



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

# **GESUUNNITTELUN TIETOMALLINTAMINEN SILTAPAIKOILLA**

Lauri Kärkkäinen

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Diplomityö

Toukokuu 2021

# TIIVISTELMÄ

Geosuunnittelun tietomallintaminen siltapaikoilla

Lauri Kärkkäinen

Oulun yliopisto, Rakennus ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma

Diplomityö 2021, 107 s. + 3 liitettä

Työn ohjaajat yliopistolla: Anne Tuomela, Mauri Koskinen

Infrarakentamisessa kehityssuuntana on ollut jo pidemmän aikaa tiedonhallinnan rakenteellinen muutos, jossa yhä suurempia tietomääriä pyritään tuottamaan ja hallitsemaan entistä tehokkaammin tiedonhallintarekistereissä ja hyödyntämään rakentamisen soveluksissa. Alalla on tarvetta lisätä tietoa ja osaamista siitä, miten geoteknistä suunnitelma-aineistoa voidaan tuottaa, hyödyntää ja hallita mallipohjaisesti. Tulevaisuudessa tietomalleille ja mallipohjaisille toimintatavoille tullaan asettamaan hankkeilla merkittävämpiä rooleja, joten suunnitelmamalleissa esiintyvien riskien tunnistaminen ja hallinta on tärkeässä osassa kehitystyötä.

Diplomityön aihealue on rajattu mallipohjaiseen suunnitteluun ja mallipohjaisiin toimintatapoihin suunnitteluvaiheessa. Työn tavoitteena oli selvittää kirjallisuuskatsauksen, haastattelu- ja hanketutkimusten avulla geosuunnittelun tietomallintamisen nykytilaa siltapaikoilla sekä mallipohjaisen tarkastusprosessin tarpeita ja vaatimuksia. Kirjallisuuskatsaus käsittelee infrahankkeiden käytäntöjä mallipohjaisessa suunnittelussa, geosuunnittelun ominaispiirteitä siltapaikoilla ja alan tiedonsiirtostandardeja geoteknisestä näkökulmasta. Haastattelututkimus toteutettiin suunnittelijoille, rakentajille, tilaajille sekä ohjelmistoyritysten edustajille ja niillä selvitettiin geosuunnittelun tietomallintamisen nykytilaa useista eri näkökulmista. Hanketutkimukseen valittiin kolme pohjaolosuhteiltaan erilaista siltapaikkaa, joiden mallipohjaista aineistoa arvioitiin kansallisten mallinnusvaatimusten ja tarkastusprosessin tarpeiden kautta.

Kirjallisuuskatsaus muodostaa teoriapohjan tutkimukselle. Katsauksen päätulokset toivat tietoa tiedonsiirtostandardien nykytilanteesta ja kehityssuunnista geoteknisestä näkökulmasta. Tulevaisuudessa alalla voi olla tarvetta mukauttaa tiedonsiirrollisia käytäntöjä, sillä kansainvälisen IFC-standardin laajentuminen geotekniikkaan tuo mahdollisuuksia tiedon laajamittaisemmalle käytölle.

Asiantuntijahaastattelut valottivat alan yleistä osaamistasoa suunnitelmamallien käytössä ja tuottamisessa. Niillä saatiin tietoa siltapaikkojen mallipohjaiseen tarkastukseen kohdistettavasta geoteknisestä aineistosta ja miten mallipohjaiset esitystavat kuvaavat geoteknisiä suunnitelmaratkaisuja. Tutkimustulosten perusteella yhtenäisiä käytäntöjä geoteknisten suunnitelmamallien tuottamiseen ja kohdistamiseen ulkoisen tarkastuksen tarpeisiin ei vielä ole muodostunut. Suunnittelun lähtötiedon ja suunnitelmaratkaisujen tulkintaperusteiden kokonaisvaltainen välittäminen tarkastusprosessin tarpeisiin on usein puutteellista, eivätkä pohjatutkimukset välitä mallissa selkeästi havaintotietoa.

Hanketutkimukset lisäsivät tietoa ohjelmistojen soveltuvuudesta geoteknisten mallien tuottamiseen ja tarkastamiseen. Geoteknisten mallien tiedonsiirtoformaateissa kuvattu suunnitelmallinen tietosisältö on vähäistä ja tiedonsiirtoon liitetyn informaation välittyminen seuraaviin hankevaiheisiin epävarmaa. Geoteknisissä suunnitelmamalleissa voi esiintyä tulkinnanvaraisuutta, sillä pohjaolosuhteista aiheutuvien epävarmuuksien mallipohjaiseen kuvaamiseen ei ole ohjelmistollisia tai tiedonsiirrollisia työkaluja. Mallien tietosisältöä käsittelevät oheisasiakirjat ovat kriittisiä aineiston jatkokäytön kannalta. Alalla onkin tarvetta tuottaa ohjeistusta malleja käsittelevien asiakirjojen sisältörakenteeseen.

Mallipohjaisten toimintatapojen vakiintuminen vaatii hankkeiden kautta hyväksi havaittujen toimintamallien muodostumista. Alalla on tarvetta kehittää mallipohjaiseen tarkastukseen kohdistettavia aineistoja, joissa kuvataan tarkemmin suunnitteluun käytettyä lähtötietoa. Tiedonhallintarekistereiden tarpeet, erityyppisten aineistojen väliset yhteydet ja formaattivalinnat ovat keskeisiä huomioon otettavia näkökulmia ratkaisuja kehitettäessä.

Tutkimusta ja sen tuloksia voidaan hyödyntää Väyläviraston ohjeistuksien ja julkaisujen tuottamisessa sekä Tie- ja ratahankkeiden inframalliohjeen päivitystyössä.

*Asiasanat: Geotekniikka, Mallintaminen, Tietomalli, Tiedonsiirto*

# ABSTRACT

Geotechnical data modeling at bridge sites

Lauri Kärkkäinen

University of Oulu, Degree Programme of Civil Engineering

Master's thesis 2021, 107 s. + 3 Appendixes

Supervisors at the university: Anne Tuomela, Mauri Koskinen

In infrastructure industry there has been a structural change in information management with the aim of producing and managing more versatile information efficiently for the needs of information management registers and utilizing it for construction applications. There is a need in the industry to increase awareness of how geotechnical design data can be produced, utilized, and managed on a model basis. In the future information model-based approaches will play an increasingly important role on projects. The identification and management of risks in model-based geotechnical data will also be an important part of development work.

The topic area of the diploma thesis was limited to model-based design and model-based operating methods in the design phase of the infrastructure projects. The aim was to find out the current state of geotechnical data modeling at bridge sites and requirements of the model-based inspection process. Research material was collected through a literature, interviews, and project studies. The literature research examined the practices of model-based design in infrastructure projects, the characteristics of geotechnical design at bridge sites, and the current state of data transmission standards with geotechnical point of view. The expert interviews were conducted for designers, contractors, project clients, and representatives of software companies. The interviews gathered information of current state of geotechnical data modeling and the practices in the model-based inspection process. Three bridge sites with different ground conditions were selected for the project study and model-based material was evaluated through national modeling requirements and the needs of the inspection process.

The literature review forms a theoretical basis for the research. The main results of the review provided information on the current state and trends in data transmission standards from a geotechnical point of view. In the future there may be a need in the geotechnical

field to adapt data transfer practices towards international standard as the extensions of the IFC will provide opportunities for more extensive use of data.

The interviews brought information of the general level of knowledge in the field to use and produce model-based geotechnical data. It also provided information of the geotechnical data in bridge sites needed for model-based inspection process and how geotechnical models represent the design solutions. Based on the research results there are currently no uniform practices for producing and targeting model-based geotechnical data for the needs of external audit. The comprehensive transmission of input data and interpretations of design solutions to the needs of the external audit is often incomplete. The ground investigations do not clearly convey factual data in the model for the needs of inspection process.

Project studies increased knowledge about the suitability of softwares for producing and verifying geotechnical models. The design data content included in the data transmission formats of geotechnical models is limited and the transmission of data to the next project phases is uncertain. The design solutions in geotechnical models may be open to interpretation as there are no software or data transfer tools for model-based mapping of uncertainties due to ground conditions. Currently the accompanying documents describing the content of models are critical for the further use of the material. Therefore, there is a need in the field to improve guidance to content structure of the documents related to geotechnical model.

In the future, more development work, guidance, and piloting will be needed to reach standard like procedures with model-based operating methods. The needs of information management registers, the connections between different types of data and the choice of data transmission formats are key aspects to consider when developing new solutions.

The research and its results can be utilized in the production of Finnish Transport Infrastructure Agency guidelines and publications.

*Keywords: Geotechnology, Modeling, Information model, Data transmission*

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Väyläviraston tilauksesta ja se on toteutettu Destia Oy:ssä 10/2020–05/2021. Diplomityön tarkoituksena on selvittää geosuunnittelun tietomallintamisen nykytilaa siltapaikoilla ja edistää mallipohjaisia toimintatapoja lisäämällä tietoa mallipohjaisen tarkastusprosessin tarpeista ja vaatimuksista. Kiitos Väylävirastolle ja Destia Oy:lle tämän ajankohtaisen ja mielenkiintoisen diplomityön mahdollistamisesta.

Ohjaamisesta ja asiantuntijuudesta tutkimustyön edetessä kiitän Väylävirastolta Veli-Matti Uotista, Marion Schenkweiniä ja Mauri Kulmania. Destia Oy:stä haluan kiittää Sanna Torniaista, Sanna Balkia ja Tommi Yliniemeä diplomityön ideoinnista, ohjaamisesta ja kehittämisestä koko tutkimustyön ajan. Kiitos myös muille Destian työkavereille, jotka ovat osallistuneet ja antaneet panostaan tutkimustyöhön.

Oulun yliopistolta haluan kiittää Anne Tuomelaa, Mauri Koskista ja Jorma Hopiaa diplomityön ohjaamisesta sekä arvokkaasta palautteesta ja akateemisesta näkökulmasta tutkimustyöhön.

Lopuksi kiitän lähipiiriäni, jotka ovat kannustaneet ja tukeneet minua opinnoissani koko yliopistopolkuni ajan.

Oulu, 26.05.2021

*Lauri Kärkkäinen*  
Lauri Kärkkäinen

# SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto .....	7
2 Mallipohjainen toiminta infrahankkeilla.....	8
2.1 Mallipohjainen hanke.....	8
2.2 Mallipohjainen suunnittelu.....	9
2.2.1 Mallipohjaisen suunnittelun yleispiirteitä.....	9
2.2.2 Lähtökohdat geosuunnitelmien mallintamiseen .....	11
2.2.3 Suunnitteluohjelmistot geotekniikan mallintamisessa.....	15
2.3 Mallipohjainen laadunvarmistus .....	17
2.4 Mallipohjainen aineisto rakentamisessa.....	18
3 Geosuunnittelu siltapaikoilla.....	20
3.1 Siltojen tietomallintaminen .....	20
3.2 Geotekninen suunnitteluprosessi siltapaikalla .....	20
3.3 Geosuunnitelmien tarkastaminen ja hyväksyminen siltapaikoilla .....	21
4 Inframallien tiedonsiirtostandardit .....	23
4.1 Tiedonhallinnan kolmikanta.....	23
4.2 IFC-tiedonsiirtostandardi .....	25
4.2.1 Laajennosten geotekninen sisältö .....	27
4.2.2 Geoteknisen aineiston luokittelu.....	28
4.2.3 Geoteknisen aineiston määrittelyt ja geometria.....	30
4.2.4 Geoteknisten mallien epävarmuustekijät IFC-tiedonsiirrossa .....	33
4.3 Inframodel-tiedonsiirtoformaatti.....	35
4.3.1 Inframodel-formaatti.....	35
4.3.2 Geotekniset rakenteet ja ratkaisut Inframodel-tiedonsiirrossa .....	37
4.4 Infra-pohjatutkimusformaatti .....	42
5 Tutkimusmenetelmät.....	44
5.1 Haastattelututkimus.....	44
5.2 Hanketutkimus .....	44
6 Tutkimustulokset.....	46
6.1 Asiantuntijahaastatteluiden tulokset.....	46
6.1.1 Mallintamisen haasteet ja osaamistaso geosuunnittelussa.....	46
6.1.2 Geotekniset rakenteet ja ratkaisut .....	48
6.1.3 Geosuunnitelmien epävarmuustekijät ja mallien epätarkkuus .....	54
6.1.4 Geosuunnittelun ohjelmistot ja sovellukset.....	56

6.1.5 Tiedonsiirtostandardit ja ohjelmistokehitys.....	57
6.1.6 Geosuunnitelmien mallipohjainen tarkastaminen siltapaikoilla.....	60
6.1.7 Suunnitelmamallit rakentamisessa.....	63
6.2 Asiantuntijahaastatteluiden tulosten analysointi .....	64
6.2.1 Pohjatutkimusten mallintaminen .....	64
6.2.2 Geosuunnittelun mallipohjainen tarkastusprosessi.....	65
6.2.3 Lähtötiedon epävarmuustekijät ja suunnitteluratkaisujen epätarkkuudet tietomallidokumenteissa.....	67
6.2.4 Lähtötiedon epävarmuustekijät ja suunnitelmaratkaisujen epätarkkuudet tietomallissa.....	68
6.2.5 Mallipohjaisten toimintatapojen standardoituminen .....	69
6.2.6 Mallipohjaiset ratkaisut tiedonhallintarekistereissä.....	70
6.3 Hanketutkimusten esittely .....	71
6.3.1 Hanketutkimus: Päätyneet hankkeet.....	72
6.3.2 Hanketutkimus: Käynnissä oleva hanke .....	77
6.4 Hanketutkimusten analysointi.....	84
6.4.1 Geotekniset suunnitelmamallit .....	84
6.4.2 Siltakohteen ympäristö ja työvaiheistus .....	85
6.4.3 Pohjatutkimukset mallissa .....	86
6.4.4 Mallien tietosisältö ja mallipohjainen tarkastus .....	88
6.4.5 Geotekniset laskelmat.....	91
7 Tulosten yhteenveto .....	92
7.1 Tutkimusmenetelmien yhteenveto .....	92
7.1.1 Mallipohjaiset toimintatavat .....	92
7.1.2 Geotekniset mallit ja tiedonsiirtostandardit .....	93
7.1.3 Tietomallien oheisasiakirjat.....	95
7.2 Jatkotutkimustarpeet ja kehityskohteet .....	97
7.3 Arviointi .....	99
8 Yhteenveto .....	100
LÄHDELUETTELO.....	102
LIITEET:	
Liite 1. VT5 Tuppurala-Nuutilanmäki: Särkimäentien risteyssillan pituusleikkaus	
Liite 2. VT12 Lahden eteläinen kehätie: Porvoonjoen sillan pituusleikkaus	
Liite 3. Haastattelurunko: Suunnittelijakysely	



# MERKINNÄT JA LYHENTEET

## **3D-malli**

Tietokoneella 3D-ympäristöön suunniteltu malli rakennettavasta kohteesta.

## **Dokumenttipohjainen**

Tiedonkäsittelytapa, jossa tietoa käsitellään dokumentteina ja jonka sisältö ei ole ohjelmistollisesti tulkittavissa.

## **IFC**

Industry Foundation Classes on kansainvälinen, rakennusalalla yleisesti käytössä oleva avoin tiedonsiirtostandardi.

## **Inframodel**

Kansallisessa käytössä oleva XML-pohjainen formaatti avoimeen infrarakenteiden tiedonsiirtoon. Formaatti perustuu kansainväliseen LandXML-tietomäärittelyyn.

## **Infra-pohjatutkimusformaatti**

Kansallisesti yleisesti käytössä oleva formaatti pohjatutkimusten tiedonsiirtoon.

## **Lähtöaineistoluettelo**

Taulukkomuotoinen esitys, johon kirjataan hankkeen suunnittelussa käytetty lähtötieto ja metatiedot.

## **Mallintaminen**

Tässä työssä mallintamisella tarkoitetaan mallipohjaista suunnittelua ja mallipohjaista toimintatapaa suunnittelussa.

## **Mallipohjainen**

Tiedonkäsittelytapa, jossa rakennettavaa kohdetta kuvataan ohjelmistollisesti mallina ja jonka tietosisältöä tietokonesovellukset pystyvät automaattisesti tulkitsemaan.

## **Metatieto**

Tietoresurssia kuvaileva tieto. Voi kuvata tiedon kontekstia, sisältöä tai rakennetta.

### **Natiiviformaatti**

Tiedostoformaatti, joka on tallennettu tietyn sovellusohjelman sisäisessä tallennusmuodossa.

### **Suunnitelmamalli**

Infrarakennuskohteen ja siihen kuuluvien järjestelmien kokonaisuus, joka kattaa suunnittelijoiden tekemät suunnitteluratkaisut. Voi kuvata eri suunnitelmavaiheita tai esittää eri tekniikka alojen suunnitelmia.

### **Tietomalli**

Tietomäärittelyn muoto, jossa määritellään kohteen tiedot ja tietojen väliset yhteydet. Voidaan tarkoittaa esimerkiksi 3D-ympäristössä kuvattavaa mallia rakennettavasta kohteesta, joka sisältää geometriatiedon lisäksi rakennekohtaisia ominaisuustietoja.

### **Tiedonsiirtoformaatti**

Tietomuoto, jota voidaan tulkita tietokonesovelluksilla sekä tallentaa, siirtää, vastaanottaa ja arkistoida.

### **Toteutusmalli**

Työn toteutuksessa käytettävä rakennussuunnitelmamalli, jonka hankkeella toimiva päätoteuttaja on tarkastanut ja hyväksynyt. Voi sisältää myös tuote-, aikataulu- tai kustannustietoja.

### **Visualisointi**

Graafinen esitystyyli, joka kuvaa rakennettavaa kohdetta näköaistilla tarkastelua varten.

### **Yhdistelmämalli**

Yhdistelmä eri tekniikka alojen tietomalleja. Voidaan hyödyntää esimerkiksi törmäystarkasteluihin tekniikka alojen tai kohteen nykyisten rakenteiden välillä.

### **YIV**

Yleiset inframallivaatimukset, jotka toimivat kansallisesti inframallintamisen yleisinä ohjeistuksina ja vaatimuksina.

# 1 JOHDANTO

Väyläviraston 18/2020 julkaisussa ”Inframallintamisen Toimintalinja”– listataan Inframallintamisen ja mallipohjaisten ratkaisujen edistäminen yhdeksi Väyläviraston virallisista tavoitteista (Kotiranta, 2020, 8). Kehityssuuntana on ollut jo pidempään rakennushankkeen toimintojen yhtenäistäminen ja hankkeiden nopeamman läpiviennin edistäminen kehittämällä tekniikkalajien ja osapuolten välistä yhteistyötä. Infrahankkeilla tuotettava datan määrä kasvaa ja monipuolistuu jatkuvasti projektien tietopankkien siirtyessä digitaalisille tallennusalueille. Rakennusolosuhteista kerättävää aineistoa voidaan hyödyntää ja tuottaa yhä monipuolisemmin esimerkiksi jatkuvaa mittausaineistoa keräävillä älykkäillä sensoreilla. Koko alalla on tarvetta mukauttaa työskentely- ja suunnittelutapoja jäsennellymmiksi, jotta yhä massiivisempia tietomääriä pystytään hallitsemaan tehokkaasti myös rakentamisvaiheen jälkeen tiedonhallintarekistereissä.

Tutkimuksessa käsitellään geosuunnittelun tietomallintamisen nykytilaa siltapaikoilla ja esitetään mallipohjaisten toimintatapojen edistämiseksi mahdollisia kehityssuuntia. Tavoitteena on selvittää, millaista geoteknistä aineistoa voidaan tällä hetkellä sisällyttää tietomalleihin sekä millaisia vaatimuksia ja tarpeita geosuunnitelmien mallipohjaisessa tarkastusprosessissa on. Tutkimuksen teoriaosio on kirjallisuuskatsaus, jolla avataan tietomallipohjaisten toimintatapojen nykytilaa hankkeilla ja geosuunnittelun perusteita siltapaikoilla. Lisäksi teoriaosiossa käsitellään alan tiedonhallintaa infrahankkeilla käytettävien tiedonsiirtostandardien kautta ja tuotetaan katsaus niiden nykyisiin kehityssuuntiin geoteknisestä näkökulmasta.

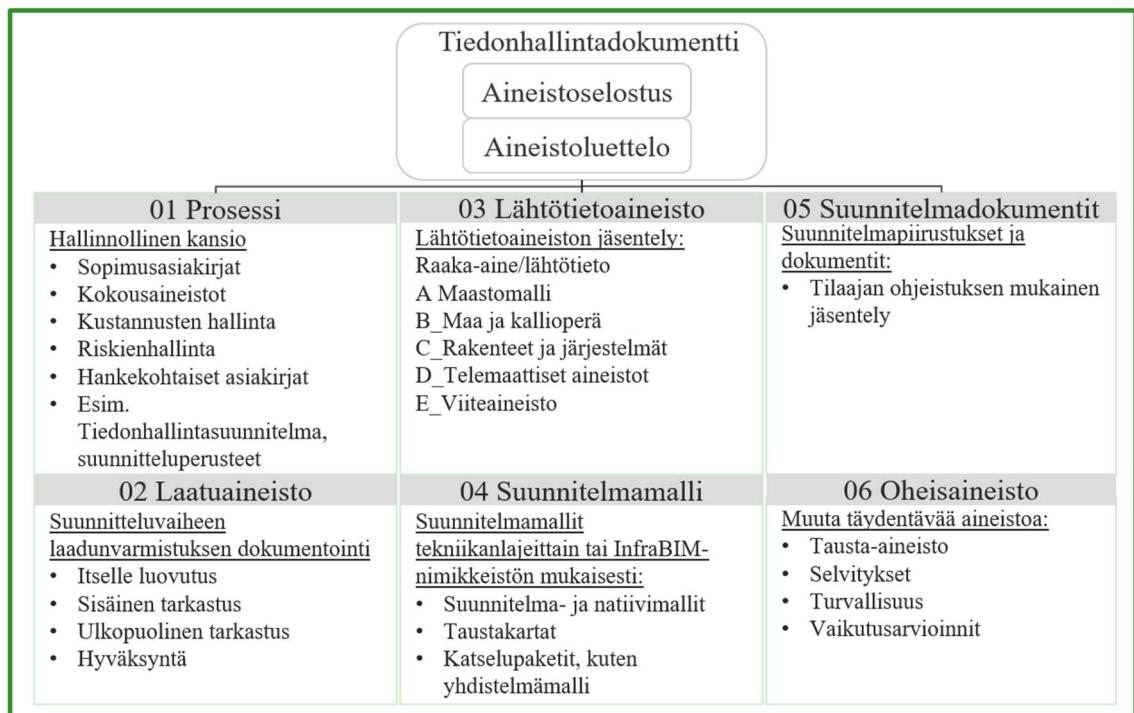
Tutkimuksen aihealue rajautuu mallipohjaiseen suunnitteluun ja mallipohjaisiin toimintatapoihin geosuunnittelussa. Tutkimusaineisto perustuu kirjallisuuskatsaukseen, asiantuntijahaastatteluihin ja hanketutkimuksiin, joissa keskeisenä näkökulmana on selvittää geosuunnitelmien mallipohjaisen tarkastusprosessin tarpeita. Asiantuntijahaastattelut koostuvat tyypillisen infrahankkeen osapuolien näkemyksistä, mutta mukana on myös ohjelmistoyritysten edustajia. Hanketutkimuksessa tehdään katsaus kolmeen pohjaolosuhteiltaan erilaiseen siltapaikkaan ja niillä tuotettuun tietomalliaineistoon. Tavoitteena on selvittää ohjelmistojen kykyä tuottaa geoteknisiä suunnitelmamalleja ja arvioida, kuinka hyvin tiedonsiirtoformaattit välittävät geosuunnittelulle keskeistä tietoa.

## 2 MALLIPOHJAINEN TOIMINTA INFRAHANKKEILLA

### 2.1 Mallipohjainen hanke

Mallipohjaisen hankkeen perustavoitteena on muodostaa koko hankkeen elinkaaren kattava tiedonhallinnan jatkumo, jossa edellisessä suunnitelmavaiheessa luotua mallia ja suunnitelma aineistoa käytetään seuraavan hankevaiheen lähtötietona. Lähtötietoaineistosta käytetään myös epävirallista, vanhempaa termiä ”lähtötietomalli” ja sen tehtävänä on kuvata infrahankkeen nykytilannetta. Mallipohjaisten hankkeiden tiedonsiirrossa tulisi pyrkiä käyttämään avoimia tiedonsiirtoformaatteja, sillä niiden käytöllä voidaan edistää tiedon säilyvyyttä ja välttää tiedon häviämistä. Lisäksi avoimien formaattien käytöllä voidaan edistää suunnitelma aineiston yhdenmukaisuutta ja välttää niissä mahdollisesti esiintyviä ristiriitoja. Suunnitelmamuutosten myötä dynaamisesti päivittyvät mallit mahdollistavat tehokkaat suunnittelu-, rakentamis-, ja ylläpitotoiminnot. (YIV 2019, 9, 16, 26)

Mallipohjaisesta hankkeesta laaditaan aina tiedonhallintadokumentti, jolla on tarkoitus edistää hankkeilla kerätyn aineiston uudelleenkäyttöä. Tyypillisen tiedonhallintadokumentin rakenne ja suunnitteluvaiheen tiedonjäsentelyä on esitetty kuvassa 1. Mallipohjaisen hankkeen tiedonhallinnan sisältöä ja vaatimuksia on esitetty tarkemmin Yleisissä inframallivaatimuksissa (2019).



**Kuva 1.** Tiedonjäsentelyn periaatteet suunnitteluvaiheessa (YIV, 2019, 79 [muokattu]).

Mallipohjaisen hankkeen toimintaohjeistuksessa on keskeistä tuoda ilmi, millaista tietoa mallin rakenneosien tulee sisältää ja millaista aineistoa eri osapuolten tulee mallipohjaisesti tuottaa. Mallipohjaisen aineiston kokoamisen tavoitteena on avoin ja jatkuvatoiminen prosessi. (RT 10-10992, 2010, 3, 6) Tietomallien tehokasta käyttöä edistävät yhteiset numerointi- ja nimeämissäännöt sekä laadunvarmistusohjeet, jotta mallien tietosisällölle voidaan saavuttaa mahdollisimman standardinomaiset käytännöt (Heikkilä, 2015, 30).

Mallipohjaisen hankkeen riskinhallintaan voidaan soveltaa älykkään tiedonhallinnan menetelmiä, joilla voidaan jakaa hankkeilla esiintyviä riskejä aiempaa tasapuolisemmin eri osapuolten välille (RT 10-10992, 2010, 3). YIV:n (2019) mukaan mallipohjaisen hankkeen aloituskokouksessa tulisi sopia, kuinka tunnistettuja riskejä kuvataan tietomallissa. Riskinhallintaa tukevia toimia voivat olla esimerkiksi riskien numerointi ja värikoodaus riskeistä aiheutuvien toimenpiteiden mukaan. Riskit voidaan kuvata tietomallissa esimerkiksi tietyn muotoisella symbolilla, jota käytössä olevat mallinnusohjelmistot tukevat. Hankkeen riskinhallintavastaava määrittelee, mitä riskiin liittyviä tietoja objektin yhteydessä kuvataan.

## **2.2 Mallipohjainen suunnittelu**

### **2.2.1 Mallipohjaisen suunnittelun yleispiirteitä**

Mallipohjainen suunnittelu perustuu 3D-ympäristöön visualisoitaviin rakenteisiin, jotka sisältävät geometrian lisäksi myös rakenneosien sisältämää ominaisuustietoa. Tietomallintaminen käsittää 3D-mallintamista laajemman kokonaisuuden, sillä se voi kattaa geometriatiedon lisäksi rakennuskohteen koko elinkaarenaikaisen tietojen kokonaisuuden ja se voi sisältää myös dokumenttipohjaista aineistoa. Suunnitelmaan sisällytettävien kohteiden mallinnuslaajuus, vaatimukset ja tarkkuustaso määräytyvät meneillään olevan suunnitelmavaiheen mukaan. Tarjousvaiheessa tilaajan tulee määritellä tuotettavien mallien käyttötarkoitusta ja avata mallintamisen tavoitteita. (Liikennevirasto 12/2017, 14-15)

Mallipohjainen suunnittelu vaatii aina hankekohtaisten erityispiirteiden tarkastelua ja suunnittelun mukauttamista olosuhteiden mukaiseen vaatimustasoon, kuten haasteellisiin pohjaolosuhteisiin (YIV, 2019, 14, 16). Mallipohjaisen aineiston tuottamisen ja kokoamisen tavoitteena on pystyä hyödyntämään tietomalleja rakentamisen prosesseissa sekä vähentää tarvetta käyttää dokumenttipohjaisia piirustuksia (Liikennevirasto 6/2014, 55). Mallipohjainen suunnittelu ei nykytilanteessa poista tarvetta laatia suunnitteluohjeiden

mukaisia suunnitelmapiirustuksia. Ohjeistuksen mukaiset piirustukset on laadittava aina, ellei niiden karsimisesta ole erikseen mainintaa tarjouspyynnöissä. (YIV, 2019, 14)

Hankkeilla tuotettavan mallipohjaisen aineiston laajuus, tiedonsiirtovaatimukset ja oheisdokumentaatio määräytyvät meneillään olevan hankevaiheen mukaan. Hankevaiheesta riippuva lähtötietoaineisto muodostuu raaka-aineesta sekä siitä harmonisoitavasta suunnittelun pohjana toimivasta lähtötiedosta. Kaikki raaka-aineelle tehdyt muokkaustoimenpiteet dokumentoidaan lähtöaineistoluetteloon. Lähtötietoaineistoluettelossa esitetään esimerkiksi lähtötietoon kohdistuvia erityishuomioita, ongelmia ja riskejä. Pohjatutkimustulokset, tulkitut maalajipinnat, pohjavesitiedot ja muu geotekninen suunnitelma-aineisto kuuluvat olennaisena osana lähtötietoaineistoon, joten niissä ilmenevät riskit, erityishuomiot ja ongelmat on dokumentoitava lähtötietoaineistoluetteloon mahdollisimman tarkasti. On huomioitavaa, että ”mallintamisella” voidaan tarkoittaa eri asioita ja suunnittelun pohjana toimivaa lähtötietoa esiintyy sekä 2D- että 3D-muodossa. (YIV, 2019, 15, 52-53, 62-64)

Lähtötietoaineisto jaetaan eri osakokonaisuuksiin tiedon alkuperän mukaan. Maastomallin ja maaperämallin kaltaisten osakokonaisuuksien lisäksi, tietosisältöä jaetaan ryhmiin aineiston alkuperän ja tarkkuustason perusteella. Aineiston luokittelu voi perustua esimerkiksi pohjatutkimusaineiston jakamiseen maaperätulkintojen pistetarkkuuden mukaan. (bSF, Inframodel4-käyttöohje, 2019, 8-9) Tarkemmin lähtötietoaineiston sisältöä ja sen dokumentointia koskevia vaatimuksia on esitetty YIV (2019) kappaleessa 2.

YIV:n mukaan rakennussuunnitelmamallissa kaikki taiteviivat, pinnat ja aluerajaukset on oltava mahdollisimman jatkuvia ja ehjiä. Pinnoissa ei hyväksytä pystysuoria muutoksia tai päällekkäisiä taiteviivoja. Kansallisten mallinnusvaatimusten mukaan hankkeilla toimivien tekniikkalajien tulee käyttää samaa koordinaatistoa ja korkeusjärjestelmää. Mikäli suunnitteluala hyödyntää esimerkiksi ohjelmistoteknisistä syistä paikalliskoordinaatistoa suunnittelun aikana, on aineistolle tehtävä koordinaattimuunnos hankekohtaisesti sovitujen menettelyiden mukaisesti ennen sen jakamista muille osapuolille. Tarvittavat koordinaattimuunnokset ilmoitetaan lähtötietoaineiston yhteydessä ja tieto muutoksista tulee välittyä myös mallin arkistointiin. (YIV, 2019, 37, 62, 77, 89)

Tekniikkalajien väliset mallinnusvastuut ja mallintamisen rajapinnat voivat joissain tapauksissa olla häilyviä. Yleisesti geosuunnittelijan vastuualueina voidaan pitää maanpin-

nan alapuolelle tehtäviä rakenteita sekä kaivu ja täyttötöitä. Epäselvyyttä mallinnusvas-  
tuiden suhteen voi tulla etenkin tapauksissa, joissa geotekniset rakenteet liittyvät osaksi  
pysyviä rakenteita. Tällaisia rakenteita ovat esimerkiksi kaivantojen tukirakenteet, jotka  
lopulta jäävät kohteeseen pysyviksi rakenteiksi. Mallintamisen rajapinnat tulisi aina sopia  
ja määritellä epäselvissä tapauksissa hankekohtaisesti. (bSF, Talogeotekniikan tietomal-  
liohje -luonnos, 2021, 19-20)

### 2.2.2 Lähtökohdat geosuunnitelmien mallintamiseen

Maaperän geologiassa voi esiintyä monimutkaisesti eteneviä geometrialinjoja, joita voi  
olla vaikea hahmottaa 2D-ympäristössä piirustusten avulla. Tällaisia haastavia ja epätark-  
koja geometrioita voi esiintyä esimerkiksi kallionpinta ja kallion heikkousvyöhykkeiden  
raja-alueilla. Pohjaolosuhteiden visualisoinnilla on mahdollista syventää hankkeen yh-  
teistyötä ja tehostaa päätöksentekoprosessia. Kehittämällä maaperän visualisointimene-  
telmiä, voidaan suunnitelma-aineistosta tehdä helpommin tulkittavaa geotekniikan am-  
mattilaisten lisäksi muillekin hankkeen osapuolille. (Giovacchini et.al, 2019, 846)

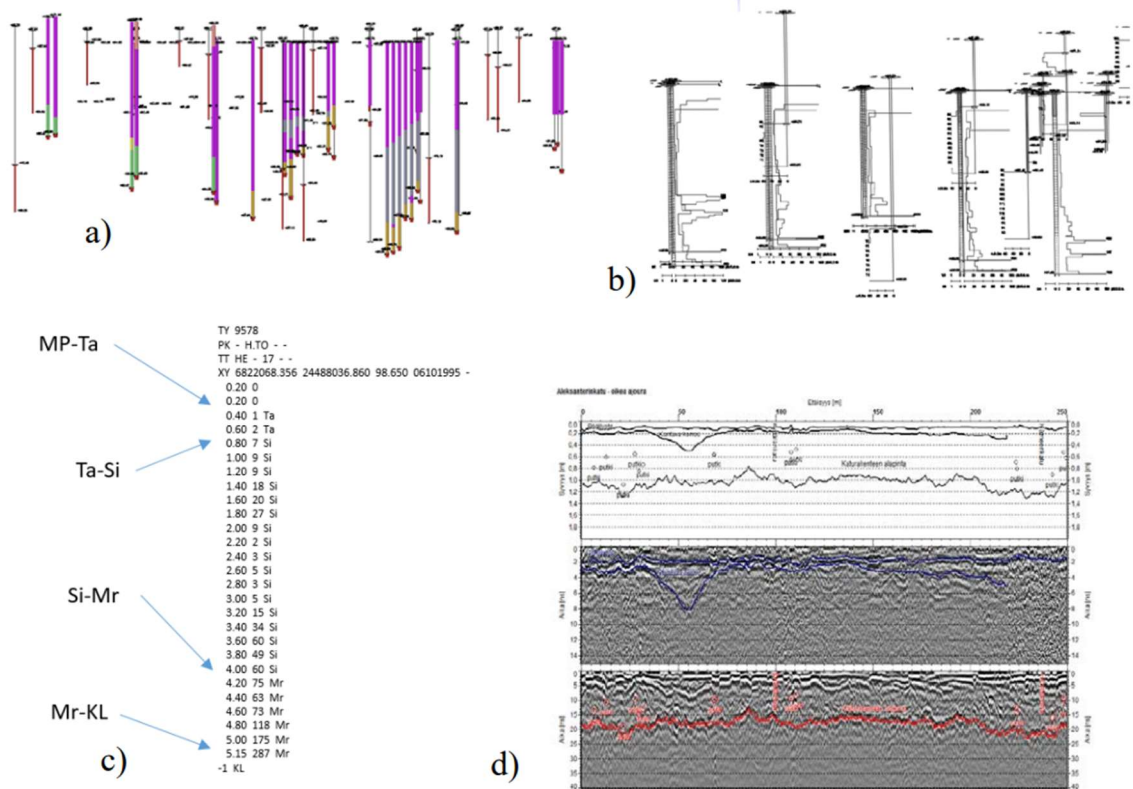
Tyypillisesti tietomallintaminen perustuu rakennettavan järjestelmän määrittelemiseen ja  
sen toteuttamiseksi vaadittaviin toimintoihin. Niissä rakennusosien ja materiaalien omi-  
naisuudet sekä rakennusosien geometriat ovat yleensä hyvin tunnettuja, toisin kuin geo-  
suunnittelussa. Geotekninen suunnittelu perustuu pohjatutkimustuloksista tehtäviin ha-  
vaintoihin pohjaolosuhteista sekä niistä johdettuihin tulkintoihin rakennettavuudesta ja  
vaadittavista perustusratkaisuista. Maaperän epähomogeenisen luonteen vuoksi pohjatut-  
kimusten perusteella tehtäviin tulkintoihin liittyy aina epävarmuustekijöitä ja riskejä,  
jotka täytyy tiedostaa ja ottaa huomioon suunnitteluratkaisuissa. (Svensson & Friberg,  
2017, 2-3; Beaufils et.al, 2019, 3)

Pohjarakenteisiin ja pohjaolosuhteisiin liittyvien epävarmuuksien dokumentointi ja sisäl-  
lyttäminen tiedonsiirtoon ovat tärkeitä näkökulmia mallipohjaisia ratkaisuja kehitettä-  
essä, sillä epävarmuutta on pystyttävä kuvaamaan tietomallissa tarkoituksenmukaisesti  
(Kulman, 2019, 3). Geosuunnittelun lähtöaineistoon sekä suunnitteluprosessiin kohdistu-  
via epävarmuustekijöitä ja riskejä on käsitelty esimerkiksi Korkiala-Tantun ja Löfmanin  
(2016) tutkimuksessa ”Luotettavuuden arviointi ja riskienhallinta geoteknisessä suunnit-  
telussa”. Geosuunnitelmissa käytettyihin maaparametreihin, kuormiin, laskentamalleihin  
ja suunnitteluohjeiden perusteella määritettyihin osa- ja kokonaisvarmuuslukuihin sisäl-

tyy aina epävarmuutta. Epävarmuustekijät ovat riippuvaisia käytetyn lähtötiedon määrästä, laadusta ja luotettavuudesta. Esimerkiksi pohja- ja pintavesitiedon tarkkuus tai maalaji- ja kallionpintatulkintojen luotettavuus, laajuus ja ajantasaisuus voivat merkittävästi lisätä käytettyyn lähtötietoon liittyviä riskejä. Lähtötiedossa voi esiintyä epävarmuutta olemassa olevien rakenteiden, kuten vanhan sillan perustusten sijaintiin liittyen. Lisäksi suunnitteluprosessin aikana tehtävät ratkaisut voivat aikaansaada muutoksia kohteen ympäristössä ja aiheuttaa riskejä olemassa oleville rakenteille ja pohjamaan stabiliteetille.

Kuvassa 2 on esitetty maaperästä tehtäviä tulkintoja (Ikävalko et.al, 2017, 18). Pohjaolosuhteiden mallintaminen on iteratiivinen prosessi, jossa mallin muodostaminen aloitetaan usein vähäisen lähtötiedon pohjalta. Tarkkaa tietoa maaperästä saadaan vain dokumentoiduista ja todennetuista havainnointipisteistä. Havaintopisteiden välisen alueen kuvaaminen mallissa edellyttää tulkintaa odotetavissa olevista olosuhteista. Tällöin luotua ”tulkintamallia” voidaan käyttää pohjana muissa hankkeen sovelluksissa, kuten esimerkiksi aika- ja kustannusarvioissa tai tulkittuihin olosuhteisiin nojaavien louhintamenetelmien valinnassa. Oletettuja pohjaolosuhteita kuvaavat tulkintamallit sisältävät aina epämääräisyyttä ja epävarmuutta, jota pyritään minimoimaan tarkentamalla tulkintamallia hankkeen aikana tehtävien havaintojen ja lisätutkimusten myötä. Vasta työmaan kaivuutöiden jälkeen havaituista pohjaolosuhteista voidaan luoda lopullinen toteumamalli. (bSI, InfraRoom, 2020, 50-51)





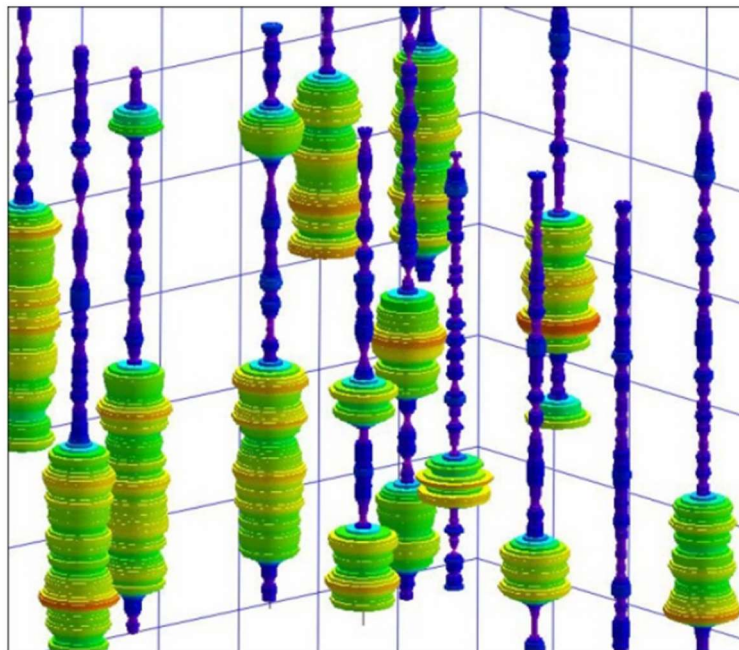
**Kuva 2.** Maaperäolosuhteista tehtäviä tulkintoja. a) Värikoodeilla ilmoitettua kairaajan havaintoihin perustuvaa tulkintaa 2D- tai 3D- muodossa. b) Pohjatutkimusdiagrammien kautta kairausvastuksen perusteella tehtävät tulkinnat maalajirajoista. c) Infra-pohjatutkimusformaatti, jonka perusteella voidaan lukea ohjelmallisesti maakerrosrajat. d) Geofysikaalisien tutkimusten, kuten maatutkan avulla piirretyt tulkintaviivat maakerrosrajoista. (Ikävalko et.al, 2017, 18)

Pohjaolosuhteista tehtävien tulkintojen luotettavuutta ja kelpoisuutta on pystyttävä arvioimaan ja perustelemaan. Tunnistamalla pohjaolosuhteisiin liittyviä riskejä sekä koordinoimalla tunnistettujen riskien perusteella lisää pohjatutkimuksia, voidaan tulkintojen epävarmuutta minimoida ja lisätä suunnitelman luotettavuutta. (Korkiala-Tanttu & Löfman, 2016, 94-95)

Rakennushankkeen aikana maaperästä saadaan kairauksien lisäksi tietoa esimerkiksi laboratoriotutkimuksista, koekuopista, paalutuspöytäkirjoista, geofysikaalisista tutkimuksista ja alueen historiasta. Pohjaolosuhteista kerätty aineisto olisi hyödyllistä keskittää kaikkien hankkeen osapuolten saataville. Avoin pohjatutkimustieto ei kuitenkaan poista rakennuskohteessa tehtävien lisätutkimuksien tarvetta, sillä olemassa olevaa tietoa täytyy

aina täsmentää. Geoteknisen tiedon yhtenäistäminen helpottaa sen tiedonsiirrossa, tallentamisessa ja käytettävyydessä ilmeneviä ongelmia. Parhaimmillaan datan harmonisointi voi mahdollistaa mallinnusprosessin, jossa tiedon hyödynnettävyys ei vaadi aineiston ylimääräistä välikäsittelyä ohjelmistoa tukevaan muotoon. (Oldèn, 2019, 14-15)

Pohjatutkimusdatan tehokas hyödyntäminen vaatii käytettävältä suunnitteluohjelmistolta kykyä päivittää mallia dynaamisesti hankkeen edetessä ja uusien pohjatutkimusten tuodessa lisätietoa pohjaolosuhteista. Aineistoa voi hankkeiden aikana kertyä paljon, joten on tärkeä kehittää standardinomaisia toimintatapoja datan keräämiseen, hallintaan, varastointiin ja mahdolliseen visualisointiin. (NGI, 2020) Eräs mahdollisuus kehittää pohjatutkimusten mallipohjaista visualisointia olisi kuvan 3 mukainen lähestymistapa, jossa sylinterinmuotoisen kairauksen säde ja värikoodaus kuvaisivat geologisia muodostumia kairausvastuksesta tulkittavien maaperän fysikaalisten piirteiden kautta (RockWare, 2020).



**Kuva 3.** Pohjatutkimusdatan mallipohjainen visualisointi ja kuvaaminen maaperän fysikaalisten piirteiden tai geologisten muodostumien kautta voi syventää mallin välittämää tietoa. (RockWare, 2020)

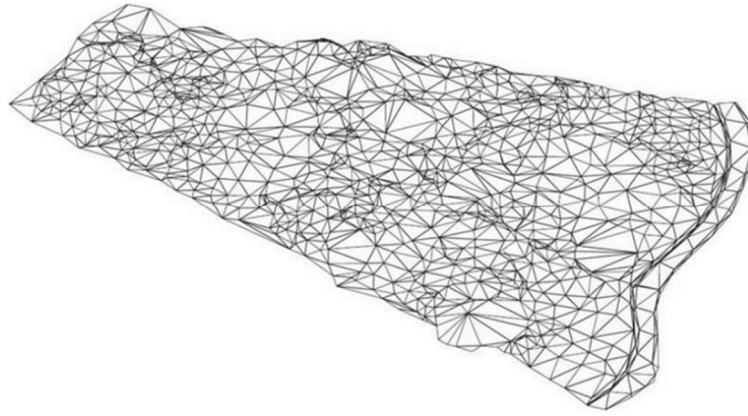
### 2.2.3 Suunnitteluohjelmistot geotekniikan mallintamisessa

Geosuunnittelu on usein riippuvaista useiden eri sovellusten ja ohjelmistojen välisestä vuorovaikutuksesta ja tiedonsiirrosta. Geosuunnittelussa datankäsittely on monivaiheista ja tietoa jalostetaan ja siirretään sovelluksesta toiseen ennen sen varsinaista käyttöä suunnitteluohjelmistossa. Geoteknisen datansiirron kannalta onkin tärkeää tukea avoimien ja ei tekijänoikeudellisten tiedonsiirtoformaattien, kuten IFC-formaatin kehitystä. Markkinoilla on saatavilla laajasti erilaisia sovelluksia ja ohjelmistoja, minkä vuoksi eri organisaatioissa käytettävissä ohjelmistoissa esiintyy paljon vaihtelua. Geosuunnitteluun käytettävät ohjelmistot ja sovellukset muuttuvat alalla jatkuvasti ohjelmistojen kehittyessä ja uusien ratkaisujen tullessa markkinoille. (NGI, 2020)

Tietomallintamiseen perustuvan rakentamisen alkuperäisen vision mukaan digitaalisen tiedon tulisi pystyä välittämään katkeamattomana ketjuna hankkeen alusta lähtien. Geotekniikan suhteen se kuitenkin vaatisi erilaisten dataformaattien kykyä kommunikoida keskenään, eikä siihen vielä täysin pystytty. Lisäksi geoteknistä dataa tulisi pystyä toimitamaan suunnitteluun sellaisessa muodossa, että tietoja voitaisiin välittömästi hyödyntää mallien muokkaamiseen. (Svensson & Friberg, 2017, 2)

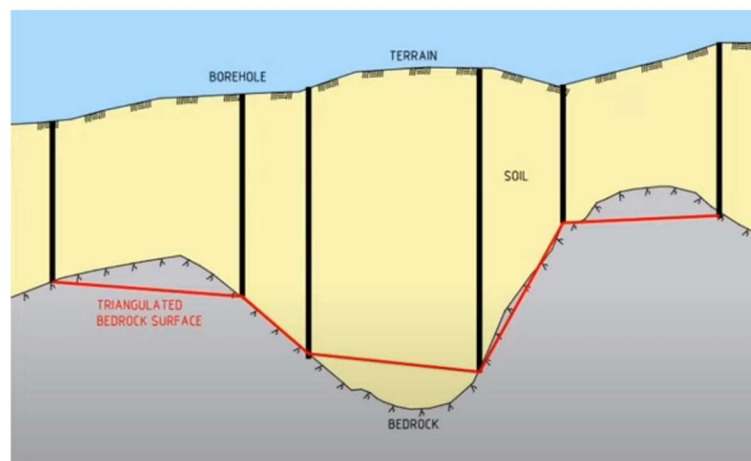
Hankkeilla tuotettujen pintamallien luotettavuutta määrittää oleellisesti alueelle tehtyjen pohjatutkimusten tiheys. Pintamallien tarkkuustaso on esimerkiksi perustus- ja tukiseinäratkaisuja varten suunnitelman toteutuksessa kriittistä tietoa, jonka vuoksi tutkimuspisteiden välinen etäisyys olisi syytä olla korkeintaan 5 metriä. (Tanttu, 2015, 3)

Kuvassa 4 on esitetty CAD-pohjaisella suunnitteluohjelmistolla mallinnettu kallionpinta, joka muodostuu kallion havainto- ja tulkintapisteiden välille muodostetuista kolmioverkosta. Suunnittelussa käytössä olevalla tietokannalla on suuri merkitys työn sujuvuuteen, tiedonkulkuun sekä laadunvarmistukseen. Nykytilanteessa tiedonsiirrosta ohjelmistojen välillä joudutaan usein suorittamaan esimerkiksi koordinaattimuutoksia tai erilaisten datamuotojen korjaamista komentosarjoilla, jotta erilaisten tietojoukkojen tulkinnat ovat mallintamista varten yhteneväisiä.



**Kuva 4.** CAD-pohjaisella ohjelmistolla kolmioverkkoon mallinnettu kallionpinta (Svensson & Friberg, 2017, 2).

Maaperämallintamisen tarkkuustasoa ja tulkintaperusteita tulee avata lähtöaineistoluettelossa sekä lähtöaineistoselostuksessa (YIV, 2019, 69). Maaperän ja kallionpintojen mallintaminen on lähtötietoon ja geologiseen tietämykseen perustuva pintojen todennäköisimmän sijainnin ennustamista. Varminta tietoa rakennuskohteen kallionpinnan sijainnista saadaan avokallio- ja porakonekairaushavainnoilla. Pintamallin kolmioinnissa ohjelmistot arvottavat pinnan pistetiedon samanarvoisesti riippumatta siitä, perustuuko kolmioitava piste kairaushavaintoon vai mallintajan geologiseen tietämykseen nojaavaan tulkintaan. (Ikävalko et.al, 2017, 28-29) Kuvassa 5 on esitetty pohjaolosuhteista luotavien pintamallien ja tutkimuspisteiden välisen pinnan interpoloinnin aiheuttamaa ongelmallisuutta. Kallionpinnan interpolointi tutkimuspisteiden välillä saattaa leikata todellisen pinnan sijaintia etenkin ”huippu”-pisteissä, joissa pinnan korkeusasema heittelee tutkimattomilla alueilla aiheuttaen epävarmuutta mallin oikeellisuudelle. (NGI, 2020)



**Kuva 5.** Kallionpinnan interpolointi tutkimuspisteiden välillä (NGI, 2020).

## 2.3 Mallipohjainen laadunvarmistus

Mallipohjaisen hankkeen käynnistymisvaiheessa kuvataan tiedonhallintasuunnitelmassa mallien tarkastus ja laadunvarmistustoimenpiteet. Tavoite mallipohjaisessa laadunvarmistuksessa on varmistaa, että mallien tietosisältö noudattaa alan yleistä ohjeistusta ja vaatimuksia. Mallintamisen ohjeistus ja vaatimustasot vaihtelevat hankevaiheen mukaan, mutta myös hankekohtaisesti. Laadunvarmistusprosessi ja sen dokumentointi on osa hankevaiheesta riippumatonta digitaalista luovutusaineistoa. (YIV 2019, 9, 26, 29-30)

Tehokkaan laadunvarmistuksen edellytyksenä on, että mallipohjainen aineisto noudattaa alalla vallitsevia YIV-mallinnusvaatimuksia, InfraBIM-nimikkeistöä ja tiedonsiirtoformaattien määrittelyitä. Mallipohjainen laadunvarmistusprosessi vaatii vielä nykytilanteessa dokumenttipohjaisten suunnitelmapiirustusten tuottamista ja niiden tulee vastata sisällöltään luotuja suunnitelmamalleja. Mallipohjaisella laadunvarmistuksella pyritään jatkuvatoimiseen prosessiin, jolloin suunnitelmissa esiintyvät virheet ja ristiriidat voidaan havaita ja korjata jo hankkeen varhaisissa vaiheissa. Jokaisessa hankkeessa edellytetään myös suunnitelmien tuottajan sisäistä tarkastusta, jossa suunnittelija tekee suunnitelma-aineistolle luovutusaineistoon liitettävän dokumentoidun itselleluovutuksen. (YIV 2019, 24, 29-30) Itselleluovutuksen yhteydessä varmistetaan, että malli on käytettävyydeltään ja ajantasaisuudeltaan kunnossa sekä vastaa hankekohtaisesti sovittuja mallinnuskäytäntöjä (bSF, Talogeotekniikan tietomalliohje -luonnos, 2021, 30).

Suunnittelija on vastuussa toimittamaan tilaajalle hankekohtaiset laatuvaatimukset täyttävät mallit, joiden tietosisältö on yhteneväinen mallin lisäksi toimitettavien suunnitelmapiirustusten kanssa. Suunnittelijan dokumentoima itselleluovutus on osa tilaajalle luovutettavaa luovutusaineistoa. Lisäksi suunnittelijan laadunvarmistukseen kuuluu malliaineiston laadunvalvonta koko hankkeen ajan. Hankkeessa pääsuunnittelijan vastuulla on varmistaa suunnittelualojen välisten suunnitelmien yhteensopivuus, mutta suunnittelijat ovat myös itse vastuussa oman tekniikanlajinsa mallisisällöstä. Suunnitelmamallit tulee tuottaa YIV-ohjeiden ja hankekohtaisesti määriteltyjen ominaisvaatimusten mukaisesti. Suunnittelija tuottaa mallipohjaisessa hankkeessa aina sisäisen tarkastusdokumentin, johon on kirjattu suunnitelmamalliin liittyvät vaillinaisuudet ja poikkeamat. Dokumentin pääasiallinen tehtävä on varmistaa, että mallien tietosisältö on vaatimusten mukainen ja siirtotiedostot kunnossa. Suunnittelija on myös vastuussa liittämään tarkastusdokumentin aineistoon ja tietomalliselostukseen, jolla helpotetaan tilaajan tarkastusprosessia. (YIV,

2019, 104-105) Tietomalliselostuksessa kuvataan laadunvarmistustoimenpiteet ja ilmoitetaan, mikäli hankkeen alussa määritellyssä mallisisällössä on havaittu virheitä tai puutteita (Liikennevirasto, 6/2014, 29).

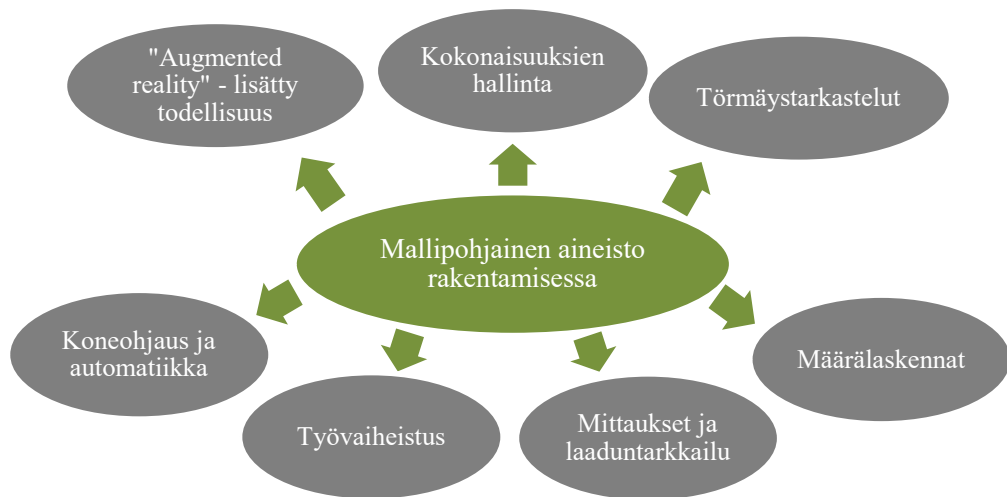
Tilaaajan tulee jo tarjousvaiheessa selvittää suunnitelmien tarkastusprossin toteutus ja käytäntö (Liikennevirasto, 12/2017, 14). Tilaaaja voi käyttää hankkeilla mallien tarkastamiseen ulkopuolista asiantuntijatahoa, joka toimii tilaaajan edustajana. Tarkastusprosessin myötä suunnitelmista löydetty puutteet ja tarpeet korjaustoimenpiteille raportoidaan suunnittelijalle. (YIV 2019, 23, 104-105)

Työmaaorganisaatio tarkastaa suunnitelmat osana laadunvarmistusprosessia, sillä mallipohjaisen aineiston laatu perustuu osittain sen tekniseen kelpoisuuteen ja käytettävyyteen työmaalla (YIV 2019, 23). Rakentajaorganisaatiossa suunnittelunohjaaja tai suunnittelutamisesta vastaava henkilö toimii linkkinä suunnittelun ja rakentamisen välillä (Kankainen & Junnonen 2017, 16). Suunnittelusta tuleva toteutusmalli tarkastetaan työmaalla, jonka jälkeen aineisto siirretään työkoneisiin. Työmaan laadunvalvontaan kuuluu myös dokumentoitu työkoneiden ja paikannusjärjestelmän määräaikainen tarkastaminen. Työkoneiden tarkastusmittauksia verrataan rakennusosakohtaisiin tarkkuusvaatimuksiin ja tarvittaessa työkoneet kalibroidaan. Työmaalla tuotetaan toteuma-aineistoa, jonka poikkeamaa toteutusmallista arvioidaan suoraan mallista. (Salmi, 2013)

## **2.4 Mallipohjainen aineisto rakentamisessa**

Urakoitsijan standardivaatimuksiksi ovat alalla muodostuneet työmaan kaivinkoneiden koneohjausjärjestelmät. Koneojauksen aineisto voi sisältää pintamalleja, taustakarttoja, geometriatietoa tai pistemäisiä kohteita. Erityisesti laajoissa hankkeissa suunnitelma-aineistoon voi tulla muutostarpeita, jotka aiheuttavat tarvetta koordinoida koneohjausta ja päivittää suunnitelmia synkronoidulla tavalla oikeaan aikaan. Työkoneiden mittausjärjestelmät keräävät mitatuista toteumapisteistä toteuma-aineistoa, joka on mallipohjaisessa rakentamisessa tärkeintä tuotettavaa aineistoa. (Metsovuori, 2019, 17)

Kuvassa 6 on esitetty mallipohjaisen aineiston hyödyntämismahdollisuuksia rakentamisen aikana mukailtuna luonnosvaiheessa olevasta talogeotekniikan tietomalliohjeesta (bSF, Talogeotekniikan tietomalliohje -luonnos, 2021).



**Kuva 6.** Mallipohjaisen aineiston hyödyntämismahdollisuuksia rakentamisessa (mukailen Talogetekniikan tietomalliohje -luonnos, 2021).

Mallipohjaista aineistoa voidaan koneohjauksen lisäksi soveltaa moniin muihin työmaan toimintoihin, kuten suunnitelmien työvaiheistukseen. Työvaiheita mallinnetaan erityisesti työmaalla, mutta niitä voidaan mallintaa myös suunnittelussa esimerkiksi, jos taustalla on tarvetta selvittää suunnitteluratkaisun aiheuttamia toimenpiteitä liikennejärjestelyihin. (YIV, 2019, 100) Työmaatoimintojen teknologian ja koneohjauksen kehitys on ollut viime vuosina kiivasta, vaikka kartoittamattomat maaperän muuttujat, kuten putket, kaapelit tai tuntemattomat maalajirajat rajoittavat vielä omalta osaltaan automaation käyttöä (Perälä, 2020, 39-40).

## **3 GEOSUUNNITTELU SILTAPAIKOILLA**

### **3.1 Siltojen tietomallintaminen**

Sillan tietomallilla tarkoitetaan mallipohjaisesti tuotettua sillan suunnitelmakokonaisuutta. Tietomallissa siltasuunnitelmia tuottavien tekniikkalajien jalostamat tuote- ja lähtötieto-mallit on yhdistetty kattamaan mallien sisältämä tieto, joka voi sisältää 3D-ympäristöön mallinnettujen pintojen ja objektien lisäksi yksityiskohtaista tietoa rakenneosista. Mallipohjaisen suunnittelun kulmakiviä ovat loogiset ja vaatimuksiin perustuvat toimitatavat. Tietomalliin laaditaan aina tietomalliselostus, jossa kuvataan mallin laajuus ja suunnittelussa mahdollisesti tehdyt poikkeamat. Sisältöä voidaan täydentää perinteisellä dokumenttipohjaisella aineistolla, jos tietoa ei voi mallipohjaisilla tavoilla esittää. (Liikennevirasto, 6/2014, 7, 12, 29, 54-55)

### **3.2 Geotekninen suunnitteluprosessi siltapaikalla**

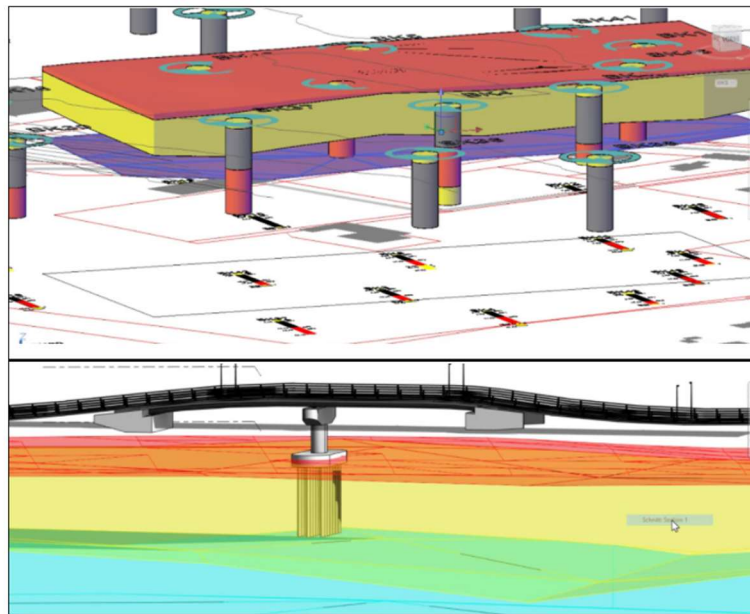
Siltojen geosuunnitelmat koostuvat 3D-mallissa esitettyjen asioiden lisäksi geoteknisistä piirustuksista ja kartoista. Niiden lisäksi jokaiselle siltapaikalle laaditaan aina sillan geotekninen suunnitelmaraportti, jossa kuvataan muun muassa jokaiselle tuelle ja tulopenkereille suunnitellut perustamistavat, pohjaolosuhteet, pohjaveden taso, geotekninen luokka sekä selvitys pohjarakentamisen aiheuttamista ympäristövaikutuksista ja niiden aiheuttamista toimenpiteistä. Suunnitelmaraportissa tai sen liitteissä esitetään myös siltapaikkaa koskevat geotekniset laskelmat. Piirustuksissa esitetään siltapaikan pohjaolosuhteet selkeästi ja niissä tulee ilmetä kohteelle ominaiset ympäristö- ja maastotekijät. (Liikennevirasto, 13/2017, 9-13)

Pohjatutkimukset esitetään kartalla tasokuvana sekä piirustuksien pituus- ja poikkileikkauksissa kairausdiagrammeina. Pohjatutkimuksien riittävyttä, luotettavuutta ja niistä tehtyjä tulkintoja on pystyttävä ymmärtämään ja arvioimaan. Suunnitelmavaiheen mukaan geoteknisistä piirustuksissa on pohjaolosuhteiden lisäksi käytävä ilmi sillan tulopenkereille tehdyt toimenpiteet, sillan perustusratkaisut sekä työnaikaiset rakenteet. Sillan rakennussuunnitelmaa varten geoteknisissä piirustuksissa tulee ilmetä tulkitut maa-kerrosrajat, kallionpinta sekä pohjavedenpinta. Lisäksi suunnitelmissa tulee esittää muun muassa pääty- ja välitukien ääriviivat, pengerialueiden alareunat sekä sillanrakentamiselle pakolliset maa- ja kallioleikkaukset ja kaivantojen tuentatarpeet. Työnaikaiset rakenteet



esitetään suunnitelmapiirustuksissa esimerkiksi rakenteiden ääri viivoilla. (Liikennevirasto, 13/2017, 9-13) Sillan geoteknisessä suunnittelussa tehdyillä valinnoilla on vaikutusta myös sillan tulevaan kunnossapitostrategiaan ja esimerkiksi tulopenkereiden altistuminen painumille voi vaatia kunnossapitovaiheen aikaista seuranta ja hallintaa (Korkiala-Tanttu & Löfman, 2016, 94).

Kuvassa 7 on esitetty geoteknisen mallintamisen piirteitä siltapaikoilla. Siltapaikalta kerätty pohjatutkimusaineisto tuodaan suunnitteluohjelmistoon, jossa maalajirajapinnat tulkitaan tutkimuksen havaintotietojen perusteella. Kuvan ylemmässä ikkunassa luodaan maaperämallia kairaushavaintojen kautta ja alemmassa ikkunassa on sillalle sovitettu perusratkaisu pohjaolosuhteista tehtyjen tulkintojen perusteella. Pohjaolosuhteita kuvaavan mallin avulla siltapaikalle voidaan arvioida soveltuvia perusratkaisuja. (Classon, 2019)



**Kuva 7.** Sillan pohjaolosuhteiden visualisoinnilla voidaan auttaa sovittamaan sillalle sopivia perusratkaisuja (mukaillen Classon, 2019).

### 3.3 Geosuunnitelmien tarkastaminen ja hyväksyminen siltapaikoilla

Geotekniset luokat GL1, GL2 ja GL3 määrittelevät siltakohteen vaativuutta ja sen aiheuttamia toimenpiteitä suunnitteluun ja laadunvarmistukseen. Siltakohteen geotekniikalle

tehdään aina suunnitelmien ulkopuolinen tarkastus, kun silta kuuluu geotekniseen luokkaan GL3 tai jos kohde täyttää muita taitorakenteiden rakennussuunnitelmien tarkastusohjeessa esitettyjä piirteitä teknisessä vaativuudessa. Ulkoinen tarkastus voidaan toteuttaa myös hankekohtaisella päätöksellä, vaikka edellä mainitut kriteerit eivät täytykään. Silta-kohteen geotekniikalle tehdään aina suunnittelijan oma laadunvarmistus ja suunnitelman sisäinen tarkastus. (Liikennevirasto, 30/2014, 13, 23) Taulukossa 1 on esitetty sillan geoteknisistä suunnitelmista tarkastettavia asioita mukailtuna Taitorakenteiden rakennussuunnitelmien tarkastusohjeen (2014, 34) ja Destian sisäisen tarkastuksen (2021) dokumenttipohjasta. Tarkastettavan aineiston todellinen laajuus määräytyy hankekohtaisesti.

Sillan geosuunnitelmien tarkastus		
Piirustukset	Geotekninen laskentaraaportti	Suunnitelmaselostus
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kartta sekä pituus- ja poikkileikkaukset tuilla</li> <li>- Pohjapaineet</li> <li>- Maanpainerakenteet</li> <li>- Nosteenalaiset rakenteet</li> <li>- Maakerrosrajat ja pohjaveden pinta</li> <li>- Anturaperustukset</li> <li>- Paaluperustukset ja tunkeutumistasot</li> <li>- Kuivatusratkaisut</li> <li>- Eroosiosuojaukset</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Työnaikainen stabiliteetti (luiskat ja kaivannot)</li> <li>- Tulopenkereiden stabiliteetti ja painumat</li> <li>- Anturoiden painumat ja painumaerot</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Routamitoitus</li> <li>- Siirtymärakenteet</li> <li>- Tukien perustamistavat</li> <li>- Korroosiotutkimukset</li> <li>- PDA-mittaukset</li> <li>- Negatiivinen vaippahankaus</li> </ul>
Lisäksi		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pohjatutkimusten riittävyys ja raportointi</li> <li>- Olemassa olevien rakenteiden huomiointi</li> <li>- Pohjarakenteiden mitoitus ja geotekniset parametrit</li> <li>- Ympäristön ja rakenteiden tarkkailuohjelmat</li> <li>- Rakennustyöselostus ja laatuvaatimukset</li> <li>- Ympäristövaikutukset</li> </ul>		

**Taulukko 1.** Esimerkkejä sillan geosuunnitelmista tarkastettavista asioista (Destia Oy, 2021; Liikennevirasto, 30/2014, 34).

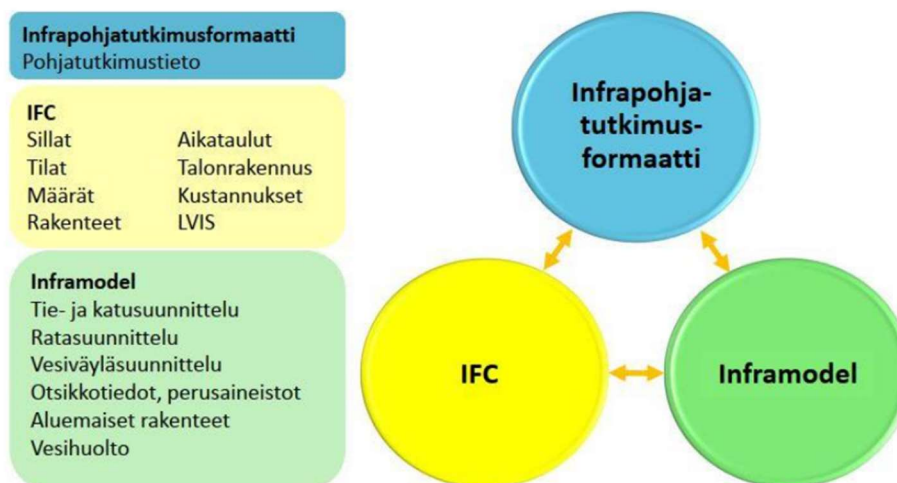
Vähimmäisvaatimukset valvontatarkastuksissa esitettävälle geotekniselle aineistolle, kuten tutkimuksille, laskelmille ja rakenteille määräytyy suunnittelukohdekohtaisen vaativuustason mukaan. Siinä määräävinä tekijöinä voivat olla muun muassa luokittelut geoteknisessä vaativuudessa ja seuraamuksissa. (RIL 207-2017, 31-32, 44)

## 4 INFRAMALLIEN TIEDONSIIRTOSTANDARDIT

### 4.1 Tiedonhallinnan kolmikanta

Yleiset Inframallivaatimukset (YIV) muodostavat yhdessä InfraBIM- nimikkeistön ja tiedonsiirtoformaattien määrittelyjen kanssa tiedonhallinnan ”kolmikannan”. Toimiva tiedonhallinta mallipohjaisessa suunnittelussa edellyttää kolmikannan eri osa-alueiden keskinäistä yhteneväisyyttä ja jokaisen osa-alueen kunnossa olemista. Alalle yleisesti asetettujen mallinnusvaatimusten tavoitteena on kehittää alan mallinnuskäytäntöjä ohjeistamalla ja yhdenmukaistamalla mallipohjaisen hankkeen toimintaa. YIV kattaa koko hankkeen elinkaaren lähtöaineiston hankkimisesta ylläpitoon. (YIV 2019, 6) Lähtökohtaisesti mallintamisen tulee perustua Infra-nimikkeistöjärjestelmään, jota inframallintamisessa sovelletaan InfraBIM-nimikkeistön muodossa (Partiainen, 2016, 20). Keskeisenä näkökulmana avointen tiedonsiirtostandardien kehitystyössä on koneohjausta ja automaatiota edistävä tiedonsiirto, jolla on havaittu olevan merkittäviä rahallisia hyötyjä koko rakennusalalle (Perttula, 2018, 12).

Inframallintamiseen liittyvä standardointi voidaan jakaa karkeasti paikkatietoon perustuvaan lähtöaineistoon, siihen liittyviin IFC-standardin mukaisiin taitorakenteisiin, LandXML-formaattiin perustuviin infrakohteisiin sekä pohjatutkimustiedon kattavaan infra-pohjatutkimusformaattiin. Ohjelmistoriippumattoman ja tehokkaan tiedonhallinnan takaamiseksi tiedon tallentamisessa ja luovuttamisessa tulisi suosia avoimia tiedonsiirtoformaatteja. Avoin tiedonsiirto on kuitenkin vielä monin osin puutteellista, minkä vuoksi tiedonsiirrossa on toistaiseksi käytössä myös muita yleisiä formaatteja. Kuvassa 8 on esitetty inframallintamiseen liittyvät standardit ja formaatit sekä niiden sisältämiä tietoja. (YIV 2019, 34-35)



**Kuva 8.** Inframallintamisen tiedonsiirtomuodot (YIV 2019, 36).

Hankevaiheesta riippumatta avointen tiedonsiirtoformaattien käyttö mallipohjaisissa hankkeissa edistää kaikkien osapuolten mahdollisuutta hyödyntää ja käyttää tietoa tarkoituksenmukaisesti. Tiedonsiirtoformaattien käytettävyys onkin tiedonhallinnan ja laadunvarmistuksen perusta. (YIV, 2019, 30)

Tietomallien tietosisältö ladataan hankekohtaisesti käytössä olevaan tietomallipalvelimeen tai projektipankkiin sovittuja tiedonsiirtoformaatteja tai YIV-ohjeistusta noudattaen. Lähtökohtaisesti tiedonsiirtoformaattina tulee käyttää Inframodel-formaattia. Nykytilanteessa avoimeen tiedonsiirtoon sopivat yleiset formaatit eivät kuitenkaan tue täysin natiiviformaateissa siirtyviä meta- ja ominaisuustietoja. Inframodel-tiedonsiirrossa vähimmäisvaatimuksena on, että aineisto on luokiteltu InfraBIM-nimikkeistön mukaan ja se sisältää Inframodel-määrittelyissä esitetyt ominaistiedot ja geometrian. Koska Inframodel ei pysty siirtämään kaikkea määritysten mukaista ominaisuustietoa, on tiedonsiirrossa tapauskohtaisesti sovittava muiden formaattien käytöstä tai esitettävä muita keinoja ominaisuustietojen sisällyttämiseen malleihin. Natiiviformaattien käytön lisäksi ominaisuustietoja voidaan esimerkiksi taulukoida erillisiin dokumenttipohjaisiin tiedostoihin. (YIV, 2019, 108-109)

Keskeisenä erona kansainvälisen ja kansallisen tiedonsiirtostandardoinnin kehityksessä on ohjelmistotalojen ohjelmistokehitys ja sen vaikutukset standardien yleiseen käytettävyyteen. Ohjelmistoyritykset ovat pääsääntöisesti halukkaita tekemään ohjelmistoistaan kansainvälisiä tiedonsiirtostandardeja tukevia, sillä niiden markkinamahdollisuudet ovat kansallista tasoa laajemmat. (Perttula, 2018, 12)

Building Smart Finlandin (bSF) infraryhmän näkemyksen mukaan vuonna 2030 infra- ja taitorakenteet voisivat olla sovitettuina yhden ”IFC Next Generation”- standardin alle. Nykyinen standardien kehitys ajaa siten yhdenmukaisempaa tiedonsiirtoa, jolla pyritään mahdollistamaan tietojen laajamittaisempi hyödynnettävyys. Pitkällä tähtäimellä tulevaisuudessa kansallisen Inframodel-tiedonsiirron taustalla voi vaikuttaa kansainvälinen IFC-standardi. (Perttula, 2021, 36-38)

## 4.2 IFC-tiedonsiirtostandardi

IFC (Industry Foundation Classes) on kansainvälinen ja avoin ISO-tiedonsiirtostandardi ohjelmistojen väliseen tiedonsiirtoon (Liikennevirasto, 6/2014, 7). IFC:tä käytetään laajasti tuotetietojen tiedonsiirtoon ja yhteiskäyttöön hankkeen eri osapuolten välillä rakentamisesta kiinteistöylläpidon toimintoihin. Standardin sisältämällä määritelmillä on tavoitteena kattaa koko rakennushankkeen elinkaarta koskeva informaatio. (ISO 16739-1:2018) IFC:tä voidaan käyttää myös tiedon arkistointivälineenä, joko asteittain suunnittelu-, hankinta- ja rakennusvaiheessa tai pitkäaikaisessa lopullisen rakennetun tuotemallin säilytyksessä. IFC-formaatin datasisältö on mahdollista koodata ohjelmistoista useissa eri formaateissa, kuten XML, JSON tai STEP. (bSI, 2020).

IFC-Skeema on Building Smart Internationalin (bSI:n) laatima standardoitu datamalli, jonka pääasiallinen tavoite on edistää avoimeen tiedonsiirtoon perustuvaa tietomallintamista. IFC-datamalli perustuu loogisesti koodattaviin tietoihin esimerkiksi seuraavista asioista:

- Rakenteen perustiedoista (nimi, tunniste, objektityyppi tai toiminto)
- Ominaisuuksista ja attribuuteista (esimerkiksi väri)
- Riippuvuuksista (esimerkiksi sijainti tai omistajatiedot)
- Objekteista (rakennushankkeen fyysiset komponentit, kuten pylväät ja laatat)
- Abstrakteista käsitteistä (esimerkiksi suorituskykyihin tai kustannuksiin liittyviä tietoja)
- Rakennushankkeen prosesseista (esimerkiksi asentamiseen liittyvistä tiedoista)
- Hankkeen eri osapuolien tiedoista (esimerkiksi suunnittelijoista, urakoitsijoista tai toimittajista)

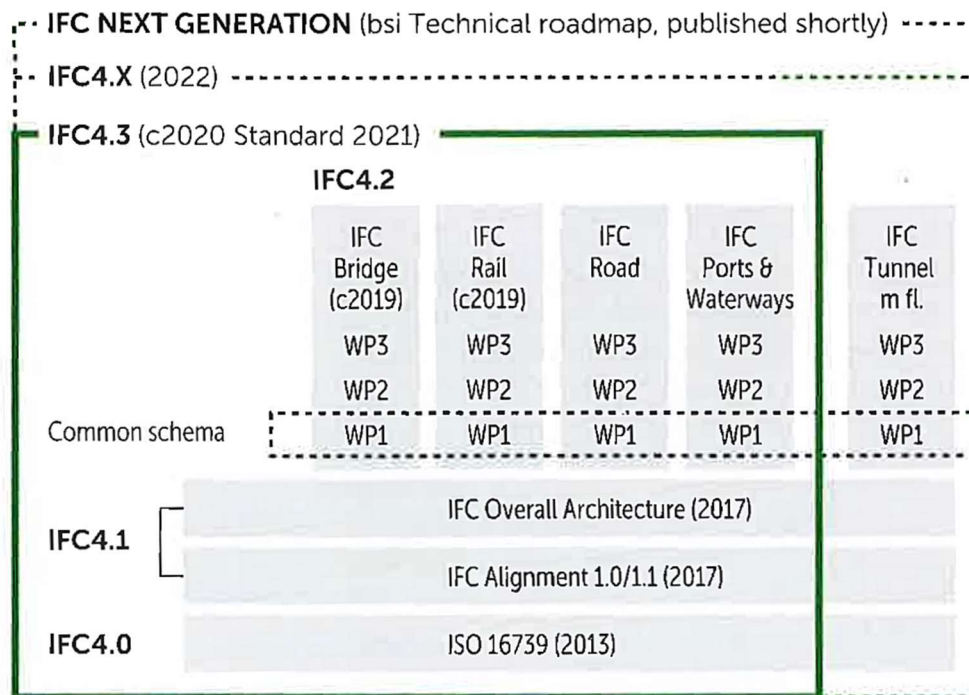
IFC-Schemalla voidaan kuvata laajasti erilaista informaatiota rakennuskohteen käyttöön,

rakentamiseen ja operointiin liittyen. Kattavan tietorakenteen vuoksi se sisältää paljon mahdollisuuksia erilaisten ominaistietojen sisällyttämisen kohteen rakennusosille. (bSI, IFC, 2020 Kattava tietorakenne tuo osaltaan nykytilanteessa myös ongelmia, sillä IFC-formaatin tietosisältö voi välittyä eri tavalla riippuen käyttäjien mallinnustavoista tai kyseessä olevista ohjelmistoversoista (Liikennevirasto, 6/2014, 32). Eräs IFC-tiedonsiirrossa esiintyvistä ongelmista on standardin antama vapaus kirjoittaa ominaisuustietoja eri tietokenttiin. Lisäksi on havaittu, että ohjelmistovalmistajilla esiintyy eroavaisuuksia siinä, minne tietokenttiin ominaisuustietoa on kirjoitettu. (Metsola, 2017, 41)

IFC:n infraan liittyvää tiedonsiirtoa on harjoitettu vasta vuodesta 2017 lähtien, siltojen osalta sitä on käytetty jo pidempään. Siltasuunnittelussa pidemmän aikaan yleisesti käytössä olleet ohjelmistot ovat tukeneet IFC-pohjaista tiedonsiirtoa. IFC-laajennosten osalta tehdään jatkuvaa kansainvälistä kehitystyötä, jossa odotettavissa on myös infra-alan yhteisten elementtien koostamista ja määrittelyä, jossa geotekniikka on keskeisessä osassa. (Perttula, 2018, 12)

Kuvassa 9 on esitetty BuildingSMART Finlandin infraryhmän vuonna 2021 tekemä arvio IFC-standardin kehittymisestä ja tulevien laajennosten aikajärjestyksestä.

#### INFRASTRUCTURE EXTENSIONS - OVERALL PROGRESS



**Kuva 9.** BuildingSMART Finlandin arvio IFC-standardin seuraavista kehitysskelista (Perttula, 2021, 37).

Virallisena standardina vuonna 2021 julkaistava IFC4.3 laajennosta seuraava kehityssarja on IFC-Tunnel, jonka tarkoituksena on kattaa datamallissa tunneleille keskeisten elementtien, kuten maaperän geologia, geotekniikka ja pohjarakentaminen, semantiikka ja geometria. (bSI InfraRoom, 2020, 6) Vaikka IFC-Tunnel -projektissa keskitytäänkin tarkastelemaan pääasiassa tunneleihin liittyviä määrittelyitä, kehitetään sen myötä kaikille ”domaineille” yhteisiä elementtejä, joissa geotekniikka on keskeisessä osassa.

#### 4.2.1 Laajennosten geotekninen sisältö

IFC-tiedonsiirtostandardin seuraavassa valmisteilla olevassa IFC4.3 laajennoksessa päätarkoituksena on laajentaa datamallia rautatie-, tie-, satama- ja vesiväyläalueiden infrastruktuurirakenteiden kuvaamiseen sekä kattamaan näille aloille yhteiset elementit. Uuden päivityksen tavoitteena on järkeistää ja parantaa nykyisen spesifikaation rakennetta vastaamaan kehitystyössä laajennettua luokittelua. Uusi laajennos tulee kattamaan suunnittelualoille yhteisiä elementtejä, tuoden standardin datamalliin määrittelyitä myös geotekniikkaan. (bSI, IFC Release Notes, 2020)

IFC-Tunnel-laajennoksen kehitystyössä on huomioitu kansalliset näkökulmat ja aloitteet. Projektin tavoitteena on luoda ja tarjota suunnittelu- ja rakennusallalle avoin tiedonsiirtostandardi, joka kykenee siirtämään ja arkistomaan tunnelien mallit neutraalissa ISO-muodossa. ISO-standardia noudattava datamalli on toimittajasta riippumaton, jolloin tiedon jatkuvuus on taattu pitkälläkin aikavälillä. IFC-Tunnel-kehitysprojekti etenee kahdessa vaiheessa. Ensimmäisen vaiheen tulokset määrittävät projektin soveltamisalan sekä asettavat vaatimukset toisessa vaiheessa tehtävälle käsitteelliselle mallille sekä varsinaiselle datamallille. (bSI InfraRoom, 2020, 6-7) Kehitysprojekti perustuu tunneleiden tiedonsiirrossa keskeisiin määrittelyihin, joissa geotekniikka on merkittävässä osassa. Tässä tutkimuksessa on avattu IFC-Tunnel kehitysprojektin tuloksia, sillä niissä esitetyt periaateratkaisut ja kehityssarjat tuovat laajemmin määrittelyitä IFC-standardin laajentumiselle geotekniikkaan.

IFC-Tunnel laajennosta on kehitetty todellisten case-kohteiden avulla, joissa geoteknisellä mallintamisella on havaittu olevan merkittävä rooli kaikissa projektivaiheissa. Pohjaolosuhteiden mallipohjaisella kuvaamisella on havaittu olevan keskeinen asema hanketta ohjaavan päätöksenteon ja suunnitteluratkaisujen valinnoissa. Lisäksi maaperään

liittyvien epävarmuustekijöiden tunnistamisella ja hallinnalla voidaan aikaansaada merkittäviä kustannussäästöjä hankkeilla. Standardin kehitystyössä on tunnistettu tarvetta geologisen ja geoteknisen tiedon standardoimiselle siten, että IFC-tunnelin lisäksi huomioidaan yhteensopivuus muihin olemassa oleviin standardeihin, joissa geotekniikka ja geologia on keskeisessä osassa. Maaperämallien integroimista tietomalliympäristöön vaaditaan jo nykytilanteessa etenkin tunneliympäristöissä. Geologisten ja geoteknisten mallien laajentaminen IFC-standardin piiriin on siten hyvin perusteltua. (bSI InfraRoom, 2020, 50)

#### 4.2.2 Geoteknisen aineiston luokittelu

IFC:ssä on tunnistettu, että geologiaan ja geotekniikkaan liittyvät erityispiirteet pitävät sisällään haasteita mallipohjaisten ratkaisujen kehittämiseksi. Maaperää ei voida hallita fyysisten objektien tavoin, vaan luonnollisena ympäristönä se voi olla rakenteeltaan, geometrialtaan ja alueellisilta ominaisuuksiltaan hyvin monimutkainen järjestelmä. Tietoa maaperästä ei tyypillisesti kuvata standardoidun materiaaliominaisuustiedon perusteella, vaan maaperän heterogeenistä luonnetta pyritään jäsentämään erilaisilla luokituksilla. Tulvat luokitukset voivat perustua muun muassa geologisiin ominaisuustietoihin, kuten ikään, stratigrafiaan, litologiaan tai mekaanisiin ominaisuuksiin ja ne riippuvat käyttötarkoituksesta ja hankkeelle asetetuista vaatimuksista. (bSI InfraRoom, 2020, 50)

IFC-Tunnel -kehitysprojektissa keskeinen näkökulma on geoteknisestä datasta tehtävä selkeä erottelu faktatietoa edustavan aineiston ja faktatiedon pohjalta tulkitun tiedon välille. Faktatiedoksi luettavaa aineistoa ovat esimerkiksi kairausdiagrammit, laboratorio-testitulokset ja maastokartoitukset. (bSI InfraRoom, 2020, 51)

Geotekniseksi dokumentaatorakenteeksi on esitetty aineiston jakoa erillisiin ”kirjoihin” – eli peräkkäisiin alaluokkiin, joista kukin hyödyntää edeltävän luokan sisältöä (bSI InfraRoom, 2020, 52-53). Geoteknisen aineiston jakamisen periaate on esitetty kuvassa 10, jossa kolmeen kirjaan jaotellut aineistotyytit ovat tiiviisti linkittyneitä toisiinsa (Beaufils M, 2019)





**Kuva 10.** Geoteknisen dokumentaation luokittelu A, B ja C kirjaan. Kuvassa A=havainto, B=tulkinta ja C=luokkaan B perustuvat sovellukset. (Beaufils M, 2019)

Aineiston ”kirjat” on jaettu painopisteittäin kolmeen luokkaan, jotka käsittelevät omaa aihepiiriään:

- Kirja A: Faktatietoon perustuva aineisto eli data, joka on todennettu mittauksilla tai havainnoilla.
- Kirja B: Tulkitut mallit eli kirjan A aineistoon perustuvat geologiset ja geotekniset mallit.
- Kirja C: Suunnitteluratkaisut, sovellukset sekä riskin arviot, jotka perustuvat kirjan B tulkittuihin malleihin.

Jotta geoteknistä dokumentaatiota voidaan kuvata standardoidulla tavalla, on kirjojen väliset rajapinnat ja tiedonsiirtoformaatit voitava määrittää tietojen sujuvan yhdistämisen takaamiseksi. (bSI InfraRoom, 2020, 52-53)

Kirjan A faktapohjainen aineisto toimii mallien tietoperustana ja käsittää siten tärkeää täydentävää tietoa muun muassa siitä, kuinka mallit on luotu ja miten paljon ne sisältävät epävarmuutta. Nykytilanteessa laboratorio- ja in-situ kokeiden tulokset riippuvat vahvasti käytetyistä tutkimusmenetelmistä. Lisäksi faktatiedon hankintaan liittyy oleellisesti kansalliset standardit, datamallit ja tiedonsiirtoformaatit. Tällaisten tietojoukkojen soveltaminen IFC:hen ei nykytilanteessa ole tarkoituksenmukaista tai kovinkaan helposti toteutettavissa. Faktatietoon perustuvaa aineistoa käytetään hyväksi, kun verrataan rakentamisen aikana ilmi tulleiden pohjaolosuhteiden korreloimista kirjan B tulkittujen mallien aikaisemmin antamaan ennusteeseen. Kirjan B tulkintamallit kuvaavat odotettavissa olevia pohjaolosuhteita, jotka sisältävät aina epävarmuutta. Tulkintamallit antavat parhaan ennustuksen odotettavissa olevista pohjaolosuhteista ja niitä voidaan pitää tietoperustana

suunnittelutyölle ja rakenteellisille analyyseille tai lähtötietona rakennusmenetelmien valinnassa. (bSI InfraRoom, 2020, 53)

Faktatietoon perustuvan geologisen ja geoteknisen datan integrointia IFC-formaattiin tullaan vielä selvittämään tulevissa IFC:n kehitysvaiheissa. Selvennystä tarvitaan kaikille tunnistetuille pohjatutkimus- ja havainnointimenetelmille sekä niiden taksonomiselle luokittelulle. Kirjan A aineiston esittämisessä mahdollinen lähestymistapa olisi käyttää ”Placeholder”-elementtejä, jotka mahdollistaisivat esimerkiksi suorat linkit muihin tietokantoihin, dokumentteihin tai toisiin formaatteihin. Mikäli Placeholder-osiot sisältäisivät linkkejä toisiin standardeihin, tulisi niiden toimintatavat kuitenkin määrittellä selkeästi. (bSI InfraRoom, 2020, 53)

#### **4.2.3 Geoteknisen aineiston määrittelyt ja geometria**

IFC-Tunnel projektissa mukana olleiden case-kohteiden perusteella on tehty luonnos tulevasta geoteknisen datan ja mallien taksonomisesta luokittelusta, joka määrittelee aineistolle keskeisiä kategorioita ja termejä. Siinä geoteknisen luokituksen pääpainona on hyödyntää kirjoja A, B ja C sekä niiden välistä yhteyttä. Luokat on jaettu kahteen pääryhmään, joita ovat GeoDocu ja Interpreted Models. GeoDocu-kategoria perustuu kirjassa A esitettävään faktapohjaiseen lähtötietoaineistoon. Interpreted Models -kategoria sen sijaan perustuu tulkittujen mallien luokitteluun ja perustuu siten kirjan B geologisiin, hydrologisiin ja geoteknisiin malleihin. Kategorioiden välinen vertailu havaintojen ja tulkinnan välillä pyritään mahdollistamaan kaikissa projektivaiheissa luomalla samat ominaisuudet useille eri elementeille molempiin kategorioihin. Kategorioihin liittyvät ominaisuuskentät on jo luotu ja niihin tullaan standardin tulevissa kehitysvaiheissa sisällyttämään tarkemmin esimerkiksi geoteknisiä parametrejä ja ominaisuustietoa. (bSI InfraRoom, 2020, 64)

GeoDocu-kategoria kattaa paikkatietoon liittyvän aineiston lisäksi rakentamisen aikana tuotettavia asiakirjoja, jotka voivat pitää sisällään esimerkiksi dokumentaatiota maaperäleikkauksista tai täydentävästä pohjatutkimusaineistosta. GeoDocu-kategoriaa kehitetään siten, että siinä voidaan esittää projektikohtaisesti käytössä olevat luokitukset, geotekniset mittayksiköt yhteydet lähtötiedosta tehtyihin tulkintamalleihin. GeoDocussa voidaan kuvata ja luokitella maaperän ominaisuuksia vaihtoehtoisilla tavoilla riippuen lopullisesta käyttötarkoituksesta. Kirjan A tietosisältöä, kuten laboratoriotestien ja kairausdatan esit-

tämistä varten IFC:hen tulee ”Placeholder”-elementtejä, joilla voidaan kuvata tietoja käytetyistä menetelmistä sekä avainparametreista. Riippuen hankintamenetelmistä ja käytetyistä sovelluksista, GeoDocu-aineistoa voidaan liittää attribuutteina useisiin geometriisiin esitystapoihin, kuten pisteisiin, viivoihin tai tilavuusdataan. (bSI InfraRoom, 2020, 64)

Interpreted Models päätaksonomiassa ”GeoModel” osion elementtien kuvaamiseen käytetään GeoSciML:n mukaista terminologiaa. GeoModel-osiossa tektoniset viat, kuten kallioperän muutokset tulisi voida esittää joko pintoina tai tilavuuksina. Kategorian HydroGeoModel-osio sisältää tilavuuden kautta kuvattavan pohjaveden sekä vedenpinnan tason. GeoTechModel-osiossa huomioitavaa on, että ”Fault zone”- vyöhykkeeseen kuuluvat materiaalit, kuten rikkonainen kallio tulisi voida esittää GeotechnicalUnit-osiossa niin ikään tilavuuden kautta. Mallien epäjatkuvuudet tulisi voida kuvata GeotechModel-osiossa ”Discontinuity” elementtinä 3D-pintana. Keskeistä epäjatkuvuuksien kuvaamisessa on erotella faktapohjaisen ja tulkitun datan väliset epäjatkuvuudet toisistaan. Faktapohjaista dataa kuvaavat epäjatkuvuuskohdat ja niitä koskevat parametrit, kuten leikkauslujuusparametrit voidaan kuvata erillisinä ominaisuuksina tai setteinä. GeoTechModel sisältää kaksi vaihtoehtoista lähestymistapaa siirtää tietoa odotettavissa olevista geoteknisistä olosuhteista, joilla voidaan myös hallita mallin sisältämää epävarmuutta:

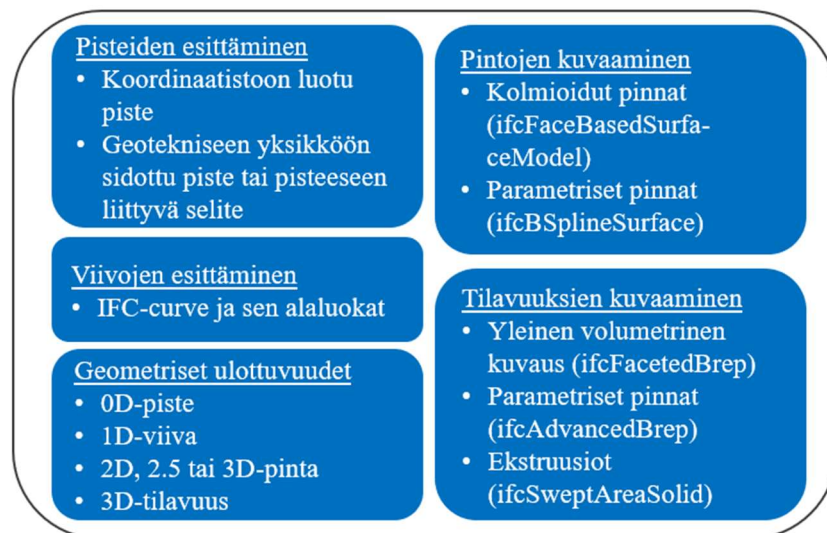
1. Erillisesti mallinnetut epäjatkuvuuskohdat ja geotekniset yksiköt, joiden parametrit on määriteltty rakenteellista analyysiä varten. Malli voi kattaa koko projektialan tai pelkät avainpaikat, joita käytetään geoteknisiä analyysyjä ja laskelmia varten.
2. Yleispiirteisemmin mallinnetut maaosiot erityissovelluksiin, kuten mallit aikakustannusanalyysyjä varten. Mallien geometria voidaan kuvata alueellisina tilavuusvyöhykkeinä, joiden tekniset ominaisuudet ovat samankaltaiset ja alueille voidaan asettaa yhteneväisiä attribuutteja. Mallia voidaan myös käyttää perustana esimerkiksi riskinarvioinneille tai muille kirjan C käyttötarkoituksille. (bSI InfraRoom, 2020, 65)

Epäjatkuvuuksien kuvaaminen ja esittäminen on keskeinen aihepiiri Interpreted Models-kategoriassa. Siinä tärkein näkökulma on tehdä erottelu faktapohjaisen tiedon ja tulkitun tiedon välillä. Taksonomian kartoitukseen liittyvistä elementeistä ”Fault Surface” ja ”Fault Zone” on esitetty erillisinä osa-alueinaan, jotta ne voidaan erottaa lisähavaintojen perusteella paljastuneista epäjatkuvuuskohdista. On myös mahdollista, että Fault Surface-

tullaan kuvaamaan ”DiscreteDiscontinuity”- osion alaluokkana. (bSI InfraRoom, 2020, 65)

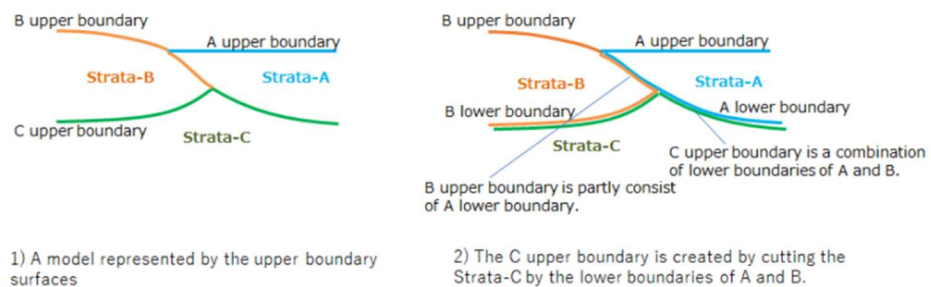
Joidenkin geoteknisten elementtien geometrian kuvaaminen IFC:ssä voi olla rajoittunutta. Tällaisia haastavasti 3D-ympäristössä kuvattavia objekteja ovat esimerkiksi edellä kuvatussa taksonomisessa luokittelussa esitetyn kirja A:n faktapohjaisen tiedon pohjatutkimuksien esittäminen. Niiden geometrinen esitystapa IFC:ssä kuvaa vain jossakin määrin tai ei ollenkaan kuvatun kohteen todellista muotoa. Faktapohjaisen tiedon geometriset esitystavat ovatkin karkeita ja idealisoituja kuvauksia välitettävästä tiedosta, joille on määritelty tietty sijainti. Viiva- ja pistemäinen aineisto on välttämätöntä faktapohjaisen datan esittämisessä huolimatta siitä, että esimerkiksi pohjatutkimustietoa voitaisiinkin kuvata erilaisilla muodoilla, kuten sylinterimäisillä objekteilla. (bSI InfraRoom, 2020, 66)

Kirjan A faktapohjaisen datan ja sen perusteella kirjassa B tulkittujen mallien kuvaaminen tietomallissa vaatii niiden geometrialta tilavuuskappaleiden ja pintojen yhdistelmiä. Kuvassa 11 on esitetty geoteknisen ja geologisen informaation kuvaamiseen tarpeellista geometriatietoa, joita IFC-Tunnel kehitysprojektissa on standardille esitetty. (bSI InfraRoom, 2020, 66-67)



**Kuva 11.** Geoteknisten ja geologisten mallien geometriatietoja IFC-Tunnel kehitysprojektin tuloksista mukailtuna (bSI InfraRoom, 2020, 66).

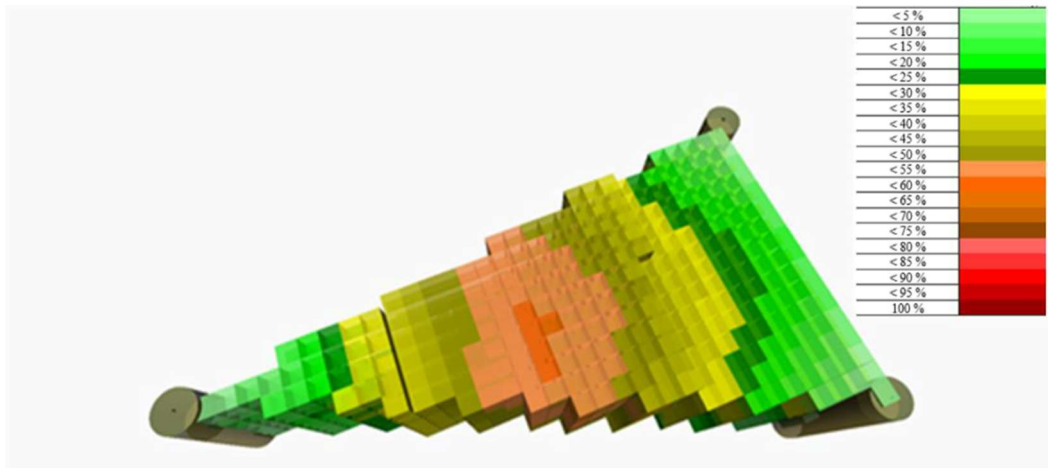
Maaperämallin maalajikerrosjärjestys voidaan kuvata ylä- ja alapuolisten rajakerrosten kautta, jota on mahdollista täydentää, kun lisäpohjatutkimustietoa tulee saataville. Kuvassa 12 on esitetty maaperämallin täydentämisen yhteydessä lisättävän alapuolisen rajapinnan merkitys koko mallin kuvantamiseen. Pintamallien ja solidipohjaisten visualisointitapojen lisäksi rakennemallit ovat tarpeellinen lisä IFC:hen, jotta tiedonsiirto on mahdollista myös solupohjaisen datan osalta. Voxel-ruudukon kaltaiset rakennemallit mahdollistavat myös rakenneosiin liitettävät spesifit maaolosuhteet, joita on helppo muokata ja laajentaa alueellisesti. (bSI InfraRoom, 2020, 67-68)



**Kuva 12.** Maakerroksen alapuolisen rajapinnan lisääminen malliin, kun mallia päivitetään lisätutkimusten myötä. (bSI InfraRoom, 2020, 67)

#### 4.2.4 Geoteknisten mallien epävarmuustekijät IFC-tiedonsiirrossa

Maaperätulkintoihin liittyvien epävarmuustekijöiden ja ominaisuuksien kattaminen on koettu tärkeäksi IFC-tiedonsiirrossa. Epävarmuuden visualisointitapoja on pohjustettu esimerkiksi Krigin-tyylisillä rakennemalleilla, joissa pohjaolosuhteiden epävarmuutta interpoloidaan kairausdatan perusteella. Kuvassa 13 on esitetty Krigin-rakennemallilla visualisoitua epävarmuutta, jossa ruudun mukaista värikoodia vastaa tietty todennäköisyys. Epävarmuus pohjaolosuhteista kasvaa siirryttäessä kauemmaksi varmennetuista havaintopisteistä. (bSI InfraRoom, 2020, 67-68)



**Kuva 13.** Epävarmuuden visualisointia Krigin-interpolaatioon perustuen (bSI InfraRoom, 2020, 68).

IFC:ssä geoteknisen sisällön kehittämistä varten pohjaolosuhteisiin liittyviä epävarmuustekijöitä on pyritty tunnistamaan ja niiden hallintaan on esitetty useita lähestymistapoja. Kirjan A mukaiselle faktatietoa käsittelevän datan osalta tunnistettuja epävarmuustekijöitä:

- Faktapohjaisen tiedon hankinnassa lokalisoinnin ja parametrien mittaamisessa luontaista metodologiaa ovat erotuskyky eli resoluutio, epätarkkuus, tilastollisuus ja hajonta.
- Resoluutio ja epävarmuus mitatuissa arvoissa riippuen hankintamenetelmistä.
- Maaperän heterogeenisyys ja näytekoko/testattu määrä, joka aiheuttaa tilastollista hajontaa.
- Lokalisointiin liittyvät seikat, kuten kairauksien taipuminen sekä maaperän testimetodien spatiaalinen resoluutio.

IFC-Tunnel laajennoksessa faktapohjaisen tiedon epävarmuustekijöiden osalta ehdolla on kuvata mittauksia vaihtelevilla ominaisuusarvoilla, joiden arvojakauma on rajattu. Tois-taiseksi ehdolla on myös lisätä faktatiedolle ominaisuuksia, joilla voidaan ilmaista määrällisesti tarkkuuteen, hajontaan ja metodologiaan liittyviä seikkoja. (bSI InfraRoom, 2020, 69)

Kirjan B tulkittuihin malleihin liittyviä epävarmuustekijöitä on tunnistettu useita:

- Pohjatutkimuksien tiheyden ja tarkkuuden määrittäminen.

- Projektivaiheesta riippuvat mallien tarkkuustasot, jossa muun muassa monimutkaiset geologisten olosuhteet lisäävät merkittävästi epävarmuutta.
- Luokittelujärjestelmät, jotka voivat perustua geoteknisistä ominaisuuksista tehtäviin oletuksiin.
- Geotekniset parametrien määrittäminen heterogeenisen ”input datan” mukaisesti, joka perustuu tilastoituun aineistoon.
- Kallioperän epäjatkuvuudet ja ruhjeisuus.
- Mallin geometrian ja tarkkuus: epäjatkuvuuskohdat, joiden vikoja ei voida tarkasti ennustaa tai sijoittaa malliin.
- Malleissa esitettävät ominaisuustiedot ja rajavyöhykkeet ovat tulkittu alueellisesti tunnettujen arvojen ja olosuhteiden mukaan. Maaperään liittyvät epävarmuustekijät aiheutuvat myös geologisten olosuhteiden monimutkaisuudesta, jolloin maaperän ominaisuudet voivat vaihdella radikaalisti.

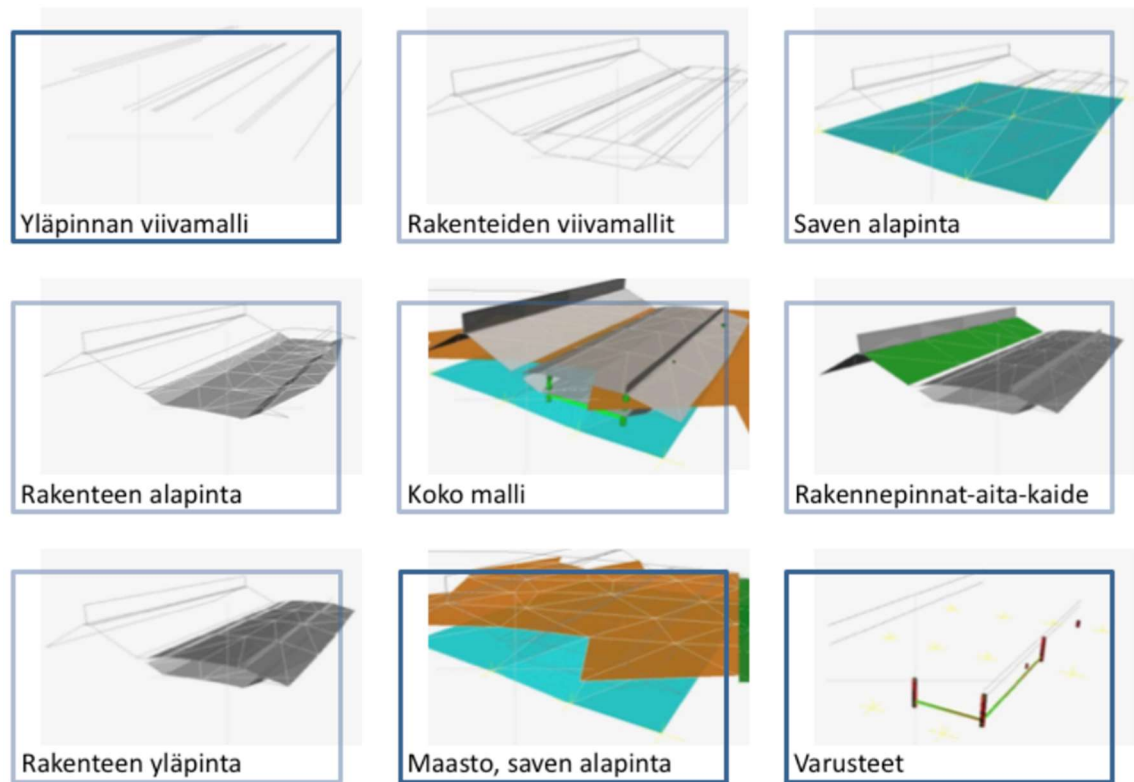
Ominaisuustiedon ja geoteknisten parametrien osalta epävarmuutta pyritään IFC:ssä hallitsemaan mahdollisuudella määrittää geotekniset suunnitteluparametrit rajatuilla arvoalueilla ja asettamalla parametreille geoteknisten olosuhteiden monimutkaisuutta kuvaava luokittelu. Geometrian osalta laajennokseen on ehdotettu mahdollisuutta lisätä mallin objekteihin attribuutteja, joihin voitaisiin lisätä epätarkkuuteen liittyviä ominaisuustietoja. Epävarmuustekijöiden hallinnassa laajennoksessa ehdolla on myös faktapohjainen datan visualisointi ja sen linkittäminen tulkintamalleihin. Faktapohjaisen datan visualisoinnilla ja linkittämisellä siitä tehtyihin tulkintoihin voitaisiin myös arvioida mallintamista laadullisesta näkökulmasta. (bSI InfraRoom, 2020, 69-70)

## 4.3 Inframodel-tiedonsiirtoformaatti

### 4.3.1 Inframodel-formaatti

Kansallinen tiedonsiirtoformaatti Inframodel on avoin ohjelmistoriippumaton formaatti infratietojen siirtämiseen. Inframodel-formaatti perustuu kansainväliseen LandXML-standardiin ja sitä käytetään yleisesti mallipohjaisen suunnitteludatan tiedonsiirrossa. Inframodel-formaatti voi sisältää informaatiota kohteen geometriasta, objekteista sekä kohteen metatiedoista. Kuvassa 14 on esitetty havainnekuvilla, millaista informaatiota Inframodel-formaatti voi pitää sisällään. Formaatti on kehitetty kansallisiin tarpeisiin, joita kansainväliset linjaukset ja IFC-standardi eivät kaikilta osin vielä ole kattaneet. Tiedon-

siirtoon liittyvän kokonaisuuden kattamiseksi Inframodel vaatii rinnalleen mallinnusvaatimukset sekä yhdenmukaisen InfraBIM-nimikkeistöjärjestelmän. Inframodel-formaattia käytetään yleisesti suunnitteluohjelmissa, mutta se on laajasti käytössä myös mittaus- ja koneohjaussovelluksissa sekä suunnitelmien tarkastuksessa käytössä olevilla alustoilla. (bSF, Inframodel4-käyttöohje, 2019, 1-3, 5)



**Kuva 14.** Havainnekuvia Inframodel-tiedoston mahdollisesta tietosisällöstä (bSF, Inframodel4-käyttöohje, 2019, 5).

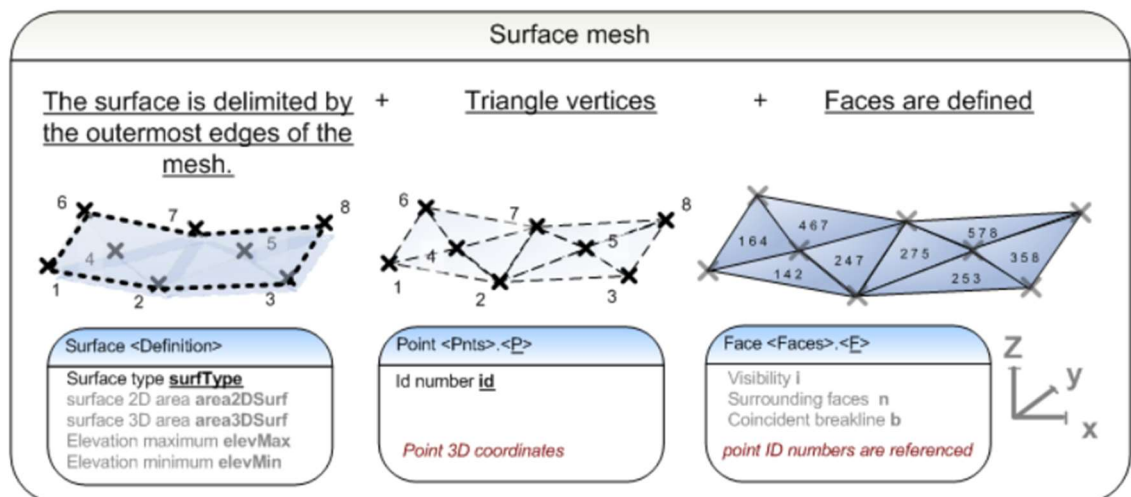
Geotekniikan näkökulmasta Inframodel-tiedosto voi välittää tietoa esimerkiksi lähtötietoaineistoon tai pohjavahvistuksiin liittyvää informaatiota. Lähtötietoaineiston osalta tiedot ja niiden määrittelyt voivat pitää sisällään maasto- ja maaperämallin pintoja, kolmioverkkojen muodostamia pintoja, yksittäisiä pisteitä ja viivoja sekä niiden välisiä laji-koodauksia. Pohjavahvistusten osalta Inframodel-formaatilla voidaan kuvantaa pintamaisia rakenteita, vasta- ja ylpenkereitä sekä massanvaihtoja. Inframodel4-spesifikaatio sisältää uusimpina lisäyksinä geotekniikkaan liittyviä määrittelyitä etenkin maaperämallin ja pilaristabiloinnin osalta. Lisäksi Inframodel mahdollistaa aluemaisesti kuvattavien geoteknisten rakenteiden tiedonsiirron pintoina omina rakenteinaan, joille on määritelty tarkemmat materiaaliominaisuudet. (bSF, Inframodel4-käyttöohje, 2019, 2, 4)



### 4.3.2 Geotekniset rakenteet ja ratkaisut Inframodel-tiedonsiirrossa

#### Pintamaiset rakenteet

Georakenteilla tarkoitetaan geoteknisissä suunnitelmissa esiintyviä aluemaisia rakenteita, joita on Inframodel4-kontekstissa mahdollista kuvantaa pintojen avulla. Pinnoilla kuvattavia rakenteita on formaatin määrittelyiden mukaan mahdollista esittää maastomallin ja maaperämallin kuvaamiseen käytettyjen periaatteiden mukaisesti. Inframodel-tiedonsiirrossa pintamallien geometria kuvataan kolmioverkkoilla, joiden kuvantamisperiaate on esitetty kuvassa 15. Pintamalli rajautuu mallinnettavan alueen uloimpiin pisteisiin, joiden sisälle kolmioverkko muodostuu. Kolmioverkko koostuu itsenäisien pisteiden välille muodostuvista kolmiopinnoista. Jokainen yksittäisen kolmiopinnan referenssipiste on yksilöity omalla ID tunnuksellaan. Yksittäiset kolmiopinnot kuvataan referenssipisteisiin viittaavalla tunnussarjalla. (bSF, Inframodel 4.0.4 Schema, 2020)



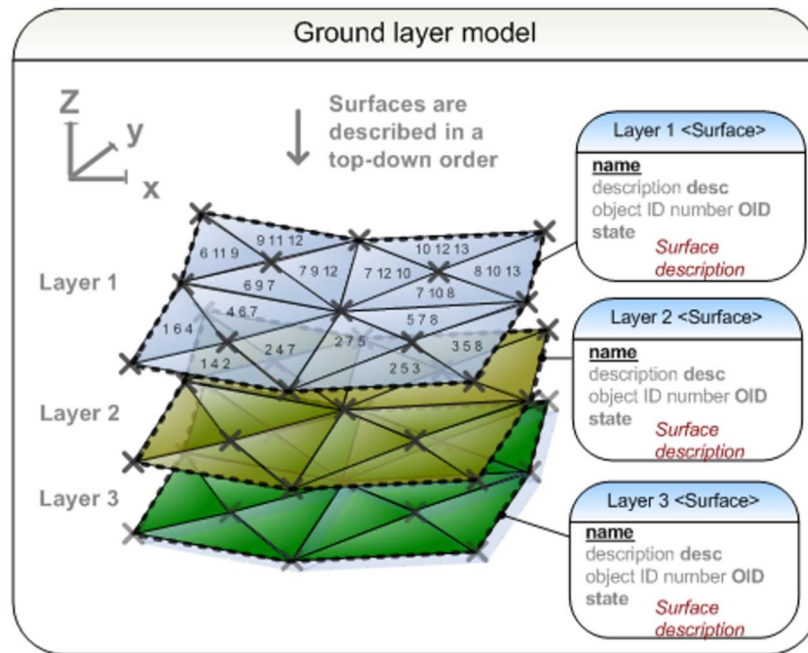
**Kuva 15.** Pintamallin kuvantamisperiaate kolmioverkolla (bSF, Inframodel 4.0.4 Schema, 2020).

Maasto- ja maaperämallin tavoin pinnoilla helposti kuvattavia georakenteita ovat esimerkiksi ylipenkereet ja pohjanvahvistukset. Pääpiirteittäin georakenteiden pintojen kuvantaminen koostuu edellä esitetystä kolmioverkkoperiaatteesta, johon voi lisäksi kuulua satunnaisia pisteitä ja katkoviivoja. Rakenteellisia pintoja tai poikkileikkauksia ei kuitenkaan yleensä määritetä georakenteille. Pinnoille on mahdollista määrittää maaperämallin tavoin kuvassa 16 esitettyjä alemman maakerroksen teknisiä ominaisuuksia. (bSF, Inframodel 4.0.4 Schema, 2020)

Yleisesti geoteknisissä suunnitelmissa esitettäviä rakenteita, joita voidaan Inframodel4-kontekstissa kuvata pintojen avulla ovat esimerkiksi luiskat, massanvaihtokaivannot, poistettavat ja täytettävät maat, pengerrakenteet sekä muun muassa ympäristäytöt ja eroosiosuojaukset. YIV:n (2019) mukaan edellä mainituille rakenteille geometriatieto on ainut pakollinen Inframodel-määrittelyjen mukainen osa luovutusaineistoa.

### **Maaperämallit ja rakennekerrokset**

Uusin Inframodel4-spesifikaatio sisältää maaperämalleihin liittyviä määrittelyitä. Formaatti mahdollistaa maaperän maalajikerrosten pintojen kuvaamisen omina pintoinaan, joille on määritelty materiaaliominaisuuksia. Maalajikerrosten muodostama maaperämalli voidaan tulostaa samaan Inframodel-tiedostoon tai pinnat voidaan esittää omissa tiedostoissaan. (bSF, Inframodel4-käyttöohje, 2019, 9) Maaperämallissa maakerrosrajapintaan, eli layeriin liitettävä maalaji yhdistetään pinnan alapuoliseen maalajikerrokseen. Toisin sanoen, ominaisuustiedot välitetään liittämällä maalajin informaatio yläpuoliseen rajapintaan. Esitystavan periaatteena on, että tarkasteltiinpa mallia mistä pisteestä tahansa, kertoo pisteen yläpuolelta löytyvä kolmiopinta kyseisen maalajikerroksen. Kuvassa 16 on esitetty Inframodel4-spesifikaation mukaisen maaperämallin periaate. Geometriatietojen lisäksi pakollinen ominaisuustieto maalajille on GEO-maalajiluokituksen mukainen maalaji. Maalajille valinnaisesti liitettäviä parametrejä ovat ISO-maalajiluokituksen mukaiset maalajiluokat, kelpoisuusluokat: S1-S4, H1-H4 ja U1-U4 sekä routaturpoamakerroin ja E-moduuli kuivissa ja märissä olosuhteissa. (bSF, Inframodel 4.04 Schema, 2020)



**Kuva 16.** Maaperämallin rakenne (bSF, Inframodel 4.0.4 Schema, 2020).

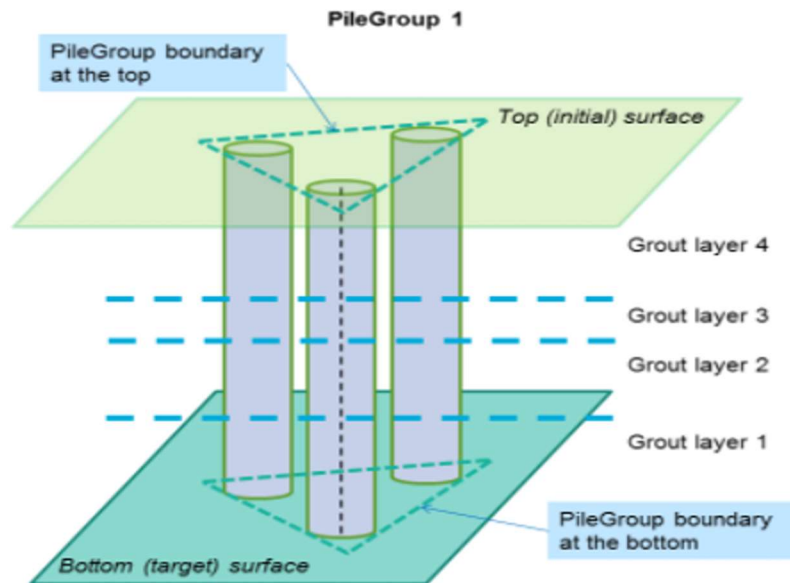
Menetelmä perustuu ”Representation of caves in a shield tunnel product model”- julkaisussa esitettyyn periaatteeseen, jossa yläpuolinen pinta välittää aina kyseisen maakerroksen ominaisuudet. Menetelmälle ominaista on mahdollisuus kuvata maaperämallin sisällä olevat eriytyneet alueet omina kerroksinaan, vaikka maaperässä esiintyisikin paljon vaihtelua. Kuvantamistavan on kuitenkin havaittu olevan haastava erityisesti CAD-pohjaisten ohjelmistojen käyttäjille, kun kohteet ovat laajoja tai pohjaolosuhteiltaan monimutkaisia. (N.Yabuki, 2008) Inframodelissa käsitellään vain maaperän maalajikerrosten pintojen kuvaamista, mutta siinä ei käsitellä kalliopintoja tai kallion heikkousvyöhykkeitä (Ikävalko et.al, 2017, 10).

Maalajikerrosominaisuuksille käytetään ensisijaisesti InfraBIM-nimikkeistön mukaisia pintakoodeja, vaikka ne eivät varsinaisesti ole osa Inframodel4-määrittelyä. Määrittelyssä oleellista on pintojen luokittelu tulkintatarkkuuden mukaisesti, jotka on nimikkeistöön jaoteltu tulkintapisteen tulkintavarmuuden mukaisesti. Tulkintavarmuuteen perustuva piste, voi olla esimerkiksi kairauksesta tulkittua maakerrosrajapintaa edustava piste. Nimikkeistö jaottelee pintamallin laajentamista varten tehdyt pisteet ja kairauksesta tulkitut pisteet omille pintakoodeilleen. Samalla annetaan tarkennus, jolla pinta on tullut havaita. Tarkennuksia voivat olla esimerkiksi kallionpinnalle tehty porakonekairaus, koekuoppa, tai muu varmennettu pinta. (bSF, InfraBIM-nimikkeistö, 2019, 36)

## Pilari- ja massastabilointi

Pilaristabiloinnin mallintaminen on pakollinen osa hankkeiden luovutusaineistoa. Pilaristabiloinnista on mallinnettava tavoitepinta ja työtaso sekä rakennussuunnitelmavaiheessa pilareiden 3D-tilavuuskappaleet. Hankevaiheille tarkentavat mallinnuksen tarkkuustasot löytyvät YIV:n liitteestä 3.1. Inframodel4-spesifikaatio sisältää useita määrittelyitä pilaristabiloinnille. Pilaristabilointi voidaan kuvata pilariryhmänä tai yksittäisen pilarin tarkkuudella. (YIV liite 3.1, 2019, 31)

Geometriatiedoiltaan pilaristabilointi voidaan kuvata pilariryhmän pintojen välisenä tilavuutena. Pilariryhmät mallinnetaan tilavuuskappaleena, jota rajaa stabiloinnin ylä- ja alatasen pinta. Stabilointia rajaavat pinnat täytyy määrittellä työn aloitustasolla maanpinnassa ja työn päättymistasolla esimerkiksi savikerroksen alapinnassa siten, että pilaristabiloitu alue jää rajauksien sisäpuolelle kuvan 17 mukaisesti. Pilarointia ylä- ja alapäässä rajaava alue tulee määrittellä vähintään kolmella pisteellä, johon tarvitaan 2D-koordinaattitiedot xy-tasolla. (bSF, Inframodel 4.04 Schema, 2020)



**Kuva 17.** Pilaristabiloinnin esittäminen ryhmänä (bSF, Inframodel 4.04 Schema, 2020).

Pilariryhmälle voidaan asettaa useita ominaisuustietoja ja attribuutteja. Geometriatietojen lisäksi pilariryhmälle pakollisina tietoina täytyy määrittää tunnistetiedot (ID-nimi/numerointi) sekä yksittäisen pilarin halkaisija. Pilariryhmässä yksittäisen pilarin

halkaisija voidaan määrittellä pilarin poikkileikkauksen mukaan ympyrän tai neliön muotoisena. Lisätietoihin pilariryhmät voidaan nimetä erikseen, antaa ryhmälle erillinen kuvaus, esittää tavoite leikkauslujuus, sideaineen tyyppi, sideaineen seossuhde ja määrät, stabiloinnin ylösnostonopeus, sekoitinkärjen minimi ja maksimipyörimisnopeus, minimi ja maksimi injektioaine, ilmasyötön määrä sekä pilarien riviväli. (bSF, Inframodel 4.04 Schema, 2020)

Yksittäiset syvästabilointipilarit pilariryhmässä kuvantuvat tilavuuskappaleina. Mikäli pilariryhmässä spesifioidaan yksittäisiä pilareita, vaaditaan pilarin määrittelyssä pakollisena tietona pilarin ID-tunnistetiedot sekä pilarin statustieto. Statustiedossa määritellään pilarin status työvaiheen mukaisesti. Status voi olla esimerkiksi suunniteltu, työ kesken tai valmistunut. Yksittäiselle pilarille voidaan myös määrittää valinnaisia ominaisuustietoja, jotka siirtyvät Inframodel4-formaatissa. Tällaisia ominaisuustietoja ovat xyz-koordinaattitiedot pilarin ylä- ja alapään keskipisteessä, pilarin asennussuunta ja kulma sekä asennuksen tavoite ja lähtötaso. Yksittäiselle pilarille voidaan lisäksi määrittellä maakerroskohtaisia sideainekerroksia. Sideainekerroksien ominaisuudet määritellään stabiloitavan maakerroskohtaisten ominaisuuksien mukaisesti. (bSF, Inframodel 4.04 Schema, 2020)

### **Pohjatutkimusten mallinnusvaatimukset**

YIV:n liitteen 3.1 mukaan suunniteltujen maa- ja kallioperätutkimuksien mallintaminen rakennus-, tie-, katu-, puistosuunnitelmavaiheissa voi olla hankekohtaisesti pakollista. Tutkimuksia ei ole tarpeen mallintaa, jos kohde sijaitsee rakentamattomalla alueella. Mallintaminen on kuitenkin tarpeellista, mikäli tutkimukset sijoittuvat alueelle, jossa on väistettäviä rakenteita ja kairaukset ovat kallistettuja. Tutkimukset mallintamalla pyritään varmistamaan olemassa olevien kohteiden vahingoittumattomuus rakentamisen aikana. Kairaukset voidaan mallintaa sylinterinä tai 3D-kairausdiagrammina. Mallinnettaessa toteutuneet kairausreiät sylinterimäisinä objekteina, on sylinterien halkaisijaksi määritelty yksi metri. Kairausreikä on myös mallinnettava, mikäli reikään on sijoitettu rakentamisen aikana käytössä olevia mittalaitteita. Inframodel4-formaatti ei kata muissa suunnitelma-dokumenteissa esiintyviä pohjatutkimuksille keskeisiä ominaisuuksia, kuten kairaustunusta, kairausmenetelmää, tehtäviä tutkimuksia, maaperän ominaisuuksia tai kairaustyöhön liittyvää tietoa. Inframodel määritysten mukaan maa- ja kallioperätutkimusten geometria on pakollinen osa luovutusaineiston tiedonsiirtoa. (YIV liite 3.1, 2019, 6, 17-18)

Pohjatutkimustulokset ovat YIV:n mukaan ensisijaisesti suunnitteluvaihetta koskevaa tietoa, eikä tuloksia ole luovutusaineiston tiedonsiirron vaatimusten mukaan pakollista mallintaa. Toisaalta tutkimustuloksista poimitaan mallintamiseen tietoja esimerkiksi maaperämalleissa, pohjavesimalleissa tai maalajikerrosrajapintojen mallintamisessa. Tällä hetkellä yleisenä toimintatapana on siirtää maa- ja kallioperätutkimustiedot Infra-pohjatutkimusformaattissa. (YIV, 2019, 17)

#### 4.4 Infra-pohjatutkimusformaatti

Infra-pohjatutkimusformaatti on Suomen Geoteknisen Yhdistyksen (SGY) kansalliseen käyttöön kehittämä ja pohjatutkimusten tiedonsiirtoon vakiintunut formaatti. Pohjatutkimusformaatin uusin versio 2.5 on julkaistu vuonna 2018. Formaatin tiedonsiirto kattaa Suomessa yleiset kairaukset, näytteenotot ja laboratorion perusmääritykset, kuten rakeisuustiedot. Pohjatutkimusformaatti ei kata kallionäytekairauksia lukuun ottamatta vinoja kairauksia, geofysikaalisia tutkimuksia maastossa eikä laboratoriossa tehtävien puristus ja kolmiaksaalikokeiden tuloksien tiedonsiirtoa. Formaatti ei myöskään aseta määritellyitä tutkimusten esittämiseen leikkauksissa tai kartoilla. (SGY, Infra-pohjatutkimusformaatti v2.5, 2018, 3) Pohjatutkimusformaatti on nykytilanteessa yleisesti käytössä oleva formaatti, sillä avoimet tiedonsiirtostandardit eivät vielä tue pohjatutkimuksia koskevaa tiedonsiirtoa (Kempainen & Liukas, 2015, 8).

Infra-pohjatutkimusformaattia pidetään kansallisesti yleisesti toimivana standardina, sillä sitä noudatetaan laajasti ja sen tietoja ylläpidetään. Formaatin tietosisältö on standardoidussa muodossa, jota käytössä olevat järjestelmät osaavat hyödyntää suunnittelun tarpeisiin. Ohjelmistot pystyvät lukemaan ja muodostamaan formaatilla kairausdiagrammeja ja symboleja. Tekstimuotoinen riviformaatti voi osoittautua tulevaisuudessa kömpelöksi, mikäli tarve kuvata ominaisuus- ja metatietoja kasvaa. (Liukas & Korkiala-Tanttu, 2019,7) Tärkeitä metatietoluokkia, joiden kehittäminen pohjatutkimusten osalta voi tulevaisuudessa olla tarpeen ovat esimerkiksi resursseja yksilöivät tiedot, tiedon alkuperään kantaa ottavat lähteet, aineistoa koskevat kuvaukset, tietosisältöä määrittelevät kentät sekä paikkatietoa kuvaavat ominaisuudet (CityGeoModel, 2015).

Infra-pohjatutkimusformaatin sisältämä kairausinformaatio perustuu havaintoihin, eikä siinä ole mukana tulkintaa. Luku- ja kirjoitusmuodoltaan formaatin tietorivit perustuvat kaksikirjaimiseen riviavaimeen- eli tunnuksen, joka osoittaa mitä rivi pitää sisällään. Rivitietojen sarakkeet erotetaan vähintään yhdellä välilyönnillä. Riviavaimella osoitetaan

kairaushavaintorivejä lukuun ottamatta kaikki havaintorivit. Kairaushavaintojen luku ja kirjoitusmuoto täytyy olla täysin oikeassa muodossa riviavaimen, tutkimustapalyhenteen ja päättymistavan suhteen. Tiedoston sisällä voidaan käyttää tyhjiä rivejä. (SGY, Infra-pohjatutkimusformaatti v2.5, 2018 6)

Vaikka kansainvälisessä kehityksessä edetään kohti yhteneväisempää pohjatutkimusstandardia, on siihen vielä matkaa, sillä pohjatutkimusmenetelmät vaihtelevat maiden välillä laajasti (Liukas & Korkiala-Tanttu, 2019,7). Infra-pohjatutkimusformaattissa (2018, 4) sovelletaan useita kansainvälisiä standardeja, joita ovat:

- SFS-EN 1997-2 (Tutkimustapojen lyhenteet)
- SFS-EN ISO 14688-2 (Kansainväliset maaluokitukset)
- SFS-ISO 22475-1:2006 (Geotekninen tutkimus ja koeistus)

Tulevaisuudessa pohjatutkimustiedonsiirron kehittäminen ja käyttöönotto avoimissa tiedonsiirtoformaateissa edellyttää yhteistyötä ohjelmistokehittäjien ja muiden rakennusalan toimijoiden välillä (SGY, Infra-pohjatutkimusformaatti v2.5, 2018, 3).

Pohjatutkimuksessa esitettävä havaintoihin perustuva informaatio muuttuu tulkinnaksi, kun suunnittelija määrittelee kairauksen perusteella maakerrosrajoja. Tulkinta laajentuu entisestään, kun 2D- tai 3D-malliin määritellään maalajirajapintoja kairausten välille. Mallipohjaisen pohjatutkimusdatan jakamisessa onkin tunnistettu haasteeksi ongelmat ja lostetussa pohjatutkimustiedoissa, jotka perustuvat tulkintoihin. Pohjaolosuhteista johdettujen tulkintojen jatkokäytön kannalta on tärkeää, että tiedon uudelleen käyttäjällä on tietämystä siitä, kuinka tulkinta on tapahtunut ja mikä aineiston alkuperäinen käyttötarkoitus on ollut. Tietomalleihin sisällytettävässä geoteknisessä datassa tulisi erotella tulkittu ja havaintoihin perustuva informaatio toisistaan. (Chandler et.al, 2012, 3)

## 5 TUTKIMUSMENETELMÄT

### 5.1 Haastattelututkimus

Asiantuntijahaastatteluiden tavoitteena oli kartoittaa nykytilannetta geosuunnittelun tietomallintamisessa ja tuoda ilmi ongelmakohtia ja kehitystarpeita. Tutkimuksessa haastateltiin tyypillisessä infrahankkeessa toimivia osapuolia, kuten suunnittelijoita, urakoitsijoita, tilaajia sekä lisäksi ohjelmistoyritysten edustajia. Tavoitteena oli saada laaja-alainen katsaus eri osapuolten näkemyksistä geoteknisen mallintamisen nykytilasta ja haasteista.

Aineistoa kerättiin kolmella eri menetelmällä; sähköinen kyselylomake, sähköpostikysely sekä henkilökohtaiset haastattelut (kuva 18). Sähköinen kysely toteutettiin Webropol-kyselyllä, jossa jokaiselle vastausryhmälle oli kohdennettu omat kysymyksensä. Tutkimuksen liitteessä kolme on esitetty suunnittelijoiden kyselylomake. Saatua tietoa on täydennetty sähköpostivastauksilla sekä kolmannessa vaiheessa tehdyillä henkilökohtaisilla haastatteluilla. Kyselylomakkeiden tuloksia käytettiin henkilökohtaisten haastatteluiden runkona ja niiden pohjalta esitettiin haastateltaville tarkentavia kysymyksiä.



**Kuva 18.** Haastattelututkimuksen tiedon keräämiseen käytetyt menetelmät.

Haastattelututkimukseen osallistui 26 henkilöä. Heistä 15 oli suunnittelijoita, 4 urakoitsijoita, 3 tilaajia sekä 4 ohjelmistoyritysten edustajia. Suunnittelijoista 9 oli toiminut suunnitelmien ulkoisena tarkastuskonsulttina. Haastateltavia henkilöitä oli yhteensä 15 eri organisaatiosta.

### 5.2 Hanketutkimus

Hanketutkimuksen tavoitteena oli selvittää, millaista tietosisältöä voidaan sisällyttää silta- ja rakennuskohteiden geoteknisiin suunnitelmamalleihin ja millaisia haasteita mallipohjaisen aineiston tuottamisessa on. Lisäksi tarkasteltiin tutkimukseen valittujen pilottikohteiden



mallipohjaisen tarkastusprosessin vaatimuksia ja kehitystarpeita sekä millaista geoteknistä tietoa suunnitteluun käytetyillä ohjelmistoilla voidaan mallipohjaisesti tuottaa. Tutkimukseen valittujen siltakohteiden kartoituksessa keskeisenä näkökulmana oli löytää geotekniikaltaan mahdollisimman monipuolisia siltapaikkoja.

Tutkimukseen valittiin kolme siltakohdetta, jotka erosivat toisistaan sekä siltatyypiltään että pohjaolosuhteiltaan. Kaksi siltakohdetta valittiin jo päättäneiltä hankkeilta; Valtatie 12 Lahden Eteläisen Kehätien hankkeelta sillat S14 A ja B sekä Valtatie 5 Tuppurala-Nuutilanmäen hankkeelta Mikkelissä sijaitseva Särkimäentien risteyssilta (S13). Lisäksi tutkimuskohteeksi valittiin yhä käynnissä olevalta hankkeelta Hämeenlinnassa sijaitseva Vanajan silta, jossa geosuunnittelu toteutetaan täysin mallipohjaisesti.

Hanketutkimuksessa geosuunnittelun mallipohjaisen tarkastamisen tutkimiseen käytettiin Trimble Solutions Oy:n tarjoamaa Trimble Connect yhteiskäyttöalustaa. Trimble Connect valittiin tutkimuksessa tarkasteltavien kohteiden tutkimiseen, sillä ohjelma soveltuu hyvin suunnittelijan ja tarkastajan väliseen kommunikointiin ja se on infra-alalla yleisesti käytössä oleva alusta. Sovellusta käytetään usein myös hankkeiden projektipankkina, sillä mallien tarkastelun lisäksi se soveltuu hyvin myös muiden oheisasiakirjojen jakamiseen ja tarkastamiseen.

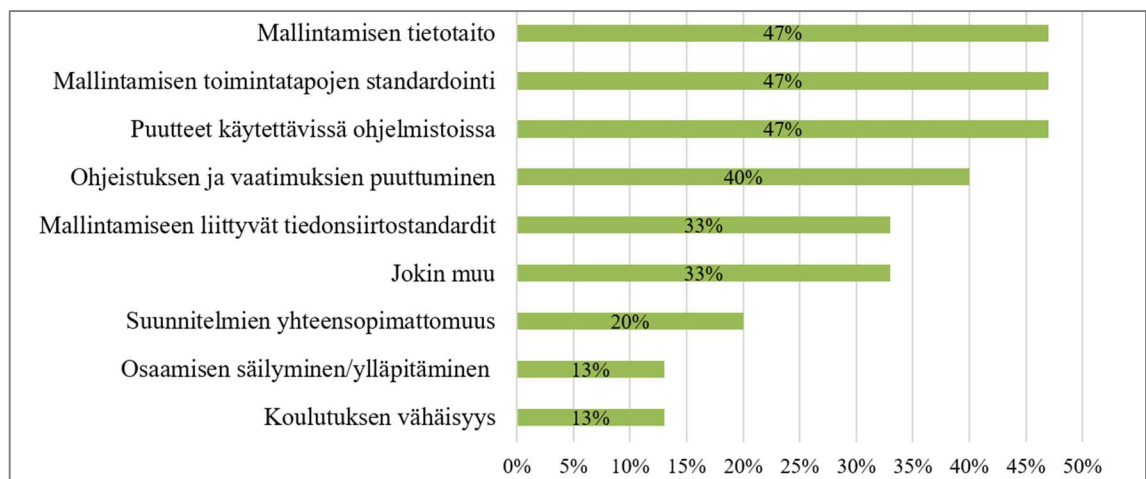
## 6 TUTKIMUSTULOKSET

### 6.1 Asiantuntijahaastatteluiden tulokset

Tässä osiossa käsitellään haastattelututkimuksen tuloksia aihepiireittäin. Tutkimustulokset on yhdistetty niiden asiasisältöä kuvaavien otsikoiden alle koottuna kaikista haastattelututkimuksen aineistonkeruumenetelmistä. Tulosten esittämisessä pääpaino on tutkimuksessa eniten haastateltujen suunnittelijoiden vastauksissa, jota on täydennetty muilta vastausryhmiltä kerätyllä aineistolla. Suunnittelijoille kohdistettu kyselylomake on esitetty liitteessä kolme. Haastatteluissa kerätyt tutkimustulokset on käsitelty anonymisti, eikä niissä ole huomioitu haastateltujen organisaatioita, vain työtehtävät.

#### 6.1.1 Mallintamisen haasteet ja osaamistaso geosuunnittelussa

Tutkimuksessa aiemmin tehdyn kirjallisuuskatsauksen ja siinä esiin tulleiden asioiden pohjalta suunnittelijoille esitettiin kysymys, mitkä tekijät he kokivat mallintamisessa haasteelliseksi (kysymys 9 liite 3). Haastateltavia pyydettiin valitsemaan monivalintavaihtoehtoista kolme merkittävintä haastetta. Vastauksien perusteella ei voida todeta suurinta yksittäistä haastetta, vaan esiin nousi useampi haaste (kuva 19).



**Kuva 19.** Suunnittelijoiden (n=15) vastausjakauma, kun kukin heistä valitsi kolme tekijää listalta esitetyistä haasteista geosuunnittelun tietomallintamisessa.

Haastattelu- ja kyselytulosten perusteella geoteknisen mallintamisen suurimmat kehitystarpeet kohdistuvat mallintamisen tietotaitoon, mallintamisen toimintatapojen standardointiin, tiedonsiirtostandardeihin sekä puutteisiin käytettävissä ohjelmistoissa. Muita suunnittelijoiden esiin nostamia haasteita olivat:

1. Mallintamisen vaatimukset
2. Geoteknisten mallien epätarkkuus
3. Nimikkeistön toiminnallisuus

Haastatteluissa suunnittelijat kertoivat haasteiden liittyvän alalla paljon vaihteleviin käytäntöihin ja tilaajan asettamiin vaatimuksiin. Geosuunnitelmien laatiminen YIV:n vaatimusten mukaisesti nähtiin olevan uusi ja ”pelottava” asia niin suunnittelijoille, tarkastajille kuin myös tilaajalle. Geoteknisiin suunnitelmamalleihin asetetaan usein epärealistisia odotuksia, sillä pohjaolosuhteiden kuvaaminen tarkkaan määritetyillä geometrioilla voi luoda vääränlaista luotettavuutta malleihin. Mallit voivat johtaa pahimmillaan aineiston käyttäjää harhaan, mikäli niiden alkuperäistä käyttötarkoitusta tai tulkintaperusteita ei tuoda ilmi riittävän selkeästi. Geosuunnittelun mallipohjaisille ratkaisuille ei ole vielä muodostunut yhteneväisiä toimintatapoja suunnittelun lähtötiedon tai suunnitteluratkaisujen epävarmuustekijöiden ja epätarkkuuksien kuvaamiseen.

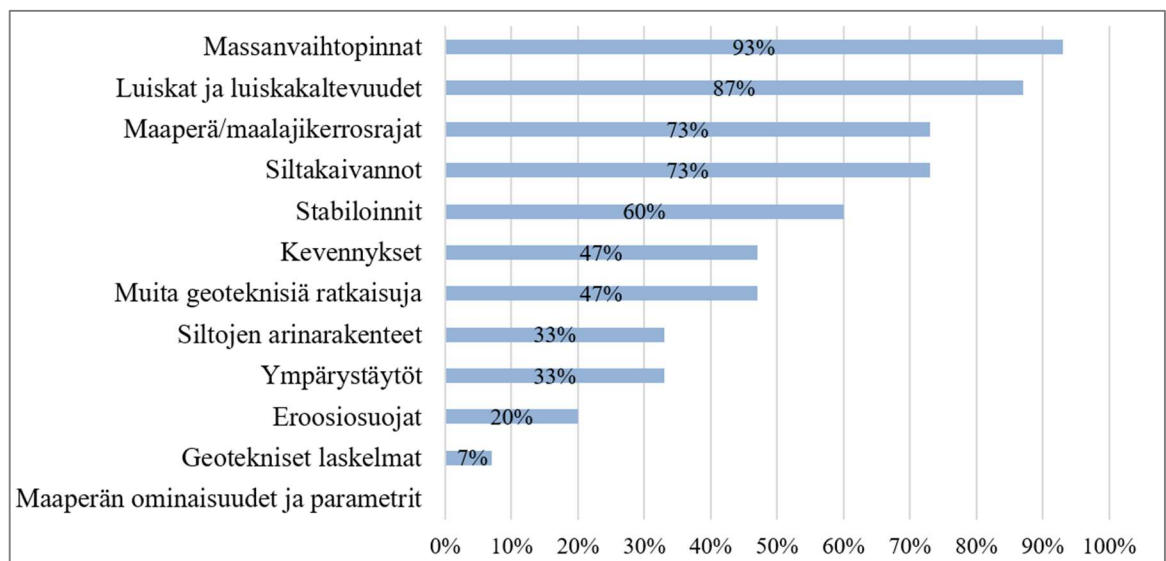
Osa haastateltavista nosti esiin myös joidenkin siltaan liittyvien pohjavahvistuksien, kuten tulopenkereiden kevennysratkaisujen mallinnusohjeiden ja nimikkeistökoodistojen olevan nykytilanteessa epäselviä. Nimikkeistössä koetaan olevan tulkinnanvaraisuutta etenkin suunnittelijoille, joilla ei ole niiden käytöstä riittävästi kokemusta. Tarvittavan nimikkeistökoodin löytäminen voi olla haastavaa, sillä koodisto on laaja ja yksittäiset koodit voivat sisältää alanumeroita. Osa suunnittelijoista toi ilmi, että nimikkeistön helpokäyttöisyyttä voitaisiin kehittää liittämällä nimikkeistöön lyhyitä esimerkkejä selostukseen tyypillisistä käyttötapauksista.

Suunnittelijoista 60% (n=9) vastasi mallintamisen osaamistason olevan kohtalainen, vaikka osaamistasoa kuvattiin parhaimmillaan erinomaiseksi (kysymys 6, liite 3). Haasteeksi alan osaamistasossa koettiin sen polarisoituminen, sillä useat vastaajista kertoivat mallintamisen osaamisen kohdistuvan yksittäisiin henkilöihin organisaatioissa. Nykytilanteessa teknistä mallintamista saattaa tehdä toisen suunnittelualan ammattilainen, jonka osaamistaso ohjelmiston käyttöön on paremmalla tasolla. Lisäksi mallintamisen tietotai-

don kehittymisen haasteena koettiin olevan osaamisen säilymättömyys, sillä osa suunnittelijoista mallintaa vain harvoin. Osaamistason hitaaseen kehittymiseen voi vaikuttaa myös, että yli puolet suunnittelijoista vastasi mallintamiseen varattavan nykytilanteessa liian vähän aikaa (kysymys 5, liite 3). Tällöin mallintamisen osaamistason laajamittaisempaan kehittymiseen ei välttämättä ole riittävästi resursseja.

### 6.1.2 Geotekniset rakenteet ja ratkaisut

Kyselyssä selvitettiin suunnittelijoiden organisaatiossa yleisesti mallinnettavia geoteknisiä rakenteita ja ratkaisuja. Tavoitteena oli tuoda ilmi, millaista geotekniikkaa nykytilanteessa pystytään visualisoimaan mallipohjaisesti ja millaista suunnitelmallista tietoa malleihin sisällytetään. Kuvassa 20 on esitetty suunnittelijoiden vastausjakauma yleisesti siltapaikoilla mallinnettavista geoteknisistä rakenteista ja ratkaisuista. Vastausten perusteella yleisimmin mallinnetaan massanvaihtopinnat, luiskat ja luiskakaltevuudet, maalaajikerrosrajat sekä siltakaivannot.



**Kuva 20.** Kyselyn vastausjakauma suunnittelijoiden yleisimmin mallinnettavista geoteknisistä rakenteista ja ratkaisuista (n=15).

Suunnittelijat, jotka valitsivat listalta vaihtoehdon ”muita geoteknisiä ratkaisuja” kertoivat avoimissa tekstikentissä yleisesti mallinnettaviksi rakenteiksi patorakenteet, tukiseinät, vasta- ja esikuormituspenkereet, paalulaatat, nauhapystyöjat, geotekstiilit sekä paalutukset ja paalulaatat. Vaativien siltakohteiden kaivujen, täyttöjen ja tuentojen työvaiheiden mallintaminen on koettu hyödyllisenä todellisen tilanteen hahmottamisessa, sillä

niistä pienet virhevarat ovat helpommin havaittavissa. Mallintamalla voidaan havainnollistaa suunnitteluratkaisujen todellista laajuutta ja helpottaa yhteensovittamista olemassa olevien rakenteiden ja ympäristön kanssa.

Useimmissa Väyläviraston hankkeissa noudatetaan YIV:n mukaista ohjeistusta, johon suunnittelijat kohdistivat kritiikkiä sen soveltumisessa geotekniikan mallintamiseen. Haastateltavat kertoivat, että YIV pohjautuu ”väylämäiseen” ajattelutapaan kuvata pintoja ja esimerkiksi väylän mittalinjaan sidottu siltakaivanto on haasteellinen mallintaa ohjeistuksen mukaisesti. Siltakaivannot muun geotekniikan ohessa ovat yleensä paremmin kuvattavissa aluemaisina rakenteina.

### **Suunnittelun lähtötieto ja Infra-pohjatutkimusformaatti**

Suunnittelijat kertoivat haastatteluissa näkemyksiään siitä, kuinka hyvin nykyinen Infra-pohjatutkimusformaatti vastaa tietomallintamisen tarpeita. Suunnittelijoista puolet kokivat, että Infra-pohjatutkimusformaatti on kansallisesti pääosin toimiva tietomäärittely, jonka pohjalta ohjelmistojen on hyvä kehittää määrämuotoisen formaatin visualisointitapoja (kysymys 30, liite 3). Pohjatutkimusten 3D-esitystapaa hyödynnetään malleissa vielä vähän ja sen arveltiin vaativan harjoittelua ja yhteisten käytäntöjen sopimista. Toisaalta toinen puoli vastaajista koki formaatin vanhanaikaisena ja skaalautumattomana mallipohjaiseen käyttöön.

Haastatteluissa nostettiin esille, että Infra-pohjatutkimusformaatti perustuu vanhaan Tekla-formaattiin, joka voi aiheuttaa tiedonsiirrollisia ongelmia formaatin historian vuoksi. Virallisen Infra-pohjatutkimusformaatin mukaan: ”jos formaatti noudattaa jotain Teklan murretta, ei käytetä FO-tunnusta” (Infra-pohjatutkimusformaatti v.2.5, 2018, 6). Infra-pohjatutkimusformaatin versionumero ei siis nykytilanteessa ole pakollista tiedonsiirtoon sisällytettävää tietoa. Haastatteluissa kävi ilmi, että urakoitsijoilta saatavissa tiedostoissa formaattimerkintä usein puuttuu. Tällöin ohjelmisto tai aineiston käyttäjä ei voi tietää varmasti, mikä versio formaatista on kyseessä. Formaatin historia Tekla-pohjaisena voi aiheuttaa tiedonsiirrollisia ongelmia, sillä formaatin sisältö on muuttunut eri versioiden välillä vuosien saatossa. Esimerkiksi kärkivastuksen yksikkö on muuttunut aiemmissa versioissa tuhatkertaisesti, jonka jälkeen se on muutettu takaisin alkuperäiseen yksikköönsä. Ilman versionumeroa on siten teoriassa mahdollista tehdä moninkertainen virhetulkinta.

Suunnittelijat kokivat, että visualisoimalla pohjatutkimuksia suunnitelmamallissa voidaan havainnollistaa kohteen todellista tutkimustiheyttä ja helpottaa lisätutkimusten koodinimistä kriittisimmille alueille. Pohjatutkimusten mallipohjaiseen esittämiseen käytettyjen 3D-lieriöiden nähtiin tuovan hyvän lisän suunnitelmaan, koska niillä voidaan välittää nopeasti yleiskuva pohjamaasta. Hyvästä visuaalisesti ilmeestään huolimatta ne eivät sisällä pohjatutkimuksille tärkeimpiä tietoja kairaushavainnoista, -vastuksista tai esimerkiksi laboratoriotutkimuksista. Vaillinaisen tietosisällön vuoksi 3D-lieriöt koettiin sellaisenaan riittämättömiksi suunnitelman kokonaisvaltaiseen tarkasteluun.

Haastatteluissa kävi ilmi, että pohjatutkimukset kuvataan mallipohjaisesti yleisesti 3D-koordinaatteihin sovitetuilla 2D-esitystavoilla, joissa dwg on vakiintunut tiedonsiirtomuoto. Tutkimusdata täytyy käsitellä dwg-muotoon suunnitteluohjelmistojen kautta, jolloin alkuperäisessä Infra-pohjatutkimusformaattissa välittyvää tutkimustietoa karsiutuu. Aineisto, joka esitetään dwg-formaatissa sisältää lähes pelkkää geometriatietoa ja siihen on vaikea liittää ominaisuus- tai metatietoa. Malliin ei myöskään välity tieto maanäytteiden rakeisuusmäärytyksistä tai laboratorioanalyseista. Haastateltavat kokivat kairausdiagrammien 3D-esitystavan sopivan tällä hetkellä lähinnä tutkimusten pintapuoliseen tarkasteluun, koska varsinainen tutkimustieto ei ole niissä sellaisenaan parhaiten hyödynnettävissä. Pohjatutkimusten mallipohjainen visualisointi ei sitoudu standardeihin, joten niissä ilmenevät tiedot voivat tarkoittaa aineiston tuottajan mukaan eri asioita. Niiden mallipohjaisuus koettiin epäkäytännöllisenä johtuen seuraavista syistä:

- Pohjatutkimukset eivät välity malliin oikeellisessa muodossaan Infra-pohjatutkimusformaattissa.
- Pohjatutkimusten käsittely 3D-ympäristöön monivaiheista ja lopputuotteen tietosisältö puutteellinen.
- Pohjatutkimusten mallipohjaiseen esitystapaan ei ole muodostunut standardoituja toimintatapoja esimerkiksi tutkimusten grafiikka-asetusten suhteen.
- Mallipohjaisessa ympäristössä kairausdiagrammit ovat tarkasteltavissa vain yhdestä katselusuunnasta siten, että 2D-muotoinen diagrammi kuvautuu oikein.
- Samassa dwg-tiedostossa siirtyvää pohjatutkimusdataa ei voida suodattaa mallin tarkastelunäkymästä.

Suunnittelijat kokivat 2D-dokumentit YIV:n mukaisia 3D-malleja kuvaavammaksi tavaksi esittää pohjatutkimuksia suunnitteluratkaisuja tehdessä ja arvioitaessa. Dokumenttipohjaisissa piirustuksissa pohjatutkimusten kairaushavainnot ja tutkimuksiin liittyvä oheistieto välittyy selkeästi niiden alkuperäisessä muodossaan. Suunnittelijat korostivat, että mallipohjaisia ratkaisuja kehitettäessä tulisi huomioida tiedon hyödynnettävyys rakentamisen jälkeen ja että myös dokumenttipohjaista aineistoa voidaan hallita tietokannoissa niihin liitettävien metatietojen kautta. Dokumenttipohjaisen aineiston yhdistäminen tietomalleihin vaatii tietojen kytkeytymistä toisiinsa, jotta aineistot ovat hyödynnettävissä myös arkistointivaiheessa.

### **Massanvaihto**

Suunnittelijat toivat ilmi massanvaihtokaivantojen mallintamiseen liittyviä haasteita. Geoteknisenä suunnitelmaratkaisuna massanvaihto perustuu heikon maa-aineksen korvaamiseen parempilaatuisella maa-aineksella. Suunnittelija arvioi saatavilla olevan lähtötiedon perusteella massanvaihtopinnan todennäköisintä tasoa, mutta pinnan todellinen sijainti voidaan todeta vasta työmaalla. Työmenetelmänä massanvaihto vaatii työkoneen kuljettajan havainnointia heikon maakerroksen kokonaisvaltaiseksi poistamiseksi, eikä suunnitelmaratkaisua voida näin ollen toteuttaa pelkästään mallinnetun pinnan avulla. Massanvaihtopinta toimii suunnitelmaratkaisussa ensisijaisesti viitteellisenä tietona, jota voidaan käyttää, kun tehdään arvioita esimerkiksi määrälaskentoja varten.

Mallipohjaisista ratkaisuista täytyy välittyä työmaan koneohjaukseen tieto siitä, miten massanvaihto tulee toteuttaa ja mikä on suunnitteluratkaisun tarkoitus. Tarkalla geometrialla mallinnettu massanvaihtotaso voi aiheuttaa väärinkäsityksiä työn oikeanlaiseen suoritukseen, mikäli mallinnetun pinnan viitteellistä merkitystä ei ole esitetty selkeästi. Geoteknisissä piirustuksissa vastaavat huomiot ja työnsuoritukseen kantaa ottavat vaatimukset ovat yleensä helposti esitettävissä ja aineiston käyttäjän nopeasti havaittavissa. Suunnitelmamalliin tuotettujen pintojen esitystavat vaativat selkeitä menettelyitä, jotta suunnitelmallinen taustatieto välittyy mallin käyttäjälle yksiselitteisesti ilman virhetulokinnan mahdollisuutta.

Toisaalta haastateltavat toivat esille, että tarkkaan määräsyvyyteen mallinnettu massanvaihtotaso voi aiheuttaa ongelmatilanteita, mikäli poistettava materiaali osoittautuu hyvin tasalaatuiseksi. Tasalaatuisesta maa-aineksesta voi olla haastava havainnoida, milloin sopiva kaivutaso on saavutettu ja heikko maa-aines poistettu. Tällöin massanvaihto saattaa

ulottua suunnitelmissa esitettyä tasoa syvemmälle, vaikka tavoitepinta olisikin todellisuudessa jo saavutettu. Oikeellisen massanvaihtopinnan silmämääräinen arviointi voi aiheuttaa ristiriitoja siitä, olisiko työ pitänyt lopettaa suunnitelmissa esitettyyn pintaan, vai oliko työkoneneen kuljettajan ratkaisu lisäkaivuista perusteltua.

### **Maaperämallit**

Suunnittelijakyselyn perusteella maaperän ominaisuuksia ja parametrejä ei mallinneta tällä hetkellä lainkaan (kuva 19). Haastateltavat korostivat, että pistemäiseen pohjatutkimusdataan perustuvat tulkinnat ja niistä määritetyt maalajikerrosrajat ovat tarkkoja vain pohjatutkimuspisteiden kohdalla. Tutkimuspisteiden välille mallinnetut maalajirajapinnat ovat arvioita tutkimattomissa pisteissä, joiden ominaisuuksien suhteen ei voida tehdä tarkkoja määrittäyksiä ilman tarkentavia lisätutkimuksia. Tarkkojen ominaisuustietojen sitominen koko maalajikerrokseen voi olla harhaanjohtavaa.

Haastatteluissa selvitettiin suunnittelijoiden nykyisiä toimintatapoja maaperämallien tulkintatarkkuuden ja tulkintaperusteiden esittämisessä. Haastateltavat kertoivat, että maaperämallin tulkintaperusteita ja tarkkuustasoa avataan lähinnä lähtöaineistoluettelossa. Lähtöaineistoluetteloa voidaan täydentää esimerkiksi massalaskentaa varten tehdyistä pinnanlaajennuksista tai suunnittelijan luomista apupisteistä. Haastateltavat toivat kuitenkin ilmi, että nykytilanteessa käytännöt mallien tulkintaperusteiden ja tarkkuustason avaamisessa vaihtelevat, eikä niitä välttämättä kuvata riittävästi tietomallien oheisdokumenteissa.

### **Tukiseinät**

Suunnittelijat kertoivat, että tukiseinämalleilla voidaan havainnollistaa hyvin tukiseinien sijoittumista suunnitelmaan ahtaissa paikoissa, joissa turvaetäisyyksien mitoittaminen on erityisen tarkkaa. Haastatteluissa kävi ilmi, että YIV-mallinnusvaatimukset ovat tukiseinäratkaisujen suhteen epäkäytännöllisiä, koska nykyiset vaatimukset mahdollistavat tukiseinien mallintamisen pintoina. Esimerkiksi ponttiseinän mallinnusvaatimus täyttyy, mikäli pontin ala- ja yläpää mallinnetaan taiteviivoina ja tehdään niiden välille kolmioverkko. Tukiseinien kuvaaminen pintana tuottaa kuitenkin epätodellisen ratkaisun, koska Inframodel- tai LandXML-pintaa ei voida mallintaa pystysuoraksi mallinnusteknisistä syistä. Tukiseinää täytyy siten hieman kallistaa siirtämällä seinän ylä- tai alalinjaa sivuun. Haastateltavat kokivat XML-pintoina kuvattavat tukiseinäratkaisut epämääräisinä, sillä



pintamallit eivät kuvaa visuaalisesti rakentamisen aikana tehtäviä ratkaisuja. Pysyvät tukiseinärakenteet mallinnetaan jo yleisesti IFC-tilavuuskappaleina.

Haastattelujen perusteella tukiseinien nimikkeistössä on kehitystarpeita, jotka kohdistuvat pääasiassa tukiseinien rakenteisiin. Nimikkeistössä kaikki tukiseiniin liittyvät rakenneosat sisällytetään yhden koodin alle, vaikka niistä olisi eroteltavissa erityyppisiä rakenteita. Tukiseinä voidaan jakaa esimerkiksi tukiseinätyypin, tukeutumisperiaatteen, ankuroinnin tai vaakapalkkien suhteen. Tarkempi nimikkeistö mahdollistaisi osaluetteloiden tuottamisen suoraan mallista rakenneosien oikeilla nimikkeillä, jolloin kaikki tukirakenteet eivät kategorioituisi automaattisesti vain tukiseinätyypin perusteella.

### **Siltakohteen nykyiset rakenteet ja työvaiheistus**

Suunnittelijat toivat ilmi, että tyypillisesti siltakohteiden nykyisiä rakenteita mallinnetaan arkistoista löytyvien vanhojen piirustusten perusteella esimerkiksi tilanteissa, joissa vanhan sillan viereen rakennetaan uusi silta. Vanhan sillan anturoiden todellinen sijainti on tärkeää lähtötietoa kaivantojen ja tukiratkaisujen mitoituksessa, jotta turvaetäisyydet ja virhevarat olemassa oleviin rakenteisiin voidaan huomioida. Tietomalleissa tulisi voida esittää nykyisten rakenteiden sijaintiin liittyvät epätarkkuudet ja mallintamiseen käytetyn lähtötiedon epävarmuustekijöitä. Vanhojen suunnitelmapiirustusten oikeellisuutta tulisi pystyä varmentamaan ennen niiden soveltamista uuteen suunnitteluratkaisuun, sillä arkistoihin on voinut jäädä virheellistä tietoa toteutuneista ratkaisuista.

Haastateltavat toivat esille, että geosuunnitelmien mallinnusvaatimuksia ja mallintamisen tarkoituksenmukaisuutta tulisi arvioida erityisesti työnaikaisten ratkaisujen suhteen. Työvaiheistusta vaativia geoteknisiä ratkaisuja voivat olla esimerkiksi vesistösiltojen yli rakennettavat työsillat tai niihin liittyvät pengerlevitykset. Niiden työvaiheistus voi olla keskeistä tietoa suunnitelman toteutuksen kannalta, mutta ratkaisujen mallintaminen epäkäytännöllistä. Työnaikaisten ratkaisujen mallintaminen voi olla työläsprosessi, vaikka ratkaisut olisivat nopeasti esitettävissä myös suunnitelmapiirustuksissa. Työnaikaisten ratkaisujen ja työvaiheistuksen mallipohjainen kuvaaminen sisältää kuitenkin potentiaalia augmented reality -tarkasteluihin, jos suunnittelukohde on epätavanomainen tai muuten haastava. Suunnitteluratkaisun esittäminen animaationa, jossa työvaiheistuksen päävaiheet visualisoidaan selvästi voi helpottaa ratkaisun kriittisten tilanteiden tarkastelua.

### 6.1.3 Geosuunnitelmien epävarmuustekijät ja mallien epätarkkuus

Haastatteluissa selvitettiin suunnittelijoiden toimintatapoja geosuunnittelun lähtötietoon liittyvien epävarmuustekijöiden ja suunnitteluratkaisujen epätarkkuuden mallipohjaisessa hallinnassa. Geosuunnitelmissa esiintyvien epävarmuustekijöiden tunnistaminen vaatii alan ominaispiirteiden tuntemusta, eikä suunnitteluratkaisun epätarkkuutta korosteta tällä hetkellä visuaalisesti tietomalleissa. Geoteknisiin malleihin liittyvää epätarkkuutta ei voida tuoda ilmi ohjelmistollisesti, eikä epävarmuustekijöitä sisällytetä mallien tiedon-siirtoformaatteihin.

Geoteknisten mallien lähtötiedon ja suunnitteluratkaisun epävarmuustekijöitä ja epätarkkuuksia kuvataan pääsääntöisesti lähtöaineistoluettelossa ja tietomalliselostuksessa. Lähtöaineistoluetteloon kirjataan huomioita suunnittelun lähtötiedon epävarmuustekijöistä, kuten havaintoja pohjatutkimuksien edustavuudesta, iästä tai laadusta. Tietomalliselostukseen kirjataan laajapiirteisempiä huomioita mallin tarkkuuteen ja puutteisiin liittyen, tai mikäli hankkeen alussa sovitusta mallinnusvaatimuksista on poikettu. Haastateltavat toivat ilmi, että tietomalliselostus on tällä hetkellä järkevin keino kuvata mallien tulkintaperusteita ja malliin liittyviä epätarkkuuksia.

Käytännöt geosuunnittelun lähtötiedon ja tulkintaperusteiden kuvaamisessa tietomallidokumenteissa vaihtelevat eri organisaatioiden ja tekijöiden välillä. Haastatteluissa kävi ilmi, että geoteknisten suunnitteluratkaisujen epätarkkuutta kuvataan tietomalliselostuksessa usein vain karkealla tasolla tai ei lainkaan. Tulkintaperusteita saatetaan avata yleispiirteisesti todeten pinnan muodostavien pisteiden pitävän paikkansa vain pohjatutkimuspisteiden kohdalla, mutta olevan välialueilla suunnittelijan tulkintaan. Suunnitteluratkaisun epävarmuustekijät ja mallin epätarkkuudet jäävät usein mallin käyttäjälle luettavaksi ”rivien välistä”.

Suunnitelmapiiirustuksissa arvioihin perustuvia geoteknisten ratkaisuja ja epätarkkoja pintoja voidaan kuvata vyöhykkeitä muodostavilla rastereilla. Esimerkiksi paalutustyön tavoitetaso todellinen sijainti voi vaihdella suunnitelmassa esitetystä tasosta jopa useita metrejä. Suunnitelmapiiirustuksessa rasteroidun vyöhykkeen yläpinta kuvaa todennäköistä minimikaivusyvyyttä ja alapinta todennäköistä maksimikaivusyvyyttä. Vyöhyke ei kuitenkaan kerro absoluuttista paalutuspintaa, vaan todelliset toimenpidepinnat voidaan havaita vasta työmaalla.

Haastatteluiden perusteella geosuunnitelmien mallintaminen tarkoilla geometrisillä pinoilla ei ole useinkaan tarkoituksenmukaisin tapa kuvata suunnitteluratkaisua. Tarkka pinta ei korosta ratkaisuun liittyvää epävarmuutta tai sen mahdollista viitteellistä merkitystä. Suunnitelmapiiirustusten rasteroitujen vyöhykkeiden tapaan, toimenpidepintoja voitaisiin tulevaisuudessa kehittää mallinnettavaksi tarkan geometrisen pinnan sijaan läpinäkyvinä vyöhykkeinä. Näissä ”vyöhykemalleissa” vähäisten pohjatutkimuspisteiden määrä teettäisi pinnalle paksun läpinäkyvän vyöhykkeen, jonka ylä- ja alapinta esittäisi todennäköisintä aluetta, jolta todellinen pinta löytyisi. Mikäli alueelle olisi tehty paljon pohjatutkimuksia, muistuttaisi vyöhyke enemmän tarkkaa pintaa, sillä siinä ennusteen teettämä todennäköisyys todellisen pinnan sijainnille on suurempi. Mikäli maalajirajoja kuvattaisiin vastaavilla vyöhykkeillä, ei olisi mahdotonta, että esimerkiksi kallionpinta risteäisi saven alapinnan kanssa paikoissa, joista on vähän kairausdataa. Vyöhykepohjainen esitystapa toisi hyvin ilmi suunnitelman sisältämää epävarmuutta ja tutkimustiedon vähäisyyttä paikoissa, joissa vyöhykkeet muodostavat paksuja kerroksia.

### **Mallintamisen rajapinnat**

Haastatteluissa selvitettiin haastateltavien organisaatioissa yleisesti mallinnettavien geoteknisten rakenteiden ja ratkaisujen mallinnusvastuita ja mallintamisen rajapintoja muihin suunnittelualoihin. Suunnittelijat kertoivat, että osa siltapaikkojen geoteknisistä rakenteista voi olla tällä hetkellä osittain myös silta- tai väyläsuunnittelijan mallinnusvastuulla osaamistason vaihdellessa. Lisäksi mallintamisen vastuualueiden koettiin toisinaan olevan epäselviä etenkin tapauksissa, joissa geo- ja rakennesuunnittelu toimivat häilyvässä rajapinnassa. Tällaisesta tapauksesta nostettiin esille esimerkiksi YIV:ssä esitetyn ponttiseinän mallinnusvaatimukset, jotka täytyvät vain, mikäli ponttien ala- ja yläpää mallinnetaan taiteviivoina ja tehdään niiden välille kolmioverkosta muodostuva pinta. Toisinaan ponttiseinistä kuitenkin vaaditaan esimerkiksi Tekla Structures -ohjelmistolla tilavuuskappaleella kuvattavaa mallia, jolloin ponttiseinien mallinnusvastuu siirtyy rakennesuunnittelijalle.

Haastatteluissa selvitettiin suunnittelijoiden näkemyksiä siitä, tulisiko mallintamisen rajapinnoille luoda yleistä ohjeistusta, jota voitaisiin hyödyntää, mikäli mallintamisen vastuualueita ei ole erikseen hankekohtaisesti määritelty. Yleispätevä, mutta sitomaton ohjeistus koettiin hyvänä vaihtoehtona selkeyttää mallintamisen rajapintoja. Haastateltavat

kuitenkin korostivat, että hankekohtaisesti sovittavat käytännöt ovat ensisijaisesti tärkeitä, vaikka yleispätevää ohjeistusta olisikin saatavilla.

#### 6.1.4 Geosuunnittelun ohjelmistot ja sovellukset

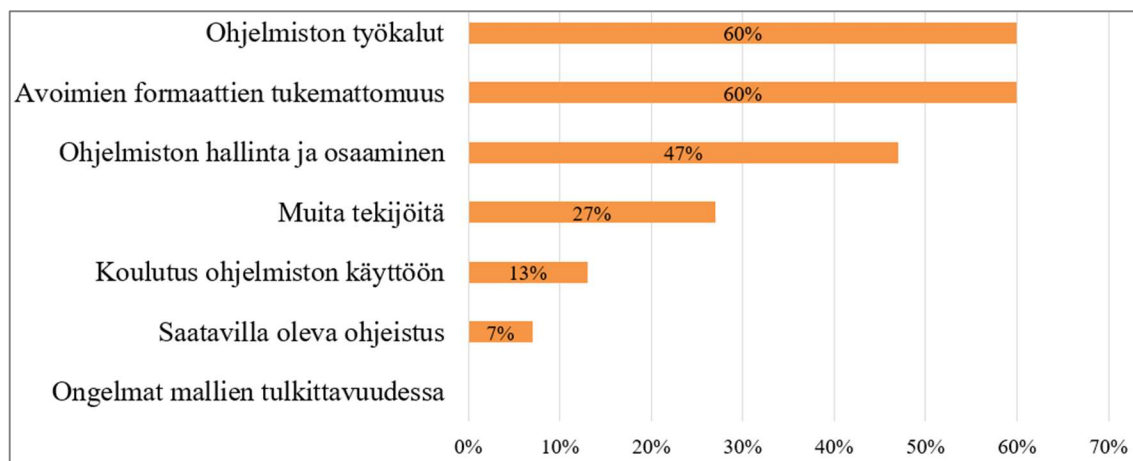
Tutkimuksen kyselylomakkeessa (Kysymys 22, liite 3) selvitettiin suunnittelijoiden mallintamiseen käyttämiä ohjelmistoja. Tavoitteena oli kerätä tietoa, millaisia ohjelmistoja tai ohjelmistojen yhdistelmiä liittyy geosuunnittelun tietomallintamiseen. Kuvassa 21 on esitetty esiin tulleet suunnittelijoiden käyttämät ohjelmistot sekä niiden pääasiallinen käyttötarkoitus.

Ohjelmisto tai sovellus	Pääasiallinen käyttötarkoitus
<b>Trimble Connect</b>	Tiedonhallinta ja jakaminen
<b>Infrakit</b>	Tiedonhallinta ja jakaminen
<b>Notepad ++</b>	Tekstieditori
<b>3D-Win</b>	Maastomalli- ja rakennepintojen editointi
<b>Novapoint</b>	Tietokantapohjainen suunnittelujärjestelmä
<b>Tekla Civil</b>	Tietokantapohjainen suunnittelujärjestelmä
<b>AutoCAD</b>	Suunnitteluohjelmisto
<b>AutoCAD Civil3D</b>	Suunnitteluohjelmisto tietomallintamiseen
<b>Naviate/FiksuGeo</b>	Civil3D-lisäosia tietomallintamiseen
<b>Bentley (Open roads, Power civil)</b>	Suunnitteluohjelmisto ja lisäosat
<b>Terrasolid</b>	Pistepilvien ja kuvankäsittely
<b>Vektor IO</b>	Tietomalliaineiston visualisointi
<b>GeoCalc</b>	Geotekninen laskentaohjelmisto
<b>GeoStudio</b>	Geotekninen laskentaohjelmisto
<b>Plaxis</b>	Geotekninen laskentaohjelmisto

**Kuva 21.** Haastatteluun osallistuneiden suunnittelijoiden n=15 tietomallintamiseen käyttämiä ohjelmistoja ja sovelluksia sekä niiden pääasiallinen käyttötarkoitus.

Edellä mainittujen lisäksi haastateltavat kertoivat käyttäneensä Tekla Structuresia, Simplebimiä ja Solibria. Niitä käytetään erityisesti IFC-mallien tuottamiseen siltasuunnittelussa, mutta toisinaan myös geoteknisten ratkaisujen, kuten pysyvien tukiseinien mallintamiseen.

Suunnittelijat nostivat puutteet käytettävissä ohjelmistoissa yhdeksi suurimmista haasteista geotekniikan mallintamisessa (kuva 22). Ohjelmistojen puutteet liitettiin niiden tiedonsiirtoon ja formaattien kykyyn välittää suunnitelmallista ominaisuustietoa ja YIV-mukaista tietosisältöä.



**Kuva 22.** Suunnittelijoiden (n=15) vastausjakauma suunnitteluohjelmistoissa ilmenevistä haasteista käytännön mallintamisessa.

Suunnittelijoista 47% vastasi mallintamisen ongelmien liittyvän ohjelmistojen hallintaan, vähäiseen käyttökokemukseen ja harjoittelun puutteeseen. Lisäksi ohjelmistojen paljous ja käytettävien ohjelmistojen vaihtuminen tai jatkuva muuttuminen hidastavat oppimista. Haastateltavien mukaan geosuunnitteluun kohdistettua ohjelmistokoulutusta on saatavilla rajoitetusti.

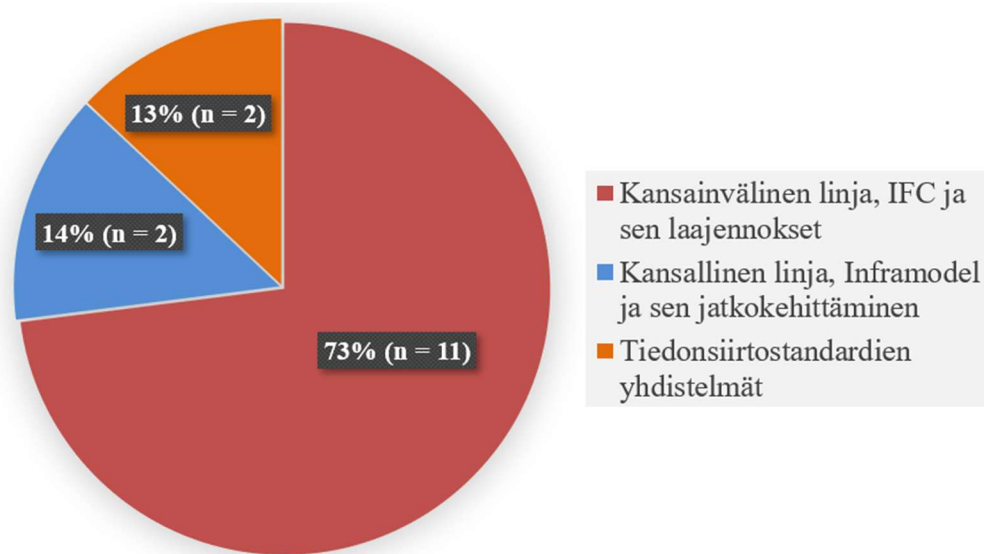
Suunnittelijat, jotka valitsivat kohdan ”muita tekijöitä, mitä?” selvensivät ongelmien liittyvän mallintamisen epäkäytännöllisyyteen ja monivaiheisuuteen. Ohjelmistojen nähtiin soveltuvan pääasiallisesti hyvin muiden tekniikka-alojen mallintamiseen, koska ne on kehitetty lähtökohtaisesti niille tyypillisten ominaispiirteiden mukaan, ja geosuunnittelu on sovitettu niihin jälkikäteen.

Suunnittelijoista 60% vastasi mallintamisen haasteiden kohdistuvan erityisesti ohjelmistojen ja sovellusten avoimien formaattien tukemattomuuteen. Ohjelmistojen nähtiin sopivan pääsääntöisesti hyvin geoteknisten rakenteiden geometrioiden kuvaamiseen ja malliaineiston tuottamiseen ohjelmistojen omissa natiiviformaateissaan. Suurin osa geosuunnittelusta esitetään dwg-muodossa, johon on vaikea liittää ominaisuus- ja metatietoa.

### 6.1.5 Tiedonsiirtostandardit ja ohjelmistokehitys

Haastatteluissa selvitettiin suunnittelijoiden näkemyksiä tiedonsiirtostandardien nykyisestä kehitystarpeesta. Kehitystarvetta tutkittiin siitä näkökulmasta, olisiko kansallisen Inframodel-tiedonsiirron kehittäminen nykytilanteessa tarpeellista, vai kattaako IFC:n

laajentuminen geotekniikkaan riittävästi mallien tiedonsiirron tarpeita. Kuvassa 23 on esitetty suunnittelijoiden vastausjakauma tiedonsiirtostandardoinnin vaihtoehtoisista kehityssuunnista. (kysymys 25, liite 3)



**Kuva 23.** Kyselyyn vastanneiden suunnittelijoiden (n=15) vastausjakauma tiedonsiirtostandardien kehityssuunnista.

Tuloksista nähdään, että 73% suunnittelijoista koki kansainvälisen IFC-standardin kehityksen ensisijaisena geosuunnittelun mallipohjaisten ratkaisujen kehittämiseksi. Kansainvälinen IFC-standardi koettiin suotuisana, sillä yleisesti käytössä olevat ohjelmistot tulevat kansainvälisiltä yrityksiltä, jotka kehittävät ohjelmistojensa yhteensopivuutta ensisijaisesti kansainväliseen käyttöön. Inframodel-formaatin kehittäminen nähtiin silti tärkeänä, koska hyvin toimiva kansallinen formaatti voi edistää Suomen kilpailukykyä infra-alalla.

Suunnittelijoiden mukaan IFC-tilavuuskappaleita tulisi hyödyntää enemmän geosuunnittelussa, sillä formaatti mahdollistaa Inframodel-tiedonsiirtoa laajemman tietosisällön kuvaamisen suoraan mallin ominaisuustiedoissa. Esimerkiksi sillan alustäytöissä arinan esittäminen kaivun alapintaan ja arinan yläpintaan rajoittuvalla IFC-kappaleella toisi ominaisuustiedon lisäämiselle lähes rajattomat mahdollisuudet formaatin kattavan tietorakenteen vuoksi. IFC-formaatin tehokas käyttö edellyttäisi, että sen tietosisältöä pystyttäisiin

myös suodattamaan ja käyttämään sulavasti suunnitteluohjelmistoissa, sillä formaatin datanpaljous nähtiin tällä hetkellä hidastavan geosuunnitteluun käytettävien ohjelmistojen toimintaa.

## **Ohjelmistokehitys**

Suunnittelijoiden mukaan suunnitteluohjelmistoilla on haasteellista tuottaa YIV-vaatimusten ja InfraBIM-nimikkeistön täyttämää Inframodel-formaattia, jotta geoteknisten mallien tietosisältö olisi koodaukseltaan ja ominaisuustiedoiltaan vaatimusten mukainen. YIV-mukainen koodaus on tarkka koodien sijoittumisesta xml-formaattiin ja ongelmaksi onkin koettu pinnan kolmioverkon taiteviivojen ja pisteiden koodaukset, jotka eivät välity siirtotiedostoon vaatimusten mukaisesti. YIV-mukaisen Inframodel-formaatin tuottamiseksi tarvitaan usein suunnitteluohjelmiston lisäksi formaatin muokkaamiseen erikoistunutta ohjelmistoa tai sen tietosisältöä saatetaan editoida manuaalisesti. Useita työvaiheita vaativa formaatin editointi tekee mallin päivittämisestä virhealtista, sillä prosessi joudutaan toistamaan useita kertoja aina päivitysten yhteydessä. Tiedon monivaiheinen jalostaminen aiheuttaa epävarmuutta ominaisuustiedon oikeellisesta välittymisestä samalla tavalla muille tietomallialustoille. Haastateltavat kokivat haasteiden kohdistuvan mallintamiseen käytettävien ohjelmistojen alkuperään, koska useimmat ohjelmistoyritykset ovat kansainvälisiä toimijoita, eivätkä aina tue kansallisia standardeja.

Toisaalta koodaukseen puutteet ja ominaisuustiedon lisäämisen ongelmatekijät osoittautuivat liittyvän myös ohjelmistojen hallintaan ja riippuvan käytettävistä suunnitteluohjelmistoista. Geosuunnittelussa joudutaan käyttämään samoja työkaluja väylä- ja aluesuunnittelun kanssa taiteviivojen ja pintojen koodaamiseen, josta ohjelmistot suoriutuvat eri tavalla. Esimerkiksi Tekla Civilistä löytyy työkaluja aluemaisten kohteiden suunnitteluun, mutta myös toteutusmallien muokkaamiseen, millä voidaan vaikuttaa haasteelliseksi koettuihin taiteviivojen koodauksiin. Tekla Civilissä pintoja voidaan myös nimetä vapaasti ja antaa koodauksiin tunnuksia. Vastaavia työkaluja ei ole esimerkiksi Novapointissa, joten aluemaisten pintojen muodostamiseen joudutaan käyttämään muita ohjelmia, kuten 3D-Winiä.

Mallin tietosisällön suhteen monien geoteknisten rakenteiden Inframodel-tiedonsiirtoa koskevissa määräyksissä ei ole asetettu pakolliseksi sellaista suunnitelmallista tietoa, joka välittyy muissa mallin oheisasiakirjoissa. Ohjelmistokehityksessä ominaisuustiedoiltaan YIV:tä enemmän ohjaavat tiedonsiirtoformaateissa pakollisiksi tiedoiksi määritellyt osa-

alueet. Tiedonsiirtoformaatteihin sisällytettävien ominaisuustietojen osalta monikaan asia ei ole määritelty pakolliseksi, joten niitä ei myöskään ole sisällytetty ohjelmistojen tuotamiin aineistoihin.

Ohjelmistokehitys on käyttäjälähtöistä, jossa käyttäjien tarpeet ja ajallisen hyödyn saavuttaminen ovat merkittävimpiä tekijöitä. Suomi on suhteellisen pieni markkina-alue ja suurin osa ohjelmistotuottajista on kansainvälisiä toimijoita. Ohjelmistojen kansainvälisessä kentässä, paikallisten formaattien tukeminen nähdään usein pienimuotoiseksi liiketoiminnaksi, eikä maakohtaisia tarpeita aina huomioida kehitystyössä, jos vaatimusten mukaisen aineiston tuottamiseen on olemassa muita keinoja.

Ohjelmistokehityksessä tilaajien (Väylävirasto, kaupungit, kunnat) ohjeistukset ja vaatimukset ovat merkittävässä roolissa, koska tilaajalla on valta määrittellä mallintamisen lopputuotteiden tiedonsiirron vaatimuksia. Esimerkiksi Inframodel4 mahdollistaa jo nykytilanteessa materiaalitiedon lisäämisen pintamalleihin, mutta sitä ei ole vielä lisätty ohjelmistojen uloskirjoitukseen. Syynä on osittain se, että Suomessa tyypillisesti infrahankkeilla toimivat tilaajat eivät vielä ole osanneet ottaa sitä käyttöön tai sille ei ole nähty tarvetta. Tilaajien asettamien vaatimusten ohella ohjelmistokehitystä ohjaa merkittävimmin mallipohjaisen aineiston hyödyntäminen rakentamisessa.

Tiedonsiirtostandardien kehitystyössä on haasteellista, ettei standardien määrittelyihin ja tietosisältöön saada riittävästi tietoa ja käyttäjäkokemuksia niiden varsinaisilta käyttäjiltä. Tiedonsiirtostandardien kehitystyö nojaa tällä hetkellä enimmäkseen ohjelmistojen ja standardien parissa muissa yhteyksissä työskentelevien henkilöiden vastuulle.

### **6.1.6 Geosuunnitelmien mallipohjainen tarkastaminen siltapaikoilla**

Suunnittelijat korostivat, että mallipohjaisen tarkastusprosessin standardoituminen vaatii hankkeilla tilaajan asettamia vaatimuksia. Mallipohjainen prosessi voi standardoitua vain hyväksi havaituilla käytännöillä, joka edellyttää, että hankkeilla alettaisiin tilaamaan enemmän myös suunnitelmien mallipohjaista tarkastamista. Suunnittelijat kokivat, että hankkeiden tarjouspyynnöissä voitaisiin alkaa vaatimaan nykyistä merkittävämpää asemaa niillä tuotettavien mallien ja mallipohjaisten toimintatapojen suhteen.

Asiantuntijahaastatteluisissa selvitettiin ulkoisena tarkastajana toimineilta henkilöiltä, millaisia asioita siltapaikkojen geosuunnitelmista tarkistetaan (kysymys 16, liite 3). Kuvassa



24 on esitetty koonti kyselylomakkeessa esitetyistä erilaisista geoteknisistä rakenteista ja ratkaisuksista sekä vastaajien huomiot niiden tarkastamiseen liittyen. Tulokset perustuvat suunnitelmia hyväksyneiden tilaajien ja suunnitelmien ulkoisena tarkastuskonsultteina toimineiden vastaajien (n=11) huomioihin.

Arinarakenne	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiaali, 3D-geometria, laajuus, paksuus ja korkeusasema</li> <li>• Kaivu ja täyttömalli</li> <li>• Määrälaskenta</li> </ul>
Siltakaivanto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toteutuskelpoisuus, työvaiheistus</li> <li>• Kaivutaso, geometria ja laajuus suhteessa uusiin ja olemassa oleviin rakenteisiin</li> <li>• Tuentatavat</li> </ul>
Pohjavahvistukset	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sillan tulopenkereiden kevennys- ja stabilointiratkaisut, laajuudet, 3D-geometria</li> <li>• Pohjavahvistusten yhteensovitus muun suunnitelman kanssa, luiskan stabiliteetti</li> <li>• Stabilointi: Pilarin halkaisija, tavoitetaso, lujuustavoite, sideainemäärät</li> </ul>
Esirakentaminen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rakentamisvaiheet ja laajuudet, esikuormituspenkereen geometria</li> </ul>
Pinta- ja pohjavesi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pohja- ja pintavedentasot, mitattu ylin ja alin GW-pinta, virtaama-aukko</li> <li>• Alennetun pohjaveden työnaikainen vedenpinnantaso</li> </ul>
Maaperämalli ja pohjatutkimukset	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kairaukset yksityiskohtineen, pohjatutkimusten perusteella tehdyt tulkinnat ja niiden oikeellisuus</li> <li>• Maalaji rajapinnat, maaperän ominaisuudet ja parametrisointi</li> </ul>
Kohteen ympäristö ja maasto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alueelliset tekijät, vakavuus, maanpinnantaso</li> <li>• Ympäristökuormitukset, olemassa olevien rakenteiden laajuus ja korkeusasema</li> <li>• Alueen kartta, topografia, satelliittikuva, pohjakartta, maaperäkartta, varjostettu maanpintamalli</li> </ul>
Geotekniset laskelmat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laskelmien sijoittuminen edustaville osuiksille</li> <li>• Laskentamallin parametrisointi, geometria, kuormitukset</li> </ul>
Muut tekijät	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Routasuojaukset, eroosiosuojaukset, geovahvisteet sekä tukiseinät yksityiskohtineen ja ominaisuustietoineen</li> <li>• Yleinen 3D-geometria ja määrälaskenta</li> <li>• Valittu perustustapa ja kokonaisuudessaan perusteet valinnalle</li> <li>• Työnaikaiset ratkaisut, kiertotie, työsilta</li> </ul>

**Kuva 24.** Sillan geoteknisistä rakenteista ja ratkaisuksista tarkastettavia asioita (n=11).

Suunnittelijoista 9 henkilöä oli toiminut ulkoisena tarkastuskonsulttina ja heistä 56% (n=5) oli tarkastanut geotekniikkaa myös mallipohjaisesti. Mallipohjaista tarkastusta oli hyödynnetty maa-, kallio- ja pohjarakenteiden tarkastukseen sekä yhteensopivuustarkasteluihin muiden tekniikanlajien, nykyisten rakenteiden ja ympäristön välillä. Lisäksi geoteknisten mallien teknistä sisältöä, pohjaolosuhteiden tulkintaa ja pintamalleja on tarkastettu mallipohjaisesti.

Ulkoisena tarkastajana toimineet henkilöt kertoivat käyttäneensä suunnitelmamallien teknisen sisällön tarkastamiseen 3D-winiä, minkä lisäksi mallin visuaalista puolta on tarkastettu Trimble Connectilla sekä VektorIO:lla. Tarkastusprosessin haasteiden nähtiin kohdistuvan malliaineiston tietosisältöön ja sen puutteisiin, eikä niinkään tarkastusprosessissa käytettäviin ohjelmistoihin.

Suunnitteluun käytetyn lähtötiedon sisällyttäminen suunnitelmamalliin nähtiin keskeisenä, jotta ulkoinen tarkastaja voi muodostaa oman näkemyksensä kohteessa vallitsevista pohjaolosuhteista ja arvioida olosuhteiden vaatimien toimenpiteiden riittävää huomioimista. Lähtötiedon perusteella tarkastaja voi arvioida pohjaolosuhteista johdettuja geoteknisiä laskelmia, kriittisiä laskentapisteitä sekä mitoitustilanteita. Nykytilanteessa mallien tarkastukseen toimitetaan yleensä vain suunnitelmaratkaisut ja tarkastusprosessin tueksi saadaan vain harvoin kokonaisuudessaan kaikki suunnitteluun käytetty lähtötieto.

Haastatteluissa ulkoiset tarkastuskonsultit toivat ilmi, että maalajirajapintojen suhteen suunnitelmasta tarkastetaan pääasiassa maalajikerrosten riittävyys ja tulkintaperusteet. Maalajirajapintojen pistedatan suhteen tarkastajalla tulisi olla saatavilla pinnan tulkintaperusteet ja mahdollisuus tarkastella taitepisteitä, jotka eivät perustu kairaushavaintoihin. Pintamalleja saatetaan esimerkiksi laajentaa kairauspisteiden ulkopuolelle määrälaskentaa varten, jolloin mallin tulkintaperusteita tulisi avata mallin oheisasiakirjoissa. Geoteknisissä laskelmissa käytetyt maaparametrit ja ominaisuustiedot tulee olla perusteltuja ja tarkastajan arvioitavissa. Geosuunnitelmien rakentamistaparatkaisut täytyy esittää suunnitelmissa ja niissä täytyy tuoda ilmi toteutusta ja työvaiheistusta koskevat mitoitettavat tilanteet esimerkiksi kaivantojen suhteen.

Siltakaivannon tarkastamisessa pyritään arvioimaan, onko kaivantoratkaisuissa huomioitu riittävästi vaikutukset olemassa oleville rakenteille ja kuinka hyvin kaivanto on toteutettavissa valituilla ratkaisuilla. Siltakaivantojen geometriasta on keskeistä tarkastaa kaivannon pinnan saumaton liittyminen muihin suunnitteluratkaisuihin, kuten väylien leikkauksiin tai putkijohtokaivantoihin. Kaivantomalleissa työvaiheistuksen esittäminen voi olla tärkeää, mikäli kaivutyö on toteutettava stabiliteetin vuoksi vaiheittain. Tällöin työvaiheet olisi hyvä esittää tietomallissa siten, että 3D-geometrian lisäksi malli sisältäisi aika- ja työvaiheistustietoa. Yleensä työnaikaiset suunnitelmat ovat kaivantojen tarkastusprosessin kannalta kriittisimpiä.

Tietomallien datanpaljoudesta voi olla haastava löytää tarkastusprosessille keskeisin aineisto. Haastateltavat kokivat hyviksi käytännöiksi mallien tietosisällön jakamisen kevyempiin osiin vakionäkymiin tai että suunnittelija esittelisi suunnitelmamallia tarkastusprosessin alussa ulkoiselle tarkastajalle. Samanlaisia toimintatapoja on jo sovellettu siltasuunnittelussa, jossa vakiintuneita tarkastelunäkymiä on jaettu ulkoiselle tarkastajalle ja niiden sisältöä on päivitetty hankkeen edetessä.

## Tiedonsiirtoformaatit mallin tilavuus- ja määrätiedon hallinnassa

Haastatteluissa nostettiin esille, että IFC-mallien laajempi käyttö geosuunnittelussa toisi mahdollisuuksia määrälaskentaan ja määrien mallipohjaiseen tarkastamiseen. Esimerkiksi kaivu- tai täyttömassojen mallintaminen pintojen väliin muodostuvalla IFC-tilavuuskappaleella mahdollistaisi määrätiedon esittämisen automaattisesti ilman tarkastuslaskentaa. Pintamallien määrälaskennan tarkastaminen on haastavaa, mikäli mallista ei ole toimitettu erillistä määrälaskentareporttia. Ilman laskentareporttia tarkastajan on lähes mahdotonta tehdä tarkastuslaskentaa mallista ja selvittää määrälaskentaan käytetyt laskentapintoja ja aluerajauksia. IFC-tilavuuskappaleiden käyttö kaivu- ja täyttömassojen kuvaamiseen mahdollistaisi määrätiedon esittämisen suoraan mallin siirtotiedoston ominaisuustiedoista.

Inframodel-tiedonsiirto ei vielä mahdollista tilavuusobjektien käyttöä ja sille nähtiin kehitystarvetta määrälaskentatyökalujen tarkentumisen kannalta. Kehitystarve pintojen ja varusteiden tilavuus- ja määrätiedolle on tunnistettu myös infrahankkeiden kustannuslaskentajärjestelmän (IHKU) kehittymisen myötä.

### 6.1.7 Suunnitelmamallit rakentamisessa

Urakoitsijahaastatteluiden (n=4) perusteella työmaan toimihenkilöillä ja työjohtolla mallien käyttö on vielä opetteluvaiheessa ja hankkeilla toimitaan pääasiassa suunnitelma-piirustusten perusteella. Osaamistaso mallien käyttöön nähtiin myös urakoinnissa jakautuneen epätasaisesti ja henkilöityneen tiettyihin malliosajiin. Suurin osa työmaista käyttää malleja pääasiassa vain koneohjaukseen, toteumamittauksiin ja määrälaskentoihin. Malleilla nähtiin kuitenkin olevan keskeinen rooli työjärjestyksen ja toteutettavuuden arvioinnissa. Vaativien taitorakenteiden kuten vesistösiltojen osalta malleja käytetään monipuolisemmin. Niissä malleja hyödynnetään esimerkiksi raudoitusten tarkasteluun, perehdytykseen, työvaiheistukseen ja suunnitelmien oikeellisuuden tarkasteluun.

Haastattelujen perusteella alalla on haasteita suunnitelmien yhteensopivuudessa ja työvaiheistuksen huomioimisessa suunnitelmissa. Kaikkia työvaihteita tai työmaanrakenteita ei mallinneta, eikä suunnittelussa ole aina tarkkaa tietoa rakentamisen tilantarpeesta, jolloin esimerkiksi betonirakentamisessa muottien tilantarve voi jäädä suunnitteluratkaisuissa huomioimatta. Suunnitteluratkaisuissa tulisi myös huomioida työjärjestyksen vaikutukset rakentamiseen ja suunnitelman toteutukseen.

Haastateltavat kokivat kehitystarvetta tilaajan selkeämpiin vaatimuksiin ja ohjeistukseen hankkeilla tuotettavilta malleilta, jotta ne palvelisivat tehokkaammin rakentamista. Tällä hetkellä suunnittelun ja urakoinnin välillä on tietokatkoksia siinä, millaista tietoa työmaan koneohjaukseen tarvitaan. Tarvitaan tarkentavaa tietoa siitä, millaista tietosisältöä suunnittelusta tulisi tuottaa työmaan koneohjaukseen, jotta pintamallit olisivat koodaukseltaan käyttövalmiita. Haastateltavat esittivät toiveena, että tilaajat alkaisivat vaatimaan toteutusmalleja suoraan suunnittelusta, mikä edistäisi mallipohjaisen prosessin standardoimista, kun suunnitelmamallit etenisivät koneohjaukseen nykyistä suoraviivaisemmin.

## 6.2 Asiantuntijahaastatteluiden tulosten analysointi

Seuraavissa osioissa analysoidaan asiantuntijahaastatteluiden tuloksia, niissä ilmi nousseita haasteita sekä esitetään niille ratkaisuehdotuksia. Kappale on jaettu tutkimustuloksista johdettujen pääotsikoiden alle.

### 6.2.1 Pohjatutkimusten mallintaminen

Nykyiset lähtötiedon mallintamiseen käytetyt menetelmät karsivat alkuperäisten tutkimusaineiston tietosisältöä. Tietomallintamisen keskeisimpänä tavoitteena on lisätä tiedon määrää, eikä karsia sitä. Pohjatutkimusten mallipohjainen esitystapa välitetään ohjelmistojen natiiviformaatissa dwg-muodossa, jolla voidaan esittää kairausten geometriatietoa. Tiedostomuotona se välittää kuitenkin heikosti ominaisuus- ja metatietoa. Pohjatutkimusten 3D-lieriö, jossa maalajit kuvantuvat värikoodattuina kairaajan maalajitulkintoina välittävät nopeasti pohjamaan yleispiirteisen kuvan, mutta koska maalajitulkintojen väri kategorisoi myös pehmeän ja tiiviin maalajin samaan kerrokseen se vääristää pohjaolosuhdeiden todellista tilaa.

Ongelma: Suunnitteluun käytetty lähtötieto ei välity alkuperäisessä muodossaan tai avoimessa formaatissa tietomalleihin. Lähtötiedon tietomallintamiseen ei ole vielä nykytilanteessa muodostunut standardoituneita toimintatapoja. 3D-ympäristöön visualisoitu kairausdata on rajoittunutta havaintotiedon visualisoinnissa ja ominaisuustiedon sisällyttämisessä. Dwg-muodossa esitetty aineisto ja pohjatutkimusdiagrammit eivät ole arkistoinnin kannalta ”älykästä tietoa”, eikä niiden tietosisältöä voida suodattaa tehokkaasti. Infra-pohjatutkimusformaattia ei voi sellaisenaan käyttää pohjatutkimusdatan mallipohjaiseen visualisointiin ja formaattina se on ohjelmistoriippuvainen.

### Ratkaisuehdotukset:

- Formaattiversio tulisi olla Infra-pohjatutkimusformaatin pakollista tietoa.
- Kairausdiagrammin kolmiulotteisuuden ja kuvaustekniikan kehittäminen: Pohjatutkimusten mallipohjaiseen kuvantamiseen voitaisiin luoda standardinomaista ohjeistusta esimerkiksi pohjatutkimusdiagrammien graafisen kuvaustekniikan ja siihen sisällytettävien metatietojen suhteen, jotta käsitteistöä saataisiin vakiinnutettua ja virhetulkintojen mahdollisuutta minimoitua.
- Pohjatutkimusten tiedonsiirrossa olisi tarvetta skaalautuvammalle, avoimelle formaatille, joka perustuisi ohjelmistoriippumattomaan tiedonsiirtoon. Pohjatutkimusdatan vastaanottava ohjelmisto tulisi pystyä tulkitsemaan tutkimusten tietosisältö siten, että aineisto välittyy kokonaisuudessaan malliin.

### **6.2.2 Geosuunnittelun mallipohjainen tarkastusprosessi**

Pohjaolosuhteista tehtyjen tulkintojen ja tulkintaperusteiden arviointi on keskeisessä osassa mallipohjaista tarkastusprosessia. Geologinen malli ja siihen kuuluvat pohjatutkimukset (kairausdata, laboratorioanalyysit ja muu havaintoaineisto), maalajikerrokset sekä laskennassa käytetty parametrisointi tulisi pystyä esittämään mallipohjaisesti riittävän selkeästi. Se mihin lähtötietoon maalajipinnat tai laskentaan käytetty parametrisointi perustuu, tulisi saada käytettävillä tietomallialustoilla näkyviin "napin painalluksella".

IFC-tiedonsiirron laajentuminen geotekniikkaan tuo mahdollisuuksia geosuunnitelmien mallipohjaiseen tarkastukseen lisäämällä keinoja aineiston tekniseen tarkastukseen ja sääntöpohjaisten tarkastusmenetelmien kehittymiselle. IFC:hen voidaan ohjelmistorobotiikan avulla muodostaa sääntöjä ja kategorisoida mallin kriittisiä tarkastuspisteitä. Lisäksi se on toimiva formaatti mallin tilavuus- ja määrätiedon tarkastamisessa.

Ongelma: Suunnitteluun käytetyn lähtötiedon sisällyttäminen tietomalliin tarkastusprosessia varten on haastavaa, eivätkä pohjatutkimukset kuvannu malliin selkeästi. Tietomallissa on usein liikaa informaatiota, josta voi olla vaikea suodattaa tarkastuksen kannalta keskeisimmät tekijät, eikä dwg-muotoista aineistoa ole helppo suodattaa. Myöskään tutkimuksien näytetiedot laboratoriokokeineen eivät välity malliin.

### Ratkaisuehdotukset:

- Lähtötiedon mallintamisen toimintatapojen kehittäminen siten, että se vastaa tarkastusprosessin tarpeita. Tarkastukseen käytettävien tietomallialustojen tulisi tukea pohjatutkimusten tiedonsiirtoon yleisesti käytettävää formaattia. Ihanne tilanteessa lähtötieto siirtyisi avoimessa formaatissa tietomallien tarkastusalustoille.
- Lisää lähtötietoa malliin: Pohjatutkimusten dwg-tiedoston ”objekteihin” tarkastussovelluksessa liitettävät asiakirjat maanäytteistä ja laboratorioanalyyseistä.
- Pohjatutkimusdatan suodattaminen: Dwg-tiedostoja voisi jakaa esimerkiksi iän tai tutkimusmenetelmän perusteella useampaan alitiedostoon.
- Vakionäkymät suunnitelmien mallipohjaiseen tarkastukseen, jota päivitetään suunnitelmamuutosten myötä. Suunnittelija voisi esitellä mallia ja sen tietosisältöä tarkastajalle prosessin alussa.
- Mallin mittalinjaan sidottavat leikkauskuvat tietyin paaluväleihin, jolloin lähtötietoa voidaan esittää mallissa totutulla tavalla.
- Formaattivalinta: IFC-standardin tietorakenne mahdollistaa kattavan ominaisuustiedon lisäämisen mallin tiedonsiirtoon ja sitä voitaisiin hyödyntää enemmän geosuunnittelussa.

Kuvassa 25 on esitetty haastattelujen perusteella tunnistettuja kehitystarpeita liittyen Trimble Connectin käyttöön geoteknisten suunnitelmamallien tarkastusalustana.

Trimble Connect	Ratkaisuehdotuksia ja kehityssuuntia
Sovelluksen työkalut ja toiminnot: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Näkymien mittatietojen säilyminen ja puutteet.</li> <li>• Mallin kaltevuksien mittaamiseen ei ole työkaluja.</li> <li>• Malliin ei ole saatavilla tasoviivastoa. Suunnitelmapiiirustuksesta nähdään suoraviivaisemmin ratkaisujen korkeusprofiili, koska niissä tasoviivasto esitetään totutussa mittakaavassa.</li> </ul>	<b>Ohjelmistokehitys:</b> Mittaustyökalu, jolla esimerkiksi luiskakaltevuus voidaan todeta suoraan mallista, ilman että tietoa täytyisi lisätä mallin attribuuttikenttiin. <b>Mittojen esittäminen:</b> Mahdollista myös dwg-taustakartalla. Dokumenttipohjaisia piirustuksia voitaisiin hyödyntää mallien tukena kriittisissä paikoissa. <b>Ohjelmistokehitys:</b> Mallipohjaiseen ympäristöön tarvitaan tasoviivasto (grid) tai mahdollisuudet apuviivojen käyttöön, jotta malli välittää paremmin korkeustietoa ja mittakaavaa pohjatutkimusten laajuudesta ja syvyydestä.
Tarkastuskertomuksen automatisointi ToDo-toiminnoilla.	<b>Ohjelmistokehitys:</b> ToDo-toimintojen uloskirjoitus Excel-muodossa siten, että tarkastusprosessin vuoropuhelu ja siihen liittyvä suunnitelmaratkaisu välittyisi tietomallin tarkastuskertomukseksi.
Trimble Connect ei tue Infra-pohjatutkimusformaattia, eikä geosuunnittelun lähtötietoa voida siten esittää tarkastelualustalla alkuperäisessä muodossaan. Pohjaolosuhdetiedon (kairaukset ja laboratoriomääritykset) visuaalinen esittäminen kootusti ja jäsenellysti puuttuu.	<b>Ohjelmistokehitys:</b> Yhteensopivuus Infra-pohjatutkimusformaatin kanssa. <b>Ohjelmistokehitys:</b> Pohjatutkimusten tulisi pystyä kääntymään mallipohjaisessa ympäristössä lukittuna z-akselinsa ympäri siten, että pohjatutkimusdiagrammi kuvantuisi mallin katsojalle oikein riippumatta katselusuunnasta.
Trimble Connectiin tuodun malliaineiston suhteen ei ole muodostunut vielä vakinoituneita toimintatapoja ja käytäntöjä mallipohjaiseen tarkastukseen. Mallissa navigointi voi olla haastavaa.	<b>Toimintatavat:</b> Tarkastusprosessiin sovitut vakionäkymät voivat nopeuttaa mallin käyttöönottoa ja tehostaa prosessia. Vakionäkymien käyttö olisi tärkeä toimintamalli, jotta käyttäjät eivät menisi sekaisin eri näkymistä ja mallin tiedonpaljoudesta.

**Kuva 25.** Trimble Connect geoteknisten suunnitelmamallien tarkastusalustana ja mallipohjaiseen tarkastukseen esitettyjä kehitysideoita.

### 6.2.3 Lähtötiedon epävarmuustekijät ja suunnitteluratkaisujen epätarkkuudet tietomallidokumenteissa

Geoteknisten suunnitelmamallien epävarmuuden hallinnan keinot rajoittuvat tällä hetkellä tietomallidokumentteihin, kuten lähtöaineistoluetteloon ja tietomalliselostukseen. Tietomallidokumenttien kirjaustarkkuuteen liittyy myös laadunvarmistuksellinen näkökulma, sillä kuvaava dokumentaatio on aineiston jatkokäytön kannalta tärkeää tietoa.

Ongelma: Epävarmuustekijöiden riittävän tarkka kuvaaminen tietomallidokumenteissa. Geosuunnittelun lähtötiedon ketju mallinnetuksi lopputuotteeksi täytyy tuntea, jotta mallin käyttäjä voi ymmärtää niihin liittyvää epävarmuutta. Epävarmuustekijöiden kuvaamiseen ei ole muodostunut standardoituneita toimintatapoja, minkä vuoksi asiakirjoihin sisällytettävien mallien tarkkuustason kuvaamisessa ja yksityiskohtaisuudessa esiintyy vaihtelua.

Ohjeistus geoteknisten suunnitelmamallien epävarmuustekijöiden tai epätarkkuuden kuvaamiseen tietomallidokumenteissa on puutteellista ja niiden kuvaamisen laajuus vaihtelee aineiston tuottajan mukaan. Tietomalliselostus pidetään yleisesti tiiviinä pakettina, eikä siinä kuvata yksityiskohtaisesti lähtöaineiston ja suunnitelmamallin tarkkuutta, puutteita tai käyttöä rajoittavia seikkoja. Tarvitaan ohjeistusta siihen, missä -ja millä tarkkuudella mallien tulkintaperusteita ja epävarmuuksia tulee avata tietomallien oheisasiakirjoissa.

#### Ratkaisuehdotukset:

- Ohjeistus mallinnusvaatimukseen: Aineiston tuottajalla on vastuu kuvata tietomalliselostuksessa sellaisen lähtötiedon laatua, mahdollisia puutteita tai muita epävarmuustekijöitä, joiden voidaan olettaa heijastuvan tuotettavien suunnitelmaratkaisujen laatuun.
- Siltakohteiden geosuunnitelmille olisi tarpeen tuottaa erillinen tietomalliselostus, jossa kuvattaisiin tarkemmin mallien tulkintaperusteita ja epävarmuutta.
- Tarvitaan selkeää ohjeistusta, kuinka tarkasti tulkintaperusteita tulee avata tietomallidokumenteissa. Tietomalliselostuksen kirjaamisesta voitaisiin luoda ohjeistava malliesimerkki, jossa esitettäisiin periaatteellisesti selostuksen oikeanlainen täyttötapa. Esimerkki selostus toisi ilmi, kuinka mallin tulkintaperusteita, epävarmuutta, puutteita ja mallien tarkkuustasoa tulee geosuunnittelun osalta avata.

#### 6.2.4 Lähtötiedon epävarmuustekijät ja suunnitelmaratkaisujen epätarkkuudet tietomallissa

Tietomalleihin liittyvät riskitekijät ovat yleensä riippuvaisia niiden mukana kulkevista oheisasiakirjoista ja mallin käyttäjän ennakkotiedoista. Geosuunnittelussa keskeisien epävarmuuksien kuvaaminen pelkästään tietomallidokumenteissa voi aiheuttaa riskejä tiedon oikeellisesta välittymisestä, sillä mallin käytölle kriittistä informaatiota voi jäädä huomaamatta. Mallien käyttöä rajoittavia tekijöitä ja niihin liittyviä epävarmuuksia olisi tarpeellista saada liitettyä niiden tiedonsiirtoformaatteihin.

Malliin liittyvien epävarmuuksien visuaaliseen korostamiseen ei ole vielä muodostunut mallipohjaisia ratkaisuja. Ohjelmistoja ei ole lähtökohtaisesti suunniteltu huomiomaan geosuunnittelulle tyypillisiä ominaispiirteitä, joita maaperän epähomogeenisuus aiheuttaa. Pohjaolosuhteista aiheutuvaa epävarmuutta tai suunnitteluratkaisun epätarkkuutta ei voida tällä hetkellä käsittää ohjelmistollisesti, eikä siihen ole kehitetty tiedonsiirrollisia työkaluja.

Ongelma: Geosuunnittelun epävarmuustekijöiden esittäminen mallissa. Tietomallien tulisi pystyä välittämään enemmän sellaista tietoa, jota kuvataan tällä hetkellä mallin oheisasiakirjoissa. Tietomallintamisen perusidea on lisätä tietoa rakennettavasta kohteesta. Geosuunnittelussa puutteellisesti esitetty tieto voi pahimmillaan aiheuttaa riskejä mallien käytölle. Tällä hetkellä käytössä olevilla työkaluilla pintamallien tulkintaperusteet ja tieto epävarmuuksista ei välity suoraan mallista käyttäjälle. Tieto on kaivettava tietomallin oheisasiakirjoista, eikä ole täysin selvää, missä dokumenteissa epävarmuustietoa kuvataan ja millä tarkkuudella. Geoteknisen suunnitelmamalliin epävarmuutta tulisi pystyä sisällyttämään mallien tiedonsiirtoon tai vaihtoehtoisesti visualisoimaan suoraan mallissa. On tärkeää varmistaa, että mallin käytölle keskeistä informaatiota ei jää mallin käyttäjältä huomaamatta.

#### Ratkaisuehdotukset:

- Suunnitelma-aineiston viitteellisessä merkityksessä esitettyjen geoteknisten pintojen kuvaamiseen voitaisiin kehittää pintojen sijaan tarkoituksenmukaisempia tapoja välittää epävarmuustietoa suoraan mallissa mallin käyttäjälle. Ratkaisut voitaisiin kuvata esimerkiksi läpinäkyvinä vyöhykkeinä.



- Pintamallien tulkintavarmuudeltaan erilaisen pistedatan korostaminen erottamalla aineisto eri siirtotiedostoihin nimikkeistökoodien perusteella, jolloin tuotuja aineistoja voidaan korostaa tietomallialustoilla esimerkiksi erilaisilla värikoodeilla.
- Geoteknisiin malleihin voitaisiin ottaa käyttöön epävarmuutta tai epätarkkuutta ilmaisevat vakiovärit.
- Tietomallien kuvaavat nimeämiskäytännöt, joka välittäisi suoraan tiedon aineiston laadusta tai mallin epävarmuuksista. Tietosisältöä voidaan kuvata esimerkiksi nimeämällä tiedosto ”arvioitu olemassa oleva paalutus”, jolloin mallin käyttäjälle välittyy heti tieto sen tarkkuustasosta.
- Epävarmuustiedon kuvaaminen mallin tiedonsiirrossa. Inframodel-formaattiin lisää ”vapaa kenttä”- tyyllisiä tiedonkirjausvaihtoehtoja.
- Tiedonsiirtoon voitaisiin kehittää epävarmuutta ja lähtötiedon laatua kuvaava pisteytysjärjestelmä, joka kuuluisi vakiona mallin siirtotiedostoon.

Tietomalleja ja suunnittelussa tuotettuja malleja sovelletaan työmaan koneohjausautomaatioon. Geoteknisissä suunnitelmamalleissa esiintyy epätarkkuutta, joka on huomioitava urakoinnissa suunnitelmaratkaisun oikeellisessa toteuttamisessa. Esimerkiksi masanvaihdon kaivuutasot eivät aina kuvaa absoluuttisia totuuksia, vaan koneenkuljettajan tulee usein arvioida kaivuunaikana todellisen pinnan löytymistä ja suunnittelijan tulkinan täsmällisyyttä.

Ongelma: Geoteknisen suunnitelmaratkaisun toimivuus työmaalla todetuissa pohjaolosuhteissa ja mallien tarkoituksenmukainen hyödyntäminen.

Ratkaisuehdotukset:

- Tietomalliselostukseen merkintä: Urakoitsijan tulee ottaa yhteyttä tilaajaan tai suunnittelijaan ja varmistaa geoteknisten suunnitelmaratkaisujen toimivuus, mikäli rakentamisen aikana todennetut pohjaolosuhteet poikkeavat suunnitelmaratkaisuissa esiintyvistä tulkinnoista.

### 6.2.5 Mallipohjaisten toimintatapojen standardoituminen

Mallipohjaisten toimintatapojen kehitystä hidastaa mallintamisen tekninen tietotaito, jossa ongelmat asenteissa korostuvat. Geosuunnitteluun käytetään useita ohjelmistoja ja mallintamisessa saavutettavissa lopputuotteissa esiintyy vaihtelua riippuen käytettävistä

ohjelmistoista. Mallintamisen tietotaito kehittyi hitaasti osittain sen vuoksi, että vaatimustenmukaisten lopputuotteiden mallintamiseen joudutaan käyttämään useita eri sovelluksia ja aineiston käsittely on monivaiheista. Mallitiedostojen päivittäminen ja suunnitelmamuutosten tekeminen malleihin on suunnitteluohjelmistoissa työlästä, minkä vuoksi suunnitelmat mallinnetaan usein vasta hankkeen loppuvaiheessa, kun varsinainen suunnitteluratkaisu on jo tehty.

Ongelma: Ohjelmistollisen mallintamisen tietotaidon hidas kehittyminen ja mallintamisen toimintatapojen standardoituminen. Standardoimattomat toimintatavat voivat aiheuttaa tulkinnanvaraa suunnitteluratkaisuissa rakentamisessa ja aineiston jatkokäytössä. Suunnitteluohjelmilla on haasteita tuottaa suoraviivaisesti Inframodel-formaattia, jonka taiteviiva-aineisto ja nimeäminen olisivat YIV:n mukaisia. Monivaiheinen aineiston tuottaminen heikentää geoteknisten mallien interaktiivisuutta muiden tekniikanalojen mallien kanssa. Tällöin malliin voi myös jäädä inhimillisen virheen takia päivittämätöntä tai virheellistä tietoa. YIV sopii lähtökohtaisesti muiden tekniikka-alojen tarpeisiin ja väylämaisten rakenteiden kuvaamiseen geosuunnittelua paremmin.

Ratkaisuehdotukset:

- Tilaajan hankkeille asettamat mallinnusvaatimukset vievät alan kehitystä eteenpäin, sillä myös ohjelmistokehitys seuraa alan vaatimuksia ja kehitystarpeita.
- Standardien muodostumista edistää hyväksi havaitut toimintamallit. Niiden kehitystä voidaan edistää pilottihankkeilla, joissa geosuunnittelun mallipohjaisille ratkaisuille asetetaan merkittävämpi rooli esimerkiksi tarkastusprosessissa.
- Hankkeilla tuotettavilta Inframodel-malleilta voitaisiin vaatia InfraBIM-nimikkeistön ja YIV-tason koodausta viimeistellyssä muodossa vasta lopullisen luovutusaineiston yhteydessä. Työvaiheiden määrän vähentyessä tiedonmuokkaamisesta ei aiheudu yhtä paljon riskejä tiedon katoamiselle tai vanhentumiselle.
- Tulevaisuudessa geosuunnitteluun olisi tarpeen kehittää suunnittelualakohtaiset mallinnusvaatimukset ja ohjeistukset.

### 6.2.6 Mallipohjaiset ratkaisut tiedonhallintarekistereissä

Tiedonhallintaan ja arkistointiin soveltuvien järjestelmien huomioiminen on merkittävä näkökulma geosuunnittelun mallipohjaisia toimintatapoja kehitettäessä. Tällä hetkellä geosuunnittelussa paras ratkaisu tietomallintamiseen lienee hybridimäinen toiminta, jossa

sovelletaan digitaalisia malleja ja metatiedoilla hallittavia dokumentteja samanaikaisesti. On tärkeää tunnistaa, millaisilla alustoilla erilaisten formaattien ja tiedostomuotojen yhdistelmiä voidaan hyödyntää ja uudelleen käyttää siten, että erityyppisten aineistojen väliset yhteydet pystytään tunnistamaan. Se vaatii alalle yhteisiä käytäntöjä tietojen tuottamiseen ja arkistointiin, jotta tietoa voidaan hallita ja suodattaa uudelleen käyttöön tiedonhallintarekistereistä. YIV:n (2019) mukaan hankkeen päätyttyä tuotettu malliaineisto tulee luovuttaa ensisijaisesti avoimissa IFC- ja Inframodel-formaateissa, mutta myös ohjelmiston omassa natiiviformaatissa. Sen mukaan mallin mukana täytyy välittyä kaikki oleellinen tieto siten, että sen säilyvyys on taattu.

Ongelma: Geotekniikan tietomallipohjaisten ratkaisujen arkistoitavuus ja käytettävyys myös aineiston luovutuksen jälkeen.

Ratkaisuehdotukset:

- Tarvitaan yhteneväisiä käytäntöjä ja pilotointia, miten dokumenttipohjaista aineistoa voidaan linkittää ja käyttää yhdessä mallipohjaisten ratkaisujen kanssa.
- Luovutusaineiston tiedonsiirron vaatimukset ja tiedon arkistoitavuus tulee ottaa huomioon mallipohjaisia ratkaisuja kehitettäessä.
- IFC-formaatti on tiedonhallintarekisterien suhteen potentiaalisimpia vaihtoehtoja luovutusaineiston tiedonsiirrossa sen kattavan rakenteen vuoksi. Formaatin tietosisältöä voidaan suodattaa erilaisten rajapintojen kautta, mikä voi edistää tiedon uudelleen käytettävyttä seuraavissa hankevaiheissa.

### 6.3 Hanketutkimusten esittely

Hanketutkimus on jaettu kahteen osioon, joista ensimmäisessä tarkastellaan kahta jo päättyntä hanketta. Näillä kahdella hankkeella geosuunnittelu ei perustunut tietomallipohjaiseen prosessiin, vaan suunnitelmien laadunvarmistus ulkopuolisen tarkastuksen suhteen toteutettiin suunnitelmapiirustuksilla. Hanketutkimuksella selvitetään päättyneiden hankkeiden avulla, millaista tietosisältöä hankkeilla mallinnetussa geotekniikassa on ja millaista kehitystarvetta niistä voidaan havaita verrattaessa mallipohjaisen tarkastusprosessin tarpeisiin. Hankkeista tarkastellaan mallipohjaisen tarkastusprosessin vaatimuksia, tietomalliohjelmistoja, tiedonsiirtoformaatteja ja tietomallidokumentaatiota.

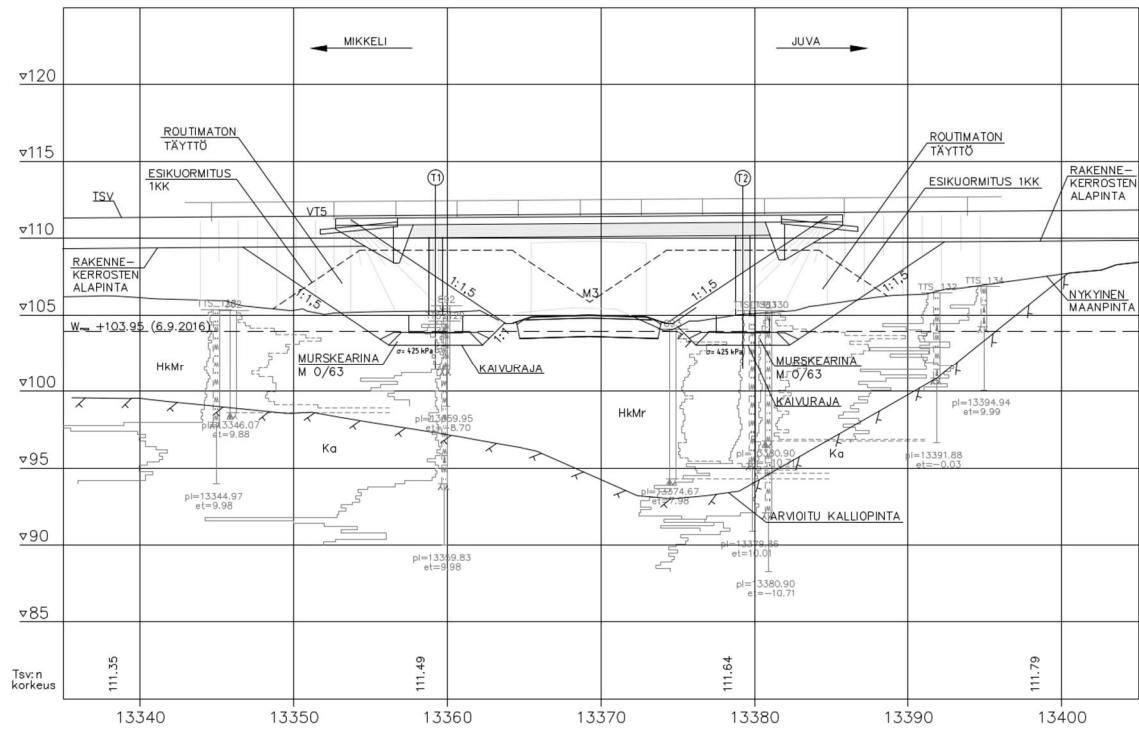
Hanketutkimuksen toisessa osiossa tutkitaan yhä käynnissä olevaa pilottihanketta, jossa geosuunnittelu on tehty hankkeen alusta alkaen mallipohjaisesti. Pilottihankkeen suunnittelun laadunvarmistus ja suunnitelmien tarkastus on toteutettu lähtökohtaisesti tietomallipohjaisen tarkastusprosessin kautta. Käynnissä olevan hankkeen avulla tutkitaan geotekniikan tietomallipohjaisen suunnittelun ja laadunvarmistuksen nykyisiä työkaluja. Tutkimuksessa perehdytään löytämään hankkeessa tuotettujen mallien tiedonsiirtoon liittyviä mahdollisuuksia sekä tutkitaan ulkoisen tarkastusprosessin käytäntöjä.

Hankkeilla kerättyä aineistoa tarkasteltiin Trimble Connect-yhteiskäyttöalustan kautta. Trimble Connect ei muuta alustalle ladatun aineiston ja siirtotiedostojen tietosisältöä esimerkiksi oman natiiviformaatin tarpeisiin, vaan projektille ladatut tiedostot säilyvät alustalla muuttumattomina. Alustalle ladattujen geoteknisten mallien tietosisällön tarkastelu on siten ohjelmistoriippumatonta ja mallien välittämää tietosisältöä voitiin arvioida objektiivisesti.

### **6.3.1 Hanketutkimus: Päätyneet hankkeet**

#### **VT 5 Särkimäen risteyssilta**

Tutkimuskohteeksi valittiin jo päätyneeltä Valtatie 5 Tuppurala-Nuutilanmäki -hankkeelta Mikkelissä sijaitseva Särkimäentien risteyssilta. Siltapaikka sijaitsee ennestään rakentamattomalla alueella, jossa maantie M3 alittaa valtatie 5. Kyseessä on teräsbetoninen ulokelaattasilta. Urakka-muodoltaan hanke oli suunnittele ja toteuta -urakka. Silta on perustettu maanvaraisesti anturaperustusta käyttäen routimattomaan syvyyteen. Silta kuuluu geotekniseen luokkaan GL2 ja maaperä on pääosin löyhää hiekkamoreenia. Sillan tulopenkereille on tehty stabiliteetti- ja painumalaskelmia. Kuvassa 26 sekä liitteessä 1 on esitetty Särkimäentien risteyssillan pituusleikkaus.



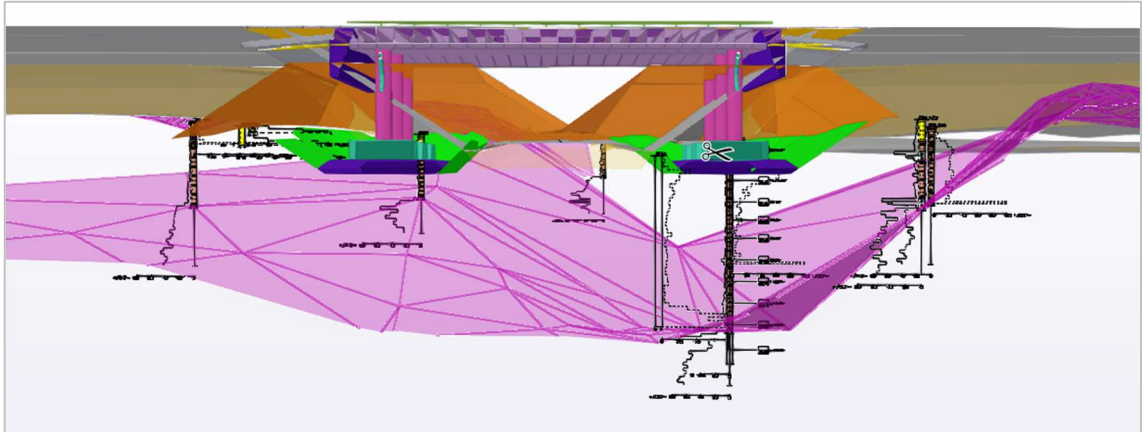
**Kuva 26.** Särkimäentien risteyssillan pituusleikkaus.

Hankkeen geotekniseen suunnitteluun ja tekniikanlajien väliseen suunnitelmien yhteensovitukseen käytettiin suunnitteluohjelmistona AutoCAD- ja Tekla Civil-ohjelmistoja. Suunnitelmamallien teknisen sisällön tarkastamiseen ja viimeistelyyn käytettiin lisäksi 3D-Winiä, jota hyödynnettiin myös työmaan toteutusmallien tuottamiseen. Taitorakenteet mallinnettiin Tekla Structures -ohjelmistolla, jolla tuotettiin myös IFC- ja 3D-dwg aineistoa työmaan tarpeisiin. Dwg-, pdf- ja paperikuvien ulkonäön viimeistelyssä käytettiin AutoCAD-ohjelmistoa.

Suunnittelun laadunvarmistusta ei toteutettu geotekniikan osalta mallipohjaisesti, vaan suunnitelmat tarkastettiin piirustuksista. Hankkeella käytettiin Trimble Connectia suunnittelualojen välisessä tiedonjaossa, mutta myös esimerkiksi silta- ja taitorakenteiden mallipohjaista tarkastusta varten. Aineisto jaettiin päähakemistoihin, kuten ”Tarkastettavat suunnitelmat” ja ”ST-toteutus”, johon tuotiin vain hyväksytyt suunnitelmat.

Kuvassa 27 on esitetty Särkimäentien risteyssillasta mallinnettua geotekniikkaa. Trimble Connect-alustalla mallinäkyymiin voidaan liittää tekstiselitteitä, mutta ne eivät ole mallin tiedonsiirrossa sellaisenaan välittyvää informaatiota. YIV:n luovutusaineiston tiedonsiirtovaatimusten mukaan siltakohteessa mallinnetuille esikuormituspenkereille, täytöille ja siltakaivannolle geometria on ainut pakollinen määrittely Inframodel4-tiedonsiirrossa.

Kohteen mallit sisälsivät geometriatiedon lisäksi InfraBIM-nimikkeistöllä koodatut määrittelyt, mutta eivät sellaisenaan muuta suunnitelmallista tietoa.



**Kuva 27.** Särkimäen risteyssilta ja hankkeella mallinnettuja kohteita.

Siltakaivannon kaivutaso mallinnettiin Inframodel-toteutuspinna, jonka nimeämisessä käytettiin InfraBIM-koodia 162400 rakennus- ja siltakaivannolle. Mallinnettu kaivutaso sisältää vain geometriaa, eikä se välitä esimerkiksi geoteknisessä suunnitelmaselostuksessa kuvattua tietoa kaivannon ulottamisesta 2,1 m syvyyteen routimattomaan syvyyteen asti.

Painumien hallintaa varten kohteeseen mallinnettiin toteutuspinna esikuormituspenkereet, joiden nimeämisessä käytettiin InfraBIM-koodia 181600. Malli ei kuvaa geometriatiedon lisäksi muuta suunnitelmallista tietoa. Suunnitelmaselostuksessa esikuormituspenkereet asennettiin kuukautta ennen rakentamista ja niiden painumia seurattiin painumamittareilla. Painumamittarien mallintamiseen, sijainnin tai tulosten esittämiseen suunnitelmamallissa ei YIV:ssä ole määrittelyjä.

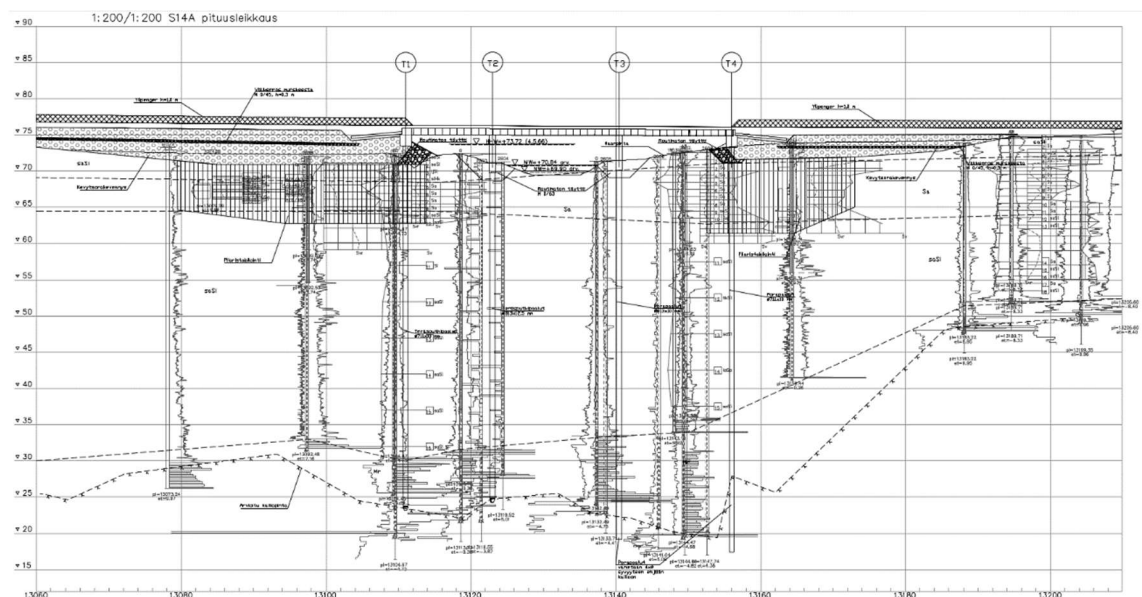
Tulopenkereiden ja sillan ympäristäytöistä ei tuotettu erillisiä malleja. Myös siltakaivannon täyttö kuvantui mallissa ylimmän- ja alimman yhdistelmäpinnan väliin jäävänä alueena. Kohteesta ei myöskään tuotettu erillistä mallia, jossa kuvattaisiin routimattoman täytön tasoa. Alustäytön yläpinta mallinnettiin toteutuspinna alustäytön InfraBIM-koodille 183100. Piirustuksissa alustäytön materiaalitieto on esitetty murskearinana. Sillan alustäytöstä on tuotettu XML-pinnan lisäksi IFC-malli. IFC-formaatissa alustäyttö sisäl-

tää muun muassa: materiaalitietoa, tilavuus- ja määrätietoa, sijainti ja korkotietoa, suunnitelman statustietoa sekä mallin metatietoja, kuten tietoa mallin tuottamiseen käytetystä ohjelmistosta ja tekijästä.

Hankkeella tuotetut toteutusmallit sisälsivät pääasiassa geometriaa työmaan tarpeet huomioiden. Mallit eivät sellaisenaan kuvaa muuta suunnitelmallista tietoa, jota tavallisesti esitetään suunnitelmapiirustuksissa. Hankkeella tuotetuista malleista ei esimerkiksi pysty yksiselitteisesti tulkitsemaan, millaisia luiskakaltevuuksia siltakaivannoissa käytetään. Lisäksi siltapaikan suunnitelmapiirustuksissa esitettyjen pohjapaineiden mallipohjaiseen kuvaamiseen ei ole esitetty ohjeistusta YIV:ssä.

### VT 12 Lahden eteläinen kehätie

Tutkimuskohteeksi valittiin jo päättyneeltä valtatie 12:lla sijaitsevalta Lahden Eteläisen Kehätien hankkeelta Porvoonjoen silta. Kaksikaistaisella valtatiellä sijaitseva vesistösilta ylittää Porvoonjoen ennestään rakentamattomalla alueella. Kyseessä on teräsbetoninen jatkuva laattasilta. Siltapari perustetaan neljällä tuella teräspalkkipaaluilla ja porapaaluilla kallionvaraan. Silta kuuluu geotekniseen luokkaan GL2 ja alue koostuu pääosin savesta ja savisesta siltistä. Siltaparin tulopenkereillä tehtyjä pohjavahvistustoimenpiteitä ovat kevennysrakenteet ja pilaristabiloinnit. Tulopenkereille on tehty stabiliteetti- ja painumalaskelmia. Kuvassa 28 sekä liitteessä 2 on esitetty siltapaikan pituusleikkaus.



**Kuva 28.** Porvoonjoen sillan pituusleikkaus.

Hankkeella geotekninen suunnittelu oli piirustus pohjaista ja malleja tuotettiin pääasiassa työmaan toteutusmalleiksi. Geoteknisiä malleja ei siten lähtökohtaisesti tuotettu sisältämään geometriatiedon lisäksi muuta suunnitelmallista tietoa. Hankkeella noudatettiin ohjeistuksena YIV 2015, Tie ja ratahankkeiden inframalliohjetta 12/2017 sekä Siltojen tietomalliohjetta 6/2014.

Siltapaikan geosuunnittelussa ja toteutusmallien laadinnassa käytettiin AutoCAD- ja TeklaCivil-ohjelmistoja. Ohjelmistoa käytettiin työnsuunnittelussa sekä pohjavahvistusten, yhdistelmämallin ja suunnitelmien yhteensovituksen tarkastamisessa ja hyväksymisessä. Hankkeen geosuunnitelmat tarkastettiin dokumenttipohjaisista piirustuksista eikä niiden osalta toteutettu mallipohjaista laadunvarmistusta. Geosuunnitelmista tuotettiin toteutusmalleja Inframodel-formaatissa työmaan koneohjausautomaatioon. Toteutusmallit muodostettiin jatkuvina pintamalleina, jotka koostuivat kolmiulotteisista taiteviivoista ja pisteistä. Toteutusmallien teknisen sisällön viimeistelyyn ja laadunvarmistukseen käytettiin 3D-Winiä. AutoCAD-ohjelmistoa hyödynnettiin piirustusten ja dwg-pohjaisen aineiston viimeistelyyn.

Hankkeella projektipankkina käytettiin Infrakit-alustaa, minkä lisäksi sitä hyödynnettiin muun muassa toteutukseen tarvittavan aineiston jakamiseen työmaan ja suunnittelun välillä. Alustalle koottiin aineistoa esimerkiksi maastokäynneistä ja työmaan toteumatiedosta. Lisäksi hankkeella hyödynnettiin Trimble Connectia tiedon jakamiseen ja yhdistelmämalli tarkasteluihin. Sitä hyödynnettiin myös suunnitelmamallin visualisoinnissa kokouksissa sekä suunnitelmien tarkastuskierron toteuttamiseen.

YIV:n luovutusaineiston tiedonsiirtovaatimusten mukaan siltakohteessa mallinnetuille täytöille, ylipenkereelle, kevytsorakevennyksille sekä pora- ja teräsputkipaaluille geometria on ainut pakollinen määrittely Inframodel4-tiedonsiirrossa. Hankkeella tuotetut toteutusmallit kuvasivat pääasiassa suunnitelmaratkaisun geometriaa, eivätkä muuta suunnitelmallista tietoa. Siltakohteessa tulkittiin pohjatutkimusten perusteella seuraavat maalajirajat; arvioitu kalliopinta, pehmeän alapinta, paalujen tavoitetaso, kuivakuoren alapinta sekä moreenin alapinta, joista tuotettiin erilliset kolmioverkko ja pisteaineistot. Luovutusaineiston Inframodel4-tiedonsiirtovaatimusten mukaan maalajirajoista tulee kuvata geometrian lisäksi GEO-maalajiluokitus. Kohteen täytöt kuvattiin ylimmän- ja alim-



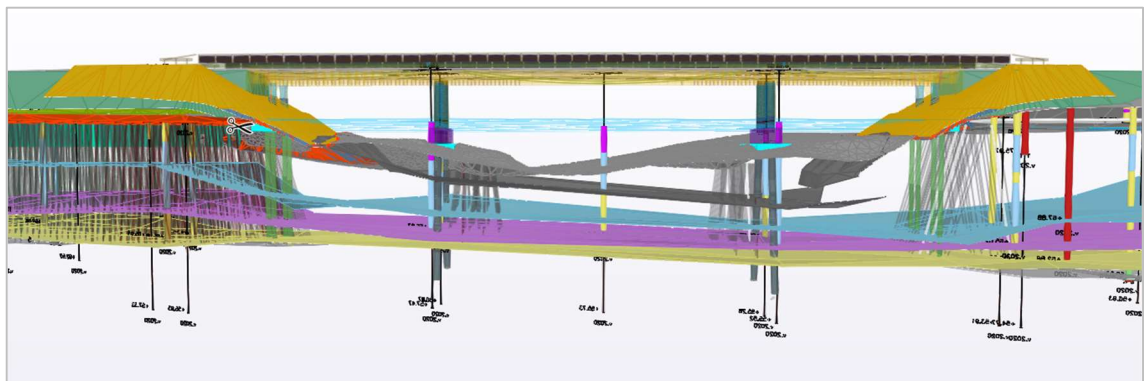
man yhdistelmäpinnan väliin jäävällä alueella. Pilaristabilointi mallinnettiin ylä- ja alapintana, joiden pakollisia Inframodel4-määrittäjiä olivat geometriatiedon lisäksi pilarin halkaisija ja tunniste.

### 6.3.2 Hanketutkimus: Käynnissä oleva hanke

#### VT 10 Vanajan silta

Hanketutkimukseen valittiin kohteeksi käynnissä olevalta hankkeelta uusittava Vanajan silta, joka sijaitsee Hämeenlinnassa Valtatie 10 varrella ennestään rakennetulla alueella. Siltapaikalla vanha silta puretaan ja tilalle rakennetaan uusi silta, joka on tyypiltään jännitetty betoninen jatkuva ulokepalkkisilta. Siltapaikan geotekninen suunnittelu toteutettiin mallipohjaisesti ja siinä noudatettiin YIV:ssä esitettyjä mallinnusvaatimuksia. Sillan geotekninen suunnittelu ja mallin tuottaminen aloitettiin luonnoshahmotelmista- ja periaateratkaisuista. Hankkeen suunnitteluprosessin yhteyteen sovitettiin suunnitelmien periaateratkaisujen tarkastus ja hyväksyntä.

Hankkeella lähtökohtana oli toimittaa urakoitsijalle vain suunnitelmamalli sekä siihen liittyvät oheisasiakirjat. Kuvassa 29 on esitetty leikkauskuva Vanajan sillan suunnitelmamallista ja kohteeseen mallinnetun geotekniikan yleispiirteitä.



**Kuva 29.** Pituusleikkauskuva Vanajan sillan suunnitelmamallista Trimble Connectissa.

Vanajan sillan geotekniikan mallintamiseen käytettiin seuraavia suunnitteluohjelmistoja:

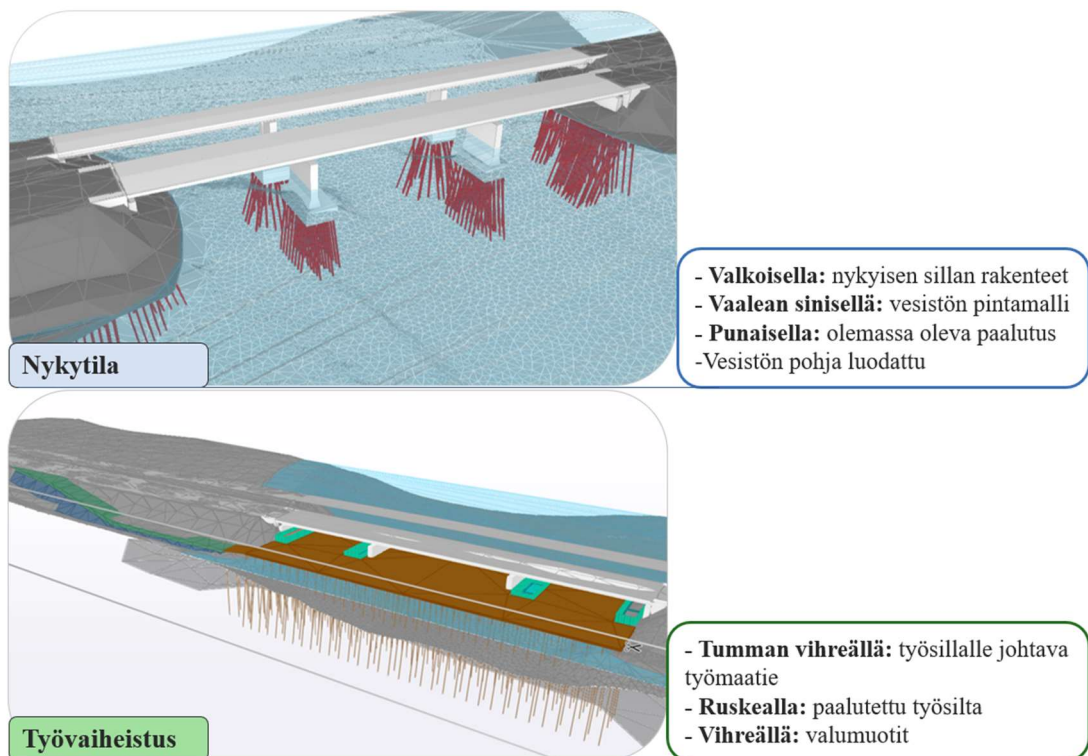
- AutoCAD 2018 ja AutoCAD Civil 3D 2018 (Pintamallit ja InfraBIM-nimikkeistön mukainen xml-koodaus)
- Novapoint Soundings (Pohjatutkimusten tietokanta)

- 3D-win (Aiemmin tuotettujen XML-tiedostojen viimeistely Inframodel-muotoon)
- Tekla Structures (Sillan ja paalulaatan IFC-mallit)

Hankkeen geotekninen malliaineisto tuotettiin dwg- ja Inframodel4-tiedonsiirtoformaateissa. Vanajan sillan tietomalli määriteltiin olevan rakennussuunnitelmaselostuksen ohella suunnitelmien velvoittava asiakirja. Suunnitelmamallia ei sellaisenaan voida käyttää rakentamiseen, vaan sillan rakennussuunnitelmaselostuksessa todetaan työn oikeellisen toteuttamisen vaativan selostuksessa esitettyjen ohjeiden noudattamista.

### Nykyiset rakenteet ja työvaiheistus

Hankkeella urakoitsija vastaa työsillan ja työnaikaisten rakenteiden suunnittelusta. Kuvassa 30 on esitetty Vanajan sillan nykytilamalli ja suunnitelman työvaiheistuksessa esitettyjä rakenteita. Kuvassa nykyinen silta ja sen vieressä oleva kevyenliikenteen silta on mallinnettu vanhan sillan piirustusten perusteella. Siltapaikan itäpäähän tulopenkereillä on puupaaluille perustettu ja nykyään louhoskivistä koostuva pohjavahvistus. Vanhan sillan välituet on perustettu vinoilla teräs betonipaaluilla kantavaan maakerrokseen. Siltapaikan nykyiset rakenteet ja vanhat paalutukset on mallinnettu suunnitelmaan 3D-solidina dwg-formaatissa.



**Kuva 30.** Vanajan sillan nykytila sekä työvaiheistukseen mallinnettu työmaatie ja paalutettu työsilta.

Siltarakenteiden lisäksi mallissa on kuvattu dwg-formaatissa vesistönpinta, maanpinta sekä luodattu vesistöpohja. Uuden sillan rakentaminen aloitetaan uomaan rakennettava paalutetulta työsillalta, jonka työvaiheistus on kuvattu suunnitelmamallissa. Työsilltaan tuetaan välitukien kasuunit sekä välitukien pilarien ja siltakannen valumuotit. Suunnitelmamalliin on myös mallinnettu vesitiiviit ponttilaatikot pääty- ja välituilla, joiden pohjalle korppulaatta ja välituen välipalkki valetaan.

### **Geotekninen suunnitelmamalli**

Maaperämallin pohjaolosuhteita ja ominaisuuksia kuvataan rakennussuunnitelmaselostuksessa sillan jokaiselle tukilinjalle erikseen. Trimble Connectiin tuotiin useita pohjatutkimusaineistoja, jotka esitettiin suunnitelmamallissa dwg-muodossa kairausdiagrammeina ja sylinterinmuotoisina kairauksina. Alustalle tuotu aineisto jaettiin myös tutkimusten iän mukaan eri tiedostoihin, sillä tuoreimmat kairaukset olivat vuodelta 2020 ja vanhimmat 1960-luvulta. Suunnitelmaan arvioidun kallionpinnan korkeustaso on määriteltä uudempien, vuonna 2020, tehtyjen kairausten perusteella. Siltapaikalta ei ole pohjavesihavaintoja tulopenkereiden karkean materiaalin vuoksi, mutta suunnitelmaan on mallinnettu alittavan vesistön pinnan taso HW-, MW- ja NW-tilanteessa. YIV:n luovutusaineiston tiedonsiirtovaatimuksissa ei ole esitetty vesistönpintaa kuvaaville malleille tiedonsiirrollisia vaatimuksia.

Sillan etuluiskien luiskatäytöt ja eroosiosuojaukset on kuvattu mallissa ja sen oheisdokumenteissa toteutettavassa laajuudessa. Sillan etuluiskien alaosiin tehdään yhtenäinen eroosiosuojaurakenne, jonka toteutustapa on esitetty rakennussuunnitelmaselostuksessa. Eroosiosuojat ulottuvat vedenpinnan tason alle ja niiden rakentaminen edellyttää suunnitelmassa mallinnettuja maaleikkauksia ja täyttöjä.

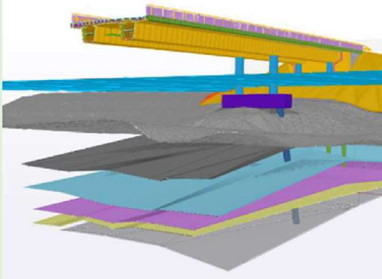
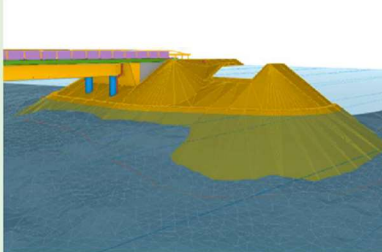
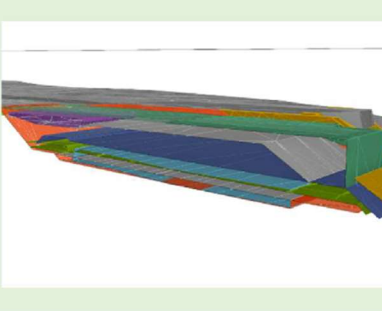
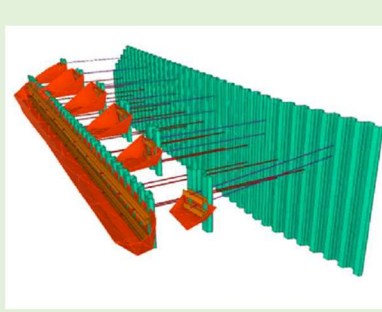
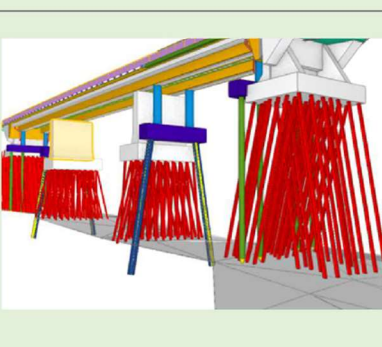
Päätytukien täytöt toteutetaan suunnitelmamallissa kuvatussa laajuudessa vanhojen tukilaattojen päälle. Tukilaattojen taakse tulevat taustatäytöt perustetaan länsipäässä tiepenkereen varaan ja itäpäässä uuden paalulaatan varaan. Sillan läntisen tulopenkereen korotukseen tehdään kevytsorasta koostuva, pintana mallinnettu kevennysrakenne. Uudet täytöt ja kevennysrakenteet erotetaan suodatinkankaalla toisistaan, joka on kuvattu suunnitelmassa pintamallina. Rakennussuunnitelmaselostuksessa on esitetty tarkempi materiaalitieto tien rakennekerrosten ja tulopenkereen kevytsorakevennyksen väliin mallinnetuille pengertäytöille.

Länsipään tulopenkereiden kaivanto kaivetaan rakennussuunnitelmassa arvioituun syvyyteen tukemattomana. Kaivannon luiskakaltevuudet on kuvattu rakennussuunnitelmaselostuksessa. Kaivannon luiskat toteutetaan suunnitelmamallissa esitetyllä tavalla lähien vanhan maatuon laatan yläpinnasta.

Sillan välituet perustetaan työsillalta porattavilla teräsputkipaaluilla, jotka suunnitelmaselostuksessa on esitetty ulotettavaksi ehjään kallioon 4D-syvyyteen. Välitukien teräsputkipaalut porataan vanhan sillan paalutetun välituen läheisyyteen suunnitelmamallissa havainnollistetulla tavalla, joka tulee myös huomioida paalutuksen toteutuksessa. Päätyillä vanhan sillan paalujen arvioitiin hankaloittavan asentamista, minkä vuoksi päätytuet suunniteltiin perustettavaksi lyötävillä teräsputkipaaluilla suunnitelmamallissa esitettyyn kallionpinnan tasoon.

Peruslaattojen materiaalit, peruslaatan toteutus ja mitoitus tiedot löytyvät rakennus suunnitelmaselostuksista. Paalulaatta ja sen päästä lähtevä siirtymälaatta on suunniteltu IFC-mallina ja niiden toteutus on kuvattu erillisessä paalulaatan rakennussuunnitelmaselostuksessa. Paalulaatan päälle tuleva suojatäyttö on mallinnettu pintana ja sen toteutustapa on esitetty suunnitelmaselostuksessa. Paalulaatan työselostuksessa on myös kuvattu esimerkiksi laattaa koskeva kaivantoluiskaus sekä materiaalitieto.

Kuvassa 31 on esitetty Vanajan sillan suunnitelmamallin geoteknisiä rakenteita ja ratkaisuja sekä kuvattu niistä esitettyjä huomioita rakennussuunnitelmaselostuksessa. Hankkeella tuotettujen Inframodel-tiedostojen tietosisältö voidaan jakaa InfraBIM-nimikkeistön mukaiseen koodaukseen ja mallien tiedostonimien välittämään tietoon. Inframodel-tiedonsiirto mahdollistaa suunnitelmallisen tiedon kuvaamisen eri tietokentissä, mutta siinä kuvatun tiedon välittyminen urakointiin ja aineiston jatkokäyttöön on epävarmaa. Tiedon oikeellisen välittymisen takaamiseksi suunnitelmallinen tieto on esitetty pääasiassa tietomallin ohjeisasiakirjoissa.

Trimble Connect -näkyvä	Tietomalli	Rakennussuunnitelmaselostus
	<p><b>Maaperämalli</b> Mallinnettu pintoina dwg ja Inframodel-formaatissa.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vedenpintamallit (HW, MW ja NW)</li> <li>-Luodattu vesistönpohjamalli</li> <li>- Maalajirajapinnat: Saven, hiekan, moreenin, siltin ja liejun AP sekä arvioitu kallionpinta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pohjaolosuhteet ovat tulkittu alueelle tehtyjen uusien ja vanhojen pohjatutkimusten perusteella.</li> <li>- Pohjaolosuhteiden tulkintaperusteet ja niistä johdetut parametrit on esitetty selostuksessa.</li> </ul>
	<p><b>Etuluiskat</b> Mallinnettu pintoina dwg- ja Inframodel-formaatissa.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Etuluiska mallinnettu YP ja vedenalle ulottuvat eroosiosuojaluiskat YP ja AP.</li> <li>-Eroosiosuojausta varten mallinnettu myös kaivuupinta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sillan etuluiskat rakennetaan sillan eteen ja keiloihin ulottuvana yhtenäisenä rakenteena, joka toimii osaltaan myös eroosiosuojauksena.</li> <li>- Etuluiskien toteutustapa ja urakoitsijan ohjeistus esitetty selostuksessa.</li> </ul>
	<p><b>Penkereiden kaivut ja täytöt</b> Mallinnettu pintoina dwg- ja Inframodel-formaatissa.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kevennys ja kevennysten suodatinkangas YP ja AP</li> <li>- Paalulaatan kaivanto AP ja laatan työalusta YP</li> <li>- Routimaton täyttö AP ja YP</li> <li>- Suojatäyttö AP ja YP</li> <li>- Massanvaihtokaivanto AP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kaivantojen ja täyttöjen toteutustapa ja materiaalit on esitetty selostuksessa.</li> <li>- Lisäksi selostuksessa on kuvattu työnaikaisen kaivannon syvyyttä sekä luiskausta.</li> </ul>
	<p><b>Tukiseinärakenteet</b> Mallinnettu 3Dsolidina dwg-formaattiin.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Ankkurit (mallin nimeämisessä ilmoitettu terästyppi)</li> <li>-Palkit (mallin nimeämisessä ilmoitettu palkkityppi)</li> <li>-Pontit</li> <li>-Vastaponttien kaivut</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Sillan pääty- ja välituet rakennetaan työnaikaisten ponttilaatikoiden sisällä.</li> <li>-Paalulaatan kaivannon laajuus, luiskaukset ja tuennat on kuvattu paalulaatan rakennussuunnitelmaselostuksessa.</li> </ul>
	<p><b>Paalutus:</b> Teräsputkipaalut on mallinnettu osana sillan alusrakenteita IFC-formaatissa.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Malli välittää tietoa paalujen tarkasta sijainnista, paalukoosta ja tilavuudesta.</li> <li>-Mallissa punaisella vanhan sillan paalutus</li> <li>-Mallissa vihreällä ja sinisellä uudet teräsputkipaalut</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Päätytuilla lyöntipaalut ulotetaan kallionpintaan ja välitukien porapaalut ulotetaan ehjään kallioon 4D-syvyyteen.</li> <li>- Paalutuksen mitoitusperusteet ja työohjeistus esitetään suunnitelmaselostuksessa.</li> </ul>

**Kuva 31.** Vanajan sillan geoteknisiä rakenteita erilaisissa mallinäkymissä. YP=yläpinta, AP=alapinta.

## **Tietomallin oheisdokumentaatio**

Hankkeen suunnitelmamalli ei sellaisenaan kata kaikkea suunnitelmallista tietoa, vaan mallin toteutukseen tarvitaan laajasti erilaisia oheisdokumentteja. Suunnitelman oikeanlainen toteutus vaatii rakennussuunnitelmaselostuksen noudattamista, sillä suunnitelmamalli ei sellaisenaan ole riittävän kattava. Selostukset tuovat lisäinformaatiota suunnitelman toteutukseen ja mallin tulkintaan ja esimerkiksi läntisen tulopenkereen siltakeilaan asennettavan sivusiirtymämittarin asennusta ei ole kuvattu mallissa, vaan sen oheisasiakirjoissa. Vanajan sillan tietomallin oheisdokumentaatio koostui seuraavista asiakirjoista, jotka kaikki sisälsivät määrittelyitä geoteknisten suunnitelmamallien suhteen:

Sillan rakennussuunnitelmaselostus: Työselostus, jossa kuvataan hankkeen yleistietoja, toteutustapoja ja suunnitelmamallin ratkaisuja. Se sisältää geoteknisiä kuvauksia muun muassa pohjaolosuhteista, pohjarakenteista ja perustamisesta.

Paalulaatan rakennussuunnitelmaselostus: Työselostus, jossa kuvataan paalulaatan toteutustapa.

Sillan ja paalulaatan tietomalliselostukset: Tiiviitä tietopaketteja hankkeella tuotetuista IFC-malleista ja niiden tietosisällöstä.

Rakennussuunnitelman tietomalliselostus: Kuvaa Inframodel-formaatissa tuotetun tietomalliaineiston sisältöä ja tuotettua geoteknistä malliaineistoa. Selostuksessa kuvataan käytettyä lähtötietoaineistoa, luotuja suunnitelmamalleja, aineiston laadunvarmistusta, yhdistelmämallia sekä yleisiä asioita esimerkiksi käytettävistä koordinaattijärjestelmistä. Selostuksessa kuvataan mallintamiseen käytettyjä ohjelmistoja, luovutusformaatteja sekä yleispiirteisiä huomioita tuotetun aineiston tarkkuudesta, puutteista ja tulkintaperusteista.

Geotekninen suunnitelma- ja laskentaselostus: Toimii suunnitelma-aineiston koontina ulkoisille tarkastajille. Se sisältää yleistä tietoa kohteen geosuunnittelun perusteista, kuten siinä käytetyistä lähtötiedosta, koordinaatti- ja korkeusjärjestelmistä, maastomallista, vesistöpuhjaluotauksesta, pohjatutkimuksista ja aineiston alkuperästä.

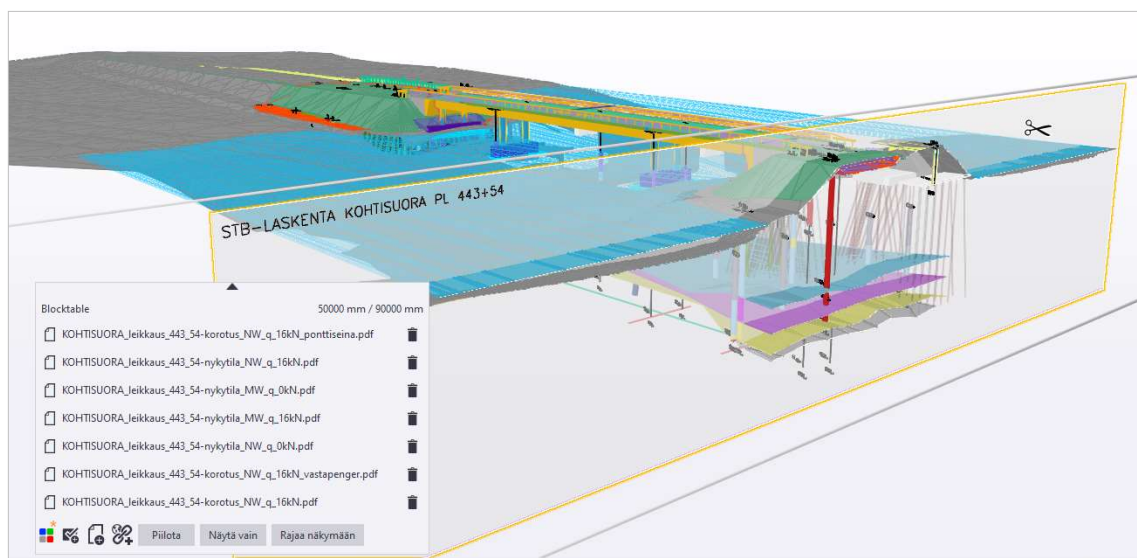
Tietomalliloki: Yksinkertaistettu, hankkeella tuotetun aineiston listaus, jossa esitetään lyhyesti tuotetun aineiston tiedostonimi, päivämäärä, sisältö, tekijä sekä tiedostoa koskevat huomautukset.

Lähtötietoaineistoluettelo: Sisältää tietoa suunnitteluun käytetystä lähtötiedosta. Luetteloon voidaan kirjata huomioita esimerkiksi pohjatutkimusaineiston laadusta, kelpoisuudesta ja riskeistä.

## Tarkastusprosessi

Vanajan sillalla toteutetaan sekä silta-, että geosuunnittelussa suunnitelmien kolmiosaisten tarkastusprosessi. Hankkeella asetettiin tavoitteeksi toteuttaa suunnittelu, kolmannen osapuolen tarkastus sekä tilaajan suunnitelmien hyväksyntä jo suunnitteluprosessin aikana. Mallipohjainen tarkastusprosessi toteutetaan yhdistelmämalli tarkastelun kautta, jossa tarkastajalla on saatavilla kaikki projektille tuotu geotekninen tietomalliaineisto.

Hankkeella linjattiin, että 2D-aineistoa tuotettaisiin suunnitelmamallin lisäksi vain tilanteissa, joissa malli ei riitä esittämään suunnitteluratkaisua riittävän selkeästi. Tarkastusprosessin tueksi malliin tuodaan piirustus pohjia helpottamaan mallin leikkausnäkyvien tarkastelua kriittisissä pisteissä. Trimble Connectin leikkaustyökalua voidaan hyödyntää suoraan piirustus pohjaa vasten, jolloin mallinnetut maakerrosrajat havainnollistuvat selkeämmin muun aineiston joukosta. Aineistoa lisätään tarkastusprosessia varten kuvassa 32 esitetyllä tavalla. Piirustus pohjiin liitettiin suunnitelmamallia tukevaa 2D-aineistoa, kuten stabiliteetilaskelmia pdf-asiakirjoina. Piirustus pohjaan liitettyllä aineistolla voidaan havainnollistaa tarkastajalle esimerkiksi laskentapisteiden sijoittumista malliin tilanteissa, joissa laskelmat eivät ole kohtisuorassa tien mittalinjaan nähden.



**Kuva 32.** Piirustus pohjia voidaan hyödyntää mallin leikkauskuvien liiteobjektina, kun halutaan osoittaa esimerkiksi 2D-stabiliteetilaskelmien sijoittumista suunnitelmaan.

## 6.4 Hanketutkimusten analysointi

Tässä osiossa käsitellään edellisessä kappaleessa esiteltyjä hanketutkimuksia, niissä ilmi tulleita haasteita sekä esitetään mahdollisia ratkaisuehdotuksia ja kehityssuuntia. Hanketutkimuksia analysoidaan kaikkien tutkimukseen valittujen pilottikohteiden kautta niistä johdettujen pääteemojen alla.

### 6.4.1 Geotekniset suunnitelmamallit

YIV:ssä esitettyjen luovutusaineiston tiedonsiirtovaatimusten mukaan useimpien hanketutkimuksissa käsiteltyjen geoteknisten pintamallien ainut pakollinen Inframodel4-muodossa siirtyvä osa on geometriatieto. Näihin suunnitelmaratkaisuihin kuuluu kuitenkin yleensä paljon muuta suunnitelmallista tietoa, jota kuvataan suunnitelmaselostuksissa ja tietomallin oheisasiakirjoissa. Inframodel4-formaatin pakolliseksi määritellyt osa-alueet eivät sellaisenaan kata riittävästi pinnoilla kuvattavien georakenteiden ominaisuustietoja, jotta malli olisi suoraan käytettävissä. Tietomallin mukana kulkevat suunnitelmaselostukset ja tietomallidokumentaatio ovat keskeistä aineistoa mallin jatkokäytössä ja hyödynnettävyydessä. Suunnitelmamallien tiedonsiirtoformaattiin voisi olla tarpeellista kehittää viittaus- tai linkitysmahdollisuuksia mallin ”käyttöohjeena” toimivaan oheisdokumentaatioon. Aineistojen välinen linkitys ei välttämättä vaadi formaattikehitystä, vaan se voitaisiin toteuttaa esimerkiksi mallin nimeämiskäytännöissä.

Maaperästä mallinnetaan lähes aina kallionpinta ja pehmeän maakerroksen alapinta. Maaperän pinnantulkinta perustuu kairaushavaintoihin, joiden välille luodun kolmioverkon pisteväli on interpoloitu käytetyllä mallinnusohjelmistolla. Kolmioverkossa kolmioinnin sivumitta määrittelee mallin tarkkuutta. Pitkät kolmion sivumitat voivat näin ollen leikata tai jättää huomioimatta merkittäviä geologisia muodostumia. Määritelmä ”arvioitu” liitetään usein vain kallionpintaan, eikä sitä toisteta kaikkien mallinnettujen pintojen kohdalla erikseen. Vanajan sillan hankkeella lyöntipaaluksen tavoitepinta oli selkeästi kallionpinnassa, mutta mikäli tavoitetaso olisi ollut esimerkiksi kovemman maalajirajan yläpinnassa, voisi tavoitetason arvioiminen ja esittäminen suunnitelmissa olla haastavaa.

Maalajirajapintojen mallintamisessa hyödynnetään ohjelmistojen sisäistä automatiikkaa, jossa suunnitteluohjelma luo maalajirajapinnat kairaajan maalajihavaintoihin perustuen. Ohjelmistollinen pinnantulkinta tekee helposti maalajikerrosten välisiä leikkauksia esi-



merkiksi tilanteissa, jossa samaa maalajia esiintyy osassa tutkimuspisteistä useassa kerroksessa. Automaattisesti luotua pintaa voidaan käyttää apuna pinnantulkinnassa, mutta ohjelmistollista tulkintaa täytyy aina tarkistaa ja korjata manuaalisesti. Pinnantulkinta vaatii geotekniikan asiantuntijan näkemystä kairausdiagrammeista ja kairausvastuksista sekä laajempaa lähtötietoaineistoa perusteellisemmän arvion tekemiseen. Nykytilanteessa luotettavin ja turvallisin menetelmä on geosuunnittelijan manuaalinen pinnantulkinta piste kerrallaan.

Suunnitelmamallissa esitetyt vedenpinnantasot, kuten pohjavedenpinta ja vesistön pinnantaso (HW-, MW- ja NW-tasot) voivat perustua yksittäisiin havaintoihin ja vedenpinta voi vaihdella merkittävästi mallissa esitetystä tasosta. Hanketutkimuksessa vesistönpinta mallinnettiin vanhojen piirustusten pohjalta ja tieto niistä esitettiin erillisessä tarkastajalle osoitetussa geoteknisessä suunnitelma ja laskentaselostuksessa. Pohjavesi- ja vesistön pintamalleihin olisi tarpeen liittää kytköksiä niiden tuottamisessa käytettyyn havaintoaineistoon, kuten Excel-pohjaisiin pohjavesiputkien havaintotietoihin.

#### 6.4.2 Siltakohteen ympäristö ja työvaiheistus

Pilottiprojekteilla selvitettiin, millaista ympäristöä havainnollistavaa aineistoa Trimble Connectissa on mahdollista esittää esimerkiksi mallipohjaista suunnitelmien tarkastusta varten. Kuvassa 33 on esitetty tyypillisiä kartta-aineistoja, joita voidaan tuoda Trimble Connectiin ja havainnollistaa kohteen ympäristöä. Alustalle voidaan tuoda dwg-muodossa esimerkiksi maaperä-, ilmakuva ja topografiakarttoja. Lisäksi alustalla voidaan hyödyntää pistepilviaineistoja, joilla esimerkiksi kohteen nykyisiä rakenteita ja ympäristöä voidaan visualisoida malliin.



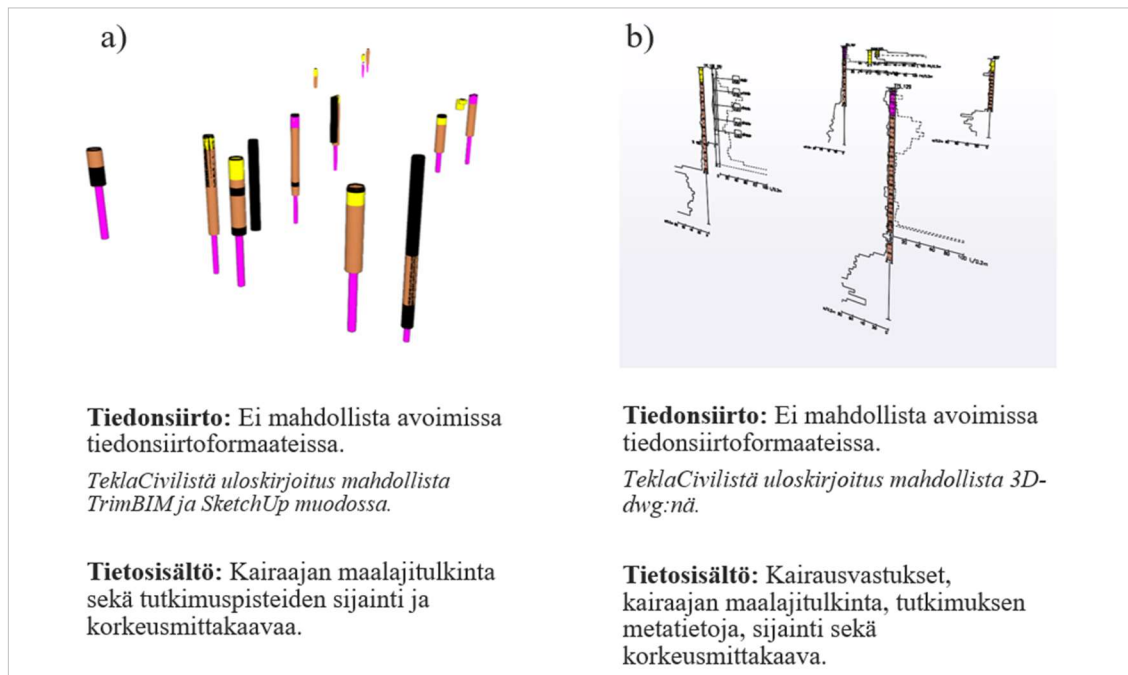
**Kuva 33.** Trimble Connect-alustalle voidaan tuoda erilaisia kartta-aineistoja, jotka havainnollistavat kohteen ympäristöä ja maastoa.

Työvaiheistuksen esittäminen suunnitelmaratkaisussa voi olla keskeinen osa onnistunutta rakentamista etenkin haastavissa kohteissa. Työnaikaiset rakenteet kuvataan suunnitelmapiirustuksissa esimerkiksi yksinkertaisilla katkoviivoilla. Työvaiheistuksen kuvaaminen mallipohjaisesti on työmäärältään dokumenttipohjaista esitystapaan merkittävästi suurempi. Suunnitelmamallilla voidaan kuitenkin havainnollistaa työn suoritusta ja työnaikaisia rakenteita jakamalla aineistoa osamalleihin. Esimerkiksi vaativan siltakohteen kaivanto voidaan kuvata työvaiheen mukaan useissa eri näkymissä ja esittää lopuksi valmis suunnitelmamalli. Lisäksi mallin ominaisuustiedoissa voidaan kuvata esimerkiksi aikataulutietoja tai suunnitelman statustietoa.

Mallipohjaisessa suunnittelussa työvaiheiden mallintamisen lisäksi niiden kuvaaminen työselostuksissa on tärkeää, jotta mallin tarkastaja voi arvioida suunnitelmaratkaisujen toteutustapoja ja toteutettavuutta. Kokonaisuuden kannalta voi olla myös tärkeää määrittellä, millaista tietoa on tarkoituksenmukaista ja tehokasta mallintaa ohjelmistollisesti. Mallintamisen suunnittelutyö täytyy säilyä kustannustehokkaana siten, että saavutettavat hyödyt koko hankkeen elinkaaren näkökulmasta ovat suuremmat kuin työhön käytetyt investoinnit. Mallintamisen tarkoituksenmukaisuutta ja tarpeellisuutta voi olla tarpeen arvioida esimerkiksi suunnitteluprosessin alussa pyöriteltävien vaihtoehto- tai periaateratkaisujen osalta.

### 6.4.3 Pohjatutkimukset mallissa

YIV-ohjeistuksen mukaan pohjatutkimusten mallintamisen tarpeellisuus määritellään hankekohtaisesti. Mallinnettavien pohjatutkimusten sijainti esitetään mallissa 3D-kaivausdiagrammina tai sylinterimäisenä kappaleena. Maalajeja kuvattaessa käytetään virallisia SGY:n 201/2007- julkaisun pohjatutkimusmerkintöjä ja värikoodausta. Kuvassa 34 on esitetty pilottiprojekteilla käytetyt pohjatutkimusten vaihtoehtoiset esitystavat 3D-ympäristössä, joissa värikoodaukset noudattavat niiden virallisia määrittelyitä.



**Kuva 34.** Pohjatutkimusten kuvaustekniikat 3D-ympäristössä. a) Pohjatutkimusten kuvaaminen sylinterimäisillä objekteilla. b) Pohjatutkimusten kuvaaminen kairausdiagrammeilla.

Trimble Connectissa ei ole taso- tai apuviivoja, joilla korkeusmittakaava hahmottuisi mallin käyttäjälle välittömästi. Suunnitelmapiiiruksissa esitetään aina vakioitu tasoviivo, joka välittää nopeasti yleiskuvan tutkimusten syvyysprofiilista.

Trimble Connectissa kairausdiagrammeja ei voida kääntää mallin tarkastelijan katse-lusuunnan mukaiseksi. Siltaapaikan pohjatutkimusten tukilinjakohtainen tarkastelu vaatii kairausdiagrammien dwg-tiedoston erillistä kääntämistä esimerkiksi AutoCAD-ohjelmis-tolla pituus- ja poikkileikkausnäkyymiin tai tarkastelulle haluttuun katselukulmaan.

Trimble Connectin leikkaustyökalu on hyödyllinen apuväline, mikäli pohjarakenteita ha-lutaan tarkastella tukilinjakohtaisesti. Leikkaustyökalu kuitenkin piilottaa kaiken malliai-neiston leikkaustason taakse jäävältä osalta, jolloin myös osa tarkastelulle keskeisistä pohjatutkimuksista piiloutuu mallista. Ohjelmistokehityksen näkökulmasta olisi hyödyllistä, että mallissa voisi tiedostokohtaisesti lukita pohjatutkimuksia leikkaustarkasteluun.

Pohjatutkimusaineiston koonti Trimble Connectiin hyvin nimetyillä osatiedostoilla mah-dollistaisi tutkimusten suodattamisen mallinäkyvässä tarkastajan tarpeiden mukaan.

Osatiedostoihin jaettu pohjatutkimusaineisto mahdollistaa tarkastelunäkymän selkeyttämisen, sillä tarkastaja voi halutessaan ohjelmiston piilota/näytä -toiminnoilla karsia mallista tarkastettavan alueen kannalta epärelevantimpia tutkimuksia. Pohjatutkimuksia olisi myös hyvä jakaa osatiedostoihin esimerkiksi tutkimusten ajankohdan, pituus-/poikkileikkaus suunnan, sijainnin tai kelpoisuuden perusteella. Koko tutkimusaineiston esittäminen yhdessä tiedostossa esittää tutkimukset mallissa helposti päällekkäin vaikeuttaen tarkastelua.

Vaihtoehtoisia tapoja visualisoida tutkimusdataa olisi tarpeellista kehittää lisää, jotta pohjatutkimusten kuvaustapa esittäisi tutkimuksen havaintotietoa mallissa nykyistä selkeämmin. Kairausten visualisointitapoja 3D-ympäristöön voitaisiin kehittää esimerkiksi asettamalla kairausvastus ja sylinterimuotoisen kairausputken säde korreloimaan keskenään, jolloin havaintotieto välittyisi samalla tavalla riippumatta tarkastelukulmasta. Uusien visualisointitapojen kehittäminen voi kuitenkin olla haasteellista, koska kuvaustekniikka täytyisi ratkaista kaikille kairausmenetelmille.

#### **6.4.4 Mallien tietosisältö ja mallipohjainen tarkastus**

Tekla Civilistä uloskirjoitettavaan Inframodel-tiedostoon voidaan lisätä metadataa projektin tunnuksista, aineiston laatijasta sekä koordinaattijärjestelmistä. Lisäksi formaattiin on mahdollista lisätä tietoa esimerkiksi aineistoselitteestä, suunnittelun statuksesta ja suunnitelmavaiheesta. Vaikka formaatin tietokentät mahdollistavat suunnitelmallisen tiedon kuvaamisen mallin tiedonsiirrossa, nykyiset tietomallialustat eivät tue kaikkia tietokenttiä ja aiheuttavat epävarmuutta tiedon oikeelliseen välittymiseen.

Suunnitelmaratkaisuun liittyvää tietoa, kuten mallin epätarkkuutta voitaisiin kuvata Inframodel-formaatin tietokentässä ”aineistoselite”. Haasteellista formaattiin liitetyn tiedon käytettävyydelle kuitenkin on, että vaikka tieto välittyykin näissä tietokentissä mallin tiedonsiirrossa, sitä ei pysty tarkastelemaan esimerkiksi Trimble Connectissa suoraan mallin informaatiokentässä. Aineisto on ladattava palvelimesta ja avattava esimerkiksi tekstieditorilla, josta tieto on etsittävä XML-tiedostosta manuaalisesti. Trimble Connectin kautta avattu mallin ominaisuustietokenttä ei kuvaa Inframodel-formaatin tietosisältöä eikä metatietoja. Mallin käytölle kriittistä informaatiota voi jäädä huomaamatta, mikäli formaatin koodauksessa esitetty tieto välittyy epävarmasti ohjelmistojen välillä jatkokäyttöön. Mikäli tiedonsiirron tavoitteena on välittää sellaista suunnitelmallista tietoa, jota tällä hetkellä kuvataan suunnitelmapiirustuksissa, vaatii se lisämäärittelyitä YIV:ssä pakolliseksi

asetettaville ominaisuustiedoille. Lisäksi hankkeilla käytössä olevien tietomallialustojen olisi pystyttävä kehittämään formaatinluku ominaisuuksiaan siten, että mallien tietosisältöä voitaisiin lukea suoraan ohjelmistossa niille varatuissa tietokentissä.

Tällä hetkellä varmin tapa välittää mallin käytön kannalta kriittisintä tietoa on tiedoston nimeäminen siten, että se aiheuttaa mahdollisimman vähän tulkinnanvaraa. Lisäksi mallin epävarmuutta voidaan korostaa visuaalisesti Trimble Connectissa esimerkiksi kuvaustekniikan (värit, läpinäkyvyys), ToDo-toimintojen ja kommenttityökalujen kautta. Alustalle on mahdollista tuoda lisäinformaatiota mallissa kuvattaviin rakennusosiin kommentointi työkaluilla tai lisäämällä erikseen attribuuttitietoja. Sovelluksessa rikastetut mallit ovat kuitenkin vain rajallisesti hyödynnettävissä hankkeen aikana, koska lisätty tieto ei välity mallin tiedonsiirtoon IFC- tai Inframodel formaatissa, vaan ne täytyy siirtää erikseen BIM Collaboration formaatin (BCF) kautta. Trimble Connectissa lisätyllä tiedolla ei ole mallipohjaista kytköstä ja tiedon oikeellisuus voi vaarantua, mikäli mallia on tarpeen päivittää tai esimerkiksi materiaalitietoja muuttaa.

Trimble Connectin mittaustyökalu toimii pääasiassa hyvin suunnitelma-aineiston keskeisten mittojen tarkistamiseen. Siinä ei kuitenkaan ole mahdollisuutta tarkistaa pintojen, kuten siltakaivantojen kaltevuuksia, minkä vuoksi luiskakaltevuus on esitettävä esimerkiksi mallin oheisasiakirjoissa, erillisellä piirustusohjelmalla tai alustan omilla toiminnoilla. Tieto luiskakaltevuudesta voidaan osoittaa Trimble Connectissa tuodun mallin attribuuttitiedoissa tai näkymien kommenttityökalulla. Trimble Connectissa lisätty tieto ei kuitenkaan välity mallin siirtotiedostoon, eikä ilmoitetun arvon oikeellisuutta voida alustalla tarkistaa.

### **Tarkastusprosessi**

Mallipohjaisen aineiston tarkastus voidaan jakaa karkeasti mallin visuaaliseen ja tekniseen tarkastukseen. Visuaalisessa tarkastuksessa tärkeintä on, että geoteknisten rakenteiden ja ratkaisujen geometriaa voidaan havainnoida siten, että ne sopivat ympäristöön ja yhdistelmämalliin. Trimble Connect sopii mallien visuaaliseen tarkastukseen, mutta sillä ei voida tarkistaa mallien teknistä tietosisältöä ja koodausta. Inframodel-formaatissa esitettyjen pintamallien pisteet ja taiteviivat sekä niiden YIV- ja InfraBIM-nimikkeistön mukainen koodaus täytyy tarkistaa toisella ohjelmistolla, kuten 3D-winillä.

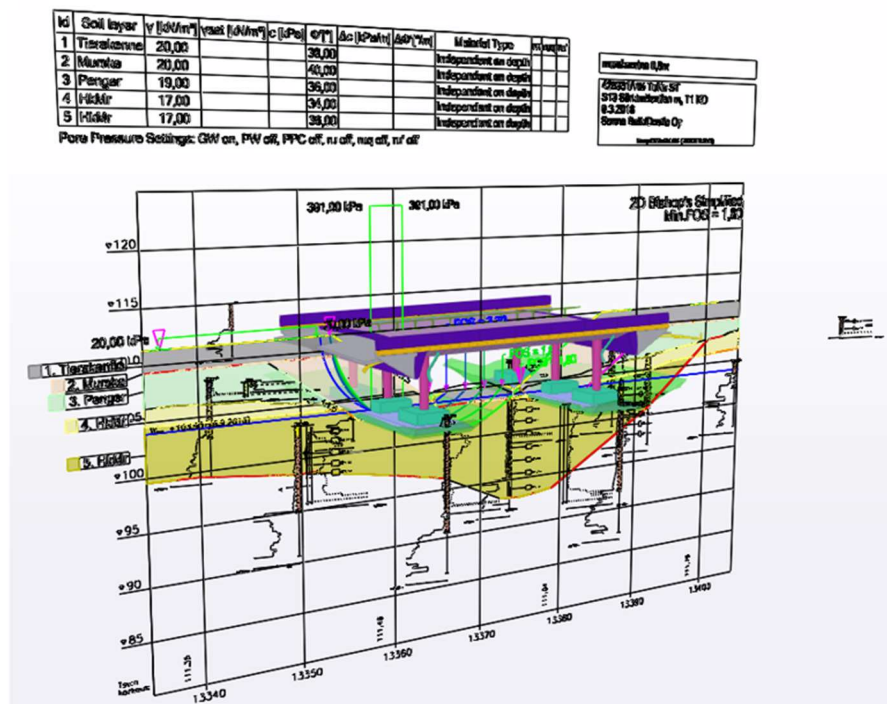
Vanajan sillan hankkeella stabiliteettilaskelmat esitettiin tarkastusprosessia varten uudella tavalla hyödyntämällä yhdistelmämallia laskelmien sijainnin havainnollistamisessa. Menetelmän periaatteena on tuoda mallin tarkasteluohjelmistoon laskentakohdan leikkauksen todellinen sijainti 3D-dwg piirustus pohjalla. Tähän luotuun objektiin voidaan mallin tarkasteluohjelmassa liittää leikkauksen kohdalla tehtyjä laskelmia tai muita dokumentteja. Ratkaisu auttaa visualisoimaan laskelmien sijaintia sekä havainnollistamaan niiden suuntausta ja sijoittumista kohteen ympäristössä. Vaikka malliin voidaan liittää Trimble Connectissa tarkastusprosessin näkökulmasta tärkeää tietoa, ei malliin linkitettyllä aineistolla ole tiedonsiirrollista mekanismeja ja pdf-linkitys toimii vain tarkasteltavalla projektilla. Menetelmää voidaan soveltaa tarkastusprosessin tarpeisiin ja mallin havainnollistavuutta tukemaan, mutta luovutusaineiston tiedonsiirrossa aineistot eivät linkity toisiinsa.

Piirustus pohjien käyttäminen mallipohjaisen tarkastelun tukena voi myös helpottaa sellaisten geoteknisten ratkaisujen havainnollistamista, joiden kuvaaminen 3D-ympäristössä on vielä haasteellista. Piirustus pohjia voidaan hyödyntää esimerkiksi tuomalla korkeusmittakaava mallinäkömään ja havainnollistaa siten tutkimusten syvyysprofiilia. Tarkastajalle voidaan osoittaa piirustus pohjilla suunnitelmallisia huomioita esimerkiksi kaivurajojen tai routimattomien täyttöjen työmenetelmiä koskevista lisätiedoista.

Mallipohjaisen aineiston tarkastusprosessia voitaisiin digitalisoida teettämällä suunnitelmien tarkastus ja hyväksyntä suoraan mallin tarkastusalustalle. Trimble Connectissa suunnittelijan lataama malliaineisto on mahdollista koota ja käsitellä ToDo-toiminnolla suunnitelmien tarkastuskonsultin tarkastettavaksi ja aineiston hyväksyntään. Nykytilanteessa mallipohjaisesta tarkastuksesta luodaan lähes aina Word-pohjainen tarkastuskertomus. Tarkastuskertomukseen kirjataan esimerkiksi malleja koskeva suunnittelijan ja tarkastajan välinen vuoropuhelu sekä suunnitelmien tarkastuksen tilanne. Hanketutkimuksessa selvitettiin mahdollisuuksia hyödyntää Trimble Connectin automatiikkaa tarkastuskertomisen luomiseen. Trimble Connectin ToDo-toiminnolla voidaan tuottaa halutuista tehtävistä Excel tai BCF-muotoinen koonti suunnittelijan ja tarkastajan välisestä vuoropuhelusta arkistointia varten. Suunnittelijan ja tarkastajan välinen vuoropuhelu ei kuitenkaan tällä hetkellä arkistoidu kokonaisuudessaan ohjelmiston omilla työkaluilla uloskirjoitettavaan tiedostoon, sillä toiminto ei välitä tarkastustehtävälle osoitettuja kommentteja, kuvia tai tietoa linkitetystä aineistosta. ToDo-tehtävien käyttöä siltakohteiden tarkastuskertomuksen automatisointiin tulisi jatkossa selvittää lisää.

### 6.4.5 Geotekniset laskelmat

Geotekniset laskelmat esitetään yleisesti geoteknisessä suunnitelmaselostuksessa. Mallissa laskelmia voidaan havainnollistaa tarkastusprosessin tueksi esimerkiksi Vanajan sil-  
lan tapauksessa käytetyillä leikkauskuvilla. Samalla periaatteella mallissa voidaan esittää  
stabiliteettilaskelma leikkauspohjalla, mikäli sille nähdään tarvetta. Kuvassa 35 on esi-  
tetty stabiliteettilaskelma, joka on tuotu piirustuksena 3D-ympäristöön ja sovitettu oikei-  
siin koordinaatteihin Civil3D:ssä.



**Kuva 35.** Stabiliteettilaskelma mallissa esitettynä.

Särkimäen risteyssillan painumien hallintaan käytettiin painumamittareita, joiden käyttöä ja tuloksia esitettiin suunnitelmaselostuksessa, mutta niitä ei kuvattu mallipohjaisesti. Painumamittareita ei välttämättä ole tarkoituksenmukaista kuvata niiden todellisella muodolla, mutta niiden sisällyttäminen tietomalliin olisi hyödyllistä painumien seurannan ja jatkokäytön kannalta. YIV:ssä ei ole esitetty ohjeistusta painumamittareiden ja painumien seuranta aineiston tietomallintamiseen.

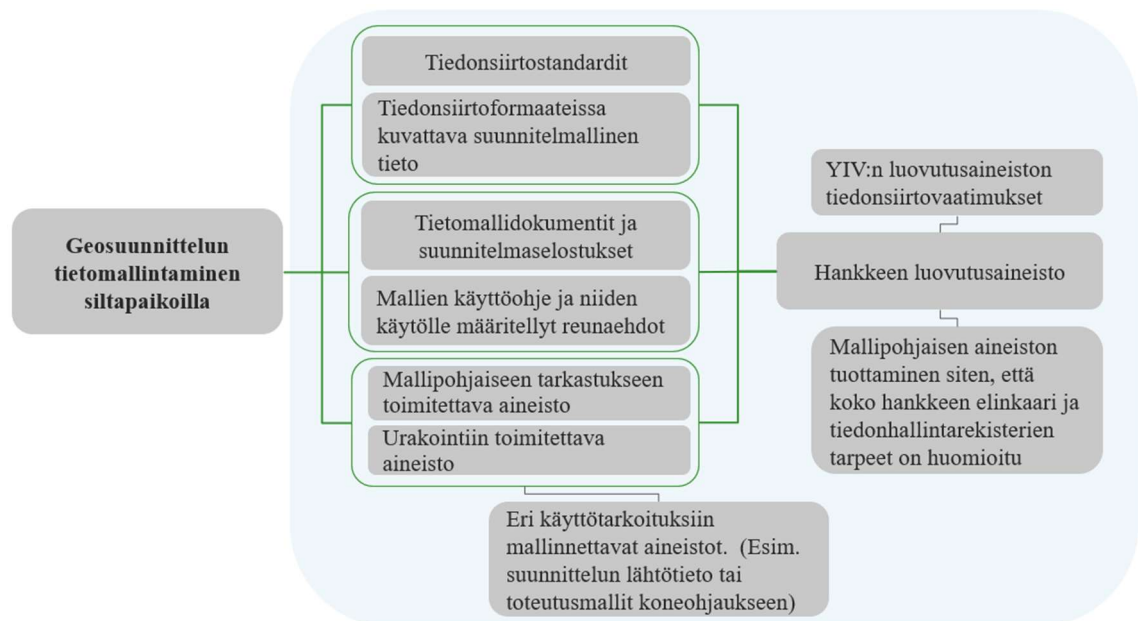
## 7 TULOSTEN YHTEENVETO

### 7.1 Tutkimusmenetelmien yhteenveto

Tässä osiossa käsitellään haastattelu- ja hanketutkimuksesta nousseita yhtäläisyyksiä ja tuodaan ilmi kootusti molempien tutkimusmenetelmien tuloksista nousseita johtopäätöksiä.

#### 7.1.1 Mallipohjaiset toimintatavat

Kuvaan 36 on koottu tutkimustulosten osakokonaisuudet geosuunnittelun tietomallintamisesta siltapaikoilla.



**Kuva 36.** Geosuunnittelun tietomallintaminen siltapaikoilla – tutkimuksen pääteemat.

Haastattelu – ja hanketutkimusten kautta kerätyn aineiston perusteella geosuunnittelun tietomallintamisen suurimmat kehitystarpeet kohdistuvat käytännön toimintatapoihin hankkeilla, mallintamisen tietotaitoon, tiedonsiirtostandardien tietomäärittelyihin ja ohjelmistojen kykyyn kuvata geoteknistä suunnitelma-aineistoa tarkoituksenmukaisesti.

Tilaa hankkeille asettamat mallinnusvaatimukset vievät alan kehitystä eteenpäin, sillä ne ajavat löytämään toimivampia ratkaisuja tuottaen aineistoa tehokkaasti suunnittelussa



ja suunnitteluun käytettävillä ohjelmistoilla. Aineiston tekninen tuotettavuus ja kansalliset mallinnusvaatimukset määrittelevät osaltaan hankkeilla mallinnettujen ratkaisujen laatua. Vaatimusten mukaisen aineiston tuottaminen tulisi olla lähtökohtaisesti käyttäjystävällistä, jotta mallintamiseen ei tulisi houkutusia oikoa suunnitteluratkaisuissa esimerkiksi jättämällä ohuita, mutta mitoitukselle merkittäviä maakerroksia mallintamatta.

Mallinnusvaatimusten kehityksessä täytyy huomioida mallintamisen tarkoituksenmukaisuus geosuunnittelussa sekä vaihtoehtoiset tavat tuottaa tietomalliaineistoa. Keskeisenä näkökulmana mallipohjaisessa suunnittelussa on rakentamisen tarpeisiin sopivien mallien tuottaminen. Tällöin on tarpeen pohtia, mitä lisäarvoa tiettyjen ratkaisujen tai rakenteiden mallintaminen tuo hankkeelle verrattuna niihin käytettyihin resursseihin. Mallintaminen voi olla epäkäytännöllistä, jos vastaavat asiat on helpommin esitettävissä esimerkiksi pdf-asiakirjoista koostuvan koonnin avulla. Mallipohjainen suunnittelu tuo kiistatonta lisäarvoa geotekniikkaan, mutta mallintamista ei voida sellaisenaan pitää itseisarvona, sillä dokumenttipohjainen suunnittelu on monessa tapauksessa käytännöllisempi ja riskittömämpi tapa tuottaa laadukasta aineistoa.

Yhdistelmämallin tarkastelunäkymä sisältää usein paljon informaatiota, minkä vuoksi suunnitelmien ulkoisella tarkastajalla voi olla vaikea ottaa selvää tai suodattaa tarkastuksen kannalta oleellinen geotekninen aineisto. Mallipohjainen tarkastusprosessi vaatii tuokseen vakiintuneita toimintatapoja tiedonpaljouden hallintaa ja mallien käyttöönottoa varten, jossa esimerkiksi vakionäkymät tai käytettävän tarkastusalustan toimintojen hyödyntäminen on mahdollista. Mallipohjaisten toimintatapojen käyttöönotto geosuunnittelussa vaatii lisää käytännön pilotointia hankkeilla, sillä vain hyväksi havaituista toimintatavoista voi alkaa muodostua alan yleisiä ja vakioituneita käytäntöjä.

### 7.1.2 Geotekniset mallit ja tiedonsiirtostandardit

#### **Suunnittelun lähtötieto ja Infra-pohjatutkimusformaatti**

Geosuunnittelun mallipohjaista tarkastusprosessia varten suunnittelun lähtötieto, pohjatutkimukset ja niiden tulokset tulisi saada välitettyä suunnitelmamallissa tarkastajalle selkeästi ja jäsennellysti. Suunnitteluratkaisuun käytetyn lähtötiedon aiheuttamien epävarmuustekijöiden vaikutusta ei tuoda tällä hetkellä ilmi mallipohjaisissa esitystavoissa. Mallinnettu pohjatutkimusaineisto karsii alkuperäisen Infra-pohjatutkimusformaatin tie-

tosisältöä, sillä tutkimusdata välittää usein pelkkää geometriaa ja piirustus pohjan meta-tietoja. Kairausdiagrammit on tällä hetkellä tarkoitettu lähtökohtaisesti suunnittelun tarpeisiin ja 2D-muodossa tarkasteltaviksi. Pohjatutkimusten mallipohjainen esitystapa ei visualisoi kairausdatan havaintotietoa yhtä selkeästi kuin suunnitelmapiirustukset.

Infra-pohjatutkimusformaatin mukaan formaatti ei sisällä tulkintaa, vaan pelkkiä havain-toja. Formaatin kairausdatassa maalajimerkinnät määritellään kairaajan havainnoiksi, vaikka todellisuudessa ne ovat kairaajan tulkintaa. Geotekniikassa voi olla tarpeen selkeyttää rajoja, millainen aineisto määritellään tulkinnaksi ja mikä havainnoiksi. Infra-pohjatutkimusformaateissa voitaisiin kairaajan havaintojen sijaan puhua kairaajan tulkin-noista, koska ne perustuvat pääasiassa subjektiiviseen näkemykseen. Kairaajan maalaji-havainto voi osoittautua kairausvastuksen ja maanäytteen laboratoriotutkimusten myötä eri maalajiksi. Infra-pohjatutkimusformaatin formaattiversio tulisi olla tiedonsiirrossa pa-kollista tietoa, koska formaatin tietosisältö on muuttunut sen aikaisempien versioiden vä-lillä merkittävästi.

### **Avoimet tiedonsiirtoformaattit**

Geosuunnittelussa suunnitteluratkaisujen sisältämää epätarkkuutta ei korosteta visuaali-esti tietomallissa. Suunnitteluratkaisujen epätarkkuuksien kuvaamiseen ei ole ohjelmis-tollisia työkaluja tai yhteneväisiä tiedonsiirrollisia keinoja. Pohjatutkimusten perusteella tulkitut maaperäpinnat sisältävät aina epävarmuutta riippuen käytetyn lähtötiedon riittä-vyydestä, laadusta ja luotettavuudesta. Pintojen sijaan suunnitteluratkaisuille, jotka pe-rustuvat pohjaolosuhteista tehtäviin oletuksiin tulisi kehittää tarkoituksenmukaisempia tapoja tuoda ilmi ratkaisun epätarkkuutta. Osa geoteknistä pinnoista esitetään suunnitel-missa pääasiassa viitteellisessä merkityksessä, joten niiden kuvaamiseen sopisivat parem-min esimerkiksi läpinäkyvät vyöhykkeet, joiden ylä- ja alapinta edustaisi todennäköistä väliä todelliselle pinnantasolle. Suunnitelmassa viitteellisessä merkityksessä tuotettujen pintojen tietosisältö- ja visualisointimenetelmiä tulisi kehittää siten, että niistä välittyisi suoraviivaisemmin tulkinnasta aiheutuva epävarmuus.

Inframodel-formaatilla voidaan siirtää tehokkaasti geoteknisten mallien geometriatietoa, mutta mallin tiedonsiirtoon liitettävän ominaisuus- ja metatiedon lisäämisessä sekä YIV-mukaisen aineiston ohjelmistollisessa tuottamisessa on haasteita. YIV:n luovutusaineis-ton tiedonsiirtovaatimuksissa ei ole asetettu pakollisiksi Inframodel4-määrittäviksi sel-

laisia suunnitelmallisia tietoja, joita kuvataan yleisesti suunnitelmapiiirustuksissa. Inframodel-tiedonsiirto mahdollistaa jo nyt aineistoselitteitä kuvaavia tietomäärittelyitä, joihin olisi mahdollista sisällyttää nykyistä enemmän suunnitelmallista tietoa ja epävarmuutta kuvaavia määrittelyitä. Toisaalta mallin tiedonsiirrossa kuvattavan suunnitelmallisen tiedon lisäämisessä on ongelmallista, että tieto välittyy epävarmasti muiden tietomallialustojen informaatiokenttiin ja se on yleensä etsittävä formaatin koodauksesta manuaalisesti. Mallien tietosisältöä voidaan tällä hetkellä tuoda suoraviivaisimmin ilmi tiedostojen nimeämiskäytännöillä.

Pakolliseksi määritellyt kentät vaikuttavat ohjelmistokehitykseen ja siihen, miten ohjelmistot ottavat formaattimäärittelyitä käyttöön mallien uloskirjoituksessa. Inframodel-tiedonsiirto vaatii vielä nykytilanteessa tuekseen muita asiakirjoja, joissa kuvataan tarkemmin mallien suunnitelmallista tietosisältöä.

IFC-standardia olisi syytä hyödyntää nykyistä enemmän geosuunnitteluun sen kattavan tietorakenteen vuoksi. Se on osoittautunut toimivaksi tiedonsiirtomuodoksi arkistointi- ja rekisterikäytössä, sillä sitä voidaan suodattaa erilaisten rajapintojen kautta. IFC-formaatin käytössä haasteena voi olla, että mallin tietosisältö on liian raskas suunnitteluohjelmistojen tehokkaaseen käyttöön. Lisäksi geosuunnittelijat käyttävät tällä hetkellä vain harvoin IFC:n tuottamiseen käytettyjä sovelluksia, joten standardin käyttöönotto ja mallintamisen tekninen tietotaito voi kehittyä hitaasti.

### **7.1.3 Tietomallien oheisasiakirjat**

Tietomallin käyttöön liittyvää oheisdokumentaatiota sisällytetään esimerkiksi lähtötietoaineistoluetteloon, tietomalliselostuksiin, rakennussuunnitelmaselostuksiin, tietomallilokiin sekä geotekniseen suunnitelma – ja laskentaselostukseen. Suunnitelmamallin oheiselostuksissa täytyy myös tuoda ilmi sellaisia asioita, joiden mallipohjaiseen kuvaamiseen ei ole vielä vaatimuksia tai ohjeistusta, kuten tietoa pohjapaineista, luiskakaltevuuksista tai materiaaleista. Suunnitelmamallin käyttö ja hyödynnettävyys on tällä hetkellä riippuvainen sen mukana kulkevista oheisasiakirjoista.

Mikäli asioita, joita esitettiin aiemmin geoteknisissä suunnitelmapiiirustuksissa ei voida luontevasti välittää mallissa visuaalisesti tai tiedonsiirrollisin keinoin, voi se vaatia suunnitelmallisten tietojen tarkempaa kuvailua tietomallin oheisasiakirjoissa. Tällöin on tär-

keää olla selvillä yhtenäiset käytännöt sille, millaista tietoa erilaiset oheisasiakirjat sisältävät ja mille hankkeen osapuolelle ne kohdistavat kriittistä tietoa. Mallin oheisasiakirjat toimivat mallin ”käyttöohjeena”, asettavat niiden käytölle reunaehdoja ja määrittelevät suunnitelmallisesti sitovia toimintoja. Alalla voi olla tärkeää luoda tarkempaa ohjeistusta siitä, millaista geoteknistä dokumentaatiota erityyppisiltä asiakirjoilta odotetaan. Ohjeistus voi liittyä geotekniikan osalta tietomalliselostuksen sisältörakenteeseen, aineiston epävarmuuksien riittävän tarkkaan kuvailuun tai esimerkiksi ulkoiselle tarkastajalle suunnattujen asiakirjojen sisältöön suunnitteluun käytetystä lähtötiedosta. Lisäksi geoteknisiin suunnitelmamalleihin voi olla hyödyllistä luoda tiedonsiirrollisia yhteyksiä toisiin aineistoihin, jotta suunnitelmaratkaisuihin liittyviä määrittelyitä saadaan helppokäyttöisesti jäljitettyä tietomallidokumenteista. Lähtökohtaisesti suunnitelmamalleissa tulisi esiintyä mahdollisimman vähän tulkinnanvaraisuutta, jotta aineiston jatkokäyttö ei olisi seuraavien käyttäjien lähtötiedosta riippuvaista.

Tietomallin luovutuksessa ja jatkokäytössä olisi myös tärkeää määritellä aineiston suunnitelmallisesti sitovin asiakirja. Velvoittava aineisto voi olla esimerkiksi tietomalli, suunnitelmapiirustus tai rakennussuunnitelmaselostus. Lähtökohtaisesti asiakirjojen tulisi olla yhdenmukaisia, mutta mikäli tieto on vaikeasti löydettävissä tai sitä on esitetty useissa eri asiakirjoissa, voi niissä esiintyä ristiriitoja tai päivittymätöntä tietoa. Asiakirjojen ”tärkeysjärjestyksellä” voidaan määritellä suunnitelma-aineistoa, joka esimerkiksi urakoinnissa täytyy ottaa huomioon suunnitteluratkaisun oikeellisessa toteuttamisessa.

### **Mallipohjaisen hankkeen luovutusaineisto**

Geosuunnittelun lähtötiedon epävarmuustekijöiden tai suunnitteluratkaisun epätarkkuuksien kuvaaminen mallin oheisasiakirjoissa on tällä hetkellä osin puutteellista ja vaihtelee riippuen aineiston tuottajasta. Jatkossa voi olla tarpeellista määritellä, miten ja missä kuvataan mahdolliset rajaukset aineiston käytölle tai niissä esiintyville epävarmuuksille. Silta-kohteiden geosuunnitelmista voi olla tarpeen tuottaa erillinen geotekninen tietomalliselostus, jossa tuodaan ilmi kootusti suunnitelmamallien tulkintaperusteita ja epävarmuuksia. Tällä hetkellä tulkintaperusteiden kuvaaminen mallin oheisdokumenteissa on aineiston tuottajan omalla vastuulla ja niiden kuvaamiselle olisikin hyvä luoda tarkempaa ohjeistusta, kuten malliesimerkkejä.

Geosuunnittelun tietomallintamisessa ”hybridiratkaisut”, jotka yhdistävät mallipohjaiseen ympäristöön dokumenttipohjaisia ratkaisuja voivat olla tarpeen kehitystyön siirtymävaiheessa, mutta tiedon parhaan käytettävyyden osalta aineistoja ja niiden tiedonsiirtoon käytettäviä formaatteja tulisi kehittää linkittymään toisiinsa ja toimimaan älykkäästi. Tietomallit, jotka eivät sellaisenaan sisällä kaikkea suunnitelmallista tietoa ovat riskialttiita, ellei niiden vaillinaisuuksia tai puutteita ei ole tuotu riittävän selkeästi esille. Hankkeiden tiedonsiirrossa tulisi pystyä luomaan yhteyksiä käytettävien tiedonsiirtostandardien välille sekä dokumenttipohjaiseen aineistoon. Tiedon ei välttämättä tarvitse löytyä suoraan mallista, mutta aineistojen yhteydet suunnitteluratkaisuihin, kuten pohjaolosuh-teista tehtyihin tulkintaperusteisiin tulisi niistä pystyä osoittamaan. Vaillinaisissa mal-leissa on myös riski tiedon katoamisesta seuraavien hankevaiheiden ja arkistoinnin välillä etenkin, jos tieto ei välity avoimessa muodossa. Tiedonhallintarekistereiden tarpeiden huomioiminen mallipohjaisia ratkaisuja kehitettäessä on tärkeää, sillä esimerkiksi infra-hankkeiden kustannuslaskentajärjestelmä IHKU tuo alalle runsaasti mahdollisuuksia tie-don laajamittaisemmalle käytölle.

Suunnitelmapiirustuksista käy usein yksiselitteisemmin ilmi geoteknisen suunnittelurat-kaisun toteutustapa ja sen toteutukseen määritellyt reunaehdot, minkä vuoksi hankkeiden luovutusaineistossa tuotettaviin piirustuksiin tulisi vielä nykytilanteessa suhtautua mal-leja sitovampina asiakirjoina. Mallinnettujen ratkaisujen tulisi kuitenkin aina noudattaa piirustuksissa esitettyjä lainalaisuuksia ja vastata tietosisällöllisesti toisiaan.

## **7.2 Jatkotutkimustarpeet ja kehityskohteet**

Geoteknisten suunnitemamallien hyödynnettävyys ja jatkokäyttö vaatii osittain alan omi-naispiirteiden tuntemusta esimerkiksi mallien epävarmuuksien suhteen, joiden kuvaami-seen ei ole vielä saatavilla ohjelmistollisia työkaluja. Geosuunnitelmien mallipohjaisen tarkastusprosessin kehittäminen vaatii tulevaisuudessa lisää pilotointia käytännön hank-keilla, jotta hyväksi havaituista käytännöistä voi alkaa muodostumaan standardoituneita toimintamalleja. Pitkällä tähtäimellä geosuunnitteluun voi olla tarpeen tuottaa spesifioi-dummat, alakohtaiset tietomallivaatimukset ja ohjeistukset.

Lähtötiedon mallipohjainen kuvaaminen selkeästi ja jäsennellysti sopii lähinnä mallin pintapuoliseen tarkasteluun, sillä esimerkiksi siltapaikan geoteknisessä suunnitelmamal-

lissa kairausdiagrammeja ei voida tarkastella tukilinjakohtaisesti ilman, että aineistoa täytyisi muokata ja eritellä eri tiedostoihin. Kairausdiagrammien visualisointia olisi hyödyllistä kehittää kuvaamaan enemmän tutkimusten havaintotietoa siten, että tarkastelu ei olisi rajoittunut yhteen katselukulman ja tutkimusten kuvaustekniikka kuvaisi mallissa selkeämmin maaperän fysikaalisia ominaisuuksia

Suunnitelmamallin epätarkkuutta ei kuvata geometrisillä objekteilla tai korosteta visuaalisesti tietomallissa. Menetelmiä geosuunnittelun epävarmuuden ja epätarkkuuden kuvaamiseen mallipohjaisesti tulisi tutkia enemmän ja kehittää uusia ratkaisuja. Pohjaolosuhdeiden tulkinnasta aiheutuva suunnitelmamallin epätarkkuus tulisi olla mallin käyttäjälle helposti havaittavissa riippumatta hankevaiheesta.

Tietomalliaineiston osalta voi olla tärkeää kehittää määrittelyä sille, millaista geoteknistä aineistoa tuotetaan erilaisiin käyttötarpeisiin. Määrittelyt voivat liittyä siihen, millaista dokumentaatiota mallien yhteyteen on liitettävä, jotta tietopaketit olisivat yhdenmukaisia ja käyttäjien helposti tulkittavissa. Aineistoa voi olla tarpeen määrittellä ja tuottaa eri tarkoituksiin, kuten urakointiin tai suunnitelmien mallipohjaiseen tarkastukseen. Tietomallien oheisaineistoon voi olla tarpeen luoda standardoituja tapoja kuvata mallien yhteydessä niihin liittyviä oheisselostuksia ja käyttöohjeita. Mallipohjaisessa tarkastuksessa geotekninen laskenta ja suunnitelmaselostus on kriittistä tietoa, jotta suunnittelija voi kuvata tarkastajalle suunnitteluprosessin kulkua ja käytetyn lähtöaineiston tietoperustaa. Toisaalta urakointiin voi olla tärkeää tuottaa mallien työselostuksena toimiva käyttöohje, jotta esimerkiksi mallissa kuvattuja maalajirajapintoja tai viitteellisessä merkityksessä esitettyjen toimenpidepintojen kohdalla ei olisi jatkokäytössä tulkinnanvaraisuutta. Tietomallien oheisdokumenttien osalta voi olla tärkeää luoda yleistä ohjeistusta sille, mitkä selostukset osoitetaan mihinkin käyttötarkoitukseen ja millainen aineisto on tärkeää liittää hankkeen eri prosessien ja luovutusaineiston yhteyteen.

Tutkimus kohdistui erityisesti suunnitteluvaiheen mallintamiseen ja suunnittelun mallipohjaisiin toimintatapoihin. Tulevaisuudessa voi olla tarpeen tutkia toteutusmallien tiedonsiirron vaatimuksia, jotta aineistoa voitaisiin tuottaa suoraviivaisemmin suunnitelmasta rakentamisen tarpeisiin ja koneohjaukseen. Lisäselvitystä tarvitaan myös geoteknisen suunnitelma-aineiston arkistoinnista sekä tiedonhallintarekisterien vaatimuksista ja tarpeista.

### 7.3 Arviointi

Käytetyissä tutkimusmenetelmissä on pyritty tuomaan mahdollisimman laaja-alainen kat-  
saus geosuunnittelun tietomallintamisen nykytilanteesta. Kirjallisuuskatsauksen teoria-  
osuuteen on yhdistetty tietoja useista eri lähteistä niin kansainvälisistä kuin kotimaiselta-  
kin kentältä. Tutkimuksen aihepiiri on ajankohtainen, minkä vuoksi käytetyssä kirjalli-  
suudessa on pyritty hyödyntämään mahdollisimman uutta tutkimustietoa ja tuoreita läh-  
teitä. Aihepiirin rajaukseen voi vaikuttaa työntekijän oma ennakkonäkemyks, minkä  
vuoksi tutkimus ei välttämättä ole täysin toistettavissa. Toisaalta ohjausryhmän asiantun-  
temus lisää tutkimuksen luotettavuutta, mikä näkyi muun muassa sopivien hanketutki-  
musten valinnassa.

Tutkimuksen luotettavuuteen ja toistettavuuteen vaikuttaa tutkimuksen läpinäkyvyys,  
minkä vuoksi tutkimuksen eri vaiheet on pyritty kirjoittamaan mahdollisimman tarkasti  
auki. Tutkimuksen luotettavuutta lisää myös se, että tutkimuksen haastatteluosioon vali-  
koitui haastateltavia useista eri organisaatioista ja infrahankkeilla toimivista osapuolista.  
Tutkimuksen aineistonkeruu oli monivaiheinen, jotta haastatteluja varten pystyttiin tuot-  
tamaan tutkimuksen tavoitteet huomioiden relevantteja kysymyksiä ja aihepiirejä. Tällä  
vahvistettiin myös sitä, että tutkimusaineisto vastaa työn alussa asetettuja tutkimuskysy-  
myksiä. Haastatteluihin osallistuminen oli vapaaehtoista ja osallistuneille tiedotettiin tut-  
kimuksen kulusta esimerkiksi lähettämällä heille haastattelukysymykset tutustuttavaksi  
ennen haastatteluita. Kaikki haastateltavat antoivat luvan nauhoittaa haastattelutilanteet  
ja se edesauttoi tulosten analysointia. Tutkimustulosten analysointiprosessi oli jatkuvaa  
ja se nivoutui aiemmin kerättyyn teorialtietoon. Haastattelut litteroitiin heti haastattelui-  
den jälkeen ja jäseneltiin tutkimukseen niitä käsittelevien aihepiirien mukaan. Haastat-  
teluihin osallistuneet eivät ole tutkimuksesta tunnistettavissa ja heidän anonymiteettinsä  
säilyy.

Tutkimustulosten analyysivaiheeseen on voinut vaikuttaa myös tutkijan omat tulkinnat,  
mutta sitä on pyritty estämään haastattelujen tarkalla litteroinnilla ja haastateltavilta esi-  
tetyillä tarkentavilla kysymyksillä. Tutkimuksella saavutettiin sille alussa asetetut tavoit-  
teet ja tutkimustulokset luovat pohjaa jatkokehitykselle ja tutkimukselle.

## 8 YHTEENVETO

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää nykytilannetta geosuunnittelun tietomallintamisessa siltapaikoilla ja mallipohjaisten suunnitelmien tarkastusprosessin tarpeita. Teoriaosiossa selvitettiin muun muassa alan mallinnusvaatimusten (YIV) mukaisten linjausten asettamia määrittelyitä mallipohjaiseen suunnitteluun ja geoteknisiin malleihin. Maaperän epähomogeenisuus aiheuttaa pohjatutkimushavainnoista johdettuihin tulkintamalleihin epätarkkuutta riippuen käytetyn lähtötiedon laadusta ja riittävydestä. Pohjaolosuhteita kuvaavien mallien geometria, ominaisuustiedot ja parametrit vaihtelevat voimakkaasti, minkä vuoksi niiden liittäminen osaksi mallin tietosisältöä voi aiheuttaa myös riskejä. Suunnitelmamalleja sovelletaan esimerkiksi työmaan toimintoihin, kuten määrälaskentaan ja koneohjaukseen. Tällöin aineistoon liittyvässä epätarkkuudessa ja suunnitelmallisessa tiedossa tulisi olla mahdollisimman vähän tulkinnanvaraisuutta.

Tutkimuksen asiantuntijahaastatteluilla selvitettiin geosuunnittelun nykyistä osaamista tekniseen mallintamiseen ja mallien käyttöön. Teknisen mallintamisen ja mallien käytön tietotaito osoittautui olevan polarisoitunut usein organisaatioiden tiettyihin malliosajiin, joilla ei ole välttämättä kokemusta geosuunnittelusta. Suunnitteluun käytetyn lähtötiedon jalostaminen mallinnetuksi lopputuotteeksi on usein tiedonsiirroltaan monivaiheista ja vaatii aineiston tuottajalta ohjelmistollista osaamista. Kansallisten mallinnusvaatimusten täyttämien lopputuotteiden tuottaminen ja suunnitelmallisesti kriittisen tiedon liittäminen mallin tiedonsiirtoon on usein haastavaa, vaikka ohjelmistollisesti pystytäänkin tuottamaan visuaalisesti monipuolisia geoteknisiä suunnitelmaratkaisuja. Tällä hetkellä suunnitelmamallien laajamittainen käyttö ja hyödynnettävyys on riippuvaista mallien mukana kulkevista oheisasiakirjoista.

Tutkimuksessa selvitettiin alan tiedonsiirtostandardien nykytilaa ja kehitysnäkymiä sekä standardien käyttöä rajoittavia tekijöitä muun muassa ohjelmistokehityksen näkökulmasta. Alan ohjelmistokehitys seuraa pääasiassa markkinavoimaisimpia standardeja, joissa IFC:llä on kansallisia formaatteja vakaampi asema. Tulevaisuudessa IFC-standardin laajentuminen geotekniikkaan tulee tuomaan mahdollisuuksia kehittää kansallisia tiedonsiirron mekanismeja kohti kansainvälistä standardia, jonka vuoksi IFC-standardin käyttöä olisi tarpeellista pyrkiä laajentamaan yhä enemmän myös geosuunnitteluun.



Alalla ei ole vielä muodostunut yleistä ohjeistusta tai tarkkaa tietoa siitä, miten geosuunnitelmien mallipohjainen tarkastus tulee toteuttaa. Geoteknisten suunnitelmamallien tulkintaperusteiden ja suunnitteluun käytetyn lähtötiedon kokonaisvaltainen välittäminen malliin ja siten mallipohjaiseen tarkastukseen on haastavaa. Mallipohjaisesti pohjatutkimusten havaintotietoa välittävät graafiset menetelmät ovat rajoittuneita aineiston selkeässä visualisoinnissa. Suunnitteluun käytetty lähtötieto on tärkeää tietoa mallin tarkastajalle, jotta ratkaisusta voidaan teettää objektiivinen näkemys ja arvioida kriittisten mitoitustilanteiden huomioimista ratkaisussa. Suunnitteluun käytetty lähtötieto ja suunnitelmamallin tulkintaperusteiden ilmi tuominen mallin oheisasiakirjoissa on usein puutteellista ja aineiston tuottajan omalla vastuulla. Jatkossa hankkeilla tuotettavan luovutusaineiston lisäksi voi olla tarpeen tuottaa mallipohjaiseen tarkastukseen kohdistettuja aineistoja, jotka toimivat osaltaan mallien käyttö- ja tulkintaohjeena ulkoiselle tarkastajalle.

Alalla on tarvetta uusille innovaatioille aineiston tuottamisessa, sillä geoteknisissä malleissa ilmenevää epävarmuutta ja osittain viitteellistä merkitystä ei voida välittää mallin käyttäjälle tällä hetkellä suoraviivaisesti. Lisäksi siltapaikkojen geosuunnitelmien mallipohjaiseen tarkastukseen tuotettaville dokumenteille ja niiden tietosisällölle tarvitaan ohjeistusta. Tilaajan asettamat vaatimukset määrittelevät hankkeilla tuotettavia malleja ja vaikuttavat ohjelmistokehitykseen. Mallipohjaisten toimintatapojen standardoituminen vaatii tulevaisuudessa lisää pilotointia geosuunnitelmien mallipohjaisesta tarkastuksesta sekä uusien toimintatapojen kehittämistä käytännön hankkeilla.

Mallipohjaisen aineiston käytön tärkeimmät päätavoitteet voidaan jakaa rakentamista tukevan aineiston tuottamiseen ja koko hankkeen elinkaaren huomioivaan tiedon jatkuvaan jalostamiseen ja hallintaan. Geoteknisissä suunnitelmamalleissa esiintyvien epävarmuustekijöiden tunnistaminen vaatii alan ominaispiirteiden tuntemusta, eikä mallien tulkinnasta aiheutuvaa epätarkkuutta tuoda ilmi ohjelmistollisesti tai mallin tiedonsiirrossa. Arvioihin perustuvat pintamallit kuvataan malleissa tarkoilla geometrioilla, mikä voi aiheuttaa mallin käytössä tulkinnanvaraisuutta. Tulevaisuudessa voikin olla tarpeellista kehittää tarkoituksenmukaisempia keinoja kuvata olettamuksiin perustuvia suunnitelmaratkaisuja ja pintoja. Mallin epätarkkuus olisi syytä pystyä havaitsemaan suoraviivaisesti, jotta aineiston käyttö rakentamiseen tai tiedon jatkohyödyntämiseen arkistointivaiheessa ei olisi käyttäjältä oletetusta lähtötiedosta riippuvaista. Tiedonhallintarekistereiden tarpeet ja aineiston uudelleenkäytettävyys onkin tärkeimpiä näkökulmia uusia ratkaisuja kehitettäessä.

## LÄHDELUETTELO

Beaufils M., 2019. Extending BIM with geotechnics using OGC geosience standards (Powerpoint). Open Geospatial Consortium. France. Saatavilla: [https://external.ogc.org/twiki\\_public/GeoScienceDWG/WebHome](https://external.ogc.org/twiki_public/GeoScienceDWG/WebHome)

Beaufils M., Grellet S., Le Hello B., Lorentz J., Beaudouin M., Castro-Moreno J., 2019. Geotechnical data standardization and management to support BIM for Underground Infrastructures and Tunnels. Verkkodokumentti. Saatavilla: <https://hal-brgm.archives-ouvertes.fr/hal-02056440/document>

bSF (buildingSMART Finland)., 2019. Yleiset inframallivaatimukset YIV2019: Yleiset inframallivaatimukset. Saatavilla: [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2019/06/YIV-Yleiset-inframallivaatimukset-2019\\_1.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2019/06/YIV-Yleiset-inframallivaatimukset-2019_1.pdf)

bSF (buildingSMART Finland)., 2019. Yleiset inframallivaatimukset YIV2019: Liite 3.1 Luovutusaineiston tiedonsiirron vaatimukset. Saatavilla: [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2019/12/YIV\\_Liite\\_3.1\\_Luovutusaineiston\\_tiedonsiirron\\_vaatimukset\\_20190502.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2019/12/YIV_Liite_3.1_Luovutusaineiston_tiedonsiirron_vaatimukset_20190502.pdf)

bSF (buildingSMART Finland)., 2019. Inframodel 4 tiedonsiirtoformaatti: Inframodel 4 käyttöohje. Saatavilla: [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2019/04/bSF\\_Infra\\_Inframodel4\\_kayttoohje\\_01042019.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2019/04/bSF_Infra_Inframodel4_kayttoohje_01042019.pdf)

bSF (buildingSMART Finland)., 2020. Inframodel 4-tiedonsiirtoformaatti: Inframodel version 4.04- sovellusohje (Schema). Saatavilla: <https://buildingsmart.fi/infra/inframodel/index.html>

bSF (buildingSMART Finland)., 2019. InfraBIM nimikkeistö: InfraBIM nimikkeistö, versio 1.72. Saatavilla: [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2019/08/InfraBIM\\_nimikkeist%C3%B6\\_v1\\_721.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2019/08/InfraBIM_nimikkeist%C3%B6_v1_721.pdf)

bSF (buildingSMART Finland)., 2021. Talogeotekniikan tietomalliohje (luonnos).

bSI (buildingSMART International)., 2020. Industry Foundation Classes (IFC) - An Introduction. Saatavilla: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/>

bSI (buildingSMART International)., 2020. IFC Release Notes. Saatavilla: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/ifc-release-notes/> [viitattu 13.12.2020]

bSI (buildingSMART International)., 2020. IFC-Tunnel Project. Report WP2: Requirements analysis report (RAR). v1.0-2020-07-31. Status: draft (Final Review PT). Building smart InfraRoom. 176 sivua. Saatavilla: [https://publications.cms.bgu.tum.de/reports/IR-TUN\\_Requirement-Analysis-Report\\_v1.0.pdf](https://publications.cms.bgu.tum.de/reports/IR-TUN_Requirement-Analysis-Report_v1.0.pdf) [viitattu 13.12.2020]

Chandler R. J., McGregor I. D., Morin G. R., 2012. The role of geotechnical data in Building Information Modelling. Australian. – New Zealand. Conference on Geomechanics (ANZ 2012). Kesäkuu 2012. Verkkodokumentti. Saatavilla: <https://www.keynetix.com/wp-content/uploads/2015/06/ChandlerMcGregorMorinFinal.pdf>

Classon F., 2019. Autodesk: Use Civil 3D and Revit to add subsurface information to bridge design. Julkaistu 5/2019. Saatavilla: <https://knowledge.autodesk.com/support/civil-3d/learn-explore/caas/simplecontent/content/add-subsurface-information-to-bridge-design.html>

CityGeoModel – hanke., 2015. Avoin geotietomalli kaupunkeihin. Pää toteuttajina Geologian tutkimuskeskus (GTK) ja Tampereen kaupunki. Saatavilla: [http://www.citygeomodel.fi/a\\_ja\\_t\\_kuvaus.html](http://www.citygeomodel.fi/a_ja_t_kuvaus.html)

Destia Oy., 2021. Sillan geosuunnitelman sisäinen tarkastus – dokumenttipohja.

Giovacchini F., Vendramini M., Soldo L., Merlo M., Marchisio D, Ricci G., Eusebio A., 2019. 3D geological modeling for the design of complex underground works. Researchgate julkaisu. Teoksessa: Peila, Viggiani & Celestino (Eds), Lontoo, 2019. Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art. 845-855. Saatavilla: [https://www.researchgate.net/publication/332506773\\_3D\\_geological\\_modelling\\_for\\_the\\_design\\_of\\_complex\\_underground\\_works](https://www.researchgate.net/publication/332506773_3D_geological_modelling_for_the_design_of_complex_underground_works)

Heikkilä R., 2015. 5D-SILTA3 & InfraFINBIM Siltojen informaatio- ja automaatioprosessin sekä toimintaympäristön kehittäminen. Liikennevirasto. Helsinki. 2015. Verkkodokumentti. Saatavilla: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts\\_2015-16\\_5d-silta3\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2015-16_5d-silta3_web.pdf)

Ikävalko O., Wennerstöm M., Kallio H., Saresma M., Laine M., Lehtikangas J., Coloma R., Toropainen M., 2017. Kaupungin geotieto sekä pilottialueen maa- ja kallioperämalli. Tampereen kaupunki. Verkkodokumentti. Saatavilla: [http://www.citygeomodel.fi/CGM\\_Geomalli\\_mallintaminen.pdf](http://www.citygeomodel.fi/CGM_Geomalli_mallintaminen.pdf)

Ikävalko O., Wennerstöm M., Kallio H., Saresma M., Laine M., Lehtikangas J., Coloma R., Toropainen M., 2017. CityGeoModel -rakentamisen maa- ja kallioperämallien määrittelyjä. Tampereen kaupunki. Verkkodokumentti. Saatavilla: [http://www.citygeomodel.fi/CGM\\_Geomalli\\_mallintaminen.pdf](http://www.citygeomodel.fi/CGM_Geomalli_mallintaminen.pdf)

ISO - International Organization for Standardization., 2020. ISO 16739-1:2018. Saatavilla: <https://www.iso.org/standard/70303.html> [viitattu 30.11.2020]

Kankainen J., Junnonen J-M., 2017. Rakennuttaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy

Kemppainen, L. & Liukas, J., 2015. Yleiset inframallivaatimukset YIV 2015. Osa 2: Yleiset mallinnusvaatimukset. buildingSMART Finland. Saatavilla: [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015\\_Mallinnusohjeet\\_OSA2\\_Yleiset\\_Vaatimukset\\_V\\_1\\_0.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA2_Yleiset_Vaatimukset_V_1_0.pdf)

Korkiala-Tanttu L, Löfman M., 2016. Luotettavuuden arviointi ja riskienhallinta geoteknisessä suunnittelussa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä. 44/2016. Helsinki. Verkkodokumentti. Saatavilla: <https://core.ac.uk/download/pdf/81235841.pdf>

Kotiranta H., 2020. Inframallinnuksen toimintalinja– Suositus vuosille 2020-2025. Väyläviraston julkaisuja 18/2020. Helsinki, 2020. Verkkodokumentti. Saatavilla: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj\\_2020-18\\_inframallinnuksen\\_toimintalinja\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj_2020-18_inframallinnuksen_toimintalinja_web.pdf)

Kulman M., 2019. Alkusanat. Geofoor numero 49. SGY jäsenlehti. Lokakuu 2019. Verkkodokumentti. Saatavilla. [https://sgy.fi/wp-content/uploads/2019/10/geofoor\\_numero49\\_netti.pdf](https://sgy.fi/wp-content/uploads/2019/10/geofoor_numero49_netti.pdf)

Liikennevirasto., 2017. Liikenneviraston ohjeita 13/2017. Eurokoodin soveltamisohje - Geotekninen suunnittelu - NCCI 7. Siltojen ja pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. Helsinki: Huhtikuu 2017. Verkkodokumentti. Saatavilla [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2017-13\\_ncci7\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2017-13_ncci7_web.pdf)

Liikennevirasto., 2014. Liikenneviraston ohjeita 6/2014. Siltojen tietomalliohje. Helsinki: Helmikuu 2014. Verkkodokumentti. Saatavilla: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2014-06\\_siltojen\\_tietomalliohje\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2014-06_siltojen_tietomalliohje_web.pdf)

Liikennevirasto., 2014. Liikenneviraston ohjeita 30/2014. Taitorakenteiden rakennussuunnitelmien tarkastusohje. Helsinki: Lokakuu 2014. Verkkodokumentti. Saatavilla: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2014-30\\_taitorakenteiden\\_rakennussuunnitelmien\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2014-30_taitorakenteiden_rakennussuunnitelmien_web.pdf)

Liikennevirasto., 2017. Liikenneviraston ohjeita 12/2017. Tie- ja ratahankkeiden infamalliohje. Helsinki: Maaliskuu 2017. Verkkodokumentti. Saatavilla: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2017-12\\_tie\\_ratahankkeiden\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2017-12_tie_ratahankkeiden_web.pdf)

Liukas J., Korkiala-Tanttu L., 2019. Geoteknistä tietomallinnusta ennen, nyt ja tulevaisuudessa. Geofoor numero 49/2019. s.6-7. Verkkodokumentti. Saatavilla: [https://sgy.fi/wp-content/uploads/2019/10/geofoor\\_numero49\\_netti.pdf](https://sgy.fi/wp-content/uploads/2019/10/geofoor_numero49_netti.pdf)

Metsola J., 2017. Tietomallintamisen monimuotoinen maailma. RIA ry:n jäsenlehti 1/2017, Helsinki: Rakennusinsinöörit ja – arkkitehdit RIA ry. 24.2.2017, nro 1. S. 39-41. Verkkodokumentti. Saatavilla: <https://www.lukusali.fi/index.html?p=Rakennusinsin%C3%B6rit%20ja%20-arkkitehdit%20RIA%20ry&i=719b492c-f829-11e6-b394-00155d64030a>

Metsovuori, L., 2019. Mallipohjaisuus STk-hankkeen läpiviemisen tukena. Geofoor numero 49. SGY jäsenlehti. Lokakuu 2019. Verkkodokumentti. Saatavilla. [https://sgy.fi/wp-content/uploads/2019/10/geofoor\\_numero49\\_netti.pdf](https://sgy.fi/wp-content/uploads/2019/10/geofoor_numero49_netti.pdf)

Norges Geotekniske Institutt (NGI)., 2020. Webinar: BIM for GeoSciences, part 1. [YouTube-video] Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=pmu5iUVCdnE>

Oldèn V-P., 2019. Avoimen pohjatutkimustiedon mahdollisuudet kaupunkisuunnittelussa. Geofoor numero 49/2019. s.14-15. Verkkodokumentti. Saatavilla: [https://sgy.fi/wp-content/uploads/2019/10/geofoor\\_numero49\\_netti.pdf](https://sgy.fi/wp-content/uploads/2019/10/geofoor_numero49_netti.pdf)

Partiainen A., 2016. Mallipohjaisen hankkeen lähtöaineisto. Opinnäytetyö 1/2016. Liikennevirasto. Helsinki. Verkkodokumentti. Saatavilla: [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121924/opin\\_2016-01\\_978-952-317-206-7.pdf?sequence=5](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121924/opin_2016-01_978-952-317-206-7.pdf?sequence=5)

Perttula T., 2018. Infra-alan tiedonsiirron standardointia kansainvälisillä kentillä. SGY:n jäsenlehti. Geofoor numero 49/2019. s.12-13. Verkkodokumentti. Saatavilla: [https://sgy.fi/wp-content/uploads/2019/10/geofoor\\_numero49\\_netti.pdf](https://sgy.fi/wp-content/uploads/2019/10/geofoor_numero49_netti.pdf)

Perttula T., 2021. Tiedon vakiointi mahdollistaa laajemman hyödynnettävyyden. RIL Rakennustekniikka numero 1. Tammikuu 2021.

Perälä H., 2020. Tietomallintamisen tulevaisuuden tarpeet infrarakentamisessa. Diplomityö. Tampereen yliopisto. Tampere. Verkkodokumentti. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202003272908> [viitattu 27.11.2020]

Rakennustieto., 2010. RT 10-10992: Tietomallinnettava Rakennushanke – Ohjeita rakennuttajalle. Verkkodokumentti. (13 sivua)

RockWare., 2020. RockWorks. Verkkosivu. Saatavilla: <https://www.rockware.com/product/rockworks/> [viitattu 27.11.2020]

Salmi J., 2013. Tietomallipohjainen tuotanto ja laadunvarmistus ratatyömaalla. [YouTube-video]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=CBAXmFLIyOo>

SGY (Suomen Geotekninen Yhdistys), 2018. Infra-pohjatutkimusformaatti versio 2.5. Helsinki: Marraskuu 2018. Verkkodokumentti. Saatavilla: [https://sgy.fi/wp-content/uploads/2018/11/infra\\_formaatti\\_v2-5\\_011118.pdf](https://sgy.fi/wp-content/uploads/2018/11/infra_formaatti_v2-5_011118.pdf)

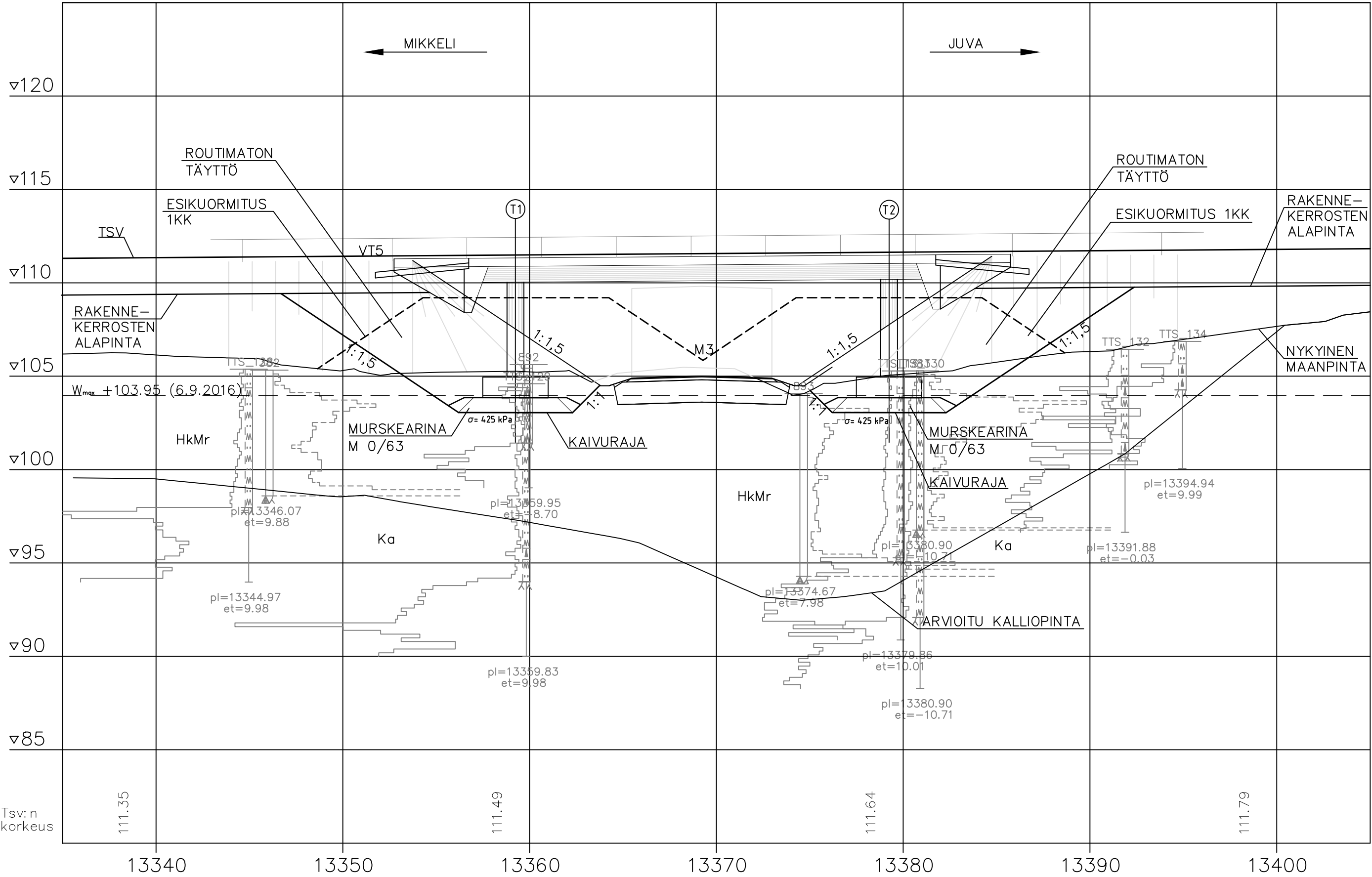
Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry., 2017. RIL 207-2017. Geotekninen suunnittelu. Eurokoodin EN 1997-1 suunnitteluohje.

Svensson M., Friberg O., 2017. GeoBIM – a tool for optimal geotechnical design. Proceedings of the 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Seoul. 1781-1784. Verkkodokumentti. Saatavilla: [https://s3-eu-central-1.amazonaws.com/tyrensgeobim/resources/GeoBIM\\_Live/publications/12\\_GeoBIM\\_full%20paper\\_19th%20ICSMGE\\_Full%20Paper%20MATS\\_after%20granskning%20SGF.pdf](https://s3-eu-central-1.amazonaws.com/tyrensgeobim/resources/GeoBIM_Live/publications/12_GeoBIM_full%20paper_19th%20ICSMGE_Full%20Paper%20MATS_after%20granskning%20SGF.pdf)

Tanttu K., 2015. Kallionpintamallin luotettavuuden analysointi porakonekairausten määrän ja laadun perusteella. Liikennevirasto. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä. Helsinki. 2015. Verkkodokumentti. Saatavilla: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts\\_2015-27\\_kallionpintamallin\\_luotettavuuden\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2015-27_kallionpintamallin_luotettavuuden_web.pdf)

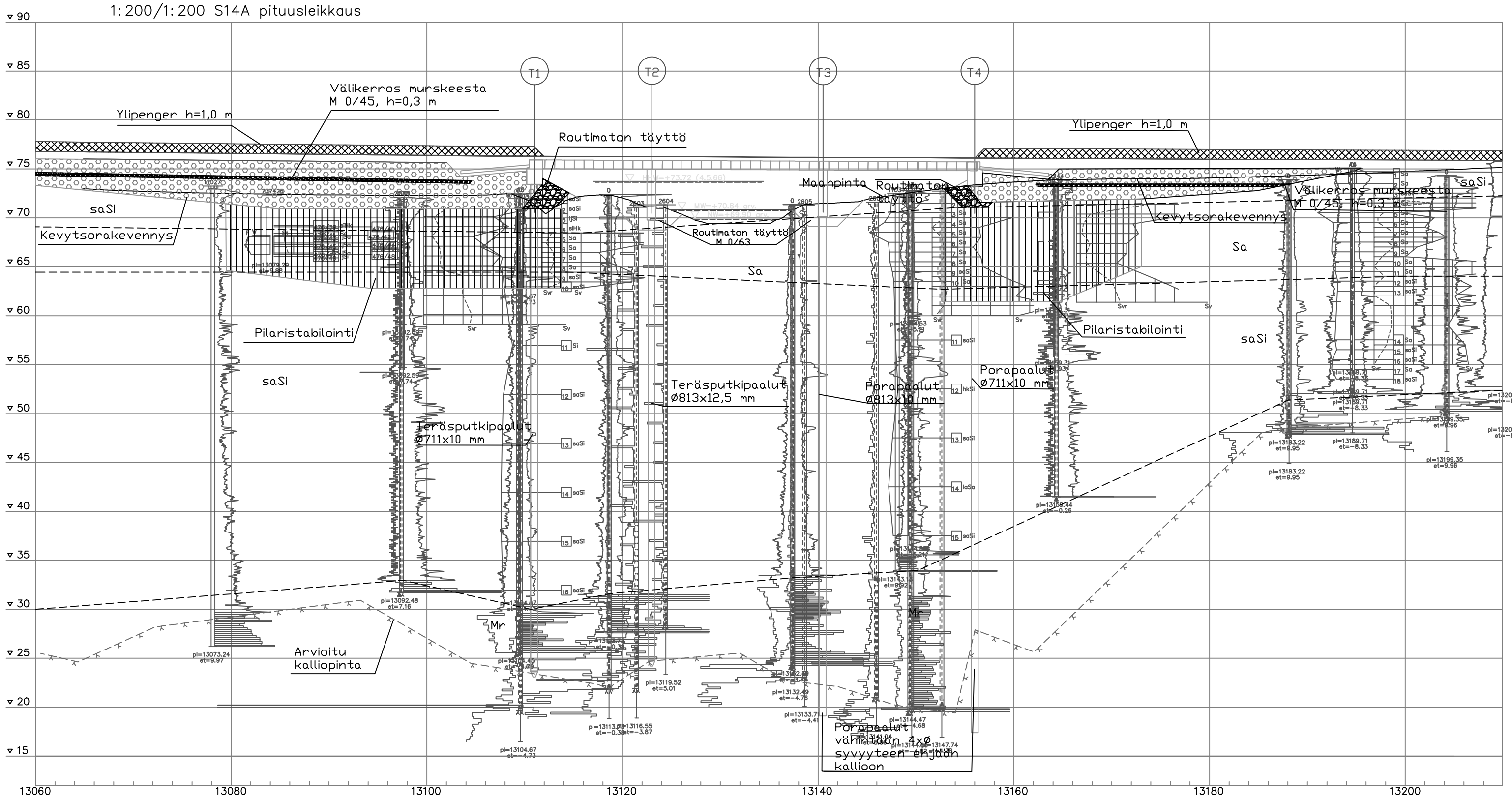
Yabuki N., 2008. Representation of caves in a shield tunnel product model. Saatavilla: <http://sfb837.sd.ruhr-uni-bochum.de/downloads/yabroc.pdf>

Liite 1. VT5 Tuppurala-Nuutilanmäki:  
Särkimäentien risteys sillan pituusleikkaus





Liite 2. VT 12 Lahden eteläinen kehätie:  
Porvoonjoen sillan pituusleikkaus



## Suunnittelijakysely

Kyselyssä selvitetään geosuunnitelmien mallintamisen nykytilaa ja kehitystarpeita. Haastattelututkimus on osa Oulun yliopistossa tehtävää diplomityötä, jonka päärahoittajana ja tilaajana toimii Väylävirasto. Geon mallintamisella on tulevaisuudessa tärkeä rooli osana siltojen mallipohjaista rakentamista. Tutkimuksen tavoite on edistää mallipohjaista geosuunnittelua ja löytää tärkeimmät kehityskohteet.

Tutkimuksessa haastatellaan erilaisia osapuolia tyypillisessä infrarakentamisprojektissa kuten suunnittelu, urakoitsija, tilaaja, mutta myös ohjelmistojen tuottajia. Kyselyssä puhuttaessa ”mallintamisesta” tarkoitetaan tässä tapauksessa mallipohjaista suunnittelua ja mallipohjaista toimintatapaa suunnittelussa.

Kysymysrunko on jaettu viiteen osa-alueeseen, joiden aihepiirit vaihtuvat sivujen mukaan seuraavasti:

Sivu 1. Kyselyn esittely

Sivu 2. Kokemus mallintamisesta ja mallipohjaisista toimintatavoista

Sivu 3. Mallipohjaisten ratkaisujen nykytila ja kehittäminen

Sivu 4. Suunnitelmien tarkastaminen (ulkoinen tarkastaja, optio)

Sivu 5. Ohjelmistot ja niiden rooli mallipohjaisten ratkaisujen kehittämisessä

Sivu 6. Tiedonsiirto(optio)

Kyselyyn vastaamiseen menee noin 10-15 minuuttia.

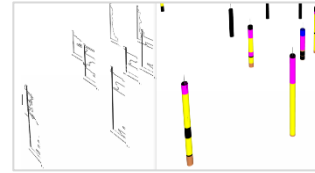
### Kokemus mallintamisesta ja mallipohjaisista toimintatavoista

1. Kerro tässä lyhyesti tekniikkalajisi ja tehtävänkuvastasi? (Esimerkiksi Geo, suunnittelija, projektipäällikkö)
2. Oletko toiminut suunnitelmien ulkoisena tarkastajana?
  - a. Kyllä
  - b. Ei
3. Arvioi, kuinka usein mallinnat tai käsittelet malleja työssäsi.
  - a. Päivittäin
  - b. Viikoittain
  - c. Kuukausittain
  - d. Vuosittain
  - e. Vaihtelee, miten?
4. Millaiseksi koet työmäärän mallipohjaisissa toimintatavoissa verrattuna perinteisiin dokumenttipohjaisiin työtapoihin?
  - a. Huomattavasti vähäisempi työmäärä
  - b. Hieman vähäisempi työmäärä
  - c. Sama työmäärä
  - d. Hieman suurempi työmäärä
  - e. Huomattavasti suurempi työmäärä
5. Varataanko mallintamiseen mielestäsi riittävästi aikaa?
  - a. Kyllä, aikaa varataan useimmiten tarpeeksi
  - b. Kyllä, mutta aikaa voisi varata enemmänkin
  - c. Ei, aikaa varataan liian vähän
  - d. Aikaa ei varata lainkaan
6. Millaisena näet nykyisen osaamistason mallien tarkastelussa ja käytössä suunnittelussa? Avaa hieman valintaasi.
  - a. Hyvä osaamistaso
  - b. Kohtalainen osaamistaso
  - c. Huono osaamistaso
7. Tehdäätkö organisaatiossasi kehitystyötä geon mallipohjaisten toimintatapojen edistämiseksi? Millä tavalla ja millaista?
8. Mitkä olisivat mielestäsi suurimpia hyötyjä, joita voitaisiin saavuttaa edistämällä geosuunnittelun mallipohjaisia toimintatapoja? Valitse maksimissaan 3 vaihtoehtoa.
  - a. Suunnittelun nopeuttaminen
  - b. Tiedonkulun parantaminen
  - c. Tiedon parempi säilyvyys
  - d. Tekniikanalojen välisten suunnitelmien yhteensovittaminen
  - e. Mallipohjaisen aineiston hyödyntäminen työmaalla ja työmaan toimintojen edistäminen
  - f. Projektien nopeampi läpivieminen
  - g. Suurien kokonaisuuksien hallinta
  - h. Suunnitelmien laadunvarmistusprosessin parantuminen
  - i. Mallipohjainen suunnitelmien tarkastaminen
  - j. Muita tekijöitä, mitä?

### Mallipohjaisten ratkaisujen nykytila ja kehittäminen

9. Mitkä ovat mielestäsi suurimpia haasteita geomallintamisessa tällä hetkellä? Pohdi valintoja myös suurimman kehitystarpeen näkökulmasta. Valitse maksimissaan 3 vaihtoehtoa.

- a. Mallintamisen tietotaito
  - b. Osaamisen säilyminen/ylläpitäminen (esimerkiksi, kun mallinnuskerrat harvassa)
  - c. Koulutuksen vähäisyys
  - d. Mallintamiseen liittyvät tiedonsiirtostandardit
  - e. Mallintamisen toimintatapojen standardointi
  - f. Suunnitelmien yhteensopimattomuus
  - g. Yhteneväisen ohjeistuksen ja vaatimusten puuttuminen
  - h. Puutteet käytettävissä ohjelmistoissa
  - i. Jokin muu, mikä?
10. Mitä geoteknisiä rakenteita/ratkaisuja yrityksessänne mallinnetaan yleisesti tällä hetkellä?
- a. Maaperä/maalajikerrosrajat
  - b. Maaperän ominaisuudet ja parametrit
  - c. Massanvaihtopinnat
  - d. Siltakaivannot
  - e. Luiskat ja luiskakaltevuudet
  - f. Siltojen arinarakenteet
  - g. Geotekniset laskelmat
  - h. Stabiloinnit
  - i. Kevennykset
  - j. Ympäristäytöt
  - k. Eroosiosuojat
  - l. Muita geoteknisiä rakenteita/ratkaisuja, mitä?
11. Ovatko kohdassa 9 esitettyjen geosuunnitelmien mallinnusvastuut ja mallinnuksen rajapinnat eri tekniikka-alojen välillä yksiselitteiset tai selvät työssäsi?
- a. Kyllä
  - b. Ei, miksi?
12. Onko sinulla kokemusta pohjatutkimuksista 3D- ympäristössä?
- a. Kyllä
  - b. Ei



13. Kuinka hyvin mielestäsi nykyiset pohjatutkimusten esittämiseen ja käyttöön vakiintuneet tavat sopivat malliympäristöön? (yleensä pohjatutkimukset esitetty perinteisissä suunnitelmapiiirustuksissa) Voit avata mielipidettäsi.
- a. Sopivat hyvin
  - b. Sopivat huonosti
14. Millaisia haasteita näet pohjatutkimusten esittämiselle ja käytölle tietomalleissa?

#### Suunnitelmien tarkastaminen (ulkoinen tarkastaja)

15. Onko nykytilanteessa geoteknisiä rakenteita, ratkaisuja tai laskelmia vielä ollenkaan tarkastettu mallista? Mikäli kyllä, avaa hieman mitä asioita ja millaisessa tapauksessa?
- a. Kyllä, on tarkastettu
  - b. Ei ole tarkastettu lainkaan
16. Mitä nostaisit geosuunnitelmista tarkastettaviksi tekijöiksi erilaisten geoteknisten rakenteiden ja ratkaisujen osalta? (Eli mitä tekijöitä nykyisistä siltageokuvista tarkastetaan ja mitkä suunnitelmissa ovat sellaisia asioita, jotka tulisi pystyä myös mallipohjaisesti esittämään) Esimerkiksi rakennetta koskevat keskeiset mitat, mahdolliset attribuutti tiedot jne.
- a. Arinarakenteen osalta?
  - b. Maaperämallin osalta?
  - c. Geoteknisten laskelmien osalta?
  - d. Siltakaivannon osalta?
  - e. Pohjavahvistusten (stabiloinnit, kevennykset ym.) osalta?
  - f. Pohjaveden ja vesistöjen osalta?
  - g. Esirakentamisen osalta?
  - h. Perustustavan osalta?
  - i. Pohjatutkimusten osalta?
  - j. Kohteen ympäristö ja maasto?
  - k. Muut geotekniset rakenteet ja ratkaisut?
17. Mitkä geon suunnitelmat koet erityisen tärkeinä pystyä tarkastamaan mallista, ja joiden visualisointia olisi mahdollisesti syytä kehittää tässä vaiheessa eniten?
18. Käytätkö Trimble Connectia tai onko sinulla kokemusta alustan käytöstä?
- a. Kyllä
  - b. Ei

19. Onko Trimble Connectin käytössä ilmennyt mallien tarkastelussa ja tarkastamisessa haasteita tai puutteita esimerkiksi keskeisissä toiminnoissa tai työkaluissa?
  - a. Kyllä, millaisia? b. Ei
20. Kuinka esimerkiksi väyläsuunnitelmien mallipohjainen tarkastaminen on toteutettu Trimble Connectissa? Onko esimerkiksi sovittu, että suunnittelija luo suunnitelmista tarkastajalle valmiita näkymiä, vai millaisia käytäntöjä mallien esittämiseen on suunnittelun ja tarkastuksen välillä ollut?
21. Onko Trimble Connectiin tuoduissa malleissa tarpeen esittää mittoja, vai käyttäkö suunnitelmien tarkastaja hyödyksi Trimble Connectin omia mittaustyökaluja?
  - a. Kyllä, mittojen esittäminen on tarpeen
  - b. Ei, mittojen esittäminen ei ole tarpeen

### Ohjelmistot ja niiden rooli mallipohjaisten ratkaisujen kehittämisessä

22. Mitä ohjelmia/sovelluksia käytät hyväksi mallipohjaisessa ympäristössä sekä itse mallintamiseen ja mallien tarkasteluun? Voit valita useita kohtia.
  - a. Trimble Connect
  - b. Civil3D
  - c. Novapoint
  - d. Tekla Civil
  - e. 3d-Win
  - f. Geocalc
  - g. GeoStudio
  - h. Plaxis
  - i. Infrakit
  - j. Muita, mitä?
23. Kuinka arvioisit käyttämiesi ohjelmistojen ja sovellusten sopivan geomallintamiseen ja mallien tarkasteluun? Voit hieman avata mielipidettäsi.
  - a. Hyvin, miksi?
  - b. Huonosti, miksi?
24. Mitkä ovat työssä käyttämiesi suunnitteluohjelmistojen- tai sovellusten käytössä suurimmat puutteet tai haasteet mallintamisen kannalta? Valitse maksimissaan 3 vaihtoehtoa, voit avata vastauksiasi.
  - a. Ohjelmiston hallinta (oma osaamistaso)
  - b. Saatavilla oleva ohjeistus
  - c. Koulutus ohjelmiston käyttöön
  - d. Ohjelmiston työkalut
  - e. Avoimien formaattien tukemattomuus
  - f. Ongelmat mallien tulkinnassa/tulkittavuudessa
  - g. Muita tekijöitä, mitä?
25. Onko kohdassa 24 valitsemisiasi suunnitteluohjelmistojen käyttöön liittyvistä asioista jouduttu olemaan yhteydessä ohjelmistoyrityksiin? Mikäli kyllä, kerro tarkemmin millaisissa asioissa esimerkiksi? Ovatko ongelmat yleensä ratkenneet?
  - a. Kyllä
  - b. Ei
26. Käytetäänkö mallipohjaista ympäristöä tällä hetkellä hyödyksi geoteknisten laskelmien tekemiseen tai esittämiseen?
  - a. Kyllä
  - b. Ei

### Tiedonsiirto

27. Ovatko alan tiedonhallintaan liittyvä Infra-pohjatutkimusformaatti, Inframodel tai IFC- standardi sinulle tuttuja?
  - a. Kyllä
  - b. Ei
28. Onko nykyään yleisesti käytössä olevissa tiedonsiirtoformaateissa mielestäsi geosuunnittelua rajoittavia tekijöitä? Millaisia?
  - a. Kyllä on
  - b. Ei ole
  - c. En osaa sanoa
29. Mihin suuntaan geotekniikan osalta tiedonsiirtostandardeja ja kehitystä tulisi mielestäsi viedä? Voit avata mielipidettäsi.
  - a. Kansainvälinen linja, IFC ja sen laajennokset
  - b. Kansallinen linja, Inframodel ja sen jatkokehittäminen
  - c. Tiedonsiirtostandardien yhdistelmät
30. Vastaako mielestäsi nykyinen infra- pohjatutkimusformaatti mallipohjaisuuden tarpeita nyt ja tulevaisuudessa? Voit avata mielipidettäsi.
  - a. Kyllä, miksi?
  - b. Ei, miksi?
31. Jäikö kysymyksistä jokin asia mietityttämään? Tai puuttuiko kyselystä mielestäsi keskeinen kysymys/asia? Kerro se tähän.