VALLATTU}}$ vallatun alueen ala verrattuna tappioihin

Joukon voima ajan suhteen μ_B mahdollistaa taistelun kulun seuraamisen tappioiden avulla ja edelleen lopputuloksen päättämisen, kun toinen osapuoli ylittää tappion-

kestokykyä. Ei-dimensionaalinen aika τ kuvaa taistelun intensiteettiä. Ylivoimasuhde Φ_0 on termeistä käytetyin kuvaamaan jopa sellaisenaan taistelun lopputulosta. Tehokkuutta voidaan arvioida myös muiden tekijöiden kautta.

Älykkäiden aseiden mallissa (smart weapons model) järjestelmien suurempi teho on pyritty huomioimaan eksponentilla, jotta esimerkiksi ohjuksille ei tarvitse määrittää omaa tehokerrointa. Mallissa eksponenttina on kaksi, tosin muutkin luvut voisivat olla mahdollisia. [Rik93]¹ Aluevaikutteisen tulen ohjautuvia tai ohjattavia aseita, kuten tykistön panssarintorjunta-ammuksia, varten on johdettu yhdistettyjen aseiden malli (combined weapons model). Sekä kerroinparametrin että eksponentin arvot voidaan säätää erikseen. [Rik93] Kehitelmät osoittavat alkuperäisen idean laajennettavuutta ja mukautuvuutta uusiin tilanteisiin.

$$\frac{dm_B}{dt} = -a_R m_R^2 \quad \text{älykkäiden ja} \quad \frac{dm_B}{dt} = -2a_R m_B m_R^2 \quad \text{yhdistettyjen aseiden malli.}$$

Lanchesterin lineaarilain perusolettamuksena on, että tietoa vastustajan tilanteesta ei ole käytettävissä ja aseiden vaikutus yksinkertaisesti kohdennetaan alueelle, jolla vastustaja on. Näin on tilanne muun muassa perinteisen epäsuoran tulen käytössä. Laki perustuu seuraaviin lisäoletuksiin: [Prz90]²

- vastustajan väheneminen ei aiheuta tulinopeuden muutoksia,
- kukin joukko on tietoinen vain vastustajan sijainnista, mutta tähystetty tuli ei ole mahdollista,
- tuli jakautuu tasaisesti koko vastustajan alueelle ja
- kaikki maalina olevan joukon alkiot ovat tasaisesti jakautuneet alueelle.

Laki esitetään yleensä differentiaaliyhtälöparina muodossa: [Prz90]

$$\frac{dm_B}{dt} = -\frac{a_R m_R m_B}{M_B} \quad \text{ja} \quad \frac{dm_R}{dt} = -\frac{a_B m_R m_B}{M_R}$$

missä m_B ja m_R kuvaavat joukkojen määrää sekä a_B ja a_R joukkojen keskinäistä tuhoamisnopeutta. Lineaarilaista voidaan suljetussa muodossa määrittää aiemmin esitetyt tunnusluvut ja sitä voidaan käyttää myös tilanteissa, joissa taistelu on voimakkaasti

¹ Rikkisen alkuperäislähteenä tässä ja seuraavassa yhdistettyjen aseiden mallissa on ollut Dockery & Woodcock: The Military Landscape, Mathematical Models of Combat, Chippenham 1993. Mallien käyttökelpoisuusarvio meillä on Rikkisen.

² Lineaarilain kohdalla tilanne on maastotietojen kannalta lähes päinvastainen edellisen kanssa. Maalin riittävän määrän ja maalialueen homogeenisuusvaatimuksen takia käytännössä tulisi käsitellä vain tilanteita, joissa tulitettavat alueet ja joukot ovat riittävän suuria.

sirpaloitunutta. Lain osalta maastotekijät vaikuttavat lähinnä latvaräjhdysten, sirpaloituvuuden ja maalialueen suojaavuuden kautta. Kaikki tekijät ovat vahvasti yleistäviä.

Yhdistetyllä lailla kuvataan esimerkiksi sissitoimintaa. Väijytyksessä ajatellaan vallitsevan tilanne, jossa sinisen puolen joukot käyttävät tähytettyä tulta ja punaisen puolen aluetulta. Ratkaisu on vahvasti riippuvainen ylivoimasuhteen Φ_0 luonteesta: vahvassa ylivoimassa sissi voittaa, raja-arvolla päädytään ratkaisuun, jossa taistelu ei pääty kummankaan eduksi ja alivoimalla päädytään rakenteeseen, jonka alussa etu on sisseillä, mutta vastustajan määrällinen ylivoima kääntää lopuksi voiton sille³. [Prz90] Maaston merkitys voidaan huomioida edellä esitettyjen tapojen lisäksi siinä, kuinka hyvin väijyksissä oleva osapuoli pääsee siirtymällä suojaan asevaikutukselta, jolloin viimeisessä tilanteessa voidaan taistelun päättymiskriteeriksi määrittää edun käännepiste eli taistelun kulminaatiopiste.

Logaritmisien lain avulla kuvataan autonomista tulitusta, jossa joukkojen kuluminen on suhteessa vastustajan tulen alla olevaan osaan. Näin on esimerkiksi taistelun alussa, jolloin aloitteen omaavalla keskitetyllä joukolla on puute sopivista maaleista tai kun haavoittumisen pelko estää riittävän nopeaa tuliasemien valintaa. Tilannetta voi tarkastella olettamalla alueelle automaattisia aseita, jotka avaavat tulen maalien saapuessa alueelle. [Prz90] Tyyppinen tilanne on mottitaistelun ”tulpassa” vaikeakulkuisessa maastossa tai vastaanottopesäkkeissä. Laki voidaan esittää differentiaaliyhtälöparina : [Prz90]

$$\frac{dm_B}{dt} = -b_R m_B \quad \text{ja} \quad \frac{dm_R}{dt} = -b_B m_R$$

missä m_B ja m_R kuvaavat joukkojen määrää sekä b_B ja b_R aseiden autonomisia tuhoamisnopeuksia.

Logaritmilain yhtälöissä ei ylivoimasuhteella ole merkitystä ja laki voidaan esittää muodoissa: [Prz90] [MORS95]

$$\ln \mu_B = \frac{b_R}{b_B} \ln \mu_R \quad \text{ja} \quad \ln((x_0^2 - x^2)/(y_0^2 - y^2)) = \alpha \ln(x_0 / y_0) + \beta$$

missä x_0 ja y_0 kuvaavat joukkojen alkuperäisiä kokonaisvoimia, x ja y voimia kullakin ajanhetkellä sekä α ja β sovituspärametrejä. Tällöin $\alpha = 0$ tuottaa neliölain, $\alpha = 1$ lineaarilain ja $\alpha = 2$ puhtaan logaritmilain. Historiallisen aineiston perusteella ”oikein” arvo

³ Tämä on sissitoiminnan kannalta yleisin tilanne. Alivoimalla taistellaan vain niin kauan, että vastustaja ei ehdi organisoimaan vastatoimiansa.

on 1,3. [MORS95] Logaritmilaki siis antaa mahdollisuuden valita taistelun kuvaustapa tilanteen ja ympäristön mukaisesti.

Geometrisen keskiarvon tavoitteena on taistelevien joukkojen kokojen suhteuttaminen toisiinsa. Kehitelmässä oletetaan, että joukkojen kulumisnopeudet ovat riippuvaisia vastustajan geometrisestä keskiarvosta, ja tavoitteena on huomioida lineaarilakia paremmin joukkojen kokosuhte. Maaston vaikutukset voidaan ottaa huomioon juuren asteluvun kautta. **Helmbold-malli** on kehitetty tilanteisiin, joissa joukkojen kokosuhte on hyvin suuri. Se poikkeaa aiemmista siten, että tilanne pyritään huomioimaan muokkaamalla osapuolten tuhoamisnopeuksia. [Prz90]

Muuttuvien kulutuskertoimien mallissa eri osapuolten kulutuskertoimet vaihtelevat joko ajan tai yleensä joukkojen välimatkan funktiona. Näin voidaan ottaa huomioon epäsymmetrisiä asevaikutuksia ja tulivoiman tyypillinen kasvu lähietäisyyksillä myös osumatodennäköisyyden muuttuessa. [Prz90] Näin voidaan käyttää myös porrasmaisia muutoksia kuten mahdollisuus käyttää kokonaan uutta asetyyppiä kuten lähitorjunta-asetta.

2. Osipovin lähestymistapa

Osipovin perusväite voidaan esittää muodossa: [MORS95]

$$A^n - A'^n = B^n - B'^n \quad \text{missä}$$

A ja B ovat alkuperäisiä vahvuuksia sekä A' ja B' vahvuuksia taistelun päättymisen jälkeen. Osipov haki korrelaatiota voimasuhteiden, voiton ja tappioiden määrän välille ja oletti eksponentille arvoa $n = 2$, mutta lukuisten taisteluesimerkkien läpikäyminen osoitti parhaan approksimaation olevan $n = 3/2$. Havainto sai aikaan oletuksen, että tappiot ovatkin riippuvaisia joukkojen neliöjuurista. Osipov käytti epähomogeenisia joukkoja luomalla vertailuarvoja eri asejärjestelmien välille ja malli muun muassa yhdenmukaisti konekiväärit ja tykistön joukon kokonaistaisteluvoimaan, jotta laskenta saatiin pidettyä yksinkertaisena. Esimerkiksi vuosisadan alun tykki arvoitettiin 100 jalkaväkimiehen veroiseksi [MORS95]. Myös tässä tarkastelutavassa hän oli uranuurtaja.⁴

⁴ Vastaava logiikka on laajalti käytettyjen QJM- ja potentiaalimallien takana.

3. QJM analyysi

QJM-analyysilla (Quantified Judgement Method) verrataan taistelun kahden eri osapuolen suhteellista taistelutehokkuutta. Malli sisältää 73 taisteluun vaikuttavaa päätekiijää, joille on esitetty laskenta- ja käsittelysäännöt. Tekijät voidaan esittää seuraavasti ryhmiteltynä: [Tek01]

- asejärjestelmien tehokkuuteen vaikuttavat tekijät (22 kpl)
- maaston vaikutukset (6 kpl)
- sään vaikutukset (5 kpl)
- vuodenajan vaikutukset (3 kpl)
- ilmaylivoiman vaikutukset (4 kpl)
- taistelutilanteen vaikutukset (2 kpl)
- liikkuvuuden vaikutukset (2 kpl)
- haavoittuvuuden vaikutukset (6 kpl)
- taktisen ilma-aseen vaikutukset (6 kpl)
- muut taisteluprosessit (7 kpl, esim. yllätyksen vaikutukset)
- aineettomat vaikutukset (11 kpl, esim. johtaminen)

Analyysi aloitetaan tilanne- ja joukkodatan keräämisellä. Tämän jälkeen määritetään jokaiselle asetyypille normeeraavat TLI (Theoretical lethality Index) ja OLI-arvot (Operational Lethality Index). Tätä jatketaan normeeraamalla ensin olosuhdetekijät kuten sää ja maasto ja operaatiotekijät kuten johtaminen ja moraali tilanteeseen sidottujen taisteluarvojen (P) määrittämiseksi. Lopuksi lasketaan osapuolien taisteluarvojen suhde $P1 / P2$. Jos suhde on suurempi kuin yksi, niin osapuoli 1 menestyy taistelussa. Tämän jälkeen on esitetty "tosiasiallisen tuloksen" (R) laskemiseksi menettely, jossa huomioidaan muun muassa tehtävässä menestyminen. [Tek01] Maastotekijät näkyvät sekä asetasolla että joukkotasolla erilaisina kertoimina, jotka ovat hyvin yleistäviä.

Menetelmällä voidaan lopputuloksen ennustamisen lisäksi testata ja analysoida erilaisen taistelun osatekijöiden vaikutusta kokonaisuuteen. Syöttötiedoiksi analyysiin tarvitaan runsaasti yksityiskohtaisia tietoja. Mallissa on myös joitakin osakokonaisuuksia, joita voidaan hyödyntää irrallisina toteuttamatta analyysin koko proseduuria, esimerkiksi asejärjestelmien vertailu niiden operatiivista tehokkuutta kuvaavalla OLI-arvolla (Operational Lethality Index). [Tek01] Vainio [Vai01] on käyttänyt menetelmää viimeiseksi uusimman prikaatityypin taistelukyvyyn arvioimisessa.

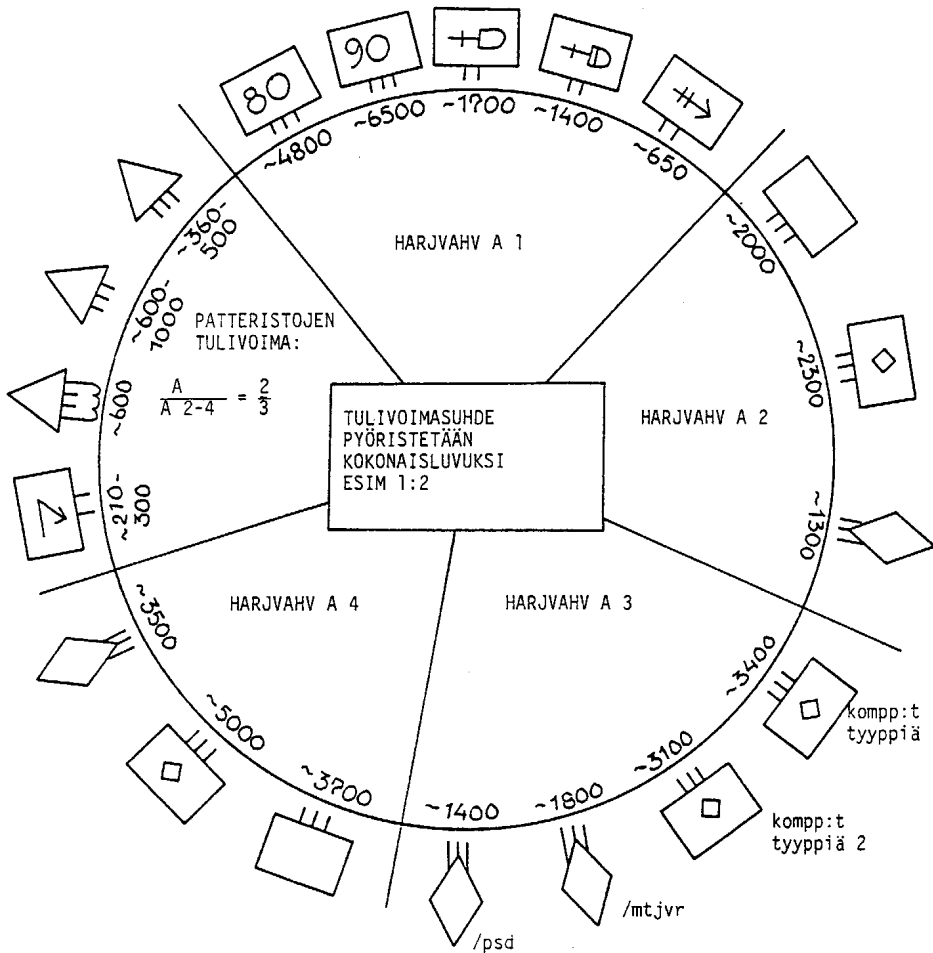
4. SFS -menetelmä

Situational Force Scoring (SFS)⁵ [Allen92] on suurehkoille joukoille kehitetty menetelmä, jolla voidaan arvioida maavoimien joukkojen voimasuhteita, taistelussa aiheutuneita tappioita ja rintalinjan muutosta. Joukon taisteluarvossa otetaan huomioon organisaation ja asejärjestelmien lisäksi taistelulaji, maastotyyppi sekä taistelevien osapuolten asejärjestelmien epätasapainoisuus tai tarvittavien aseiden puuttuminen, jolla on pyritty korjaamaan muissa vastaavissa menetelmissä havaittuja puutteita [Jai97]. Esimerkiksi jalkaväkijoukkoja usein aliarvioidaan, vaikka ne ovat tehokkaita kaupunkitaisteluissa tai vaikeissa olosuhteissa. SFS-menetelmän käyttö tapahtuu neljässä vaiheessa: (1) joukon aseiden tehokkujen laskeminen aseluokittain maastotyyppin ja taistelulajin funktiona, (2) asejärjestelmäpuutteiden analysointi, (3) kokonaistappioiden ja rintamalinjan muutosten laskeminen sekä (4) tappioiden laskeminen aseluokittain [Allen92]. Laskenta on tehty niin yksinkertaiseksi, että se onnistuu taulukkolaskentaohjelmalla. Aseet on jaettu kahteentoista luokkaan, joille asiantuntijaraati määrittää teholliset ja lasketaan perustaisteluarvo. SFS-menetelmä mahdollistaa kokemusperäisten käsitysten esilletuomisen. Aseiden suhteellisia tehokkuuslukuja voi muuttaa suuruusluokan sisällä. Menetelmässä kiinnitetään Quantified Judgment Methodia enemmän huomiota vastustajaan, taistelun intensiteettiin, hyökkäyksen valmistelu-aikaan, taistelutilanteeseen ja maastoon. Myös tapa arvioida jonkin kyvyn tai vastakyvyn riittävyttä vastustajaan nähden erottaa menetelmän luonteeltaan QJM:stä. [Met02]

⁵ Termille on esitetty suomennosta tilanteenmukainen joukon taisteluarvo [Met02].

5. Sotapeliohje 1994 taistelumalli

Sotapeliohje 1994 [Sot94] esittää taistelujen tuloksien ratkaisemiseksi joukkojen suhteelliseen tulivoimaan perustuvan mallin, joka on kehitetty manuaaliseen tai tietokoneavusteiseen laskentaan suurien armeijakuntatasoisten sotapelien pelikeskusten apuvälineeksi.



Kuva: Sotapeliohje 1994:een suhteellinen tulivoimamalli. [Sot94] Harjvahn A1 esittää suomalaisia joukkoja, A2 yleistä harjoitusvastustajaa ja A3 sekä A4 itäiseen ja läntiseen organisaatiomalliin tarkennettua harjoitusvastustajaa. Neliö kuvaa jalkaväkeä, vinoneliö panssarointia ja kolmio tykistöjoukkoja. Mallin pienimpänä tarkasteltavana alayksikkönä on pataljoona (kolme viivaa) ja panssarintorjunnassa kompania (kaksi viivaa). Panssarintorjuntayksiköiden (merkki \rightarrow) arvo nähdään korkeana.

Joukkojen tulivoimasuhteet on määritetty 300 m etäisyydeltä. Kiiskinen myös totesi, että lisättäessä tarkasteluetaisyys 500 m:iin suomalaisen joukon taisteluarvo lähes puollittuu vastustajan arvojen pysyessä käytännössä ennallaan. Tulivoimasuhteen määrittämisen jälkeen huomioidaan hyökkäyksen suuntaaminen, taktinen tilanne ja puolustusvalmistelujen aste. Tämän merkitys on 1..5 kertainen suurimman arvon syntyessä yllätyshyökkäyksellä tai puolustukselle vahvasti linnoitetuissa asemissa rintamahyökkäystä vastaan. Tappiot lasketaan siten, että hyökkääjälle aiheutuneet suhteelliset tappiot (%) kerrotaan erillisellä voimasuhteiden mukaisesti määritetyllä tappiokertoimella, jolloin saadaan puolustajan suhteelliset tappiot (%). Kertoimet on skaalattu 2:1 / 0,66 9:1 / 3,00 välille klassisen suhteen⁶ 1:3 tuottaessa arvoksi 1,00. Tappioiden jakautumisessa käytetään sotakokemuksiin perustuvaa mallia prikaatitasolla. Ratkaisu perustuu vuorokautisiin 4% keskimääräisiin henkilötappioihin hyökkäyksessä ja vastaavasti 2% henkilötappioihin puolustuksessa. Lukuja muutetaan taistelun kiivauden mukaisesti ja kohdennetaan sen jälkeen alayksiköille näiden suorittamien tehtävien mukaisesti.⁷

Malli esittää myös perusteen arvioida hyökkäyksen etenemisnopeutta. Maasto on jaettu kolmeen luokkaan: avoimeen, keskinkertaiseen tai vaikeaan⁸ ja joukot jalkaväkeen, mekanisoituun tai panssarijoukkoihin. Näistä jokaiselle on erikseen määritetty etenemisnopeus metreinä tunnissa taisteluvoimasuhteen funktiona. Malli on hyvä esimerkki käytännön kokemusten, historiallisen tiedon ja inhimillisen arvioinnin yhdistämisestä. Siinä voidaan loogisesti nähdä piirteitä sekä QJM-mallista että myös Neuvostoliittolaisesta arviointitavasta. Heikkoutena on mallin verifioitavuus, esimerkiksi tulivoima perustuu yksinkertaiseen asekohtaiseen hyvyyslukuun ja laskenta ennalta määritettyihin taulukkoihin, joiden tausta ei selviä tutkimuksesta – näin tosin voidaan hallita tietojen salattavuutta. Malli ei huomioi taisteluvoimia etäisyyden suhteen.

⁶ Voimasuhdetta 3:1 pidetään taktiikan teoriassa yleisenä tasapainosuhteena puolustajan ja hyökkääjän välillä.

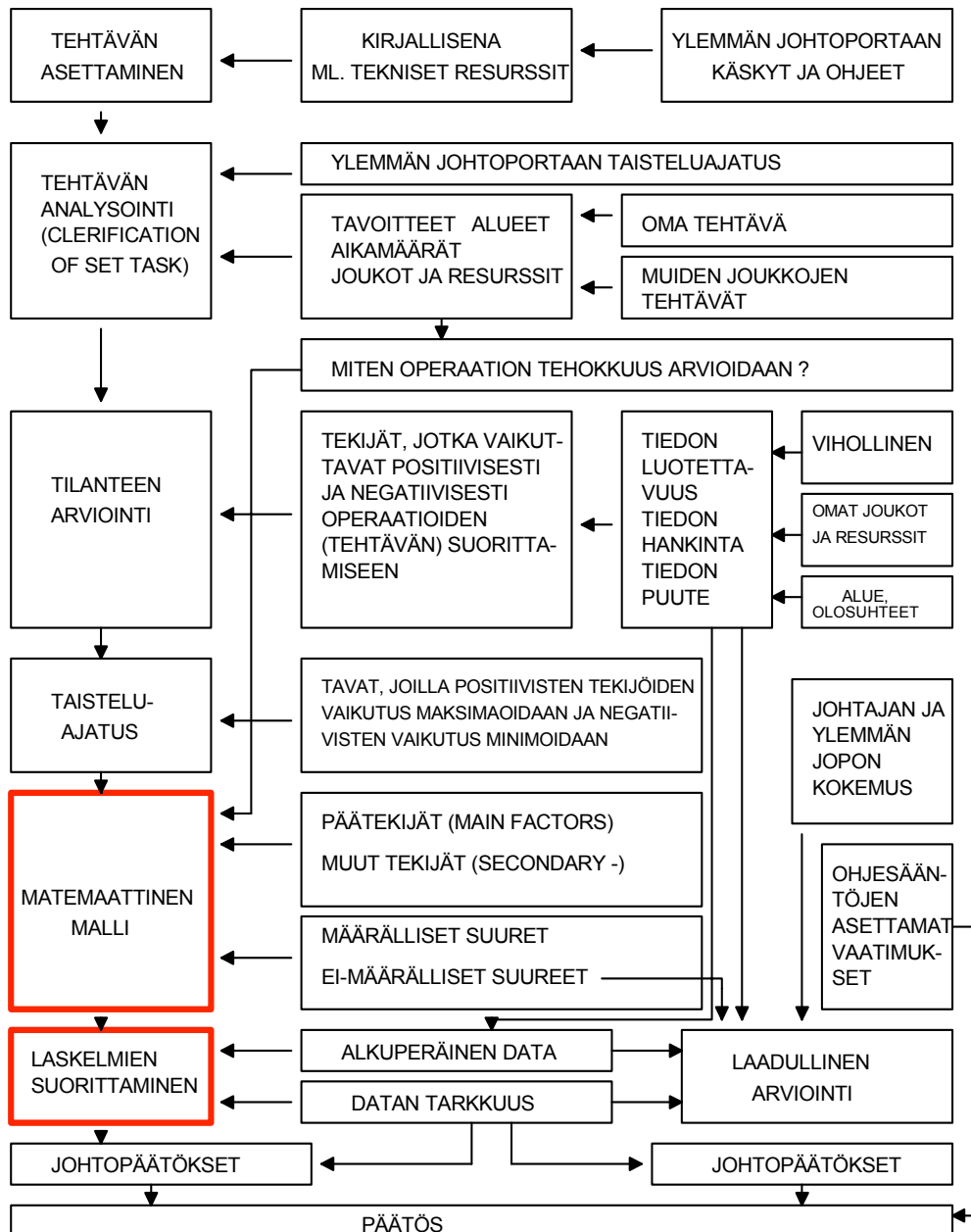
⁷ Tarkastelutapa huomioi sen, että kokemusten mukaan taistelut päättyvät taktisiin ratkaisuihin ennen suurien tappioiden syntymistä. Voittamisen ei siis oleteta perustuvan pelkästään vastustajan kuluttamiseen, vaan lähinnä tilanteen arviointiin ja siitä tehtyihin johtopäätöksiin eri puolilla. Lopulliset tappiot jätetään aina erotuomareiden ratkaistavaksi. Tappiomalli on Kiiskisen työssä otettu Dupuy'n QJM-mallista sopeuttaen sitä tuolloin Länsi-Saksassa käytetyn tulivaikutuslaskennan kanssa.

⁸ Tämä on analoginen sotilasgeologiassa käytettyjen käsitteiden jalkaväki – panssarijalkaväki – panssaritaistelumaaston kanssa. Kukin maastotyyppi on arvioitu laajoina aluekokonaisuuksia taktisten ominaisuuksien kannalta.

6. Neuvostoliiton vertailumalli

Entisessä Neuvostoliitossa matemaattisia malleja käytettiin: [Bla93]

- Taistelun lopputuloksen ennustamiseen tietyssä tilanteessa.
- Tarvittavien joukkojen määrittämiseen haluttujen tulosten saavuttamiseksi.
- Laaditun suunnitelman optimointiin tietyssä tilanteessa.



Kuva: Laskennan käyttö Neuvostoliitossa osana johtamisprosessia. [Bla93]

Mallien katsottiin soveltuvan parhaiten rintama - armeijatasoisten operaatioiden tarkasteluun. Joukkojen vertailu mahdollistaa omien ja vihollisen joukkojen suhteellisen vahvuuden määrittämisen määrällisten ja laadullisten kriteerien perusteella sekä antaa taistelukyvyyn [combat capability] ja taisteluvalmiuden [combat readiness] vertailuarvoina. Näin ylivoimasuhteen [degree of superiority] määrittäminen on mahdollista.

Taistelukyky määräytyy sekä materiaalisista että henkisistä tekijöistä. Taisteluvalmius jaetaan kolmeen luokkaan: perustamiskykyinen [constant], perustettu ja siirtovalmis [high state] ja keskitetty taistelualueelle [full combat readiness]. **Taistelupotentiaali** [combat potential] määritetään joko yleiseksi [general] tai tilanneriippuvaksi [specific]. Tilanneriippuvassa potentiaalissa on mahdollisuus huomioida taistelulajin, maaston ja olosuhteiden vähentävät tai lisäävät tekijät. Yleinen taistelupotentiaali määritetään valitsemalla vertailutaso, esimerkiksi oma pataljoona, määrittämällä aseille suhteelliset potentiaalit, kertomalla potentiaalit aseiden lukumäärillä ja laskemalla yhteissumma. [Bla93] Tämä ei huomioi johtamisen, koulutustason tai taisteluhengen merkitystä, jotka voidaan lisätä joko suoraan eri aseiden kertoimiin tai käyttää laadullista kerrointa joukkokohtaisessa kokonaispotentiaalissa. Tilanneriippuvassa taistelupotentiaalissa huomioidaan myös taktinen kokonaisuasetelma.

Tiheys [density] voidaan määrittää joko joukkojen [tactical density] tai erikseen jalkaväen, tykistön, panssarivaunujen, panssarintorjunta-taseiden tai estevaikutuksen mukaan. Tiheys määritetään yleensä rintamakilometriä kohden. Käytettävän murtoalueen leveys määritetään kaavalla [Bla93]

$$U = V * \frac{S - W}{P - W} \quad \text{missä}$$

U = murtoalueen [main thrust axis] leveys

S = koko alueen joukkojen voimasuhde (potentiaaleista!)

P = murtoalueen joukkojen voimasuhde

V = alueen kokonaisleveys

W = minimi sallittu voimasuhde muilla alueilla

Maaston vaikutus on mahdollista huomioida tekijöissä lähinnä taktisesti käyttämällä vain sitä osaa maastosta, joka on sotatoimille edullista. Murtoalueilla tavoiteltavat voi-

masuhteet laskettuna tilanneriippuvista taistelupotentiaaleista⁹ ovat 3:1 ja muualla vihollinen sidotaan voimasuhteella 0,5:1. Mikäli voimasuhteet eivät esitetyllä tavalla muodostu normien mukaisiksi, voidaan sallia vielä suurempi heikennys sivustoilla, kaventaa murtoaluetta, lisätä omaa voimaa alueella tai vähentää puolustajan voimaa tykistön ja ilmavoimien käytöllä ennaltatuhoamisjaksoa käyttämällä.

Tehtävän täyttäminen määritetään kolmen kriteerin suhteen: viholliselle tuotetut tappiot [degree of annihilation], etenemisen syvyys ja tavoitteen saavuttaminen sekä oman taistelukyvyyn säilyttäminen tavoitteessa. Kutakin vaihtoehtoa arvioidaan joko kaikkia tai tilanteessa tärkeimpänä pidettyä kriteeriä vasten. Jokaiselle kriteerille asetetaan vaihtoehtojen vertailussa myös todennäköisyys, jolla se saavutetaan. Hyökkäyksessä joukon arviointiin kestävän enintään 40 % tappiot. Tappioiden ollessa välillä 20..40 % hyökkäystä kyetään vielä jatkamaan, mikäli materiaaliset resurssit sen sallivat. Tappiot voivat olla myös suuremmat, mikäli hyökkääjä säilyy selvästi ylivoimaisena tai puolustajan taistelumoraali on murrettu. Puolustajan katsotaan kestävän lähtökohtaisesti 50..60 % tappiot.¹⁰ [Bla93]

7. Suomalainen uudempi taisteluarvomalli

Neuvostoliittolaista mallia on kehitetty suomalaisiin olosuhteisiin ja taktiikkaan sopivammaksi. Mallin lähtökohtana on esikuvan tavoin tilannesidonnaisten taistelupotentiaalin laskennallinen määrittäminen ja perusarvoja muokataan kattamaan joukkojen varustamisasteet sekä koulutustasoon ja taistelutahtoon vaikuttavat tekijät. Arvoissa otetaan huomioon myös joukkojen erilaiset käyttöperiaatteet ja taistelun epäsymmetrisyys painottamalla puolustukseen koulutettujen joukkojen tilannesidonnaista potentiaalia tässä taistelulajissa. Tilanteet sidotaan aikaan eri tavalla: *"valmistellussa puolustuksessa joukko on ollut alueella vähintään 5 vrk ja nopeassa puolustuksessa vähintään 24 h, mikäli aika on tätä lyhyempi, tulkitaan tilanne kohtaamishyökkäykseksi ja aloitteen olevan hyökkääjällä"*. Joukon taistelupotentiaalien kehittymistä seurataan koko pelin läpi joukkokortilla, johon merkitään tappioiden, kulumisen ja täydennysten lisäksi myös lamautuminen ja taistelutehon palautuminen levon seurauksena. Mallista on muodostettu dynaaminen ajan suhteen. [Evh97]

Taktisista periaatteista mallissa on kaksi keskeisintä taistelun lopputuloksen kannalta. Aloitteella käsitetään tilannetta, jossa joukko toimii käskyjensä ja taistelusuunni-

⁹ Tässä on siis jo huomioitu taistelulajien vaikutus. Tilanne 1:3 hyökkäyksessä vastaa pääpiirtein 1:9 voimasuhdetta yleisellä tavalla laskettuna. Vertaa arvoa seuraavassa luvussa esitettyyn suomalaiseen malliin.

¹⁰ Tekijä lasketaan kokonaispotentiaalista eikä vastaa sellaisenaan henkilötappiota. Arvot ovat kokemuseräisiä toisen maailmansodan ajan läpimurtotaisteluista.

telmansa mukaan ja sen osapuolen, joka joutuu ensiksi oleellisesti muuttamaan suunnitelmiaan, tulkitaan menettäneen aloitteen.¹¹ Yllätys huomioidaan operatiivisena tekijänä siten, että vastustaja joutuu hankalaan tilanteeseen. Vaikutukset ovat ajan merkittävä kulumisen ja paikalliset yhteen joukkoon kohdistuvat suuret tappiot¹². Paikallisista tekijöistä sulutteen käsitellään hyökkäyksen etenemisnopeudessa tulivoiman sijaan.¹³ Joukon henki määritetään kertoimella ja siihen vaikuttivat taistelutahto, taistelukokemus ja menestys sekä jo koetut tappiot.¹⁴ Maaston vaikutuksissa käytetään neljää maastotyyppiä. [Evh97]

Tulivoima lasketaan mallissa kertoimilla korjattuna suhdelukuna, joka muutetaan prosenteiksi kertomalla vahvempi kymmenellä. Esimerkiksi tulivoimasuhde 1:3,5 antaa keltaiselle etua 35% kokonaispotentiaaliin verrattuna. Eri puolilla lasketaan edellä mainittujen tekijöiden antamat prosentit yhteen ja niillä kerrotaan kummankin puolen potentiaalit.¹⁵

Saatu tulos suhteutetaan ja tulkitaan siten, että kokonaisvoimasuhteen mukaisesti taistelun lopputuloksen arvioidaan olevan seuraavat:¹⁶ [Evh97]

- | | |
|-------|---|
| 1:1 | joukot sidottu, tappiot molemmilla alle 20% ¹⁷ |
| 1:1,5 | heikompi kestää yli vrk, tappiot alle 20% (hyökk <15%) |
| 1:2 | heikompi murtuu noin vuorokaudessa, tappiot <30% (hyökk <10%) |
| 1:2,5 | heikompi murtuu alle 12 h:ssa, tappiot <40% (hyökk 6%) |
| 1:3 | heikompi murtuu alle 6 h, tappiot <50% (hyökk <5%) |

¹¹ Tässä on merkittävä poikkeus Neuvostoliittolaiseen malliin verrattuna, joka korostaa kaikissa tilanteissa hyökkäyksellisyttä. Lisäksi aloitteen oletettiin symmetrisessä hyökkäys – puolustustilanteessa olevan niin kauan ratkaisematta, että toinen osapuoli joutuu muuttamaan taistelusuunnitelmaansa. Reservien suunniteltua käyttöä ei tulkittu suunnitelman muuttamiseksi.

¹² Tällä pyrittiin huomioimaan aktiivisen alueellisen puolustustaistelun ja sissitoiminnan epäsymmetristä luonnetta. Samalla mahdollistettiin merkittävien tappioiden kohdistaminen vain tiettyyn alajohtoportaan, jolloin myös järjestelmävaikutus voitiin tietyssä määrin huomioida pelkän tilastollisen kulumisen rinnalla.

¹³ Vertaa Rikkinen [Rik95]. Sulutteilla on taistelussa enemmänkin ohjaava vaikutus. Toisaalta vaikutus tulisi huomioida jollakin tavalla tulivoimaa lisäävänä, tai ainakin sillä on merkitystä muutoin epäsuotuisan maaston muokkaamisessa ampumaetäisyyksien osalta meille suotuisammaksi.

¹⁴ Tässä tekijässä perustettiin pelkästään erotuomarin arviointiin. Hengen kehittymistä seurattiin joukkokorteilla.

¹⁵ Summautumista käyttäen yritettiin huomioida eri tekijöiden yhteisvaikutus, mutta poistaa tulossa helposti ongelmaksi muodostuva suuri vaihteluväli. Eri tekijöiden ristivaikutuksia ei kuitenkaan määritetty, mitä voidaan pitää merkittävänä puutteena.

¹⁶ Tässä todettiin mallin vakavin epäjohtonmukaisuus. Mikäli joukkojen kokojen epäsuhta oli suuri, saattoi ylivoimainen osapuoli kokea helposti suuremmat määrälliset kokonaistappiot. Tekijä korjattiin ohjeistamalla laskennassa käytettävien joukkojen määrät siten, että laskennassa huomioidaan vain yhtä ylempi tai alempi organisaatiotaso omaan joukkoon verrattuna. Näin esimerkiksi komppania voi taistella vain joukkueen, komppanian tai enintään pataljoonan kokoista vastustajaa vastaan kerrallaan riippuen maastosta ja tilanteesta.

¹⁷ Lanchester-yhtälöissä tämä tilanne tuottaa suurimmat tappiot. Tässä mallissa kuitenkin oletettiin, että taistelun pirstaloituessa johtajat eivät ”yritä mahdollittomia” vaan mukauttavat toimintaansa vastustajan voiman suhteen.

Tappiot kohdistuvat taistelupotentiaaliin, eivät suoraan henkilöstövahvuuteen. Hyökkääjän tappioissa on huomioitu niiden kohdistuminen suurempaan joukkoon. Joukko, jonka tappiot ylittävät 30% on toimintakyvytön ainakin vuorokauden ajan. Henkilötappioita arvioitaessa 20% vähennys potentiaalissa merkitsee pieniä, 30% keskisuuria ja tämän ylittävät suuria tappioita. Joukon taistelukyvyistä palautuu noin 10% vuorokaudessa huolto-olosuhteista ja toimenpiteistä riippuen. [Evh97]

Vainio [Vai01] esittää mallille vaatimuksina tukea päätöksentekoa tehtävän onnistumistodennäköisyyden, omien ja vihollisen tappioiden, oman taistelukyvyyn säilyttämisen ja taistelun keston sekä lopputuloksen osalta. Tämän mallin voidaan todeta täyttävän esitetyt ehdot ainakin käytettävyytensä ja kattavuutensa osalta. Onnistumisen todennäköisyyttä tai riskin suuruutta voidaan arvioida vain välillisesti.

8. Stokastiset taistelumallit

Stokastisissa taistelumalleissa tyypillisenä piirteenä on tarkasteltavan ilmiön rajoittuminen yksikötasolle (entity level) tai vain vähän sen yläpuolelle. Simuloinnissa näitä pienempiä yksiköjä pyritään mallintamaan "taktisiksi" kokonaisuuksiksi, jotta taistelun kaoottisuus ja ennustamattomuus saadaan esiin. Nykyaikaisessa taistelun kuvassa käytettävät kalliit, harvalukuiset ja monimutkaiset järjestelmät, taistelujen ajallisesti lyhyt luonne ja rajuus, korkea teknisyytä sekä eri tasoisten järjestelmien yhteisvaikutus ovat vaikeasti mallinnettavissa determinististen mallien avulla. [Leh98]

Deterministisiin malleihin liittyy yleensä lähtöolettaimus, että malli voidaan verifioida jo tapahtuneen avulla. Lähestymistapaa on arvosteltu "käyrän sovittamisena", missä mikä tahansa, aiemmin huomioimattoman tekijän aiheuttamat ristiriidat mallin kanssa voidaan aina huomioida sovittamalla uusi käyrä muuttuneeseen tilanteeseen. Vaikka malli näin osoittaakin oppimiskykyä, sen validisuutta voidaan perustellusti arvostella. [MORS95] Yhtenä näkökulmana on myös päättäjien kasvanut kiinnostus ennusteiden hajontaa kohtaan. Kun operaatioista on tullut toisiaan seuraavia monimutkaisia tapahtumaketjuja entisen rinnakkaisen massoittamisen sijaan, kasvaa ketjujen toteutumattomuusriski nopeasti. Stokastisten mallien yhtenä ominaisuutena on hajontojen tuottaminen, joka vaatii mallilta hyvää toistettavuutta. Tietokoneiden kasvanut laskentakapasiteetti on mahdollistanut stokastisten mallien käyttämisen myös ajallisesti rajallisissa päätöksenteon tukitehtävissä.

Analyttiset stokastiset mallit käsittelevät taistelua peräkkäisinä numeroituina ajanhetkinä vallitsevina tiloina. Aika voi olla joko jatkuva tai hyppäyksittäinen, hyppäysten väli voi

olla joko vakioitu tai muutoin määrätty. [Prz90] Mutkikkaissa malleissa tilojen määrä voi olla niin suuri, että erilaisten ja todennäköisyyksiltään eri suurten tapahtumapolkujen määrä saattaa tulla analyttisen hallinnan kannalta mahdottomaksi. Tällaisissa tapauksissa käytetään tyypillisesti Monte Carlo –simulointia, joka perustuu mahdollisten tilojen arpomiseen niiden todennäköisyyksien perusteella. [Leh98] Tutkimukselliseksi ongelmaksi muodostuu helposti tulosten yleistettävyyden arvioiminen, koska simulointeja on usein vaikea toistaa täsmälleen samanlaisina man-in-the-loop rakenteen takia.

Simuloinnin käyttö operatiivisen päätöksenteon ja suunnittelun tukena on tekniikan kehittyessä noussut merkittäväksi kehityskohteeksi. Yhdysvalloille tyypillinen tehtävävaihtoehtojen analysointi (COA, Course of Action) kokonaisuuksina ja siihen liittyvä pelaaminen on lupaavin käyttökohde. Osana analyysia voidaan myös toteuttaa osa harjoittelusta ja tarkistaa aikautukset sekä eri toimintojen synkronointi. Jakaumien käyttöönsaanti auttaa myös riskien arvioinnissa. Kehityksestä käytetään termiä Op-Sims, operationally focused simulations. [Sur01]

Simuloinnissa voimakkaan tutkimuksen alla on tietokoneen operoima ”älykäs” joukko (Computer Generated Force), joilla pelaajien määrää kyetään vähentämään, simuloinnin nopeutta kasvattamaan sekä lisäämään taistelun realistisuutta ja vaihtelun kuvaamista. Lupaavia uusia tekniikoita ovat muun muassa neuroverkot (neural networks), säädettävät säännöstöt (adjustable rule sets), tekoäly (artificial intelligence), systeemi-dynamiikka ja soluautomaatit. [RTO01] [RMCS00]

Katsaus taistelumallien ja maaston väliseen suhteeseen on esitetty sovellettuna luvussa 8.

TIETOJA KESKEISISTÄ STANDARDEISTA

1. International Standardisation Organisation

International Standardisation Organisation (ISO) Technical Committee 211 [TC211] koostuu 28:sta standardista, joista tämän työn kannalta tärkeimpiä ovat:

- ISO 19102 Yleiskatsaus standardeihin. Tämä luku.
- ISO 19104 Terminologia, joka määrittää keskeiset käsitteet. Liite XX.¹
- ISO 19105 Yhdenmukaisuus ja testaus, joka kuvaa menettelytavat yhdenmukaisuudesta varmistumiseksi. Vrt väitöskirjan luku 9.4.
- ISO 19107 Sijaintitietomalli (Spatial schema).
- ISO 19108 Ajoitustietomalli (Temporal schema).
- ISO 19110 Ominaisuustietojen luettelointi (Feature cataloguing methodology).
- ISO 19114 Laadun arviointi. Vrt väitöskirjan luku 9.2.
- ISO 19115 Metadata. Vrt väitöskirjan luku 9.7.
- ISO 19116 Paikannuspalvelut. Vrt väitöskirjan luku 4.3.

Useat muut jäljessä luetellut standardointielimet työskentelevät osana TC211 prosessia. OpenGIS konsortio osallistuu ISO 19123 coverage geometry ja 19125 Simple Feature Access määrittelyyn sekä yleisellä että SQL-tasolla. COM / OLE ympäristössä työ tehdään ISO 19125-3 määrittelyssä yritysten kanssa, osia standardista on jo otettu käyttöön. Ominaisuustietojen osalta ISO 19126 käsittelee DGIWG:n DIGEST-standardin mukaisen FACC-ominaisuustietoluettelon käyttöönottoa, lisäksi standardien metadata tullaan yhdenmukaistamaan tarkoituksenmukaisilta osiltaan tulevaisuudessa. NIMA on ottanut tässä johtavan roolin.² ISO 19128 standardoi web map server rajapinnan, joka on määritelty ja osin myös toteutettu yhteistoiminnassa W3C konsortion ja alan yritysten kanssa. [TC211] [DGIWG] [NIMA]

2. Digital Geographic Information Working Group

Digital Geographic Information Working Group [DGIWG] tavoitteena on DIGEST-standardoinnilla tukea kansainvälistä paikkatietoaineistojen vaihtoa liittyen sotilaallisiin operaatioihin. Standardi käsittää tietomallit, metadatan, ominaisuustietojen kuvausmallin (FACC), formaattimääritykset, käytettävät mediat ja hallinnolliset toimenpiteet. Standardi perustuu WGS 84 datumin käyttöön. [DGWIG]

¹ Tässä työssä on käytetty kunkin toimijan omia käsitteitä, jotta yhdenmukaisuus lähdeaineistojen suhteen säilyy.

² Tämä on selvinnyt metadata-projektin yhteydessä tapahtuneissa yhteydenotoissa.

3. World Wide Web konsortio

World Wide Web Consortiumin (W3C) tehtävänä on yhdenmukaistaa kaikkien tietojen käsittelyä ja esittämistä internetissä ja sillä on yli 300 jäsentä. XML (Extensible Markup Language) on järjestön vuonna 1998 standardoima kieli, joka perustuu ISO SGML-standardiin vuodelta 1986. Kielen erikoisuutena on se, että käyttäjä voi itse määrittellä uusia elementtityyppejä, jolloin myös eri alakohtaiset "murteet" ovat mahdollisia. Kielen avulla on mahdollista käsitellä ja yhdistellä useassa paikassa tuotettuja tietoja ja luoda siitä erilaisia näkymiä käyttäjän tarpeiden mukaan. Paikkatiedon kannalta tärkein järjestön kehittämä standardi on Scalable Vector Graphics (SVG), joka on tapa kuvata kaksiulotteista grafiikkaa XML:n osana sekä vektoreina, kuvina että tekstinä. Peruselementtejä on kuusi. Vaikka SVG ei ole varsinainen paikkatiedon esitystapa, se kykenee sisällyttämään merkittävät osat tarpeellisista elementeistä ja hallitsemaan visualisoinnin toteutuksen järjestelmien välillä. [W3C] [Lehto]

4. Open Gis konsortio

Open Gis Consortium (OGC) on vuonna 1994 perustettu yhteistyöperustainen järjestö, jonka jäseninä on julkisia toimijoita, kuten viranomaisia ja oppilaitoksia, sekä yksityisiä yrityksiä (vendors). Kaikki merkittävät paikkatietoalan ohjelmistotoimittajat ovat järjestön jäseniä, jolloin ne pystyvät teknisesti vaikuttamaan laadittaviin standardeihin ja toteuttamaan ne nopeasti ohjelmistoissaan: välitön implementaatio nähdään standardien ratkaisevaksi ominaisuudeksi. Yhdysvaltojen armeijasta muun muassa NIMA ja TEC osallistuvat työhön intensiivisesti, NIMA strategisella tasolla. Suomesta edustus on toteutettu Geodeettisen laitoksen kautta ja yritystasolla Tekla osallistuu työskentelyyn. Yhteensä jäseniä on lähes kaksisataa. [OGC] [Lehto]

Järjestön toiminnalla on keskeinen merkitys avointen paikkatietorajapintojen toteuttamisessa käytännön tasolla. OpenGIS määrittää kyvyksi "*jakaa heterogeenisia paikkatietoja ja käsittelykapasiteettia läpinäkyvästi verkottuneessa ympäristössä.*" Teknisesti näkökulma on oliosuuntautunut ja komponenttikeskeinen, toimintapuitteena ovat tietoverkot ja hajautettu tietojen käsittely. Pääpaino on yhteisten rajapintojen määrittelyssä. Järjestö tekee intensiivistä yhteistyötä ISO TC211 määrittelyn sekä DGIWG:n ja OMG:n kanssa. [OGC]

Järjestön toiminta jakautuu kahteen päälinjaan. Toisena on yhteiskäyttöisyysohjelma (interoperability program), jonka tehtävänä on teknisellä tasolla pyrkiä järjestelmien yhteiskäytön mahdollistamiseen. Testijärjestelmillä voidaan kokeilla ja demonstroida erilaisia toteutuksia. Tietojen tasolla on teknologiaohjelma, jonka päätuotteina ovat mää-

rittelyt ja työ tapahtuu neljällätoista osa-alueella. Kehitetty Simple Features (SF) ohjelmointirajapintamäärittely (API) on käytössä OLE / COM, CORBA ja SQL muotoisena. Yhteistyössä W3C:n kanssa kehitetty XML-syntaksin mukainen SF-muotoa noudattava GML-laajennus (Geographic Markup Language) versio 2.0 julkaistiin vuonna 2001 ja versio 3.0 odotetaan hyväksyttävän vuoden 2002 aikana. GML on kehittynyt tärkeimmäksi vektorimuotoisen paikkatiedon esitysstandardiksi internetissä ja useiden toimittajien sisäisessä käytössä sekä tietojen vaihdossa että lisääntyvissä määrin myös tallentamisessa. Lisänä on myös OpenLS (Open Location Services) hanke, jonka tavoitteena on määrittää tekniset avoimet palvelurajapinnat verkottuneeseen käsittelyyn. [Lehto]

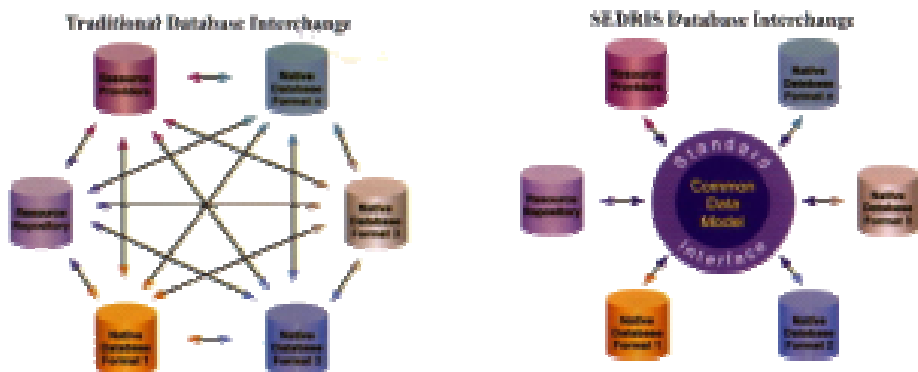
Tietojen laajempaa siirtoa varten W3C on standardoinut XML-perusteisen Simple Object Access (SOAP) protokollan, jonka tavoitteena on tukea tietojen hallintaa verkottuneessa ympäristössä. Se koostuu kehiksestä (envelope), joka kuvaa mitä tietoa viesti sisältää ja miten sitä voi käsitellä, koodaussäännöistä (encoding rules) sovelluskohtaisten tietotyyppien kuvaamiseen ja menetelmästä käsitellä ulkopuolisia tiedonkäsittelypyyntöjä (remote procedure calls) ja niiden vastauksia. Tässä suhteessa sitä voidaan pitää myös tietyn tyyppisenä yleisenä komponenttirajapintana.

5. High Level Architecture (HLA)

High Level Architecture (HLA) on tapa erilaisten simulaattorien kytkemiseksi yhteiseen tapahtumatilaan siten, että yhdessä järjestelmässä tapahtuva toiminta voidaan huomioida myös muissa. Näin vastuuta simuloinnista voidaan jakaa teoriassa saumattomasti ja skaalattomasti eri tyyppisten ja eri tasoisten mallien välillä. Arkkitehtuuri ei ota kantaa eri simulaattoreiden maailmojen rakenteeseen, se antaa ainoastaan perustan simuloitujen objektien paikkojen, liiketilan ja toiminnan kuvauksen siirrosta eri järjestelmien välillä. HLA on kehitetty USAn Defence Modeling and Simulation Officeen (DMSO) johdolla. Sen ensimmäinen määrittely tehtiin 1996, OMG hyväksyi sen 1998 ja IEEE standardiksi se hyväksyttiin vuonna 2000. Arkkitehtuuri on käsketty kaikkien Yhdysvaltojen uusien simulaattoreiden perustaksi. HLAN edeltäjänä voidaan pitää teknisempää DIS eli Distributed Interactive Simulation määrittelyä, jonka ensimmäinen toteutus tapahtui jo vuonna 1983. [HLA]

6. Synthetic Environment Data Representation and Interchange Specification

Synthetic Environment Data Representation and Interchange Specification (SEDRIS) on DMSOn vuonna 1994 aloittama standardointihanke koskien simulaattoreiden käytämiä paikkatietoaineistoja. Tällä hetkellä standardi on ISO/IEC JTC käsittelyssä. Se on käsketty standardiksi NATOn osalta ja päätetty ottaa käyttöön WARSIM, CTTT (Close Com-bat Tactical Trainer, USA) ja CATT (Combined Arms Tactical Trainer, Iso-Britannia) simulaattoreissa. Simulaattorivalmistajat, lähes kaksikymmentä valtiota ja useat paikkatietoyritykset, kuten ESRI ja Intergraph, osallistuvat standardin määrittelyyn. SEDRIS antaa välineen määritellä simulaattorin maailman muodostava informaatio yhdenmukaistetulla tavalla, eri järjestelmien maailmojen yhteensovittamisessa on käytössä looginen tietomallitasoinen kieli. Osana standardia on myös yhteinen tiedonvaihtoformaatti, johon on saatavilla muunnosvälineet ja tarkistustyökalu yhtenäisyyden tarkistamiseksi. [SEDRIS]



Kuva: SEDRIS standardin tavoite. Vasemmalla on tyypillinen tilanne, jossa eri maiden ja eri käyttäjien simulaattoreiden välillä yritetään käyttää samoja lähtöaineistoja. Oikealla tavoitetila, yhteinen tiedonvaihtostandardi ja formaatti. [SEDRIS]

Yhdysvalloissa on laadittu SEDRIS-standardiin perustuen Master Environmental Library (MEL), josta käyttäjät voivat ladata dataa siirtoformaattissa. [SEDRIS]

7. Object Management Group

Object Management Group [OMG] perustettiin vuonna 1989 kehittämään välitason standardeja käytettäväksi komponenttiperusteisten tietojärjestelmien yhteen liittämiseen ja kuvaamiseen. Tällä hetkellä sillä on noin tuhat jäsentä. Myös puolustusvoimat osallistuu järjestön työskentelyyn. [OMG] [SovA]

Unified Modelling Language (UML) on tietojärjestelmien suunnitteluun tarkoitettu kieli, joka on nopeasti syrjäyttänyt edeltäjänsä ja saanut käytännön standardin aseman tietojärjestelmien mallintamiskielenä [vrt Tol98]. Se koostuu erilaisista kaaviotekniikoista, joita käytetään systeemyön eri vaiheissa. Lähtökohtana on metamalli, joka kuvaa varsinaisen mallin käsitteet ja niiden väliset suhteet. Kielen erikoisuutena on sen skaalautuminen use case -tyyppisistä kokonaismalleista aina sille tasolle saakka, että jotkut valmisohjelmat kuten Objecteering© ja Rational Rose© voivat sen perusteella jopa muodostaa raakakoodia. Esimerkiksi ESRIn ArcGIS on määritelty UML-kielillä ja sen kuvaus on julkistettu avoimena käyttäjille. Malleja voidaan myös siirtää järjestelmästä toiseen XML-standardin mukaisen metadata interchangen avulla. [OMG] ISO TC211 valitsi UML:n paikkatietojen yleiseksi mallinnuskieleksi, jolla myös itse paikkatieto-standardit on pääosin esitetty. Kokonaisuus muodostuu ylätasoin UML-mallista, jota täydennetään XML-kielillä tehdyllä tiedonsiirron kuvauksella. ISO 19101 referenssimalli toimii tällöin UML-mukaisena metamallina. [Salo01] UML on työn kannalta merkityksellinen siksi, että sitä on käytetty muun muassa luvun XX näkemäanalyysi-prototyypin perustana ja se on suositeltu käytettäväksi puolustusvoimien hankkeissa. UML ei itsessään ole kehittämismalli, koska se ei kuvaa, mitä tehtäviä ja missä järjestyksessä tulee tehdä [Fow98]. Sen sijaan UML on yhtenäinen ja kattava mallintamis- ja kuvaustapa, jota voidaan käyttää hyväksi eri kehittämismalleissa. [Uus00]

Common Object Request Broker Architecture (CORBA) on OMG:n toimittajariippumaton avoin välitason standardi, joka mahdollistaa alustariippumattoman komponenttikehityksen. Niin sanotussa N-tason arkkitehtuurissa pyritään erottamaan tiedot ja tietokanta, toimintalogiikkakomponentit ja käyttöliittymät toisistaan yhteensopivan välikerroksen (middleware) avulla. Pyyntöjen välittäjäkerros ORB muodostaa perusteknologian, johon muut kerrokset nojautuvat ja sen avulla saavutetaan paikkatuntumattomuus (location transparency), jossa asiakkaan eikä toteutuksen tarvitse tietää toistensa sijaintia, saantituntumattomuus (access transparency), jossa toteutuksella ei ole tietoa siitä, missä muodossa pyyntö on tehty ja aktivointituntumattomuus (activation transparency), jossa asiakkaan ei tarvitse tietää, onko pyydetty palvelu käynnissä ORBin hoitaessa käynnistyksen. Näin on mahdollista toteuttaa viikasietoisia hajautettuja palveluratkaisuja sekä hallita komponenttien kuormituksia. Peruspalveluita ovat alustuspalvelu, joka käynnistää oliot, tapahtumanhallintapalvelu, samanaikaisuuden mahdollistava rinnakkaisuuspalvelu ja nimipalvelu. Peruspalvelut ovat avoimia standardirajapintoja, joita toimittajat saavat toteuttaa itse, jollei kyseistä palvelua ole vielä valmiina. Ne helpottavat sovellusohjelmointia nostamalla abstraktiotasoa, jolla sovellusohjelmat keskustelevat pyyntöjen välittäjän kanssa. Standardi-

rajapinnoilla pyritään sovellusten siirrettävyyteen. Yleiset sovelluspalvelut (common facilities) tarjoavat esimerkiksi tulostuspalvelut, dokumenttien hallinnan, tietokanta- ja sähköpostipalvelut. Toimialakohtaiset sovelluspalvelut (domain interfaces) ovat loppukäyttäjän palveluita tietyllä sovellusalueella. [Uus98] Standardin toisena perustana on Internet InterORB (IIOP) tiedonsiirtoprotokolla, jonka avulla komponentit välittävät tietoja ja palvelupyyntöjä keskenään. Rajapinnat määritellään osana standardia olevan IDL-kielen avulla. CORBA-standardin paikkatietotoiminnallisuuden kehittämisestä vastaa oma DSIG, jonka tehtävänä on ylläpitää yhteistoimintaa muiden standardoijien kuten OpenGIS konsortion ja ISI TC211 työn kanssa. [OMG]

8. Muut komponenttitekniikan standardit

CORBA:n rinnalla on kaksi vastaavaa standardia. Component Object Model (COM+) on ohjelmointikielestä riippumaton binääritason Microsoft-standardi ohjelmistokomponenttien väliselle tiedonvaihdolle ja käytössä useissa kaupallisissa GIS-komponenttitekniologioissa. Distributed COM (DCOM) on sen laajennus, joka toimii hajautettuna olioväylänä vastineena CORBA:lle ja se on suunniteltu lähinnä välittämään tietoa ActiveX -komponenttien välillä. DCOMin käyttämiseksi tarvittava ohjelmakoodi sisältyy Microsoftin Windows 95, 98, 2000 ja NT-käyttöjärjestelmiin. Object Linking and Embedding (OLE) on joukko määriteltyjä COM-rajapintoja ja se rakentuu COM-väylän päälle. [Uus98] [SovA]

'Remote Method Invocation (RMI) on Sunin oliohajautustekniologia avoimeen laiteympäristöön pelkästään Java-kielisille sovelluksille, jonka avulla verkossa eri koneissa olevat Java-komponentit voivat keskustella keskenään. Komponentteja kutsutaan nimellä JavaBeans. Enterprise JavaBeans (EJB) on Java-kielisten palvelinkomponenttien rakentamiseen tarkoitettu CORBAa vastaava arkkitehtuuri, joka käyttää IIOP-protokollaa. [Uus98] [SovA] [NCOE201] Tekniikan valinta on puolustusvoimissa vielä kesken.

Välitason arkkitehtuureja on pystytty siltauksilla yhdistämään jo useita vuosia. Uusin OMG:n kehitystavoite on Model Driven Architecture (MDA), joka käyttää UML-kuvausta. MDA käyttää CORBAa vain yhtenä, tosin suositeltuna välitasoratkaisuna. Tavoitteena on määritellä niin korkean tason malli, että sen avulla voi vastata myös tulevaisuuden komponenttikehitystekniologioihin.

SUOMALAISIA PAIKKATIEDON LÄHTÖAINEISTOJA

1. Geodeettiset paikantamistiedot

Geodeettiset paikantamistiedot muodostavat perustan kaikille sijainniltaan tunnetuille tietoaineistoille. Hallittavia asioita ovat lisäksi eri koordinaatistot ja niiden väliset muunnokset. Kokonaisvastuun järjestelmän tarkkuudesta kantaa Geodeettinen laitos [FGI], joka ylläpitää Suomen EUREF89 ja geoidimallia.

Maanmittauslaitos ylläpitää koko maan kattavaa, jatkuvasti tihentyvää kiintopisterekisteriä, jossa on yli 22 000 taso- ja lähes 50 000 korkeuskiintopistettä KKJ-koordinaatistossa N60 geoidimallilla. Rekisteri muodostaa perustan maanmittaukselle koko Suomessa. [NLS] Rekisteriä täydentävät muiden laitosten kuten Merenkulkuhallituksen, Tielaitoksen ja Rautateiden kiintopisteistöt sekä eri kuntien omat mittapistet. Kiintopisteistö tulee kehittymään merkittäväällä tavalla siirryttäessä lähitulevaisuudessa EUREF-järjestelmään. Samalla tullaan tekemään kattavia muutoksia pisteiden luokitteluun. Muutos tulee vaatimaan myös geoidimallin ja sen myötä korkeusjärjestelmän tarkistuksen.

Puolustusvoimilla on omia kiintopistetietoja edellä mainittujen lisänä ja ne on saatavilla sisäiseen käyttöön tuotteena Topografikunnan palvelimelta. Esimerkiksi tykistön mittaustoiminta perustuu tähän laajennettuun kiintopisteverkkoon.

2. Viitteelliset paikantamistiedot

Viitteelliset paikantamistiedot ovat tietoja, joiden sijainti voidaan osoittaa koordinaatissa ja joiden avulla muita kohteita ja ilmiöitä voidaan välillisesti paikantaa. [PTY97] Aineiston rungon muodostaa Maanmittauslaitoksen ylläpitämä paikannimi- ja karttanimirekisteri, joka sisältyy jatkossa maastotietokantaan ja kattaa maan laajuisena noin miljoonana instanssia. [MML]

Rakennusten osoitetiedot on talletettu väestötietojärjestelmään, jonka laadinta ja ylläpito on kunnallinen jatkuva tehtävä. Tällä hetkellä lähes kaikki rakennukset kuuluvat yksiselitteiseen JHS 106 standardin mukaiseen osoitejärjestelmään. Rekisterissä on osoitetietojen lisäksi rakennuksen keskipisteen koordinaattitiedot KKJ-järjestelmässä. Rekisteri mahdollistaa linkittämisen omistaja- ja asukastietoihin. Kattavuus oli vuonna 2001 heikoin kesäasunnoissa eli 38%, kerros- ja rivitaloissa osuus oli 96% ja pientaloissa 84%. [PTK] Rinnakkaisia osoitetiedoja ylläpidetään lähinnä kaupallista

käyttöä varten usean eri yrityksen kuten postin, puhelinlaitosten ja keltaisten sivujen toimesta. Rekisterien määrän voidaan olettaa edelleen kasvavan liikkuvan paikannuksen yleistyessä. Näillä rekistereillä etuina ovat ajantasaisuus ja ominaisuustietojen määrä, haittana Puolustusvoimien kannalta pienehkö kattavuus, vaihteleva laatu ja yhdistämisen monimutkaisuus.

3. Maastotiedot

Maastotietokanta sisältää pääpiirtein tiedot, joita käytetään topografisten maastokarttojen laatimisessa. Käytössä on 121 kohdeluokkaa 11 kohderyhmässä kartoitusmittakaavassa 1:5k - 1:10k KJ-järjestelmässä. Rekisteri on kuvattu UML-kielellä ja sen laatuja järjestelmää on kehitetty osana laitoksen tiedonhallintaa. Tärkeimmät tiedot ajantasaistetaan vuosittain, muut noin viiden vuoden välein. Tiedon lähteenä ovat ilmakuvat, aiemmat peruskartat ja maastotarkistukset. Aineisto kattaa koko maan vuoden 2002 loppuun mennessä. [PTK] Maastotietokanta muodostaa Yhdysvaltojen FFD-aineistoa vastaavan luonnollisen perustan digitaalisille paikkatietojärjestelmille. Maastotietokantaa voidaan ajatella täydentävän kuntatasolla erilaiset rakennusrekisterit sekä suunnistusseurojen laatimat suurimittakaavaiset suunnistuskartat. Näillä on sotilaallista käyttöä korkeintaan alueellisesti.

Maanmittauslaitoksen Korkeusmalli 25 kuvaa maanpinnan muodot ja on tarkin valtakunnallinen korkeusaineisto vastaten käytännössä DTED level 2 tarkkuutta. Aineisto on laskettu peruskartan korkeuskäyrä- ja vesistöelementeistä 25 m x 25 m rasterimalliksi. Korkeus on määritetty desimetreinä ja määrittelyn keskitarkkuus on 1,76 m vaihdellen maan eri osissa. Aineistosta puuttuvat muun muassa jyrkänteet ja vastaavat suurimittakaavaiset tekemuodot. [PTK] [MML] Useat kunnat ja muut toimijat ovat viime aikoina luoneet alueellisesti rajattuja korkeusmalleja maastomittauksen tai laserkeilauksen avulla. Näillä ei ole kovin laajaa sotilaallista käyttöä keskeisten kaupunkien korkeusmalleja lukuun ottamatta.

Maaperätietojen keruusta vastaa Geologinen tutkimuskeskus (GTK). Maaperäkartta 1:20k ja 1:50k Pohjois-Suomen osalta on esitystavaltaan tarkin ja se tehdään yhteistyönä Maanmittauslaitoksen kanssa. Aineistossa on 34 eri maalajiluokkaa, kairaus-tietoja, maanäytetietoja, uurre-suuntia, seismisiä linjoja sekä pohjavesitietoja. Aineiston tavoitekattavuutena on koko maa, tällä hetkellä kattavuus on noin 40% painottuen eteläiseen Suomeen. Karttaa on saatavilla vektorimuodossa, Puolustusvoimilla on myös rasterimuotoinen ominaisuustiedoiltaan yleistetty aineisto. Tarkat aineistot on numeeristettu rasterimuotoon 11 luokkaan 1:100k karttaan 25 m x 25 m pikselikokoon,

joka käsittää vain geologisen luokituksen. Ainoa koko maan täysin kattava aineisto on 1:1M vuonna 1984 painetusta maaperäkartasta skannattu 80 m x 80 m pikseli-kokoinen ja 11 maaperäluokkainen kartta, jota ei enää ylläpidetä. Kallioperätiedot on saatavilla GTK:sta koko maata kattavana YKJ-koordinaatistoon yhtenäistettynä 1:200k ... 1:1M mittakaava-alueista vektorimuotoisena tuotteena. [GTK] [PTK] Suomen Ympäristökeskus (SYKE) ylläpitää KKJ-järjestelmässä vektorimuotoisia tietoja valuma-alueista, joita on eroteltu noin 8000 kpl. [SYKE] [PTK]

Maanmittauslaitoksen SLICES-aineisto on muodostettu useasta eri paikkatietoaineistosta käyttämällä JHS 1482¹ standardia maankäyttöluokituksen muodostamiseen. Aineisto on tehty pinoamalla tarkkuustason mukaisesti eri viranomaisien muodostamia aineistoja, poistamalla epä johdonmukaisuudet ja yhdenmukaistamalla esitystapa [Mik99]. Aineisto muodostaa referenssin rasterimuotoisen tiedon esittämiselle 1:10k 10 m x 10 m pikselikoossa ja 1:50k 25 m x 25 m pikselikoossa. [MML] [SLICES]

Maankäyttö- ja puustotulkinta (MaPuTu) on Metsäntutkimuslaitoksen (MetLa) suorittamasta valtakunnallisesta metsien inventoinnista (VMI) Maanmittauslaitoksessa tuotetettu pääosin puustoa käsittelevä aineisto, jossa on noin 50 luokkaa puulajin ja runkotilavuuden mukaisesti. Metsien ominaisuudet on estimoitu Landsat-satelliittikuvilta VMI-koalamittaustietojen avulla kNN-menetelmällä. Pellot, avosuot ja vastaavat alueet on maskattu pois aineistosta muilla referenssiaineistoilla. Aineiston jatkuvuus on epäselvä SLICES-projektin ongelmien takia. [MetLa] [PTK] [MML]

4. Maan hallinta ja sen yksiköt

Kiinteistötiedot muodostavat taloudelle tärkeimmän tietoympäristön. Kiinteistörajatiedot ylläpidetään Maanmittauslaitoksen NKRK-kartassa. Tämän lisäksi 87 kaupungilla on omat vastaavat tietonsa. Aineistojen tarkkuus on suuri, mittakaava-alueena on 1:2k .. 1:10k KKJ-järjestelmässä ja aineisto kattaa koko maan. Tiedot omistajista ja kiinnityksistä voidaan linkittää rajatietoihin oikeusministeriön kiinteistötunnusien avulla ylläpitämän lainhuuto- ja kiinnitysrekisterin kautta. [PTY97] [PTK] Sotilaallisesti maanhallintatiedoilla on merkitystä lähinnä niin sanotun harmaan vaiheen aikana, jolloin toimivaltuuskysymykset ovat korostetusti esillä.

¹ <http://www.intermin.fi/juhta/suosituksset/jhs148.htm>, päivätty 28.11.2000

5. Maankäytön oikeudet ja rajoitukset

Maankäytön oikeudet ja rajoitukset antavat perusteet kiinteistöjen käytön hallinnalle ja ympäristön suojelulle. Tietoja ylläpidetään hajautetusti muun muassa kaavoissa ja suunnitelmissa, rakennuskieltoina, suojelukohteina, pohjavesialueina, saastuneina maa-alueina ja muinaismuistoina eri paikallis- ja keskushallintoviranomaisten taholta.

Laajemman rekisterin muodostavat Suomen Ympäristökeskuksen pohjavesialuerekisteri ja pohjavesialueet, joita on noin 6500 kappaletta, sekä valtakunnalliset luonnonsuojelualueet, jotka pyritään sitomaan NKRK-aineistoon mittakaavaluokassa 1:20k. Valtion maiden luonnonsuojelualueet päivittää Metsäntutkimuslaitos, muiden päivityksestä vastaa Ympäristökeskuksen alueelliset keskuskeskukset ja aineistot kootaan valtakunnalliseksi aineistoksi. Saastuneista maa-alueista ylläpidetään keskitettyä rekisteriä, jonka täydellisyyttä ei tosin tunneta. Rekisterin tavoitteena on tukea maankäytön suunnittelua. [SYKE] [PTY97] SLICES aineiston tavoitteena on muodostaa yhteinen perusta myös näille aineistoille.

6. Rakennukset

Rakennukset muodostavat lähes puolet koko Suomen varallisuudesta. Tärkein valtakunnallinen rekisteri on Väestörekisterikeskuksen ylläpitämä rakennus- ja huoneistotiedot (RHR), joka sisältää tiedot kaikista 1.11.1980 jälkeen luvan saaneista rakennuksista. Rekisteri kattaa koko maan. Ominaisuustietoina talletetaan omistaja, pinta-ala, varusteet, käyttötarkoitus ja rakentamisvuosi. Paikkatietona talletetaan rakennuksen keskipisteen koordinaatit, sijaintitiedon tarkkuus vaihtelee suuresti ja on kunnasta riippuen kahdesta aina sataan metriin. [PTK]

Pääkaupunkiseudulla on käytössä merkittävästi laajempi tietoaineisto SeutuCD:n nimellä. Aineisto kattaa Helsingin, Espoon, Vantaan ja Kauniaisen rekisteritiedot YTV:n kokoamana ja sen päivitys tapahtuu vuosittain. Aihepiireinä ovat kiinteistöt, rakennukset, väestö rakennuksiin sitoen, yritykset ja toimipaikat ², asemakaavoitus sekä rakennusmaavaranto. Aineisto on yhdistetty useasta rekisteristä ja sen laatu vaihtelee sekä aiheittain, alueittain että ikäjaksottain. [YTV98] [SeutuCD]

² Vertaa jäljessä väestö ja elinkeinot.

7. Väestö ja elinkeinot

Tilastokeskus ylläpitää yritys- ja toimipaikkatietoja koko maan kattavana kaikista arvonlisäverollisista tai työnantajana toimivista yrityksistä ja yhteisöistä. Rekisteri päivitetään neljännesvuosittain ja paikantavina tunnuksina voidaan käyttää kuntaa, lääniä, postinumeroaluetta tai pääkonttorin sijaintia. Aineisto on saatavilla sekä KKJ että YKJ-järjestelmissä. [PTK] Sotilaallisesti aineisto mahdollistaa esimerkiksi haittavaikutus- tai riskianalyyysien laadinnan.

Väestörekisterikeskus ylläpitää jokaisesta Suomen kansalaisesta väestörekisteriä, joka voidaan paikantaa asuinpaikan osoitetietojen perusteella. Tietoja käytetään elinkeinoelämässä tyypillisesti ruuduittain, jolloin tietosuojan vaatimukset täyttyvät.³ Puolustusvoimilla on viranomaisluonteensa takia mahdollisuus myös tarkan tason tietoon, joka voi toimia esimerkiksi riskianalyyysien lähtöaineistona.

8. Verkostot

Verkostot muodostavat nykyaikaisen yhteiskunnan keskeisen infrastruktuurin. Kattavin ja täydellisin tiestöä käsittelevä tietokanta on Maanmittauslaitoksen tietietokanta, joka vastaa sijaintitarkkuudeltaan 1:20k peruskarttaa. Teitä siinä on 550 000 km. Aineistoa päivitetään vuosittain koko maan kattavasti, sijaintitarkkuus vaihtelee mittaustavasta riippuen 3 ... 20 m. Kanta on linkitetty osoiteaineistoon ja siitä on yhteys ominaisuustietojen osalta huomattavasti laajempaan Tielaitoksen tierekisteriin, joka käsittää noin 40% kokonaistiestöstä. Puutteena ovat metsäteitä, yksityisteitä ja kuntien ylläpitämiä teitä koskevat tarkentavat ominaisuustiedot. [PTK]

Tiehallinto vastaa hallussaan olevien teiden ja siltojen tietojen ylläpidosta omissa rekistereissään, joiden päivitys on tehty vuoden 2001 loppuun mennessä. Rekistereissä on yli kaksisataa tienpitoon liittyvää ominaisuustietoa. Lisäksi ylläpidetään erillistä pannonstilarekisteriä, jonka päivitys käynnistettiin vuonna 2001. Tiehallinto käyttää tarkassa paikannuksessa omaa, tieverkon solmuihin sidottua paikantamistapaa. Tästä syystä teiden ja niihin sidottujen rakenteiden sijaintitarkkuus geodeettisessa koordinaatistossa vaihtelee. [PTK] Tilanne on korjaantumassa vaiheittain. [TieL] Useat kunnat ylläpitävät itse omia katuaineistojaan vaihtelevissa tietokannoissa ja erilaisilla tietomalleilla. Kuntien lisäksi metsähallituksella, Metsäkeskus Tapiolla ja suurimmilla metsäyhtiöillä on omat vaihtelevalaatuiset tietietokantansa mukaan lukien siltojen ja rumpujen tiedot.

Uuden lähtökohdan tiestöä koskeviin aineistoihin muodostaa Liikenneministeriön TETRA-hankkeen osana käynnistetty laaja Digiroad-projekti, joka tuottaa yhtenäisen GDF ISO/TR 14825-standardiin perustuvan tieaineiston valtakunnalliseen käyttöön. Järjestelmän toteuttamisessa ovat mukana muun muassa Tiehallinto, Maanmittauslaitos, kunnat ja useat yritykset. Tavoitteena on saavuttaa 1.3 metrin tarkkuustaso ja koota liikenteen, väylänpidon ja kuljetusten palveluissa tarvittavat tärkeimmät ominaisuustiedot yhtenevällä tavalla. Aineisto on valmis vuoden 2003 loppuun mennessä. [Digiroad] Myös useilla yrityksillä on omia tieaineistojaan, joita käytetään esimerkiksi reittioptimointipalvelujen toteuttamiseen. Laajin yhtenäinen aineisto on Genimap Oy:llä.

Rautatiestö on kuvattu Maanmittauslaitoksen toimesta topografisen kartan vaatimalla tarkkuudella. Ratahallinto ylläpitää itse paljon laajempaa rekisteriä omassa reittipisteisiin perustuvassa koordinaatissaan. Aineisto käsittää myös siltojen tiedot. [PTK] [PTY97] Ilmailulaitos ylläpitää tietoja lentoasemista ja niihin liittyvistä laitteista. Kunnallisessa tai yksityisessä omistuksessa olevia lentokenttiä koskevat aineistot ovat erittäin kirjavia. [PTY97]

Suomen Kantaverkko Oy kerää yli 110 kV:n voimalinjoista kantaverkkoaineistoa, jossa johtoja on yhteensä 13 600 km. Aineistoa ylläpidetään jatkuvasti ja sen sijaintitarkkuus vaihtelee merkittävästi alueittain mittaustavasta riippuen; osa tiedoista mitataan maastossa, osa digitoidaan piirroksilta käyttäen apuna ilmakuvatulkintaa. [PTK] [PTY97] Pienemmistä sähkölinjoista on tietoja alueellisilla sähkönjakelijoilla. Aineistojen kattavuus ja muut laatutekijät vaihtelevat erittäin paljon ja samalla alueella voi sijaita usean eri toimijan linjoja. Lisäksi maastossa on käyttämättömiä linjoja, joita ei ole purettu.⁴ Ilmailulaitoksen ylläpitämä lentoesterekisteri sisältää tiedot maanpinnasta yli 30 metriä korkeista ilmoitetuista lentoesteistä. Aineiston kattavuus on valtakunnallinen ja siinä on yli 10 000 lentoestettä uusien määrän ollessa noin 800 vuodessa. Sijaintitarkkuus vaihtelee 0,2 m - 2 km välillä ja virhe muodostaa merkittävän ongelman aineiston käytettävyydelle. Helikopteritoiminnalle on tärkeää saada tiedot myös matalammista esteistä eikä kattavuutta voida taata edes korkeille mastoille. [PTY97] [PTK]

³ Esimerkkinä käyttömahdollisuuksista voi tutustua MarknadsAnalys Oy:n Mosaic-sovellukseen, <http://www.manalys.fi>, jossa on mahdollista tehdä paikkaan perustuvia hakuja ruututietoihin perustuen.

⁴ Asiaa on selvitetty eri harjoituksissa vuoden 2001 aikana liittyen helikopteritoiminnan tutkimukseen. Linjat muodostavat suojan kannalta edulliselle matalalla lentämiselle merkittävän riskitekijän sekä lentoturvallisuuden että paljastuvuuden kannalta. Sotilashelikopterit tulevat toimimaan täysin siviili-ilmailusta täysin poikkeavilla lentokorkeuksilla. Mikäli aineistot halutaan, ne joudutaan digitoimaan ilmakuvilta, menettelytavan selvittely on kesken.

Maakaasuvekon tietoja ylläpitää Gasum Oy. Televerkkojen sijaintitiedot on usealla eri toimijalla ja useimmilla kunnilla on omat laajat johtokartat koskien kunnallisteknistä infrastruktuuria. [PTY97]

9. Hallinnolliset ja toiminnalliset aluejaot

Ainoa valtakunnallinen aineisto on Maanmittauslaitoksen hallintorajat, joka esittää topografisen kartan 1:50k mittakaavassa valtakunnan-, läänin- ja kunnanrajat Suomesta. Viitteellinen sijainnin keskivirhe on 100 m ja aineisto on digitoitu 1:100k kartalta. Tilastokeskuksella on käytössä tätä täydentävät tilastolliset taajamarajat ja eri kunnilla omat aluerajansa. [PTY97]

Topografikunnalla on näitä täydentävä sotilaallinen aluejako. Pioneeritoiminnan johtamislaitteessa jokainen joukko on mallinnettu sen vastuu- tai toiminta-alueen avulla. Kriisiaikana vastuualuejaolla on myös hallinnollista merkitystä. Hyvin toteutettu topologia mahdollistaa esimerkiksi:

- Viranomaisyhteistoimintojen alueellisen koordinoinnin.
- Ominaisuuksien määrittämisen joukolle myös ympäristön suhteen.
- Kontrollin, etteivät joukkojen vastuualueet mene päällekkäin.
- Alueiden haku, jotka eivät kuulu tietyllä tasolla lainkaan vastuualueisiin.
- Tapahtumien ja joukkojen sitomisen toisiinsa alueellisesti.
- Alueellisten ja operatiivisten joukkojen vastuualueiden vertailun ja kytkennän.

Taktiikan laitoksen julkaisuja

Julkaisusarja 1, Taktiikan tutkimuksia

1/1995	Kapt Pekka Toveri ja Kapt Heikki Välivehmas	Syvän taistelun oppi ja sen toteutus venäläisessä operaatiotaidossa
1/1996	Evl Vesa Tynkkynen	Hyökkäyksestä puolustukseen - Taktiikan kehittymisen ensimmäiset vuosikymmenet Suomessa
2/1996	Maj Pekka Saariaho	Teoria doktriinin perustana - Yhdysvaltain maavoimien uusi taisteluoppi sodankäynnin periaatteiden valossa
1/1997	Maj Jouni Laari	Ilmamekanisointi - Maasodankäynnin siirtyminen kolmanteen ulottuvuuteen
2/1997	Kapt Ali Mättölä	Erillisen moottoroidun jalkaväkiprikaatin kokoonpano, kalusto ja suorituskyky
1/1998	Evl Martti Pisto	Ilmavoimien rakentaminen ja pioneeritoiminta
2/1998	Maj Ali Mättölä	Liikkuvien voimien armeijakunnan rooli Venäjän sotataidon kehittämisessä 2000-luvun alkupuolella
1/1999	Evl J Saarelainen	Näkemyksiä Venäjän informaationsodankäynnistä
1/2002	Maj J Rantapelkonen	Psykologiset operaatiot. Propagandasta informaatio-operaatioihin

Julkaisusarja 2, Taktiikan asiantietoa

1/1995	Evl Markku Koli	Sodankäynnin ja taistelun kuva 2000
2/1995	Evl Markku Koli	Sodankäynnin muutokset ja puolustusjärjestelmän kehittämistarpeet
3/1995	Kapt Juha Vauhkonen	Maihinnotusaktiikka ja sen kehitysnäkymät sekä maihinnotusohjelmat 1970-luvulta alkaen
1/1997	Ev Markku Iskanus	Operaatiotaidon ja taktiikan tutkimus sekä tutkimusmenetelmät
2/1997	Maj Jukka Ahlberg Maj Sampo Eskelinen Maj Matti Sivonen	Venäjän ilma-aseen toiminta Tshetsenissa
3/1997	Maj Ari Grönroos Maj Pekka Helasterä Maj Harri Leppälaakso	Suomen lähialueen ilmapuolustusjärjestelyt

1/1998	Maj Jukka Kauppila Maj Teemu Ruuskanen Maj Timo Vilkkö	Taktisen ja operatiivisen johtamisen vaikeuttamiseen tarkoitettut häirintäjärjestelmät ja niiden käyttö
2/1998	Ev Markku Iskanius	Operaatiotaidon ja taktiikan opettajan ohje
3/1998	Maj Jyrki Myyryläinen Maj Pekka Marjamaa Maj Markku Valolahti Maj Pertti Kelloniemi	Venäjän sotilasilmailuteollisuuden nykytila ja kehitysnäkymät
1/1999	Toimituskunta Evl Jorma Saarelainen Kmdri Georgij Alafuzoff Ev Paavo Heiskanen Ev Vesa Tynkkynen Maj Mika Hyytiäinen Kapt Tapani Hämäläinen Eriktutk Jussi Metteri	Venäjän asevoimat 2000-luvun alussa
1/2000	Kapt Mika Heikkilä	Suomalaisen EOD-toiminnan kehittäminen
2/2000	Toimituskunta Evl Jorma Saarelainen Ev Vesa Tynkkynen Evl Jorma Aherto Maj Mika Hyytiäinen Eriktutk Jussi Metteri	Johtamissodankäynti
3/2000	Toimituskunta Evl Jorma Saarelainen Eriktutk Jussi Metteri	Sodan ja taistelun kuva
1/2001	Ev evp Antti Iivonen	1990-luvun venäläisen sotilasalan lehdistön
1/2002	Toimituskunta Ev Jorma Aherto Evl Jorma Saarelainen Ms Laura Loikkanen Mr Tuomas Hynynen	Helicopters - a new Branch of Service in the Finnish Defence Forces
2/2002	Toimituskunta Evl Jorma Saarelainen Mr Petri Kekäle	Guerrilla Warfare - An asymmetric Option
7/1999	Maj P Lampen Kapt P Haavikko Kapt T Oksanen	Ballististen ohjusten torjunta
8/1999	Kapt M Toivettula Kapt P Lalu Kapt M Lappalainen	Ilmatorjunnan sensorit ja johtamisvälineet

9/1999	Kadkers A Pirinen	Venäjän kenttätykistön käyttö hyökkäysoperaatioissa nykyään
1/2000	Kapt Torsti Astren Kapt Jarkko Keinänen Kapt Jari Lehtoranta	Venäläisen jalkaväkitaistelijan suoja ja sen kehitysnäkymät
2/2000	Kapt Markku Puustinen Kapt Jukka Nurmi Kapt Matti Jantunen	Tykistön komentovaunut ja ammunnanhallintajärjestelmät ulkomailla
3/2000	Kapt Markku Jämsä Kapt Tapio Pihlajamäki Kapt Riku Suikkanen	Salaaminen ja harhauttaminen moottoroidun jalkaväkidivisioonan hyökkäyksessä
4/2000	Evl Hannu Koskinen Evl Timo Holopainen	Sotapeliohje
5/2000	Taktiikan laitos	Yhtymän taisteluohjesääntö (luonnos)
7/2000	Kaptl Sami Iso-Lauri Kaptl Petri Vähäkangas	Venäjän Itämeren laivaston kehitysnäkymät - arvio suorituskyvystä
8/2000	Maj Markku Pitkonen Kapt Vesa Lehtinen Kapt Mika Holma Kapt Mika Tauru	Venäläisen tulenkäytön järjestelyt
1/2001	Maj evp E Nieminen	Venäjän Federaation informaatioturvallisuuden doktriini (käännös)
2/2001	Evl J Saarelainen	Tuumista kirjoihin ja kansiin - Ohje Taktiikan laitoksen julkaisujen toimittamisesta
3/2001	Ev evp Antti Iivonen	1990-luvun venäläisen sotilasalan lehdistön tutkimuksen suomenkielinen artikkeliluettelo
1/2002	Ev evp Antti Iivonen	Venäläisten sotilasalan lehtien suomenkielinen artikkeliluettelo v 2001
1/2002	Ev evp Antti Iivonen	Venäläisten sotilasalan lehtien suomenkielinen artikkeliluettelo v 2001
2/2002	Maj Mika Hyytiäinen	Taistelun kuvat 2020- Tutkimussuunnitelma ja kritiikki
3/2002	Mika Huttunen Petri Olli	Avaruuden hyväksikäyttö sotilasoperaatioissa - venäläinen näkemys

ISBN 951-25-1404-4

ISSN 1238-2744

Maanpuolustuskorkeakoulu
National Defence College