

95

Jussi Pollari ja Mika Marttunen

Päätöksenteon tukijärjestelmä  
vesistöjen neutralointiin

95

Jussi Pollari ja Mika Marttunen

Päätöksenteon tukijärjestelmä  
vesistöjen neutralointiin

Helsinki 1997

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS

ISBN 952-11-0181-4  
ISSN 1455-0792

Painopaikka: Oy Edita Ab  
Helsinki 1997

# SISÄLLYS

<b>1 JOHDANTO</b>	5
<b>2 TIETOKONEAVUSTEINEN PÄÄTÖKSENTEON TUKEMINEN</b>	6
2.1 Päätöksenteon tukijärjestelmät	6
2.2 Asiantuntijajärjestelmät	7
2.2.1 Asiantuntijajärjestelmän määritelmä	7
2.2.2 Asiantuntijajärjestelmän rakenne	9
2.2.3 Asiantuntijajärjestelmän rakentaminen	10
2.3 Käyttöliittymät	11
<b>3 ESIMERKKEJÄ ASIANTUNTIJAJÄRJESTELMÄTEKNIIKAN KÄYTÖSTÄ VESISTÖJEN KÄYTÖSSÄ JA HOIDOSSA</b>	11
3.1 Järjestelmä ympäristövaikutusanalyysin tekoon vesistöekosysteemeissä	11
3.2 AJ vesistöjen hoitoon ja kunnostukseen	13
3.3 AJ happamoitumismallien valintaan (RAISON)	14
3.4 Tuusulanjärven sääntöpohjainen vedenlaatumalli	15
3.5 Sääntöpohjainen ekologinen malli suistojärven (estuarine) käyttöön ja hoitoon	16
3.6 Yhteenveto	18
<b>4 NEUTRALOINNIN TUKIJÄRJESTELMÄN YLEISKUVAUS</b>	18
4.1 Tavoitteet ja rajaus	18
4.2 Järjestelmän osat	19
4.3 Järjestelmän käyttö	20
4.4 Järjestelmän tekninen toteutus	21
<b>5 NEUTRALOINNIN TUKIJÄRJESTELMÄN SISÄLTÖ</b>	21
5.1 Perustiedot ja karkeat kriteerit	21
5.1.1 Vesistön valinta, lisäys tai poisto	22
5.1.2 Taustatiedot	23
5.1.3 Happamoitumistiedot ja kriteerit	24
5.1.4 Hydrologiset ja morfometriset tiedot ja kriteerit	26
5.1.5 Vedenlaatutiedot ja -kriteerit	28
5.1.6 Käyttötiedot	30
5.1.7 Rahoitustiedot	31
5.1.8 Oikeudelliset tiedot ja kriteerit	32
5.2 Mallit ja laskenta	33
5.2.1 Neutralointiaineiden valinta ja menekin laskenta	33
5.2.2 Menetelmien kustannukset	35
5.2.3 Uudelleen happamoituminen	36
5.3 Kohteiden vertailu	39
5.3.1 Vertailtavien kohteiden valinta	39
5.3.2 Käyttötietojen vertailu	40
<b>6 NEUTRALOINNIN TUKIJÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN</b>	42
6.1 Tutkimus- ja kehittämistarve	42
6.2 Käyttökokemuksia	42

<b>YHTEENVETO</b> .....	43
<b>KIRJALLISUUS</b> .....	45
<b>KUVAILULEHTI</b> .....	46

# 1 JOHDANTO

Ympäristöresursseja koskeville päätöksille on yleensä ominaista se, että käytettävissä on hyvin monenlaista informaatiota. Esimerkiksi mittausdataa, selvityksiä, tutkimuksia, malleja, ajatusrakennelmia, henkilökohtaisia uskomuksia voi olla paljon tarjolla, mutta niiden konkreettinen hyödyntäminen tuottaa usein ongelmia. Lisäksi päätöksissä on mukana monta eri tasoista kriteeriä ja päätösten seurauksiin liittyy usein huomattavaa epävarmuutta (Varis & Kuikka 1989).

Päätöksenteon tueksi on tarjolla runsaasti menetelmällisiä lähestymistapoja, ja menetelmien soveltavuuteen vaikuttaa pääasiassa päätösongelman luonne. Varis ja Kuikka (1989) jakavat ympäristöresurssien hoidossa kohdattavat ongelmat seuraavasti:

1. *Pitkän aikavälin kehitysnäkymät.* Tällöin kohdataan yleensä ongelmia, joiden kehittymisestä ei ole tarjolla luotettavia jakaumia yms. ja joudutaan toimimaan suuren epävarmuuden vallitessa. Tällöin hahmotellaan tyypillisesti mahdollisia tapahtumia ja niiden esiintymisjärjestyksiä. Tämä on päätösteorian ominta aluetta.
2. *Strateginen analyysi.* Tällöin vaihtoehdot ja mahdolliset tapahtumat ovat jo paremmin tunnettuja. Monitavoitteinen optimointi, stokastinen simulointi, peliteoreettiset mallit, riskianalyysi tulevat usein kysymykseen.
3. *Taktinen ohjelmointi.* Tarkkojen riippuvuuksien määrittäminen tärkeimpien muuttujien välille. Tilastollisen ja systeemiteoreettisen estimoinnin pääasiallinen sovellusalue.
4. *Operatiivinen toiminta.* Selkeästi muotoiltujen ongelmien rutiiniluontoinen hallinta. Tyypillisesti prosessiohjausta, optimointia ja asiantuntijajärjestelmiä.

Tietokoneet ovat merkittävänä apuna yritettäessä hallita ja hyödyntää valtavaa tietomäärää. Perinteisesti tietokoneita on käytetty tiedon talletukseen ja matemaattisten mallien laskemiseen, mutta tämä ei aina riitä. Esim. tietoa voi olla päätöksentekotilanteessa niin paljon erilaisina lukuina, että hyvin yksityiskohtaistakin informaatiota voi olla vaikea hyödyntää. Usein tietämys ei ole sellaisessa muodossa tai tietoa ei yksinkertaisesti ole tarpeeksi, ongelman ratkaisemiseksi algoritmisesti tai matemaattisesti. Silloin on helpompi tai jopa pakko käyttää heuristista lähestymistapaa. Heuristiikka tarkoittaa 'peukalosääntöjen' tms. kokemusperäisen tiedon hyväksikäyttöä. Informaation laadun parantamiseksi tarvitaan uusia menetelmiä ja tekniikoita. Yksi tällainen suhteellisen uusi tekniikka on asiantuntijajärjestelmät, joista myöhemmin käytetään lyhennettä AJ.

Tämän työn tavoitteena on kehittää vesistöjen happamoitumisen torjuntaa koskeva tietokoneavusteinen päätöksenteon tukijärjestelmä, neutraloinnin tukijärjestelmä. Järjestelmän tavoitteena on koota neutraloinnin suunnittelussa, päätöksenteossa ja tutkimuksessa tarvittava keskeinen tieto ja erilaiset mallit yhdeksi helppokäyttöiseksi tietojärjestelmäksi. Järjestelmä on rajattu happaman laskeuman aiheuttaman vesistöhäppämöyden torjuntaan.

Tässä raportissa esitetään ensiksi työn yhteydessä tehty kirjallisuusselvitys, jossa tarkastellaan yleisesti päätöksenteon tukijärjestelmiä (luku 2) sekä kuvataan esimerkkien avulla asiantuntijajärjestelmien soveltamismahdollisuuksia vesistöjen käytössä ja hoidossa (luku 3). Neutraloinnin tukijärjestelmän rakennetta, sen soveltamismahdollisuuksia ja käyttökokemuksia on kuvattu luvuissa (luvut 4-6).

Neutraloinnin tukijärjestelmän suunnitteluun ja testaamiseen ovat osallistuneet Pasi Iivonen, Titta Schultz, Maria Holmberg ja Jaakko Mannio. Alueellisissa ympäristökeskuksissa ja maaseutuelinkeinopiirissä seuraavat henkilöt ovat kokeilleet ja kommentoineet järjestelmän eri versioita Raija Aaltonen, Tom Frisk, Jouko Havu, Ilppo Kettunen, Jukka Muhonen, Harri Mäkelä. Aulis Rantala. Myös Kjell Wepplingiltä Oy Partek Ab:sta on saatu kommentteja työn eri vaiheissa.

## 2 TIETOKONEAVUSTEINEN PÄÄTÖKSENTEON TUKEMINEN

### 2.1 Päätöksenteon tukijärjestelmät

Käsitteelle "päätöksenteon tukijärjestelmä" (PTJ) on yritetty löytää hyvää ja yhtenäistä määritelmää, mutta hankaluutena termin määrittelylle on sen intuitiivinen merkitys. Mitä moninaisimpia asioita kutsutaan päätöksenteon tukijärjestelmäksi. Keen ja Stabell luonnehtivat päätöksenteon tukijärjestelmää sen toiminnallisista lähtökohdista seuraavasti (Viertiö 1987):

- Päätöksenteon tukijärjestelmää käytetään jäsentymättömien (unstructured) ongelmien ratkaisussa.
- Päätöksenteon tukijärjestelmä tukee päättäjää varsinaisessa päätöksenteossa, muttei pyri korvaamaan häntä.
- Päätöksenteon tukijärjestelmän tulee keskittyä ulkoiseen tehokkuuteen (toimivuus) sisäisen (hyötysuhde) kustannuksella.
- Päätöksenteon tukijärjestelmän tulee sopeutua nopeasti muuttuviin olosuhteisiin ja tarpeisiin.

Toisen määritelmän (Sprague ja Carlsson 1982, ref. Rauhamaa 1988) mukaan PTJ:ssä tulee olla seuraavia piirteitä:

- Päätöksenteon tukijärjestelmät keskittyvät yleensä huonosti strukturoituihin, täsmentymättömiin (underspecified), tyypillisesti ylemmän tason johtajien kohtaamiin ongelmiin.
- Päätöksenteon tukijärjestelmissä yhdistetään malleja ja analyttisiä työkaluja tiedonhallintajärjestelmiin.
- Käyttäjaliittymät ovat helppokäyttöisiä ja vuorovaikutteisia.
- Päätöksenteon tukijärjestelmät ovat joustavasti sopeutettavissa ympäristön ja päätöksentekoprosessin muutoksiin.

Loppukäyttäjälle päätöksenteon tukijärjestelmän tulee tarjota seuraavia ominaisuuksia:

- Tukea erityyppisiä päätöksiä painottaen rakenteeltaan monimutkaisia ja jäsentymättömiä tehtäviä.

- Tukea päätöksentekijöitä organisaation eri tasoilla avustaen tarvittaessa tasojen integroinnissa.
- Tukea paitsi yksittäistä muista riippumatonta päätöksentekoa, myös tarvittaessa ryhmäpäätöksiä ja eri henkilöiden tekemiä peräkkäisiä päätöksiä.
- Kattaa päätöksenteon kaikki vaiheet; etsintä- (intelligence), suunnittelu- (design) ja valintavaihe (choice).
- Olla riippumaton yksittäisestä päätöksentekotavasta.
- Olla helppokäyttöinen.

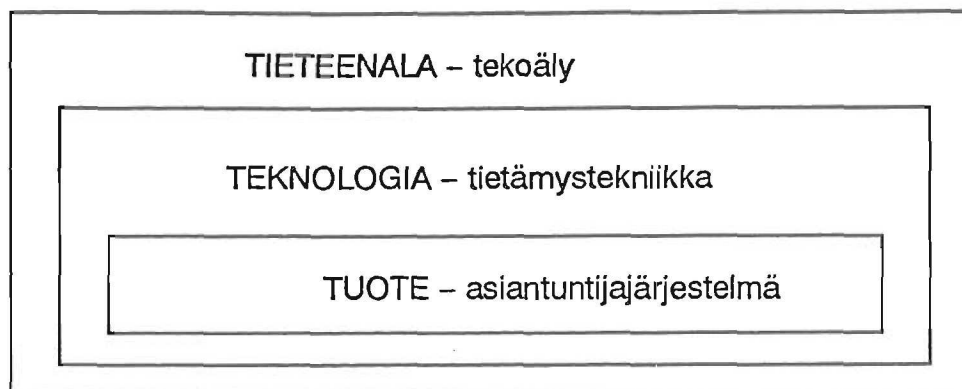
Edellä jäsentymättömällä ongelmalla tarkoitetaan päätöksentekotilannetta, jota ei voida etukäteen kuvata yksityiskohtaisesti. Yksittäisen päätöksenteon tukijärjestelmän ei tarvitse täyttää kaikkia esitettyjä kriteerejä, sillä kulloinkin tarvittavat ominaisuudet riippuvat ongelmasta, organisaatiosta ja päätöksentekijästä.

HIPRE-ohjelmisto (Hämäläinen 1991) on esimerkki päätöksenteon tukijärjestelmästä, joka täyttää useimmat määritelmien vaatimukset. Ohjelman avulla kuvataan ongelmaan liittyvien asioiden vaikutussuhteita ja painoarvoja. HIPRE mukautuu monenlaisiin ongelmiin ja auttaa niiden hahmottamisessa eikä yritäkään antaa valmiita ratkaisuja. Ohjelmistossa on keskitytty käyttöliittymän helppokäyttöisyyteen eikä sisäisen laskennan tehokkuuteen.

## 2.2 Asiantuntijajärjestelmät

### 2.2.1 Asiantuntijajärjestelmän määritelmä

Tekoälytiede (Artificial intelligence, machine intelligence) on tieteidenvälinen tutkimuksenala, jossa pyritään ymmärtämään älykkääksi katsottua käyttäytymistä ja luomaan sille toiminnallisia malleja (Hyvönen, Seppänen 1986). Käytännön tavoitteena on kehittää menetelmiä ja tekniikkaa, jota tarvitaan älykkyyden ohjelmoimiseksi tietokoneelle.



Kuva 1. Tekoälyn, tietämystekniikan ja asiantuntijajärjestelmien välinen hierarkia (TEKES 1989).



Asiantuntijajärjestelmä (expert systems) on tekoälytutkimuksen suurinta käytännön merkitystä saanut sovellusalue. Usein asiantuntijajärjestelmistä puhutaan päätöksenteon tukijärjestelmänä, Seppänen ja Hyvönen (1986) jopa sanovat asiantuntijajärjestelmän olevan kehittynyt päätöksenteon tukijärjestelmä, mutta näin on vain hyvin väljän päätöksenteon tukijärjestelmän määritelmän puitteissa. Vaikka molempien tarkoituksena on parantaa tehtävien päätösten laatua, on asiantuntijajärjestelmän ja päätöksenteon tukijärjestelmän määrittelyissä eroja. Selkein ero Fordin (1985, ref. Viertiö 1987) mukaan on siinä, että asiantuntijajärjestelmät sisältävät asiantuntemusta ongelma-alasta ja pyrkivät ainakin jossain määrin korvaamaan asiantuntijan, kun taas päätöksenteon tukijärjestelmä on tarkoitettu täsmentymättömien ongelmien ratkaisuun päätöksentekijän oman asiantuntemuksen perusteella.

Asiantuntijajärjestelmästä on olemassa monta määritelmää. Denning (1986) määrittelee ne työkaluiksi, joiden avulla mallinnetaan ja käytetään pätevien asiantuntijoiden tietämystä erityisellä, rajallisella alueella ratkaisemaan monimutkaisia ongelmia.

Asiantuntijajärjestelmä-tekniikan perusideana on ohjelmoiminen säännöillä. Se poikkeaa perinteisestä ohjelmoinnista, jossa pitää hyvin tarkasti määritellä ohjelman eri osien suhteet ja suoritusjärjestys. Asiantuntijajärjestelmässä sääntöjä voi lisätä vapaasti ja suoritusjärjestys määräytyy vasta ohjelmaa ajettaessa. Tämä tekee uuden tiedon lisäämisen helpoksi.

Toinen perusidea on informaation symbolinen käsittely. Tietoa voidaan muokata sanallisessa muodossa ja nostaa informaation tasoa esim. siten, että ohjelma ilmoittaa muuttujan  $x$  arvoksi "paljon suurempi kuin järvissä keskimäärin" eikä esim. lukua 103.

ongelman ratkaisutapa		
tiedon esitystapa	algoritminen	heuristinen
numeerinen	teknismatemaattinen laskenta	simulointi, signaalien käsittely
symbolinen	kaupallishallinnollinen tietojenkäsittely	tekoäly, tietämystekniikka

Kuva 2. Tekoäly ja perinteinen tietojenkäsittely (Hyvönen & Seppänen 1986; uudelleen piirretty).

Oikein käytettynä asiantuntijajärjestelmä-tekniikalla voidaan saavuttaa seuraavia etuja:

Asiantuntemusta voidaan siirtää ohjelmistoon ja sitä kautta ohjelmiston käyttäjille.

Näennäisen älykäs toiminta ratkottaessa monimutkaisia ongelmia.

Epätäydellisen ja/tai ristiriitaisen tiedon käsittely.  
Ratkaisut pystytään selittämään ja perustelemaan.

Asiantuntijajärjestelmän rakentaminen auttaa ongelman hahmottamisessa ja formuloinnissa.

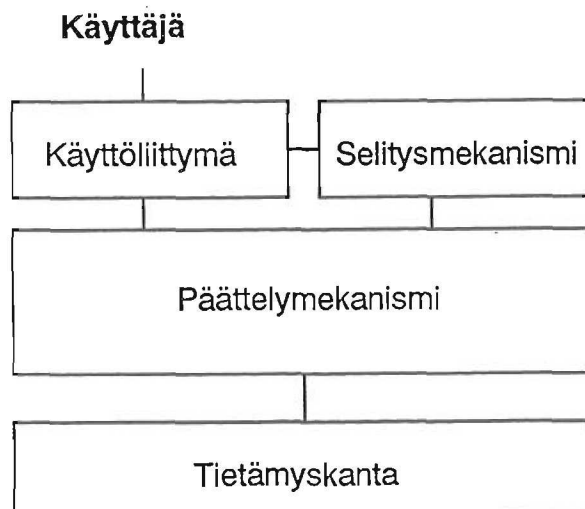
Uuden tiedon lisääminen on helppoa.

Asiantuntijajärjestelmä-tekniikan piirteet tulevat tarkemmin esiin luvun 3 esimerkkita-pauksissa. Esimerkeiksi on valittu vesistöjen käyttöön ja hoitoon liittyviä asiantuntija-järjestelmiä sekä Suomesta että ulkomailta. Kovin monia tällaisia systeemejä ei ole vielä tehty, vaikka teollisuudessa on rakennettu varsin mittavia ja toimivia järjestelmiä.

### 2.2.2 Asiantuntijajärjestelmän rakenne

Asiantuntijajärjestelmissä pyritään varsinainen päättelymekanismi erottamaan osaamisen edellytyksenä olevasta tietämyksestä, joka on talletettu ns. tietämyskantaan. Päättelymekanismin tarkoituksena on ottaa käyttöönsä tietämyskannassa olevaa tietämystä ja tehdä sen perusteella johtopäätöksiä sitä mukaan, kun tietämykselle ilmenee tarvetta. Mitä lähemmäs täydellistä erottamista päästään, sitä helpommaksi uuden tiedon ohjelmoiminen ja vanhan tiedon ylläpito muodostuu. Tavoitteena on, että rakennettaessa asiantuntijajärjestelmää uudelle osaamisalueelle, ainoastaan tietämyskan-nan sisältö pitää muuttaa päättelymekanismin pysyessä ennallaan.

Asiantuntijajärjestelmän osana on usein selitysmekanismi, jonka avulla järjestelmä kykenee perustelemaan päätöksiään, jotka perustuvat tietämyskannan tosiasioihin ja sääntöihin.



Kuva 3. Asiantuntijajärjestelmän rakenne (Tekes 1989; uudelleen piirretty).

### 2.2.3 Asiantuntijajärjestelmän rakentaminen

Kun sovelluksen rakentamista asiantuntijajärjestelmänä harkitaan, tulisi Watermanin (1986) mukaan tarkistaa, että sen toteuttaminen on <1>mahdollista, <2>oikeutettua ja <3>luonteavaa.

<1> Tärkein asiantuntijajärjestelmän rakentamisen mahdollistava edellytys on, että sovellusalueelta löytyy ainakin yksi todellinen asiantuntija eli sellainen henkilö, joka pystyy selittämään toimintatapansa. Ratkaisusta tulisi myös muiden asiantuntijoiden olla yhtä mieltä. Vaikka asiantuntijajärjestelmät voivat käsitellä ristiriitaista ja puutteellista tietoa, tulee ratkaisumallista kuitenkin päästä yksimielisyyteen.

Muita toteuttamisen mahdollistavia edellytyksiä:

Tehtävän tulee sisältää vain tietoon perustuvia taitoja.

Asiantuntijan tulee pystyä ratkaisemaan ongelma muutamassa tunnissa tai sitten ongelma pitää pystyä jakamaan yksinkertaisempiin osiin. Muuten on todennäköistä, että ongelma on liian vaikea asiantuntijajärjestelmän toteutettavaksi.

Ongelman ratkaisu ei saa perustua intuitioon, vaan ratkaisumenetelmä pitää pystyä kuvaamaan.

<2> Vaikka järjestelmä olisi mahdollista toteuttaa, ei se silti välttämättä kannata. Asiantuntijajärjestelmän rakentamista voidaan pitää oikeutettuna, mikäli järjestelmä täyttää jonkin seuraavista ehdoista:

Järjestelmä tuottaa siihen sijoitetuille investoinneille riittävän koron.

Asiantuntijoita kyseiseltä sovellusalueelta on niin vähän, että heidän käyttämisensä on kallista tai heitä tarvitaan monessa paikassa yhtä aikaa.

Asiantuntemusta ollaan vaarassa menettää esim. eläkkeelle siirtymisen takia.

Asiantuntijaa tarvitaan vaarallisissa tai epämiellyttävissä oloissa.

<3> Jotta asiantuntijajärjestelmä olisi sopiva sovellukseen, täytyy tehtävän luonteen, monimutkaisuuden ja arvoalueen olla sopiva. Ongelman luonne on asiantuntijajärjestelmälle sopiva, jos ongelmaa ratkaistaessa manipuloidaan symboleita ja käytetään heuristiikkaa. Ongelman tulee olla myös tarpeeksi vaikea ja monimutkainen tai muuten se kannattaa toteuttaa yksinkertaisempia ja halvempia tekniikoita hyväksikäyttäen.

Asiantuntijajärjestelmää rakennetaan yleensä prototyypityötappaa noudattaen. Rakentaja saa palautetta heti, kun jonkin osakokonaisuuden tietämys saadaan koodattua. Tällaista työtappaa käyttäen järjestelmä kehittyy vähitellen tietämyksen lisääntyessä. Näin asiantuntijat ja käyttäjät pääsevät paremmin vaikuttamaan lopputulokseen kuin siinä tapauksessa, että aluksi tehdään tarkka kuvaus siitä, millainen lopullisen sovelluksen tulee olla. Vaarana on kuitenkin se, että sovellus paisuu jatkuvasti. Siksi työn rajauksiin on kiinnitettävä erityistä huomiota.

## 2.3 Käyttöliittymät

Tärkeänä osana uusiin nykyaikaisiin tietokonesovelluksiin kuuluu helppokäyttöinen käyttöliittymä, sillä parhaistakaan systeemeistä ei ole hyötyä, jos niiden käyttö on niin vaikeaa, että järjestelmiä ei siksi haluta käyttää. Uusista ohjelmointitekniikoista tärkeimpiä lienevät uudet ikkunoidut käyttöjärjestelmät ja työkalut, joilla rakennetaan niihin käyttöliittymiä. Tietokoneiden suorituskyvyn kasvaminen ja työasemalaitteiden halpeneminen on tuonut graafiset työasemat kaikkien ulottuville. Grafiikka ja useat yhtä aikaa ruudulla näkyvät ikkunat mahdollistavat paljon suuremman tietomäärän esittämisen kerralla kuin aikaisemmin tekstipäätteillä. Suuremman tietomäärän hallitseminen on tietysti hankalampaa, mutta uusien hypertekstijärjestelmien avulla voidaan toteuttaa systeemejä joissa informaation löytäminen on helppoa.

Hypertekstin keksijä, Ted Nelson, määrittelee hypertekstin ei-peräkkäiseksi kirjoitukseksi, jossa käyttäjä voi vapaasti liikkua. Käytännössä se tarkoittaa sitä, että informaatio koostuu tietoelementeistä, joiden välille on rakennettu yhteyksiä siten, että käyttäjä voi helposti siirtyä elementistä toiseen. Mikäli tietoelementteinä voidaan käsitellä muutakin kuin tekstiä, kuten ääntä ja kuvaa, puhutaan hypermediasta.

Tavallinen tapa tehdä hypertekstijärjestelmiä on liittää tietoja toisiinsa siten, että käyttäjä voi hiirellä osoittamalla saada lisäselityksiä termistä, jota hän ei täysin ymmärrä ja josta hän haluaa lisätietoja. Tällainen toteutus mahdollistaa kunkin käyttäjän etenemisen systeemissä oman tasonsa mukaan. Aloittelija voi lukea tarkkaan ohjeet ja selvitykset, kun taas perehtynyt käyttäjä pääsee nopeasti eteenpäin ilman turhia selvityksiä.

Informaatiota voi esittää myös kuvallisena ja uusimmat systeemit yhdistävät liikkuvan kuvan ja äänen käyttöliittymiin, mutta tällaiset multimedialla pystyvät laitteistot ovat vielä niin kalliita, että menee vielä muutamia vuosia ennen kuin ne ovat yleisesti käytössä. Hypertekstin käytöstä on hyvä esimerkki luvussa 3.1 esiteltävä Ruotsissa kehitteillä oleva järjestelmä.

## 3 ESIMERKKEJÄ ASiantuntijajärjestelmätekniikan KÄYTÖSTÄ VESISTÖJEN KÄYTÖSSÄ JA HOIDOSSA

Tässä luvussa käydään läpi esimerkkejä asiantuntijajärjestelmä-tekniikan hyväksikäytöstä vesistöjen käytössä ja hoidossa. Esimerkkeiksi on valittu järjestelmiä, jotka tuovat esiin asiantuntijajärjestelmän eri ominaisuuksien hyväksikäyttöä.

### 3.1 Järjestelmä ympäristövaikutusanalyysin tekoon vesistöekosysteemeissä

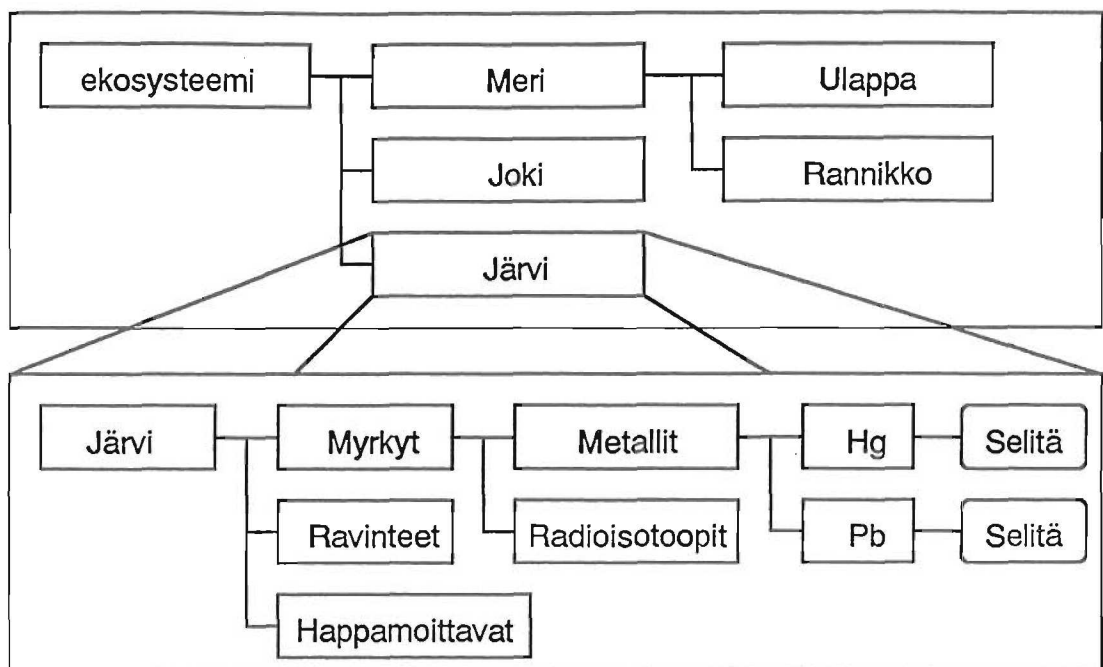
Ruotsissa rakennetaan mittavaa asiantuntijajärjestelmä- ja hypertekstipohjaista ympäristöpäätöksenteon tukijärjestelmää kaikille päätöksenteon tasoille. Sen ensimmäiset osat valmistuvat heinäkuussa 1992. Håkanson (1989) kuvaa systeemin osa-alueita, joka käsittelee erilaisten päästöjen ekologisia ja biologisia vaikutusta vesistöihin. Ongelma on varsin monimutkainen varsinkin, kun pyritään vastaamaan kysymykseen 'miksi?'. Useinkaan päätöksentekijä ei ole asiantuntija kaikilla päätöksentekoon liittyvillä osa-

alueilla ja ensimmäiseksi tuleekin varmistaa, että hän ymmärtää järjestelmän käyttämän käsitteistön. Kaikki tarpeellinen informaatio löytyy ohjelmistosta ja käyttäjä voi pyytää järjestelmää selittämään oudot käsitteet. Håkanson kutsuu edellä kuvattua selitysmekanismia 'nuottisysteemiksi'. Jotta orkesteri voi soittaa kunnolla, täytyy kaikilla olla sama käsitys nuoteista. Systemi pyrkii varmistamaan, että kaikilla käyttäjillä on yhtenevä käsitys eri termeistä - yhteinen kieli.

Kehittyneen selitysmekanismiin mahdollistaa käytetty ohjelmointiväline, HyperCard, joka on MacIntosh- tietokoneissa toimiva hypertekstijärjestelmä (ks. luku 2.3). Kun myöhemmin puhutaan korteista, tarkoitetaan niillä HyperCardilla tehtyjä näyttöjä. 'Nuottisysteemin' lisäksi järjestelmä tulee tarjoamaan työkaluja käytännön tilanteisiin. Esimerkki tällaisesta työkalusta on 'mesokosmoskortti'. Siinä käyttäjä saa näkyviinsä graafisen kuvan laboratorioissa sijaitsevasta vesialtaasta, jossa on kuvattuna luonnon ekosysteemin perusosat. Ekosysteemin herkkyyksianalyysiä tehdään lisäämällä mesokosmukseen erilaisia aineita ja tutkimalla, mitkä ekosysteemin osat kärsivät ensimmäisinä ja millä konsentraatioilla haittavaikutuksia alkaa esiintyä.

Yhtenä tärkeänä tavoitteena pidetään kustannus-hyötyanalyysin rakentamista osaksi ohjelmistoa. Sen avulla pystytään selvittämään, mitä vastinetta saadaan ympäristön parantamiseksi tehdylle sijoitukselle. Vertaamalla eri vaihtoehtojen hintoja ja ympäristövaikutuksia voidaan valita paras sijoituskohde.

Systemin tarkoituksena on luoda järjestystä ja rakennetta erittäin monimutkaiselle alueelle. Käytetty ohjelmointiväline antaa mahdollisuuksia tähän, koska uuden tai muuttuneen tiedon lisääminen systemiin on helppoa. Projektin kunnianhimoisena päämääränä on järjestelmä, jota voidaan käyttää maailmanlaajuisesti ja jota voidaan jatkuvasti pitää ajan tasalla.



Kuva 4. Ympäristöpäätöksenteon tukijärjestelmän rakenteen osamalli. Kun hiirellä valitaan "Järvi", päästään tarkempaan kuvaukseen järven käsittelyyn liittyvistä tiedoista.

### 3.2 AJ vesistöjen hoitoon ja kunnostukseen

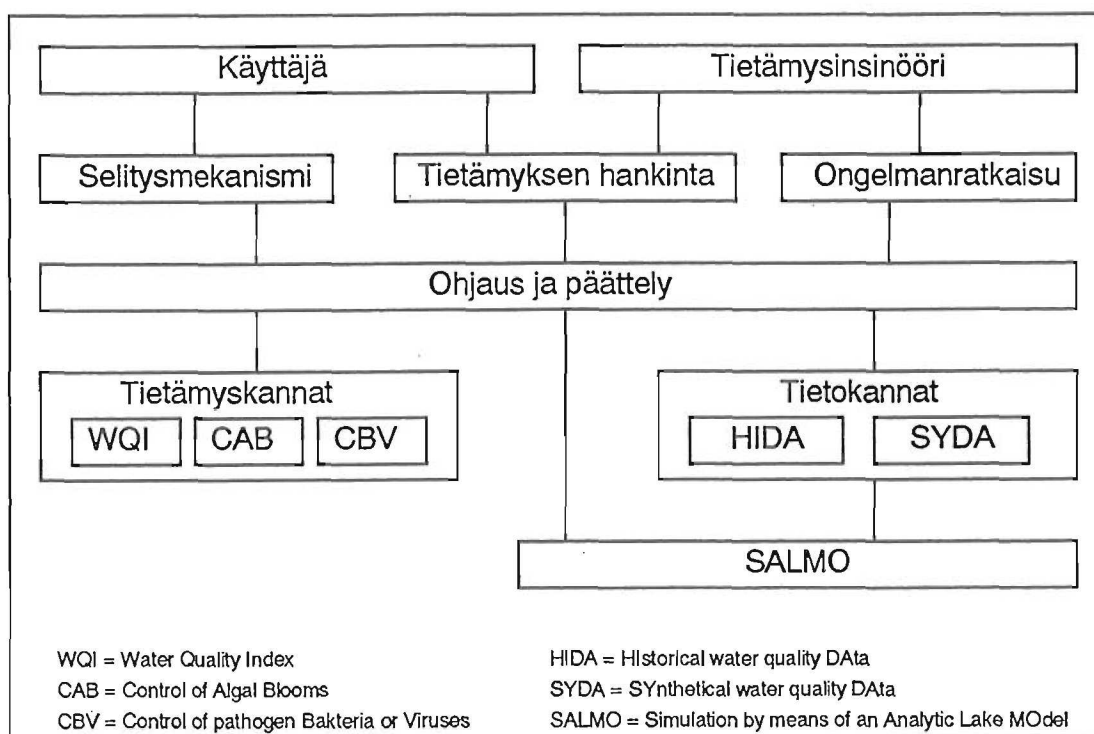
DELAQUA (Deep Expert system LAke water QUALity) on Saksassa kehitetty päätöksenteon tukijärjestelmä (Recknagel ym. 1991), joka asiantuntijajärjestelmiä- ja simulointimenetelmiä yhdistämällä tarjoaa seuraavia palveluja:

- (1) Suosituksia järven käytölle ei-toivottujen vaikutusten estämiseksi.
- (2) Laissa määriteltyjen standardien mukaisen veden luokittelun.
- (3) Ennusteita veden laadun muutoksista.
- (4) Järjestelmää voidaan käyttää hyväksi opetuksessa ja koulutuksessa.

Järjestelmä perustuu simulointimallien, relaatiotietokantojen ja tietämuskantojen yhdistelmään. Simulointimallit kuvaavat ekosysteemin toimintaa matemaattisesti, tietokannoissa säilytetään historia- ja vertailutietoja ja tietämuskantoihin koodataan heuristiikkaa sekä asiantuntemusta.

Järjestelmän matemaattiset ennusteet ja analyysit perustuvat SALMO (Simulation by means of an Analytical Lake MOdel) -malliin (Recknagel 1989). Sen avulla lasketaan stabiilisuus- sekä riskianalyysi ja kustannusoptimointi.

Tietokantaosa koostuu kahdesta osasta. HIDA (HISTorical water quality DATA) tietokanta sisältää todellisia mittaustietoja referenssitapauksista ja SYDA (SYNthetical water quality DATA) sisältää SALMO-mallin antamia tuloksia. SYDA sisältää myös referenssivesistöille mallin avulla laskettuja tuloksia. Järjestelmässä voi verrata käsiteltävää vesistöä referenssivesistöön todellisen (HIDA) ja synteettisen (SYDA) datan perusteella. SALMO:n ja muun järjestelmän välinen tiedonsiirto tapahtuu tietokantojen välityksellä.



Kuva 5. DELAQUA-järjestelmän rakenne.

Asiantuntijajärjestelmän osuus koostuu kolmesta tietämuskannasta:

1. Veden luokittelumoduli WQI (Water Quality) luokittelee veden kansallisten, laissa määriteltyjen standardien mukaan. WQI käyttää mm. 75 vedenlaatukriteeriä sekä Walkerin TSI-indeksiä. Saadun vedenlaatuluokan mukaan WQI antaa suosituksia veden käytön rajoituksille ja toimenpiteiksi laadun parantamiseksi.
2. Leväkukintamodulin CAB (Control of Algal Blooms) sisältämän sääntöjoukon ja heuristiikan avulla pyritään vähentämään leväkukintojen haittavaikutuksia. CAB antaa toimenpide-ehdotuksia lyhyellä aikajänteellä, kun joko leväkukinnan esiintymisen riski on suuri tai leväkukinta on jo diagnosoitu.
3. Haitallisten bakteeri- ja virustartuntojen ehkäisymoduli CBV (Control of pathogen Bacteria or Viruses) on vasta kehitteillä oleva järjestelmän osa. CBV antaa toimenpide-ehdotuksia lyhyellä aikajänteellä, kun joko tartunnan esiintymisen riski on suuri tai tartunta on jo diagnosoitu.

### 3.3 AJ happamoitumismallien valintaan (RAISON)

RAISON (Lam ym. 1988, 1989) on valuma-alueen happamoitumisen tutkimiseen kehitetty älykäs mikrotietokoneella (esim. IBM PC) toimiva järjestelmä. Se toimii älykkäänä käyttöliittymänä erilaisiin happamoitumista kuvaaviin malleihin ja valitsee parhaiten kullekin valuma-alueelle soveltuvan mallin tai mallien yhdistelmän sääntöjoukon perusteella. RAISON:ssa myös mallien sisällä käytetään sääntöjä ristiriitojen ja puutteiden käsittelyyn.

Happamoituminen on monimutkainen prosessi ja sen mallintamisessa tarvitaan erilaista tietämystä maaperän puskurointikyvystä, geologisten ainesten rapautumisesta jne. Tietoa vaaditaan niin paljon, että yhden kaiken kattavan mallin teko ei ole mahdollista. Eri mallit onkin rakennettu eri lähtökohdista ja toiset sopivat tiettyihin tapauksiin paremmin kuin toiset.

Usein ei ole lainkaan selvää, mitä mallia kannattaa soveltaa, koska esim. kaikkia tarpeellisia tietoja ei ole saatavilla tarpeeksi pitkältä aikaväliltä. Yhtenä projektin tavoitteena oli saada selville voidaanko yhdistelemällä kahden tai useamman mallin tuloksia saada parempia tuloksia kuin vain yhtä mallia käyttämällä.

Valmiissa RAISON-järjestelmässä mittaustuloksia maasta, vedestä ja ilmasta käytetään hyväksi useissa eri malleissa ja asiantuntijajärjestelmä suorittaa mallien valinnan ja tulosten yhdistämisen. Projektin prototyypivaiheessa käytettiin vain CDR- (Cation Denutration Rate) ja TD (Trickle-Down)-malleja, koska useamman mallin laskeminen kestäisi liian kauan. Jo nyt yhden tapauksen laskemiseen kuluu aikaa useita tunteja. Laskeminen vie näin paljon aikaa, koska molemmat mallit käyttävät ns. Monte Carlo -simulointia epätäydellisen informaation kohdalla. Tämä tarkoittaa sitä, että arvotaan muuttuja sitä kuvaavan jakauman avulla ja käytetään mallissa näin saatua arvoa. Laskeminen suoritetaan esim. 100 kertaa, ja näin saadaan mallin antamalle tulokselle jakauma.

Monte Carlo -simulointiin liittyy ongelma, jonka käsittelyssä käytetään asiantuntijajärjestelmä-tekniikkaa. Kun arvotaan useita eri muuttujia, saattaa saatu yhdistelmä olla

sopimaton, koska tiedetään, että tällaista arvojen yhdistelmää ei luonnossa esiinny. Järjestelmään kuuluukin joukko sääntöjä, joiden avulla pyritään suodattamaan sopimattomat arvontatulokset pois ja näin parantamaan lopputulosta.

Mallien yhdistämisen lisäksi systeemiin kuuluu hypermediatyypinen käyttöliittymä, jonka avulla laajemman alueen kartasta voi hiirellä osoittaa osa-alueita ja saada siten tarkemman kartan ruudulle haluamastaan valuma-alueesta.

Havaittiin, että malleista CDR oli parempi kun laskettu alkaliniteetti oli enemmän kuin  $100 \mu\text{eq/L}$  ja päinvastoin. Tästä voidaan muodostaa yksinkertainen kahden säännön asiantuntijajärjestelmän.

<a> onko CDR:n ennustama alkaliniteetti suurempi kuin  $100 \mu\text{eq/L}$   
<b> onko TD:n ennustama alkaliniteetti pienempi kuin  $100 \mu\text{eq/L}$

Näiden sääntöjen käyttö johtaa 4 eri tapaukseen. Seuraavasta taulukosta nähdään kussakin tapauksessa käytettävä menetelmä:

<a>	<b>	menetelmä
ON	EI	CDR
EI	ON	TD
ON	ON	$(\text{CDR}+\text{TD})/2$
EI	EI	satunnainen (vaihtoehtoisesti keskiarvo, kuten edellä)

Edellisessä taulukossa olisi voitu käyttää myös painotettujen keskiarvojen laskemista. Silloin esim. ensimmäisen tapauksen menetelmä olisi voinut olla  $(9 \times \text{CDR} + 1 \times \text{TD})/10$ .

RAISON asiantuntijajärjestelmä-malli ei ole kovin monimutkainen, mutta siitä saadut tulokset ovat jo prototyyppivaiheessa olleet hyviä. Kun käytettiin dataa 364 asemalta 53 eri valuma-alueelta RAISON:n antamissa tuloksissa oli 22 %:n keskimääräinen suhteellinen virhe verrattuna havaittuihin arvoihin. Vastaavat luvut olivat pelkkää CDR-mallia käytettäessä 39 % ja TD:n kohdalla 75 %. Vaikka painokertoimia säätämällä olisi mahdollista parantaa tuloksia, niin jo nämä tulokset osoittavat, että asiantuntijajärjestelmä-tekniikan käyttö RAISON-projektissa on perusteltua.

### 3.4 Tuusulanjärven sääntöpohjainen vedenlaatumalli

Tuusulanjärven vedenlaatumalli (Meszaros ym. 1990) on mikrotietokoneella toteutettu järjestelmä, joka ennustaa sinilevän biomassaa järvessä kuukaudeksi eteenpäin. Ennustus perustuu limnologiseen asiantuntemukseen sekä aikaisempiin kokemuksiin tutkittavassa järvessä. Lopullinen ennuste on näiden kahden tekijän yhdistelmä.

Järjestelmässä säännöillä kuvataan muuttujien mahdolliset arvot sekä todennäköisyyksien diskreetti jakauma esim. seuraavalla tavalla:

JOS fosforipitoisuus on 80-130 NIIN



20% todennäköisyydellä muuttuja  $X=1$

60% todennäköisyydellä muuttuja  $X=2$

20% todennäköisyydellä muuttuja  $X=3$

Edellä muuttuja  $X$ :stä voidaan laskea biomassaennuste seuraavan kuukauden ajaksi. Vastaavilla säännöillä esitetään muuttujan  $X$  riippuvuus muista ominaisuuksista. Käytetty asiantuntijajärjestelmä-työkalu, VP-EXPERT, osaa tämän jälkeen Bayesin logiikkaa hyväksikäyttäen ilmoittaa  $X$ :n eri arvojen todennäköisyydet.

Järjestelmän kehittäjien mielestä suhteellisen yksinkertaisen systeemin kehitystyössä ei ollut suurempia ongelmia. Pienin muutoksin he uskoisivat mallinsa sopivan muihinkin järviin, olettaen, että niistä on olemassa tarpeeksi mittaustietoa.

### 3.5 Sääntöpohjainen ekologinen malli suistojärven (estuarine) käyttöön ja hoitoon

Mallin tarkoituksena on auttaa Afrikan rannikolla sijaitsevan hyvin matalan St. Lucia-järven säännöstelyä (Starfield ym. 1989). Järvi sijaitsee Intian valtameren rannikolla merenpinnan tasolla. Koska St. Lucia on hyvin matala, keskisyvyys alle 1 m, haihtumisella on suuri merkitys järven vedenkorkeuteen. Vedenpinnan laskiessa alle merenpinnan tason, alkaa järveen virrata valtamerestä suolaista vettä.

Tarkoituksena oli ennustaa, kuinka eri säännöstelykäytännöt vaikuttavat järven biologiseen tilaan. Syy- ja seuraussuhteisiin perustuvan matemaattisen mallin rakentamisen katsottiin olevan liian vaikeaa, koska kvantitatiivista tietoa ei ollut olemassa tarpeeksi. Sen sijaan oli kokemusperäistä tietoa erilaisten toimenpiteiden vaikutuksesta. Tältä pohjalta lähdettiin rakentamaan sääntöpohjaista mallia.

Konventionaalinen malli kuvaa systeemin muuttujina, joiden muutoksia lasketaan matemaattisesti esim. differentiaaliyhtälöillä. Sääntöohjelmoinnissa muuttujien arvot taas usein jakautuvat diskreetisti, jolloin mahdollinen arvojoukko jaetaan tiettyyn määrään luokkia. St. Lucia -mallissa luokiteltiin suolapitoisuus seuraavasti:

Suolapitoisuus (ppt)	Luokka
0- 4	1
5-12	2
13-25	3
26-45	4
46-65	5
>65	6

Luokkaa kuvaavat edellisessä numerot 1-6, mutta yhtä hyvin voi luokkaa kuvata sanallisesti, kuten esim. 'vähän suolainen' tai 'kohtuullisen suolainen'.

Luokkien käsittely tapahtuu seuraavankaltaisilla säännöillä:

#### SÄÄNTÖ 1:

JOS suolapitoisuus on korkea

JA järven pinta on alhaalla

NIIN riutat vetäytyvät kolmen kuukauden kuluessa

Kuten edellä havaitaan, muistuttaa ohjelmakoodi luonnollista kieltä enemmän kuin perinteiset ohjelmointikielet. Koska asiantuntija voi ymmärtää koodin sisällön olematta perehtynyt ohjelmoija, voi hän olla tiiviimmin yhteydessä varsinaiseen ohjelmoijaan tai jopa ohjelmoida itse. Näin ohjelmistojen laatu paranee, kun tieto ei kulje useiden väliportaiden kautta.

Starfield ym. (1989) mainitsevat seuraavia etuja asiantuntijajärjestelmä-tekniikan käyttämisessä rakennettaessa päätöksenteon tukijärjestelmiä:

- (1) Asiantuntijat, tässä tapauksessa biologit, suhtautuivat myönteisesti sääntömalliin, koska siinä tietämys esitetään helposti ymmärrettävässä muodossa ja asiantuntija näkee suoraan, kuinka hänen tietämystään käytetään (vrt. matemaattinen malli).
- (2) Käyttäjät suhtautuivat malliin myönteisesti, koska ohjelma perusteli käyttäytymistään ja siten auttoi käyttäjiä ja tiedemiehiä luomaan yhteisen kielen.
- (3) Kvalitatiivinen malli sopii hyvin yhteen nykyisen tietämyksen kanssa. Perinteisillä malleilla on taipumus muuttua yhä pikkutarkemmiksi, mutta sääntöjen avulla on helppo säilyttää tietty abstraktiotaso.
- (4) Laadun toteaminen on asiantuntijajärjestelmässä helpompaa kuin matemaattisissa malleissa, sillä mallin sisäinen käyttäytyminen on helpommin ymmärrettävissä.
- (5) Päätöksentekijöiden pitää yleensä toimia välittömästi. Tiedemiehet toisaalta eivät mielellään kerro mielipidettään ennen kuin ovat saaneet tutkimuksensa 'päätökseen'. Sääntöpohjainen systeemi sisältää kullakin hetkellä olemassa olevan tietämyksen ja sillä on käyttöarvoa jo ennen kuin järjestelmä on täysin valmis.
- (6) Sääntöohjelmointi itsessään auttaa luomaan kuvan ongelmasta ja osoittaa, minkälaista tietämystä tarvitaan lisää.

Epäedullisista vaikutuksista mainitaan seuraavaa:

- (1) Malli on joustava ja helppo ylläpitää, mutta vaarana on mallin 'rönsyily'.
- (2) Herkkyysanalyysin tekeminen on helpompaa konventionaalisten mallien avulla.
- (3) Perinteiset mallit selittävät kvantitatiivisesti tarkemmin, mitä systeemiin menee sisälle ja mitä sieltä tulee ulos ja siten ne tuovat uusia näkökohtia esille paremmin kuin sääntömallit.

Kirjoittajat pitävät sääntöpohjaisia malleja tärkeinä, koska niiden avulla voidaan hyödyntää sellaista dataa, jota perinteiset mallit eivät voi käyttää. He yllättyivät itsekkin, kuinka yksinkertainen sääntöjoukko antoi jo merkittäviä ja odottamattomia tuloksia. St. Lucia- malli esim. osoitti, että suolapitoisuuden muutosnopeus oli merkittävä järven biomassaa määräävä tekijä eikä niinkään suolapitoisuus, kuten tutkijat alunperin olettivat.

### 3.6 Yhteenveto

Edellä kuvatut esimerkit käyttivät asiantuntijajärjestelmä-tekniikoita eri tavoin hyväkseen. Håkansonin kuvaama Ruotsissa rakennettavassa järjestelmässä painottuu hypermediatyypisen käyttöliittymän osuus. Hypermedia ja asiantuntijajärjestelmä yhdessä muodostavat ohjelmiston, johon on helppo lisätä uutta tietoa ja asiantuntemusta. Käyttöliittymän osuus on tärkeä myös RAISON:ssa, jota voidaan pitää paitsi malleja yhdistävänä asiantuntijajärjestelmänä myös älykkäänä käyttöliittymänä sisältämiinsä malleihin. Älykkään käyttöliittymän kautta muutkin kuin mallin käyttöön erikoistuneet henkilöt voivat käyttää sitä.

Tuusulanjärven vedenlaatumallin rakentamisessa on käytetty välinettä, jonka avulla epävarmuuksien sisällyttäminen systeemiin on vaivatonta. Vastaavan analyysin teko perinteisin ohjelmointimenetelmin olisi ollut varmasti moninverroin vaikeampaa. St. Lucia -järven tapauksessa asiantuntijajärjestelmä rakennettiin lähinnä siksi, että tietoa ei ollut tarpeeksi, jotta matemaattisen mallin rakentaminen olisi onnistunut. Se on esimerkki siitä, miten pienikin sääntöjoukko voi antaa merkittäviä tuloksia ja auttaa yhteisen käsitteistön luomisessa.

Kaikkia asiantuntijajärjestelmiä yhdistää se, että niissä on käytetty sääntöohjelmointia. Säännöt kuvaavat ongelman ihmiselle helpommin ymmärrettävässä muodossa kuin perinteiset ohjelmointikielet. Kaikissa esimerkitapauksissa järjestelmät olivat joko keskeneräisiä tai prototyypivaiheessa. Se kuvaa asiantuntijajärjestelmän rakennustapaa yleisemminkin. Koska järjestelmiin on helppo jälkeinpäin lisätä tietoa ja asiantuntemusta, käytetään yleensä ns. prototyypirakennustapaa. Siinä voidaan ensin rakentaa joko osa järjestelmästä tai koko järjestelmä karkealla tasolla valmiiksi ja vasta sen jälkeen päättää jatkosta.

Esimerkkien keskeneräisyys voi viitata myös siihen, että asiantuntijajärjestelmällä on taipumus paisua ja niistä ei tule koskaan valmiita. Nykyaikaiset järjestelmät rakentuvat siten, että niitä voidaan laajentaa, mutta systeemien kehittäjien tulee suunnitella tarkasti, mihin pyritään ja pitää kiinni suunnitelmista.

Esimerkit osoittavat asiantuntijajärjestelmä-tekniikan olevan merkittävä apuväline ohjelmoinnissa. Parhaita tuloksia on saatu silloin, kun asiantuntijajärjestelmää on käytetty yhdessä eri tekniikoiden, kuten matemaattisten mallien ja tietokantojen, kanssa.

## 4 NEUTRALOINNIN TUKIJÄRJESTELMÄN YLEISKUVAUS

### 4.1 Tavoitteet ja rajaus

Neutraloinnin tukijärjestelmän tavoitteena on koota neutraloinnin suunnittelussa, päätöksenteossa ja tutkimuksessa tarvittava keskeinen tieto ja erilaiset mallit yhdeksi helppokäyttöiseksi tietojärjestelmäksi. Tavoitteena on ollut laatia järjestelmä, jota voidaan käyttää hyväksi neutraloinnin tarpeellisuuden arvioinnissa, neutralointimenetelmien ja -aineiden vertailussa ja valinnassa, neutraloinnin kustannusten arvioinnissa sekä neutraloinnin vaikutuksen keston ennustamisessa. Järjestelmän tulisi lisäksi tarjota mahdollisuus erilaisten neutralointikohteiden vertailuun.

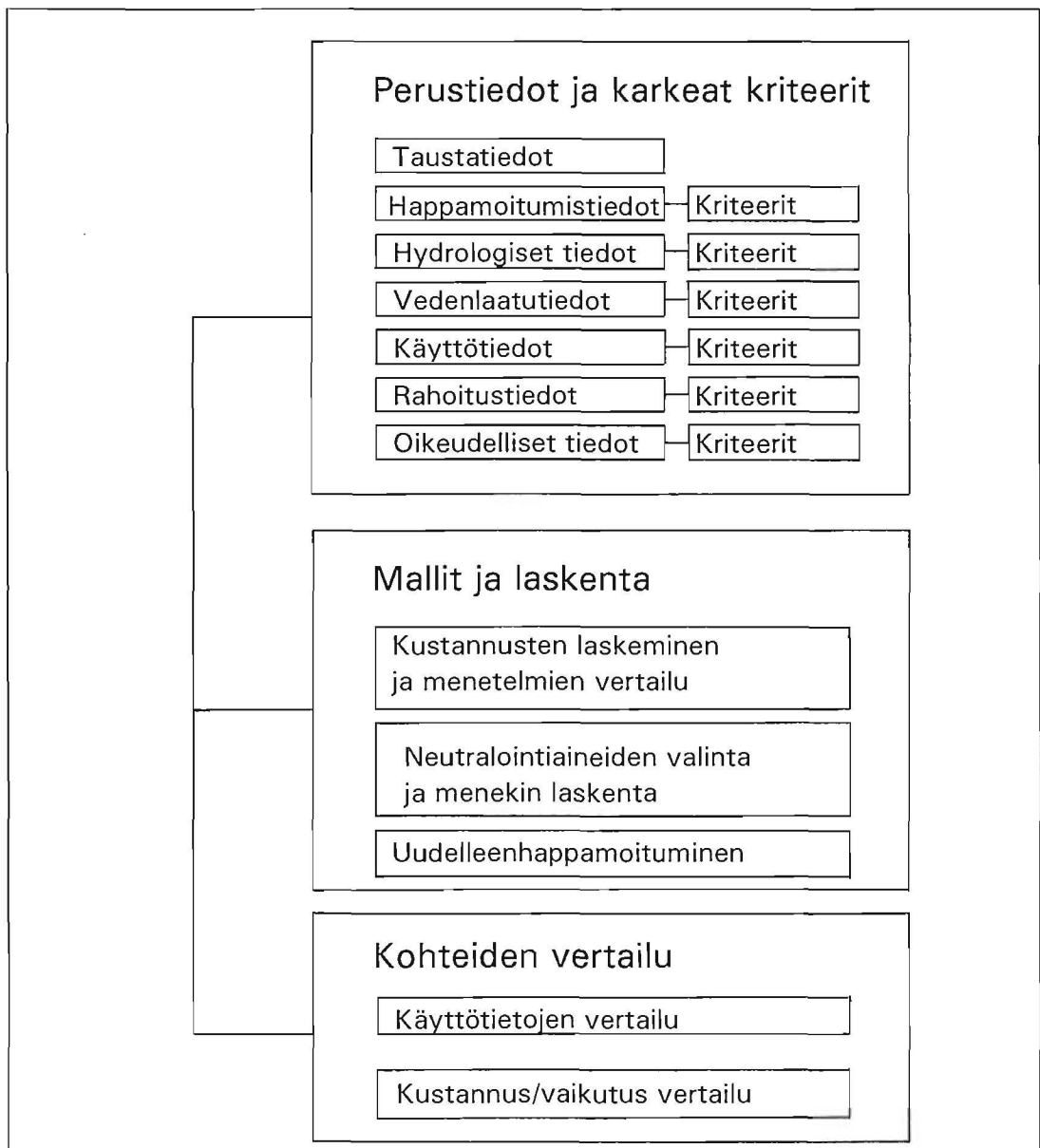
Järjestelmä on rajattu koskemaan ilmaperäisesti happamoituneiden järvien neutralointia. Levitysstrategioista on käsitelty vain vesistökalkeista. Alunamaita, jokia ja järviketjuja sekä valuma-alue- ja tulouomakalkitusta ei käsitellä.

## 4.2 Järjestelmän osat

Kuvassa 6 on esitetty neutraloinnin tukijärjestelmän rakennekaavio. Järjestelmä koostuu kolmesta osakokonaisuudesta:

- 1) perustiedot ja karkeat kriteerit
- 2) mallit ja neutralointimenetelmän valinta
- 3) kohteiden ja neutralointivaihtoehtojen vertailu

'Perustiedot ja karkeat kriteerit' osassa kerätään laskennassa ja päätelyssä käytettäviä tietoja mm. vesistön laadusta ja käytöstä. Samalla tarkastetaan, että kohde täyttää neutraloinnille asetetut karkeat kriteerit. Mikäli karkeat kriteerit eivät täyty, annetaan käyttäjälle tästä ilmoitus, mutta se ei estä etenemistä ohjelmistossa. Syötetyt tiedot tallennetaan automaattisesti.



Kuva 6. Neutraloinnin tukijärjestelmän rakennekaavio.

'Mallit ja neutralointimenetelmän valinta' osassa lasketaan eri neutralointimenetelmien kustannukset sekä käytetään Sverdrupin liukenemis- ja uudelleenohjautumismalleja neutraloinnin vaikutusten tarkasteluun. Liukenemismallin avulla voidaan laskea esim. tarvittava neutralointiainemäärä ja uudelleenohjautumismallin tuloksista nähdään, miten vesistön vedenlaatu kehittyy neutraloinnin jälkeen. Neutralointimenetelmän valintaa järjestelmä tukee siten, että se laskee eri menetelmien ainemenekit ja kustannukset sekä asettaa menetelmät kustannusten mukaan järjestykseen.

'Kohteiden ja käyttötietojen vertailu' osio koostuu kahdesta näytöstä, joissa voi tarkastella usean kohteen käyttötietoja joko graafisesti tai matriisina. Kohteet voi myös asettaa tärkeysjärjestykseen pisteyttämällä ne käyttötietojen ja niihin liittyvien painokertoimien avulla. Järjestelmän avulla voidaan verrata eri kohteita ja eri menetelmiä keskenään sekä suorittaa tarvittaessa priorisointia kohteiden välillä. Pisteyttämällä ne käyttötietojen ja niihin liittyvien paino??toimien avulla. Kustannuksien ja neutraloitavan kohteen käyttöä koskevien tietojen perusteella voidaan esim. arvioida, minkä kohteiden neutralointiin rajalliset resurssit kannattaa kohdentaa.

Järjestelmä koostuu tieto-, tietämys- ja mallikannoista. Tietokantoihin tallennetaan käyttäjän syöttämät tiedot, tietämyskantoihin on viety neutraloinnin toteuttamiseen liittyviä päättelysääntöjä ja mallikantaan malleja, joiden avulla voidaan tarkastella neutraloinnin kemiallisia vaikutuksia vesistöissä.

### 4.3 Järjestelmän käyttö

Ohjelmisto toimii Microsoft Windows ympäristössä. Siihen kuuluu n. 20 eri näyttöä, jotka koostuvat erilaisista tekstikentistä ja ns. napeista. Tekstikenttiä käytetään tietojen esittämiseen sekä syöttämiseen. Nappia hiirellä näpäyttämällä käynnistetään yleensä jokin toiminto, kuten siirtyminen näytöstä toiseen.

Järjestelmään kuuluu seuraavanlaisia tekstikenttiä:

- **Tekstikenttä** ilman alleviivausta.

Tiedot näytetään ilman syöttö- tai muutosmahdollisuutta. Tällaisia tietoja ovat esim. otsikot ja järjestelmän laskemat arvot.

- **Alleviivattu tekstikenttä.**

Tiedon syöttö tapahtuu kirjoittamalla kenttään. Kenttä voi olla myös monirivinen ja rullaava.

- Tekstikenttä, jonka oikeassa reunassa kaksoisnuolet sisältävä neliö (**valintakenttä**).

Kenttään syötetään tieto valitsemalla vaihtoehto valintalaatikosta. Valintalaatikon saa näkyviin painamalla ja pitämällä hiiren napin alhaalla valintakentän kohdalla.

- **Rullaava valintakenttä.**

Vaihtoehdot ovat valmiiksi näkyvillä. Valinta tehdään näpäyttämällä hiirellä haluttua vaihtoehtoa.

Laskentaan ja päättelyyn liittyvät välttämättömät tiedot on erotettu punertavalla värillä. Mikäli niitä ei syötetä, järjestelmä kysyy ne laskennan edetessä erikseen.

Useimpien näyttöjen oikeassa ylänurkassa näkyy järjestelmän rakennetta kuvaava **kaavio**, joka:

- Näyttää valkoisella värillä, millä kohtaa hierarkiassa kyseinen näyttö sijaitsee.
- Ilmaisee mustalla värillä, mihin on mahdollista siirtyä.
- Mahdollistaa siirtymisen näytöstä toiseen näpäyttämällä mustaa palkkia.

Kaikissa näytöissä on '**Opasta**' nappi, jota painamalla pääsee kutakin näyttöä vastaavaan '**Ohjeita ja selityksiä**' näyttöön. Ohjenäyttöjen yläosassa on rullaava tekstikenttä ja alaosassa toimintonäyttöjen selitykset. '**Ohjeita ja selityksiä**' näytöstä poistutaan painamalla '**OK**' nappia.

Ohjelmasta poistutaan valitsemalla '**File**'-alavetovalikosta kohta exit. Mikäli uudet ja muutetut tiedot halutaan tallettaa, painetaan '**OK**'-nappia ohjelman kysyessä '**Save current changes to NETU.TBK?**' (Tallentaanko muutokset NETU.TBK tiedostoon?).

## 4.4 Järjestelmän tekninen toteutus

Järjestelmä on toteutettu Microsoft Windows ympäristössä. Sen rakentamisessa on käytetty kolmea ohjelmistotyökalua. Päätelysäännöt ja osa laskennasta on toteutettu Nexpert OBJECT asiantuntijajärjestelmäkehittimellä, käyttöliittymä TOOLBOOK ohjelmistolla ja mallit on koodattu Microsoftin C-ohjelmointikielellä. Tämä modulaarinen rakenne mahdollistaa helpon ylläpidon, koska:

- NEXPERTillä on helppo koodata sääntöjä.
- TOOLBOOK-ohjelmalla näyttöjen käsittely on vaivatonta.
- C-kieli on riittävän nopea mallien laskentaan.

# 5 NEUTRALOINNIN TUKIJÄRJESTELMÄN SISÄLTÖ

## 5.1 Perustiedot ja karkeat kriteerit

Järjestelmään syötettyjä tietoja käytetään hyväksi laskennassa ja päätelyssä. Järjestelmään voi tallentaa tietoja, joita järjestelmä ei varsinaisesti hyödynnä, mutta joista voi olla hyötyä esim. seurannassa.

Syötettyjen tietojen perusteella ohjelma päättelee, täyttyvätkö neutraloinnille asetetut karkeat kriteerit. Kriteeri kuvaa ehtoja, jotka vesistön ominaisuuksien on täytettävä, jotta neutraloinnille olisi teoreettiset edellytykset. Järjestelmä on rakennettu siten, että kriteerin täytyminen ei ole este etenemiselle. Päätelyn tuloksista informoidaan käyttäjää, joka saa itse päättää jatkosta.

Jotta päätös neutraloinnin toteuttamisesta voidaan tehdä, tulee järjestelmästä olla riittävät perustiedot. Lisäksi sen tulee täyttää seuraavat karkeat kriteerit:

- happamoitumiskriteerit,
- hydrologiset kriteerit,
- vedenlaatukriteerit,
- käyttökriteerit,
- rahoituskriteerit ja
- oikeudelliset kriteerit.

Kriteerien täyttymisestä annetaan ilmoitus käyttäjille. Järjestelmä on rakennettu siten, että jonkin kriteerin täyttymättömyys ei estä etenemistä systeemissä, esim. muiden kriteerien tarkastamista.

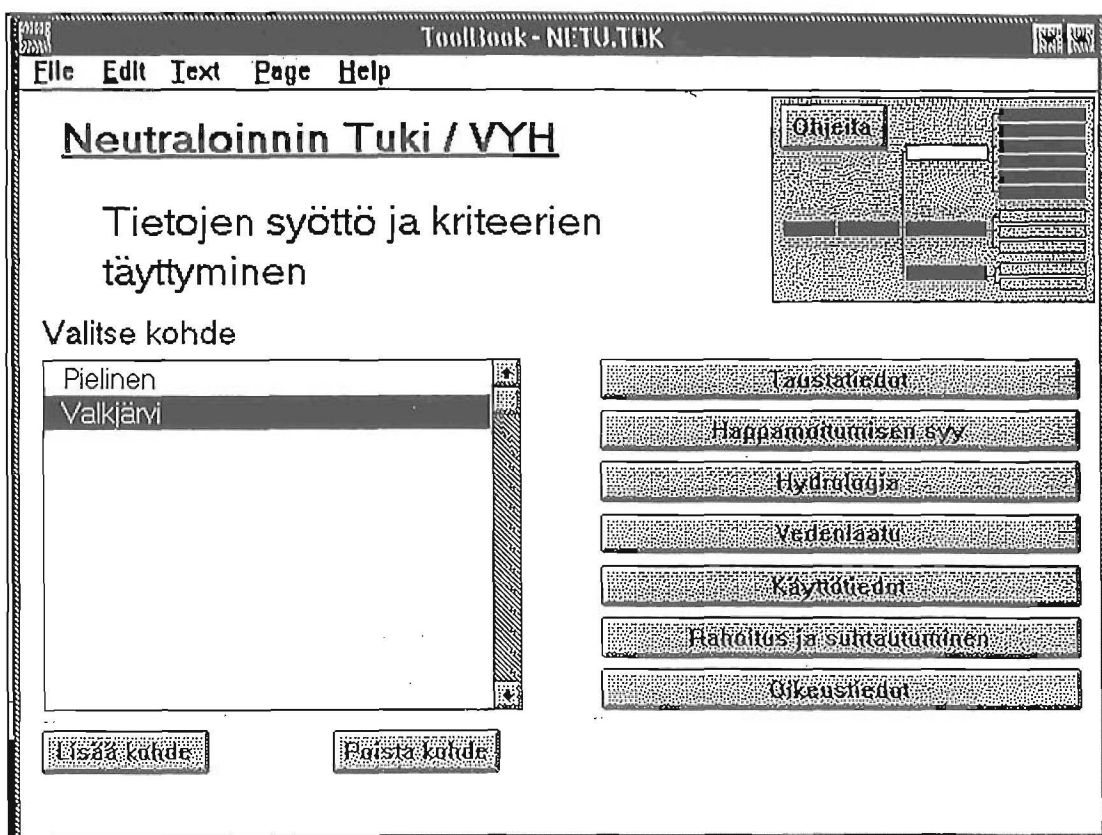
## Perustietonäyttöjen yhteiset toiminnot

Kaikkien perustietonäyttöjen alareunassa on joukko nappeja, joita painamalla pääsee siirtymään napin otsikon osoittamaan näyttöön. 'Alkuun'-napilla pääsee siirtymään näyttöön, jossa valitaan, lisätään ja poistetaan vesistöjä. 'Edellinen'-napin painaminen tuo näkyviin edellisen näytön ja vastaavasti 'Seuraava'-napin painallus seuraavan näytön.

### 5.1.1 Vesistön valinta, lisäys tai poisto

Tässä näytössä lisätään vesistöjä järjestelmään, poistetaan niitä järjestelmästä tai valitaan käsiteltävä vesistö.

Oikealla sivustalla olevista napeista hiirellä näpäyttämällä pääsee napin tekstiä vastaavaan näyttöön. Vaikka näyttöjen läpikäyntijärjestys on vapaavalintainen, on kuitenkin suositeltavaa, että kohteen lisäämisen jälkeen käydään ensimmäisen kerran näytöt läpi järjestyksessä. Helpoimmin tämä onnistuu menemällä ensin 'Taustatietoja' - näyttöön, ja siirtymällä sen jälkeen 'Seuraava'-napilla näytöstä toiseen aina oikeus-tietoihin saakka ja täyttämällä tarpeelliset kohdat näytöistä.



Kuva 7. 'Tietojen syöttö ja kriteerien täyttäminen' -näyttö.

## 5.1.2 Taustatiedot

Näytöllä syötetään ja esitetään yleistietoa vesistöstä, jota ei käytetä laskennassa tai päättelyssä, mutta joka voi olla muuten hyödyllistä taustatietoa. Ohjelman myöhemmät versiot saattavat tulevaisuudessa käyttää näitäkin tietoja hyväkseen päättelyssä tai joidenkin mallien lähtöarvoina.

Kuva 8. 'Taustatietoja' -näyttö.

## Näytön kentät

Näyttöön kuuluvat seuraavat kentät:

- Vesistön tyyppi

Vaihtoehtoja ovat lampi, järvi, järviketju ja virtaava vesi. Versiossa 1.0 on mahdollisuus vain lammen ja järven käsittelyyn. Jos vesistön tyyppiä valitaan jokin muu kuin lampi tai järvi, annetaan ilmoitus:

"Järjestelmän nykyinen versio ei osaa käsitellä virtaavia vesiä eikä järviketjua."

- Peruskoordinaatit

Koordinaatit tulee antaa muodossa (Gauss-Krüger)

- S-XXXXX-YYYYYY, missä:

S = kaista (strip)

XXXXX = x-koordinaatti 10 metriä

y-koordinaatti 10 metriä

- Vesi- ja ympäristöpiiri (nykyisin alueellinen ympäristökeskus)

Vesi- ja ympäristöpiirin nimi (ympäristökeskus)

- Vesistöalueen numero

Vesistöalueen numero



- Kunta
  - Vesistön sijaintikunta
- Aloitteen tekijä
  - Henkilön nimi, joka käsittelee hanketta ympäristökeskuksessa
- Hankkeessa mukana:
  - Tahot, jotka osallistuvat neutralointihankkeeseen. Hiirellä valitsemalla voi rastia yksitellen kaikki haluamansa vaihtoehdot:
    - kunta
    - kalastuskunta
    - kalastusalue
    - jakokunta
    - kalastuspiiri (nykyisin työvoima- ja elinkeinokeskuksen kalatalousyksikkö)
    - muu yhteisö
- Yleistä
  - Tähän voi kirjoittaa vapaamuotoista tekstiä, joka myös säilyy, mikäli ohjelmasta poistuttaessa valitaan tallennusvaihtoehto.

### 5.1.3 Happamoitumistiedot ja kriteerit

'Happamoitumisen syy' näytössä pyritään selvittämään, onko tarkasteltava vesistö happamoitunut ilmaperäisesti. Muulla tavoin happamoituneita vesistöjä ei nykyinen järjestelmäversio osaa käsitellä.

Kuva 9. 'Happamoitumisen syy' -näyttö.

Happamoituminen on määritelty veden puskurikyvyn pienentymiseksi. Vesistö voi olla myös luontaisesti hapan. Luontaisesti hapan vesistö voi happamoitua ihmisen toiminnan vaikutuksesta lisää, joskin haitalliset vaikutukset jäänevät vähäisemmiksi eliöstön sopeuduttua jo luontaisestikin happamaan ympäristöön.

Järjestelmä kysyy käyttäjän käsitystä happamoitumisen pääasiallisesta aiheuttajasta. Jos käyttäjä vastaa humus tai alunamaa, järjestelmä antaa ilmoituksen:

- "Järjestelmän nykyinen versio ei osaa käsitellä humusperäistä happamoitumista." tai
- "Järjestelmän nykyinen versio ei osaa käsitellä alunamaasta johtuvaa happamoitumista."

**'Happamoitumisindikaattoreita'**- kohtaan syötettyjen tietojen perusteella pyritään selvittämään, onko vesistössä tapahtunut sellaisia muutoksia, jotka viittaavat ilmaperäiseen happamoitumiseen. Happamoitumisindikaattoreina käytetään särkeä, ahventa, rapua, simpukkaa, rahkasammalta ja näkösyvyyttä. Painamalla ja pitämällä hiiren vasemmanpuoleinen nappi alhaalla kentän tai kaksoisnuolen kohdalla, voidaan kunkin indikaattorin kohdalla valita vesistössä tapahtunutta muutosta vastaava havaintovaihtoehto:

- Ei havaintoja
- Ei muutoksia
- Lisääntynyt
- Vähentynyt
- Kanta vanhentunut (vinoutunut)

Kenttään **'Muita muutoksia'** voi syöttää vapaamuotoista tekstiä.

## Happamoitumiskriteerit

**'Kriteerien täytyminen'**-napin painaminen käynnistää päättelyn, jonka tulokset esitetään erillisessä näytössä. Kriteerien täyttymistä tarkastellaan seuraavilla päättelysäännöillä:

- Jos yksikään indikaattori ei viittaa happamoitumiseen, annetaan johtopäätös:  
"Järvi ei ole annettujen tietojen perusteella happamoitunut!"
- Jos yksi indikaattori viittaa happamoitumiseen, annetaan johtopäätös:  
"Vesistössä tapahtunut muutos voi johtua ilmaperäisestä happamoitumisesta, mutta syyn varmistamiseksi tarvitaan tarkempia selvityksiä."
- Jos kaksi tai kolme indikaattoria viittaavat happamoitumiseen, annetaan johtopäätös:  
"Vesistössä tapahtuneet muutokset antavat aiheen olettaa, että vesistö on ilmaperäisesti happamoitunut."
- Jos enemmän kuin kolme indikaattoria viittaavat happamoitumiseen, annetaan johtopäätös:  
"Vesistössä tapahtuneet muutokset viittaavat vahvasti siihen, että vesistö on ilmaperäisesti happamoitunut."
- Jos osa indikaattoreista viittaa happamoitumiseen ja osa muuhun muutokseen, annetaan johtopäätös:

"Osa vesistössä tapahtuneista muutoksista viittaa siihen, että vesistö on happamoitunut, osa siihen, että havaitut muutokset johtuvat muista tekijöistä. Asian varmistamiseksi tarvitaan lisäselvityksiä."

Johtopäätösten lisäksi kaikista happamoitumiseen viittaavista indikaattoreista annetaan lisätietoja kentässä '**Happamoitumisindikaattoreista**'.

#### 5.1.4 Hydrologiset ja morfometriset tiedot ja kriteerit

Näyttöön talletetaan vesistön ja sen valuma-alueen hydrologiaa koskevia tietoja. Järjestelmä käyttää hydrologisten kriteerien tarkastamiseen '**Vesipinta-ala**'- ja '**Teoreettinen viipymä**' -kenttiä. Sverdrupin liukenemis- ja uudelleenhappamoitumismallit käyttävät lähtöarvoina '**Tilavuus**'- ja '**Teoreettinen viipymä**' -kenttien tietoja. Muut kentät ovat joko apuna laskettaessa edellä mainittuja tietoja tai taustatietona.

ToolBook - NETU.TBK

File Edit Text Page Help

### Hydrologiset perustiedot

Nimi: Valkjärvi

**Hydrologia**

Vesipinta-ala : 1.00 ha      Josta matalaa (<0.5 m) : ha

Keskisyvyys : 6.67 m      Suurin syvyys : m

Tilavuus : 0.67 milj. m<sup>3</sup>

Menovirtaama : 0.008 m<sup>3</sup>/s

Teor. viipymä : 2.66 vuotta

**Valuma-alue**

Valuma-alueen pinta-ala : 1.00 km<sup>2</sup>

Keskivalunta : 8 l/s/km<sup>2</sup>      Hae valuntatiedot kartalta

Nettosadanta (sadanta-haihdunta): 252 mm/v

Alkuun      Edellinen      Seuraava      Kriteerien täyttyminen

Tausta      Happ. syy      Hydrologia      Vedenlaatu      Käyttö      Rahditus      Oikeus

Kuva 10. 'Hydrologiset perustiedot' -näyttö.

#### Näytön kentät

- Vesipinta-ala  
Vesistön pinta-ala (ha).
- Matalan osuus  
Alle 0,5 m syvän veden pinta-ala (h). Tällä voi olla merkitystä annostusta suunniteltaessa, mutta järjestelmäversio 1.0 ei hyödynnä tätä tietoa.
- Keskisyvyys  
Vesistön keskisyvyys (m). Jos keskisyvyyttä ei tunneta, järjestelmä arvioi sen kaavalla 'suurin syvyys'/3.

- Suurin syvyys  
Vesistön suurin syvyys (m).
- Tilavuus  
Vesistön tilavuus ( $10^6 \text{ m}^3$ ). Jos tilavuutta ei anneta, lasketaan se keskisyvyyden ja pinta-alan perusteella.
- Menovirtaama  
Järvestä poisvirtaavan veden määrä ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). Lasketaan valuma-alueen keskivalunnan perusteella.
- Teoreettinen viipymä  
Ajanjakso, jonka kuluessa järven vesi on kokonaan vaihtunut (v). Lasketaan tilavuuden ja menovirtaaman avulla.
- Valuma-alueen pinta-ala  
Vesistön valuma-alueen pinta-ala ( $\text{km}^2$ ).
- Keskivalunta  
Valuma-alueen keskivalunta ( $\text{l/s/km}^2$ ). Lasketaan automaattisesti koordinaattien perusteella. Mikäli koordinaatit eivät ole tiedossa, voidaan keskivalunta hakea järjestelmässä olevalta kartalta vesistön sijainnin perusteella.
- Nettosadanta  
Nettosadanta valuma-alueella on bruttosadannan ja haihdunnan erotus ( $\text{mm/v}$ ). Jos sitä ei anneta, lasketaan nettosadanta valuma-alueen pinta-alan ja keskivalunnan perusteella.

### Hydrologiset kriteerit

Vesistön hydrologialle on asetettu kaksi karkeaa kriteeriä. Kriteerit täyttyvät, mikäli

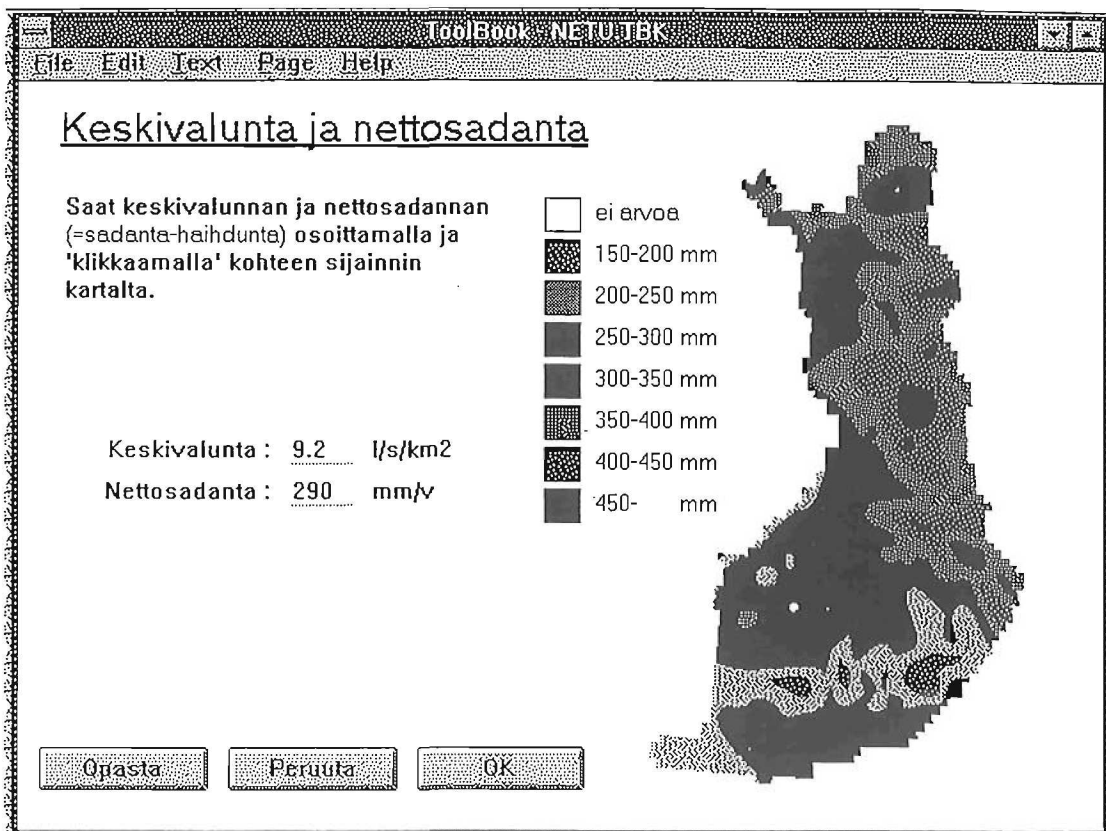
	viipymä > 0,5 vuotta
JA	pinta-ala < $10 \text{ km}^2$

Mikäli viipymä on kovin lyhyt, vesistöneutraloinnin vaikutus jää hyvin lyhytaikaiseksi. Tällöin kannattaa harkita neutraloinnin mielekkyyttä tai muita mahdollisia menetelmiä, kuten annostelijaa, yläpuolisten järvien kalkitusta, kosteikkokalkitusta tai näiden yhdistelmää täydennettynä tarvittaessa järvikalkituksella.

Hyvin suurten vesistöjen kalkitus ei ole taloudellisesti kannattavaa.

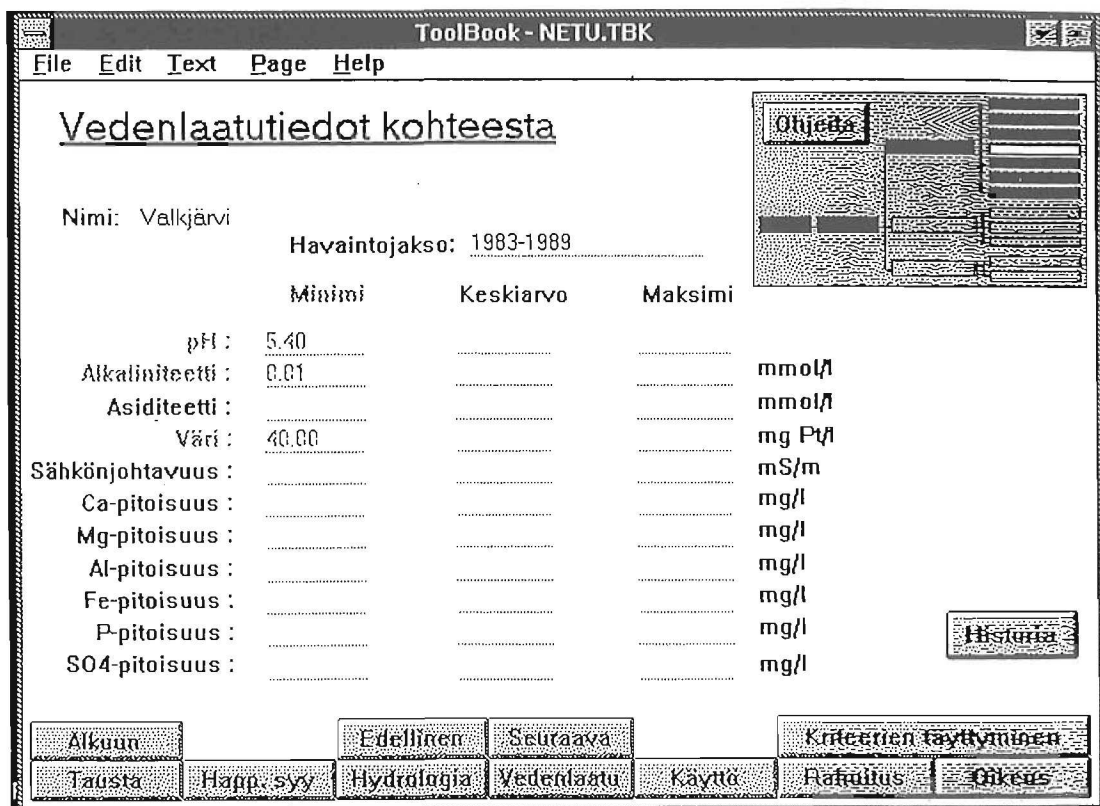
### Keskivalunta ja nettosadanta

Mikäli '**Taustatiedot**'-näytössä on syötettynä vesistön koordinaatit, ohjelmisto laskee automaattisesti valuntatiedot RUNOFF-mallin avulla. Valuntatiedot voi myös hakea järjestelmään kuuluvalta kartalta painamalla '**Hae valuntatiedot kartalta**' -nappia näytöltä '**Hydrologiset perustiedot**'.



Kuva 11. 'Keskivalunta ja nettosadanta' -näyttö.

### 5.1.5 Vedenlaatutiedot ja -kriteerit



Kuva 12. 'Vedenlaatutiedot kohteesta' -näyttö.

Näytöllä syötetään vesistön vedenlaatua koskevat tiedot:

- Havaintojakso  
Ajanjakso, jolloin näytteet ovat kerätyt.
- pH  
Vesistön pH-arvoa käytetään hyväksi päätelyssä ja mallien lähtöarvoina.
- Alkaliniteetti  
Vesistön alkaliniteettia (mmol/l) käytetään hyväksi päätelyssä.
- Asiditeetti  
Vesistön asiditeetti (mmol/l).
- Väri  
Vesistön väriarvoa (mg Pt/l) käytetään hyväksi päätelyssä.
- Sähkönjohtavuus  
Vesistön sähkönjohtavuus (mS/m).
- Ca-pitoisuus  
Vesistön kalsiumpitoisuutta (mg/l) käytetään hyväksi mallien lähtöarvoina.
- Mg-pitoisuus  
Vesistön magnesiumipitoisuus (mg/l).
- Al-pitoisuus  
Vesistön alumiinipitoisuus (mg/l).
- Fe-pitoisuus  
Vesistön rautapitoisuus (mg/l).
- P-pitoisuus  
Vesistön fosforipitoisuus (mg/l).
- SO<sub>4</sub>-pitoisuus  
Vesistön sulfaattipitoisuus (mg/l).

Kaikista tiedoista on mahdollisuus syöttää havaintojakson ajalta:

- Minimi  
Minimiä käytetään laskennassa ja päätelyssä.
- Keskiarvo
- Maksimi

'**Historia**'-nappia näpäyttämällä saadaan näkyviin tekstikenttä, johon voidaan syöttää eri ajankohtina mitattuja vedenlaatutietoja.

## Vedenlaatukriteerit

Veden laadulle on asetettu kolme karkeaa kriteeriä, joiden on täytyttävä, jotta vesistö olisi ilmaperäisesti happamoitunut. Vedenlaatukriteerit täyttyvät, mikäli

- pH < 5,5
- JA alkaliniteetti < 0,03
- JA väri < 40

Happamoitumisen ensimmäisessä vaiheessa veden puskurikyky laskee veden pH-arvon pysyessä vielä vakaana ja korkeana (>6). Happamoitumisen edetessä puskurikyky laskee alle 0,05 mmol/l:ssa ja heikoimpana aikana vuodesta pH-arvo on alle 5,5. Tässä vaiheessa esiintyy biologisia muutoksia. Happamoitumisen edelleen jatkuessa vesistö saavuttaa lopulta tilan, jossa veden pH-arvo jää pysyvästi alle 5:n. Haittojen vakavuutta kuvaa tapahtuneen happamoitumisen (pH- tai alkaliniteetti-arvon lasku) määrä. Happamuuden raja-arvona käytetään järjestelmässä pH-arvoa 5,5.

Happamoituneen vesistön alkaliniteetin raja-arvoina on esitetty yleensä 0,02 - 0,05 mmol/l. Järjestelmässä käytetään raja-arvona 0,03 mmol/l.

Veden väriä koskevalla kriteerillä pyritään varmistamaan, että vesistö ei ole luontaisesti hapan (humushappamuus).

### 5.1.6 Käyttötiedot

Kuva 13. 'Käyttötiedot' -näyttö.

Näytölle tallennetaan arvio vesistön nykyistä käyttöä sekä kalastoa koskevat tiedot. Tallennettuja tietoja käytetään hyväksi vertailtaessa kohteita näytöissä ' **Käyttötietojen vertailu**' ja ' **Kustannus/vaikutus vertailu**'. Vertaamalla käyttötietoja eri kohteiden kesken voi käyttäjä löytää ne kohteet, joiden neutraloinnilla saavutetaan suurin hyöty.

Syötettävät tiedot:

- Virkistyskäyttö
  - kesämökkien lukumäärä
  - veneiden lukumäärä
  - kalastajien lukumäärä
  - potentiaalinen virkistyskäyttö (esim. taajaman läheisyys)
  - vedenhankinnan määrä
- Lajisto
  - kalasto
  - istutettavat lajit
  - neutraloinnin jälkeen vesistöön istutettavat lajit
  - uhanalaiset lajit

'Neutraloinnin vaikutukset siikaistutuksiin' -nappia painamalla saadaan tietoa neutraloinnin vaikutuksesta siikaistutuksiin.

### 5.1.7 Rahoitustiedot

ToolBook - NETU.TBK

File Edit Text Page Help

## Suhtautuminen neutralointiin

Nimi: Valkjärvi

Huom! Valtio osallistuu neutralointiin rahoitukseen yleensä enintään 50 %:lla.

**Hanketta puoltavat:**

Kunta  
 Jakokunta  
 Kalastuskunta  
 Kalastusalue  
 Muu yhteisö

**Osuus kustannuksista:**

%  
 %  
 %  
 %  
 %  
yhteensä  %

**Hanketta vastustavat:**

Kunta  
 Jakokunta  
 Kalastuskunta  
 Kalastusalue  
 Muu yhteisö

Kalastuspiiri  
 Vesi- ja ympäristöpiiri

Kalastuspiiri  
 Vesi- ja ympäristöpiiri

**Paikalliset ajavat hanketta**

Eivät lainkaan    Heikosti    Kohtalaisen voimakkaasti    Erittäin voimakkaasti

Alkuun   Edellinen   Seuraava   Käteen täyttminen  
Tausta   Happi-syy   Hydrologia   Vedentilaisuus   Käyttö   Rahallisuus   Oikeus

Kuva 14. 'Suhtautuminen neutralointiin' -näyttö.

Näytössä kysytään hankkeen puoltajat ja vastustajat sekä eri osapuolten osuus hankkeen kustannuksista. Lisäksi kysytään, miten paikalliset suhtautuvat hankkeeseen.

Hiirellä valitsemalla voi rastia yksitellen kaikki haluamansa vaihtoehdot seuraavista yhteisöistä (joko '**Hanketta vastustavat**'- tai '**Hanketta puoltavat**' -kohdista, mutta samaa ei voi valita molemmista):

- Kunta
- Jakokunta
- Kalastuskunta
- Kalastusalue
- Muu yhteisö

Valtion organisaatiot (ei kysytä osuutta kustannuksista):

- Kalastuspiiri (nykyisin työvoima- ja elinkeinokeskuksen kalatalousyksikkö)
- Vesi- ja ympäristöpiiri (nykyisin alueellinen ympäristökeskus)

Jotta '**Osuus kustannuksista**' -kohtaan voisi kirjoittaa, tulee vastaavan yhteisön '**Hanketta puoltavat**' -kohdan olla valittu.



## Rahoituskriteerit

Eri osapuolten yhteenlaskettu osallistuminen neutralointihankkeen kustannuksiin tulisi olla vähintään 50%, koska valtion osuus on yleensä korkeintaan 50%.

### 5.1.8 Oikeudelliset tiedot ja kriteerit

Kuva 15. 'Oikeudelliset tiedot' -näyttö.

Näytössä kysytään oikeudellisia tietoja, jotka vaikuttavat neutralointipäätökseen.

- Alueiden omistajien vastustus
  - '**Kyllä**' -vaihtoehdon valitseminen tuo näyttöön uuden kentän, johon voi kirjoittaa neutraloinnin vastustajien nimet.
- Suojeluohjelmaan kuulumisen
  - '**Kyllä**' -vaihtoehdon valitseminen tuo näyttöön uuden kentän, johon voi kirjoittaa ne suojeluohjelmat, joihin vesistö kuuluu.

### Oikeudelliset kriteerit

Jos joku vesialueen omistaja vastustaa neutralointia, annetaan ilmoitus:

"Yksittäisen vesialueen omistajan vastustus riittää estämään neutraloinnin!"

Mikäli vesistö kuuluu suojeluohjelmiin, annetaan ilmoitus:

"Suojeluohjelmiin kuuluvat kohteet on harkittava tapauskohtaisesti."

## 5.2 Mallit ja laskenta

Kun kohteesta on syötetty riittävät perustiedot ja on varmistettu, että sen neutraloinnille on olemassa teoreettiset edellytykset (karkeat kriteerit täyttyivät), voidaan syötettyjä tietoja hyväksikäyttäen laskea ja ajaa erilaisia malleja. Mallien avulla voidaan laskea:

- neutralointiaineen menekki,
- menetelmien kustannukset ja
- neutraloinnin vaikutukset vedenlaatuun.

Suuri osa laskennasta perustuu Harald Sverdrupin liukenemis- ja uudelleenhappamoitumismalleihin.

### 5.2.1 Neutralointiaineiden valinta ja menekin laskenta

Näyttö koostuu kahdesta osasta; lähtöarvot ja mallin tulokset. Lähtöarvojen alkuarvot perustuvat aikaisemmin syötettyihin tietoihin, mutta niitä voi myös muuttaa.

Kustannuksia laskettaessa valitaan ensiksi käsiteltävät neutralointiaineet. Seuraavassa vaiheessa lasketaan tarvittava annostus tavoite-pH:n perusteella tai saavutettava pH annostelun perusteella Sverdrupin liukenemismallin avulla.

**Neutralointiaineiden valinta ja menekin laskenta**

Nimi: Valkjärvi Ohjeita

— Lähtöarvot —

pH ennen kalkitusta: 5.40 Tavoite pH: 6.8

Kalkittavan alueen syvyys [m]: 5 Kalkittavan alueen osuus [%]: 50

Vesistön tilavuus [milj. m3]: 12.3 pH-yksikön nostamiseen tarvittava CaCO3: 3.5

Laske menekki tavoite-pH:n perusteella Laske uusi pH-annostuksen perusteella

**Mallin tulokset**

Neutralointiaineiden valinta nappia painamalla:	Uusi pH	Kesto (v)	Neutralointiaine kok.määrä (t)	Neutralointiaine liukenee pohjalle (%)	Ca-pit. nousee (mg/l)	CaCO3-pit. nousee (mg/l)
Kalkikiviliuos 500	6.82	5.0	1000	81.3	6.4	935.6
Tavalliset maanparannuskalkit	6.76		406.5	33.0	15.2	344.7
Mehilönnin kalkkivioliuos 2-H	6.76		67.2	5.5	91.6	5.6

Uudelleenhappamoituminen

Laske uudet kustannukset Alkuun

Kuva 16. 'Neutralointiaineiden valinta ja menekin laskenta' -näyttö.

### Neutralointiaineiden valinta

Järjestelmä voi käsitellä samanaikaisesti kolmea neutralointiainetta. Valittujen aineiden nimet näkyvät kolmessa napissa mallin tulokset osassa. Aineen valinta tehdään

ToolBook - NETU.TBK

File Edit Text Page Help

## Neutralointiaineen valinta

Opas

Tehdas:

Nimike:

Magnesiumia:  %

Hinta:  mk/t

ym	läpäisy%
140	99
96	95
56	84
39	74
28	63
20	50
14	38
10	29
6	18
3	9
1.5	3
0.8	1

Kuva 17. 'Neutralointiaineen valinta' -näyttö.

painamalla näitä nappeja yksi kerrallaan, jolloin siirrytään näyttöön 'Neutralointiaineen valinta' (ks. kuva 11). Tässä näytössä voi selata aineita nappuloilla 'Edellinen' ja 'Seuraava' sekä lisätä uusia aineita nappulalla 'Uusi'. Uusia aineita lisättäessä tulee tuntea aineesta paitsi nimi, myös hinta ja seulakäyrä, koska mallit käyttävät näitä tietoja lähtöarvoina.

### Liukenemismallin käyttö

Yleensä laskenta etenee siten, että ensin määritellään arvo, johon pH:n tulisi nousta kalkituksen jälkeen ('Tavoite pH' -kenttä). Nappi 'Laske menekki tavoite-pH:n perusteella' käynnistää laskennan, jonka tuloksena saadaan mm. ne ainemäärät, jotka tarvitaan tavoite pH-arvoon pääsemiseksi. Tulokseksi saadaan usein sellaisia määriä, jotka eivät ole kuljetuksen kannalta käytännöllisiä. Tästä syystä järjestelmällä voidaan antaa uudet käytännöllisemmät ainemäärät ja laskea uudet mallin tulokset. Tämä tapahtuu painamalla 'Laske uusi pH annostuksen perusteella' -nappia.

Neutraloinnin vaikutusten arvioimisen avuksi on järjestelmään liitetty kohteen uudelleen happamoitumista koskeva malli. Sen avulla voidaan laskea eri aineiden vaikutukset veden laatuun. Sillä voidaan myös laskea, kuinka kauan kestää ennen kuin neutralointi pitää toteuttaa uudestaan. Tätä tietoa käytetään vuosikustannusten laskemiseen. Painamalla 'Uudelleen happamoituminen' -nappia kysytään ensin minkä aineen arvoja käytetään uudelleen happamoitumismallin lähtöarvoina. Tämän jälkeen siirrytään näyttöön 'Uudelleen happamoituminen' (kuva 19).

## 5.2.2 Menetelmien kustannukset

ToolBook - NETU.TBK

File Edit Text Page Help

### Neutraloinnin Tuki / VYH

Nimi : Valkjärvi

levitystapa	aine	vuosikustannus (mk)	neutr.kesto (v)	
rannalta	märkänä	Mg- pitoinen kalk	16800	1
jälle	kuivana	Mg- pitoinen kalk	17002	1
veneestä	märkänä	Mg- pitoinen kalk	20832	1
rannalta	kuivana	Mg- pitoinen kalk	25200	1
veneestä	kuivana	Mg- pitoinen kalk	31248	1
helikopterista	märkänä	Mg- pitoinen kalk	34272	1
helikopterista	kuivana	Mg- pitoinen kalk	51408	1
jälle	kuivana	Tavalliset maanpa	80487	1
rannalta	märkänä	Tavalliset maanpa	81300	1

Mg- pitoinen kalkk	160	mk/tonni	67.2	tonnia	Yht.	10752	mk
rannalta	90	mk/tonni		märkänä	Yht.	6048	mk
kuljetus	0	mk/tonni			Yht.	0	mk
neutraloinnin kesto	1	vuotta			Vesianalyysi	0	mk
					Kaluston kuljetus	0	mk
					Muu valmistelu	0	mk
					yhteensä	16800	mk

Järjestä taulukko

Kalkin menetelmä laskenta

Päätö

Kuva 18. 'Menetelmien kustannukset' -näyttö.

'Menetelmien kustannukset' -näytössä syötetään eri menetelmien osakustannukset ja valitaan käytettävä menetelmä kohteiden vertailua varten.

Kustannukset lasketaan kolmelle neutralointiaineelle ja seitsemälle eri levitystekniikalle. Tulokset esitetään vuosikustannusten mukaan järjestettynä. Menetelmien paremmuusjärjestys määräytyy kustannusten perusteella, koska lähtöoletuksena on, että menetelmien vaikutukset veden laatuun, kasveihin, eliöihin ja vesistön käyttöön ovat samanlaiset.

Järjestelmässä tarkastellaan seuraavia levitystekniikoita:

- Kuivalevitys
  - helikopteri
  - rannalta paineilmalla
  - veneestä
- Jäälevitys
  - rannalta paineilmalla
  - suoraan jälle
- Märkälevitys
  - rannalta paineilmalla
  - veneestä

Käytettävät neutralointiaineet valitaan '**Neutralointiaineen valinta ja menekin laskenta**' -näytössä.

Näytön yläosassa olevassa taulukossa näytetään kaikki 21 eri levitystapaa sekä neutralointiainevaihtoa vuosikustannuksineen ja uudelleen happamoitumisaikoineen. Jotta kustannukset voitaisiin laskea, tulee ensin valita neutralointiainevaihtoehdot (1-3) ja tarvittavat ainemäärät. Lisäksi vuosikustannusten laskemista varten tarvitaan uudelleen happamoitumisaika. Järjestelmä siirtyy automaattisesti '**Neutralointiaineen valinta ja menekin laskenta**' -näyttöön, jos valitulle vesistölle ei ole aikaisemmin laskettu kustannuksia.

Taulukosta voi valita tekniikan näpäyttämällä vastaavaa riviä hiirellä, jolloin näytön alaosan kenttiin saadaan kyseisen vaihtoehdon osakustannukset. Kaikkia osakustannuksia voidaan muokata ja muutos näkyy myös taulukossa. Esimerkiksi kalkkikivifillerin hinnan korjaaminen vaikuttaa vain siihen levitystekniikkaan, joka on valittu näytön yläosan taulukosta.

Kokonaishinta muodostuu seuraavista osakustannuksista:

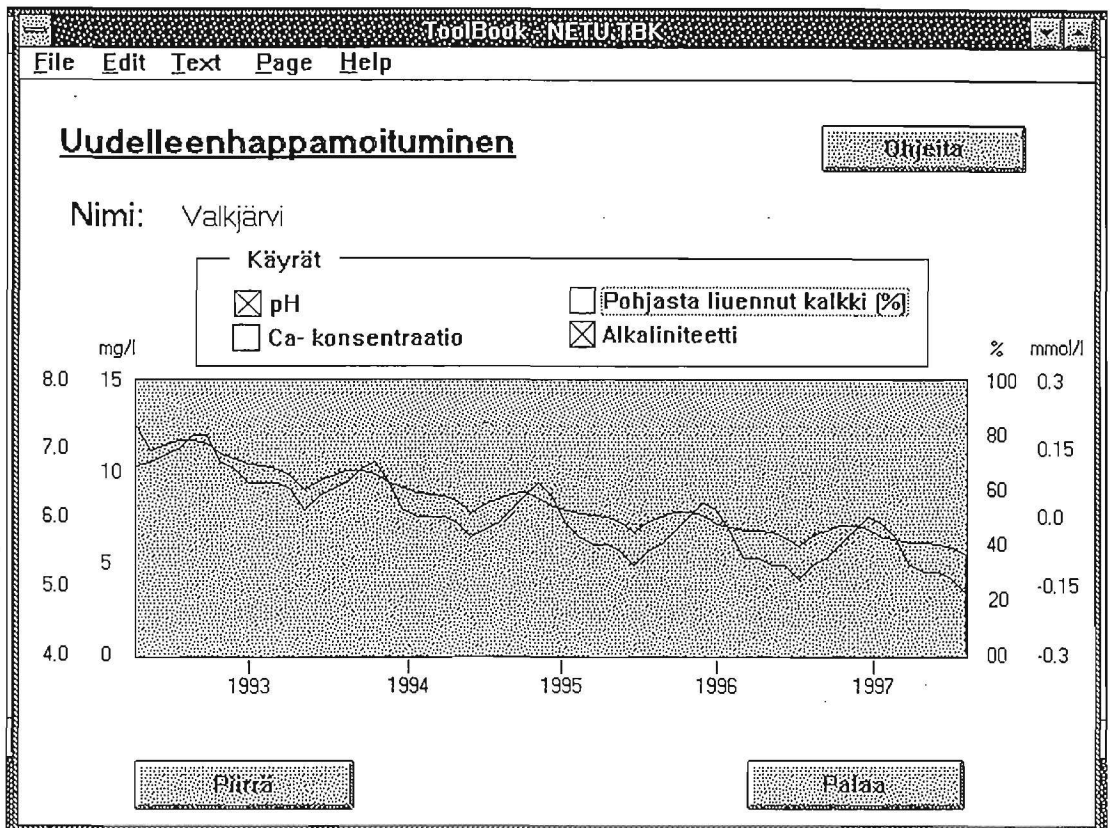
- Neutralointiaine
  - määrä (t)
  - hinta (mk/t)
- Levitys
  - määrä (t)
  - hinta (mk/t)
- Kuljetus
  - määrä (t)
  - etäisyys tehtaalta (km)
  - hinta (mk/km/t)
- Valmistelu
  - vesianalyysi
  - levityskaluston kuljetus
  - muu valmistelu

### Taulukon järjestäminen

'**Järjestä taulukko**' -nappia painamalla taulukon rivit järjestetään vuosikustannusten mukaan nousevaan järjestykseen.

### 5.2.3 Uudelleen happamoituminen

Valittujen aineiden vaikutusta vesistön uudelleen happamoitumiseen voidaan tarkastella Sverdrupin uudelleen happamoitumismallin avulla. Tässä ei esitetä mallin kuvausta. Se on esitetty esimerkiksi julkaisussa Sverdrup & Warfvinge (1985).



Kuva 19. 'Uudelleenhappamoituminen'-näyttö.

## Lähtöarvot

Näytön yläosassa ovat mallin lähtöarvot, joiden oletusarvoina on käytetty aikaisemmin syötettyjä tai laskettuja tietoja. Käyttäjä voi kuitenkin muuttaa niitä.

- '**Vedenlaatutiedot kalkituksen jälkeen**'; pH ja Ca-pitoisuus  
Järjestelmä hakee alkuarvot liukenemismallin tuloksista '**neutralointiaineen valinta ja menekin laskenta**' -näytöstä.
- '**Valuman laatu keskimäärin**'; pH ja Ca-pitoisuus
- '**Kalkitusajankohta**'  
Neutralointivuosi ja -kuukausi.
- '**Pohjalla kalkkia**'; määrä ja peitto  
Järjestelmä hakee alkuarvot liukenemismallin tuloksista '**neutralointiaineen valinta ja menekin laskenta**' -näytöstä. '**Määrä**' kuvaa kalkituksessa liukenematta jäänyttä kalkkimäärää. '**Peitto**' kuvaa, kuinka suuren osan vesistön pohjasta liukenematta jäänyt kalkki peittää.
- '**Vesistön tilavuus**'  
Alkuarvo haetaan näytöstä '**Hydrologiset perustiedot**'.
- '**Vesistön viipymä**'  
Alkuarvo haetaan näytöstä '**Hydrologiset perustiedot**'.
- '**Kalkitun alueen syvyys**'  
Järjestelmä hakee alkuarvon liukenemismallin lähtöarvoista '**neutralointiaineen valinta ja menekin laskenta**' -näytöstä.

## Tulokset

'**Tulokset**' taulukossa esitetään Sverdrupin uudelleenhappamoitumismallin tulokset. Taulukossa esitetään seuraavat sarakkeet:

- vuosi
- kk

Vedenlaatutietoja vastaava kuukausi.

- viipymä

Viipymä kuvaa, kuinka monta kertaa järven vesi on vaihtunut neutralointiajan kohdan jälkeen.

- pH
- Ca

Kalsiumpitoisuus milligrammoina litrassa.

- alkaliniteetti
- liuennut kalkki%

Kuvaa pohjalta liuenneen kalkin osuutta prosentteina.

## Käyttö

Sverdrupin uudelleenhappamoitumismalli käynnistetään painamalla '**Laske**'-nappia. Tällöin ohjelma kysyy, kuinka monta vuotta (2, 5 vai 10) eteenpäin laskenta tapahtuu. Laskennan tulokset (pH, Ca, alkaliniteetti, liuennut kalkki (%)) saadaan '**Mallin tulokset**'-kenttään.

'**Näytä graafisesti**' -nappia painamalla siirrytään uuteen näyttöön, jossa voidaan tarkastella laskettuja arvoja graafisesti.

**Uudelleenhappamoituminen**

Nimi: Valkjärvi

**Lähtöarvot**

Kalkitusajankohta: kk: 5 v: 1992

Vedenlaatutiedot kalkituksen jälkeen: pH: 6.76 Ca: 7.6 mg/l

Valuman laatu keskimääräinen: pH: 4.5 Ca: 2.3 mg/l

Pohjalla kalkkia: 344.7 t 50 % peitto

Vesistön tilavuus: 12.30 milj.m3 viipymä: 3.55 v

Kalkitun alueen syvyys: 5 m

**Tulokset**

vuosi	kk	viipymä	pH	Ca	alkaliniteetti	liuennut kalkki %
1992	6	0.0	6.9	7.9	0.159	0.04
1992	7	0.0	7.1	8.0	0.178	0.05
1992	8	0.0	7.2	8.1	0.194	0.07
1992	9	0.0	7.3	8.2	0.200	0.07
1992	10	0.0	7.3	8.2	0.194	0.08
1992	11	0.0	7.1	8.3	0.181	0.09
1992	12	0.1	7.2	8.6	0.190	0.13
1993	1	0.1	7.4	9.5	0.234	0.25
1993	2	0.1	7.4	9.6	0.243	0.28

Ohjainta

Laske

Näytä graafisesti

Palaa

Kuva 20. 'Uudelleenhappamoituminen' -näyttö.

## Vedenlaatutietojen graafinen tarkastelu

Näytössä on esitetty seuraavien arvojen kehitys ajan funktiona:

- pH
- Ca-konsentraatio
- Pohjasta liuennut kalkki prosentti
- Alkaliniteetti

'**Käyrät**'-kohdan napeilla voi valita, mitkä käyrät näytetään.

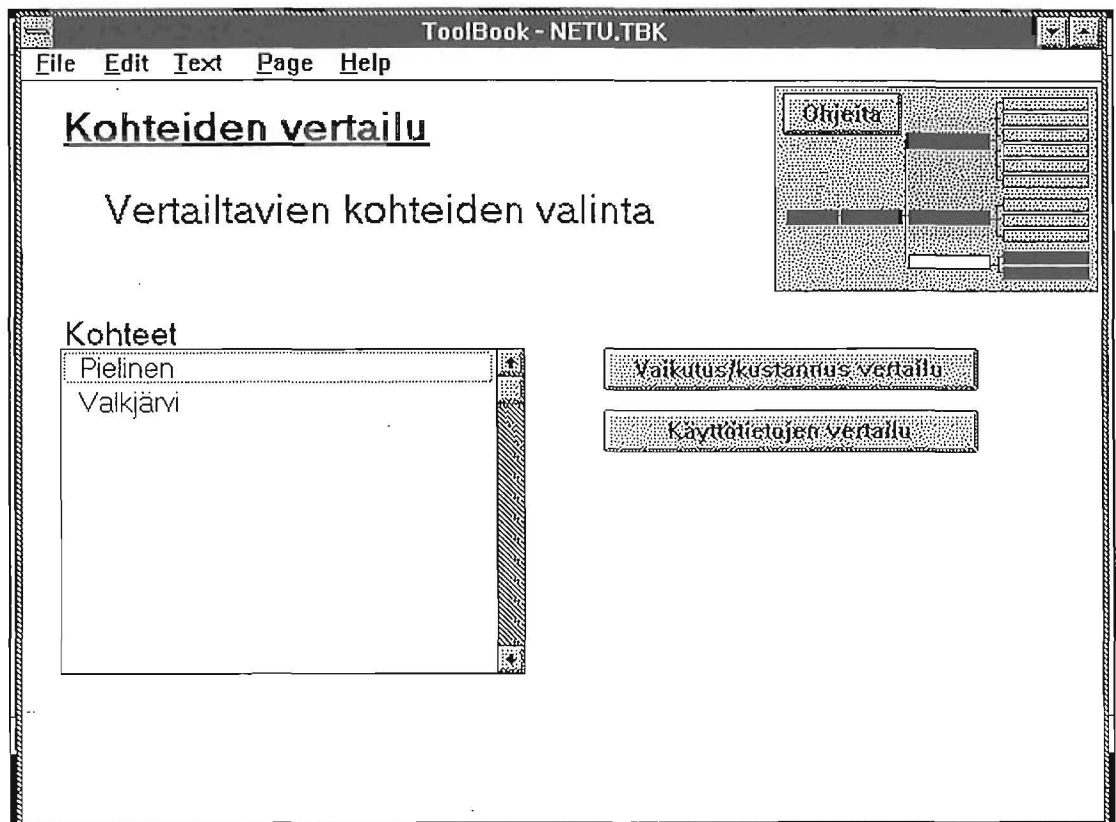
'**Laske**'-nappia painamalla piirretään uudet käyrät '**Uudelleenhappamoituminen**'-näytön '**Tulokset**'-kentän arvojen perusteella. '**Palaa**'-nappia painamalla siirrytään takaisin '**Uudelleenhappamoituminen**'-näyttöön.

## 5.3 Kohteiden vertailu

Eri kohteiden keskinäisen vertailun helpottamiseksi on järjestelmään rakennettu näyttöjä, joissa voi tarkastella valittujen kohteiden tietoja yhtäaikaan joko graafisesti tai taulukkomuodossa '**Käyttötietojen vertailu**' -näytöllä.

Neutralointikohteet voi myös pisteyttää käyttötietojen perusteella. Usean kohteen kustannuksia ja vaikutuksia voi tarkastella samanaikaisesti '**Kustannus/vaikutus vertailu**' -näytöllä.

### 5.3.1 Vertailevien kohteiden valinta



Kuva 21. 'Vertailltavien kohteiden valinta' -näyttö.



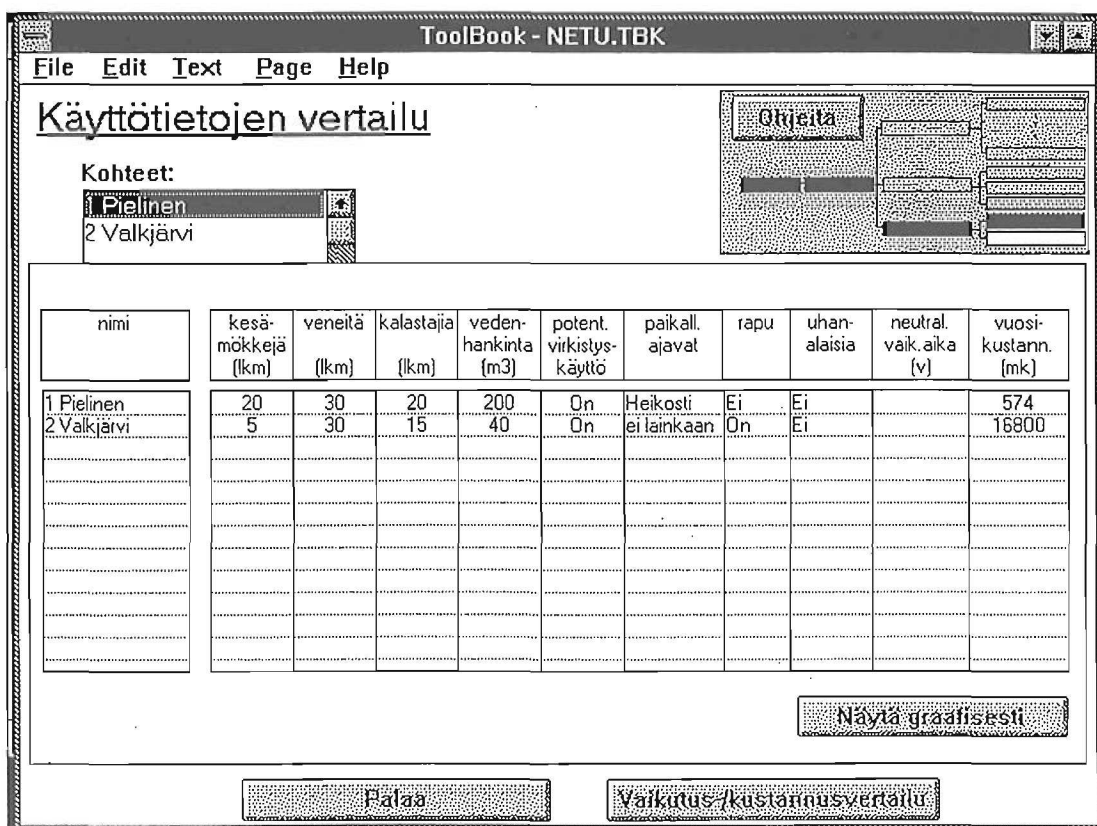
'**Kohteet**'-taulukosta voi hiirellä näpäyttämällä valita kohteita vertailuun. Valittujen rivien tausta muuttuu mustaksi.

Vertailunäyttöihin pääsee painamalla joko '**Käyttötietojen vertailu**' - tai '**Kustannus/vaikutus vertailu**' -nappia.

### 5.3.2 Käyttötietojen vertailu

Tässä näytössä voidaan verrata valittujen kohteiden käyttötietoja suhteutettuna kunkin kohteen vuosikustannuksiin. Valitut vesistöt näkyvät '**Kohteet**'-taulukossa. Seuraavia tietoja voi verrata pylväiden avulla:

- kesämökkien lukumäärää,
- veneiden lukumäärää,
- kalastajien lukumäärää,
- vedenhankinnan määrää vuorokaudessa ja
- neutraloinnin vuosikustannuksia.



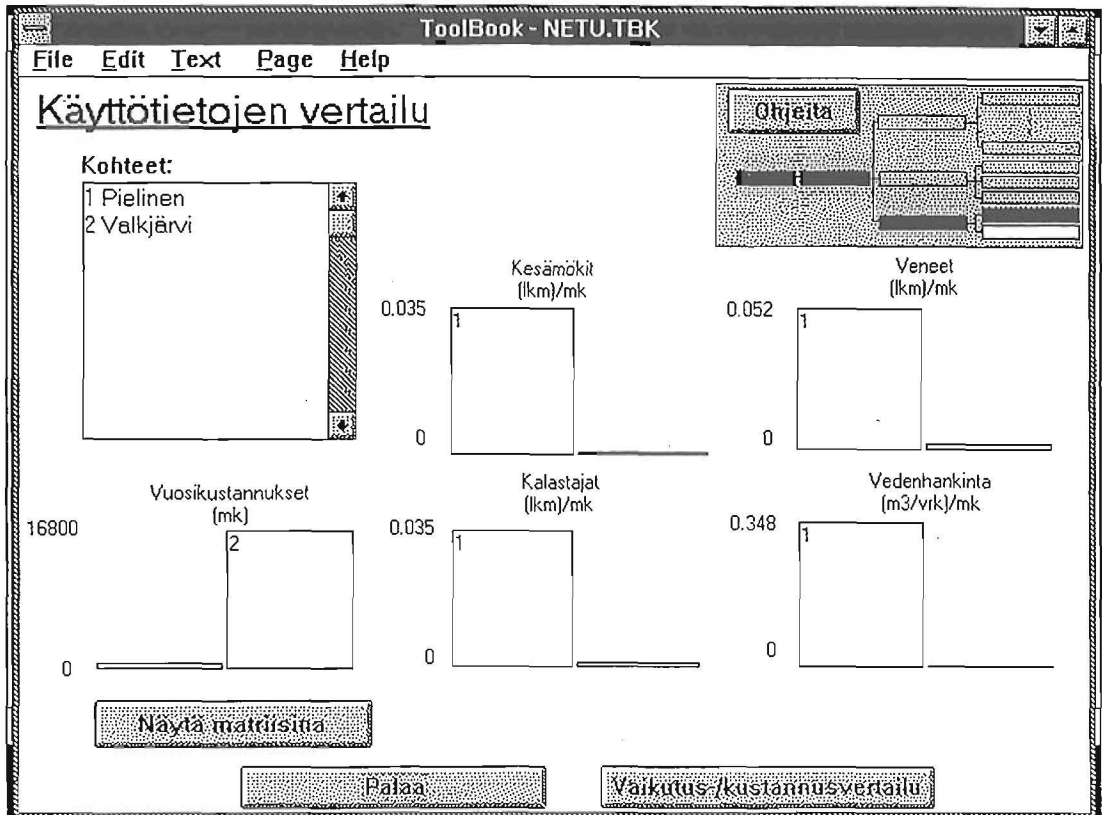
Kuva 22. 'Käyttötietojen vertailu' -näyttö.

'**Kohteet**'-taulukosta voi valita yhden vesistön, jolloin kaikki siihen liittyvät pylvää muuttuvat mustiksi (kuva 23).

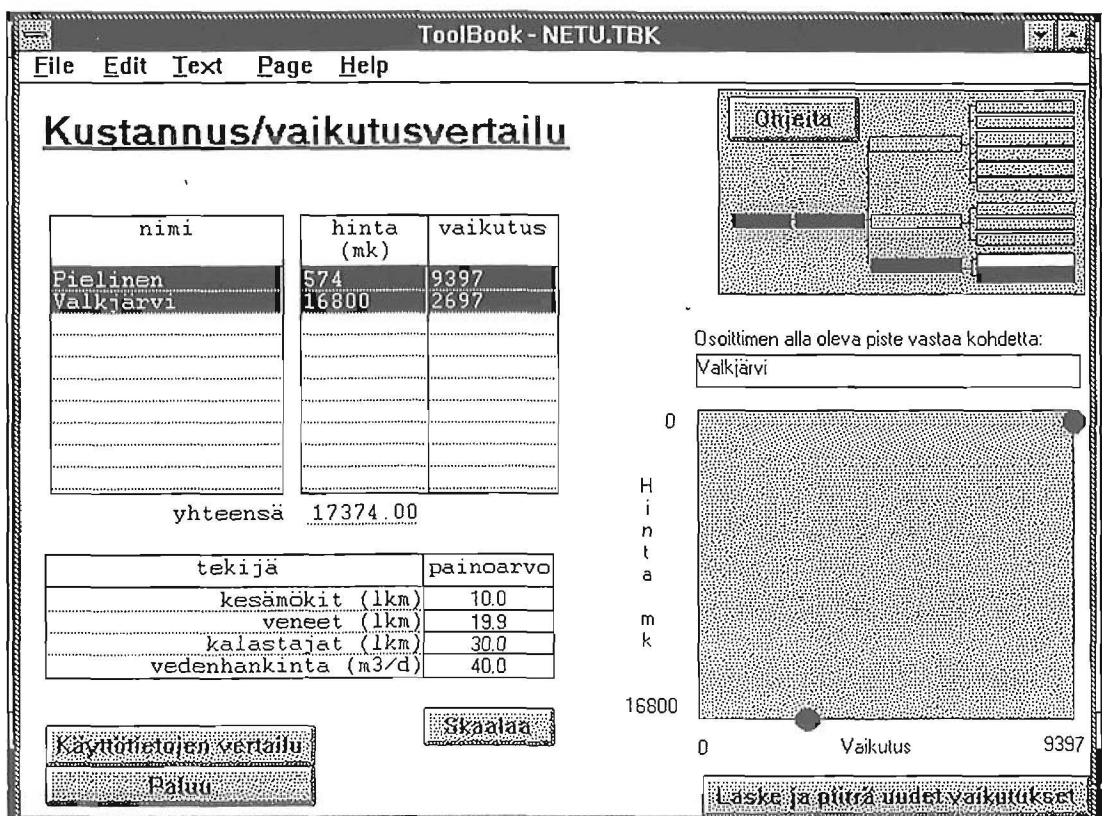
'**Näytä matriisina**' -napin painaminen tuo esiin taulukon, johon on listattu kustakin valitusta kohteesta (kuva 24):

- veneiden lukumäärä,
- kalastajien lukumäärä,
- vedenhankinnan määrä vuorokaudessa,
- potentiaalisen virkistyskäytön olemassaolo (on/ei),
- ravun esiintyminen (on/ei),

- uhanalaisten lajien esiintyminen (on/ei),
- neutraloinnin vaikutusaika ja
- neutraloinnin vuosikustannus.



Kuva 23. 'Käyttötietojen vertailu' -näyttö - tiedot matriisissa.



Kuva 24. 'Kustannus/vaikutus vertailu' -näyttö.

## 6 NEUTRALOINNIN TUKIJÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN

### 6.1 Tutkimus- ja kehittämistarve

Järjestelmä koostuu kolmesta osakokonaisuudesta:

- 1) perustiedot ja neutralointikriteerit,
- 2) laskentamallit (neutralointiaineen menekki, kustannukset, uudelleenhappamoituminen) ja
- 3) neutralointikohteiden vertailu.

Näistä jokaiseen liittyy kehittämistarpeita, joiden toteuttaminen vaatii lisätutkimuksia.

Neutraloinnin tukijärjestelmän versio 1.0 ei käsittele vesistöjä, joiden happamuus johtuu humuksesta tai alunamaasta. Alunamailla sijaitsevien virtaavien vesistöjen käsittely ei liene kannattavaa tämänkaltaisella ohjelmistolla, koska kohteita on suhteellisen vähän ja niiden käsittely vaatii hyvin yksityiskohtaista tarkastelua.

Tukijärjestelmä ei käsittele myöskään virtaavia vesiä eikä järviketjuja. Virtaavan veden ja järviketjujen käsittely ovat suuria kokonaisuuksia, joiden mukaanotto vaatii miltei kokonaan omat erilliset osajärjestelmänsä niin perustietojen kuin laskentamallien osalta. Järviketjujen mukaanottaminen sen sijaan tuntuu luonnolliselta jatkolta kehitystyölle. Niiden käsittelyyn on olemassa malleja, joiden soveltuvuus Suomen oloihin tulisi tutkia.

Nykyinen järjestelmän versio käsittelee vain vesistökalkitusta. Jatkossa olisi mietittävä, laajennetaanko järjestelmä koskemaan myös uusia tekniikoita (esim. annostelija) ja menetelmiä (esim. valuma-aluekalkitus).

Ohjelmistossa oleva laskenta perustuu Sverdrupin liukenemis- ja uudelleenhappamointusmalleihin. Mallien soveltuvuus Suomen oloihin tulee tarkistaa. Sverdrupin kalkitusmallin käytössä ongelmana on se, miten lasketaan mallin lähtötietona käyttämän  $\text{CaCO}_3/\text{pH}$ -arvo. Uusien mallien (esim. deAcid) lisääminen Sverdrupin mallien rinnalle voisi olla hyödyllistä, sillä mallien tulosten vertailu ja tulosten yhdistäminen antaisi arvokasta lisäinformaatiota. Mallien yhdistäminen vaatinee myös lisätutkimusta.

Järjestelmän käyttöliittymän rakentamiseen käytetty väline (Toolbook) on erinomainen kehitysympäristö helpon muunneltavuutensa vuoksi. Sen ongelmana on kuitenkin laskennan ja erityisesti grafiikan hitaus käsiteltäessä suuria määriä lukuja. Hitaus on jo nyt ongelma ja mikäli uusia malleja otetaan mukaan, kannattaa järjestelmä rakentaa uudestaan jollain muulla nopeammalla välineellä. Prototyypin rakentamisen yhteydessä yleensä muutenkin suositellaan ohjelmiston rakentamista uudestaan prototyypivaiheen jälkeen, koska näin ensimmäisen vaiheen aikana tehdyt ratkaisut eivät ole jarruttamassa jatkokehitystä.

### 6.2 Käyttökokemuksia

Neutraloinnin tukijärjestelmä on ollut koekäytössä viidessä ympäristö- ja kalataloushallinnon yksikössä ja Partekilla. Käyttäjiltä on kysytty käyttökokemuksia ja jatko-

hitystarpeita. Järjestelmää ei ole käytetty laajamittaisesti missään johtuen pääasiassa vähäisestä kalkitusten määrästä.

Toteutuksen yhtenä keskeisenä tavoitteena oli laatia käyttäjäystävällinen järjestelmä, jonka käyttäminen onnistuu myös henkilöiltä, jotka eivät ole kalkituksen asiantuntijoita. Tämä tavoite on ilmeisesti pääosin toteutunut, koska kaikki ovat osanneet käyttää järjestelmää ilman erityistä koulutusta ja kommentit käyttäjäystävällisyydestä ja järjestelmän selkeydestä olivat myönteisiä.

Jatkokehityksen suhteen oltiin melko yksimielisiä. Jos kalkitusta tehdään jatkossa huomattavasti enemmän, järjestelmä on tarpeellinen. Varsinkin ympäristöhallinnon ulkopuolisille tahoille olisi hyötyä järjestelmästä, sillä sen avulla voisivat "ei-asiantuntijat" selvittää, onko kalkitus edes järkevä vaihtoehto. Näin voitaisiin ehkä välttyä selvästi virheellisiltä kalkituksilta.

Saatujen kommenttien perusteella vaikuttaa siltä, että laadittu järjestelmä on perusominaisuuksiltaan hyvä ja soveltuu pienin muutoksin neutralointia koskevan suunnittelun ja päätöksenteon tueksi. Suurimpia kehitystoiveita ovat:

- liittyminen erilaisiin, mahdollisesti valtakunnallisiin rekistereihin,
- paremmat tulostusmahdollisuudet,
- lisää perustietoa kohteista,
- lisää tietoa neutraloinnista ja
- kustannus / vaikutusvertailu selkeämmäksi.

## YHTEENVETO

Neutraloinnin tukijärjestelmän tavoitteena on koota neutraloinnin suunnittelussa, päätöksenteossa ja tutkimuksessa tarvittava keskeinen tieto ja erilaiset mallit yhdeksi helppokäyttöiseksi tietojärjestelmäksi. Tavoitteena on ollut myös neutralointitutkimuksen kohdentaminen tietojärjestelmän kehitystyössä ilmenneiden tietotarpeiden perusteella niin, että tutkimus palvelisi mahdollisimman hyvin suunnittelua ja päätöksentekoa. Ensimmäisessä vaiheessa järjestelmä on rajattu happaman laskeuman aiheuttaman vesistö happamuuden torjuntaan.

Järjestelmää voidaan käyttää hyväksi neutraloinnin tarpeellisuuden arvioinnissa, neutralointimenetelmien ja -aineiden vertailussa ja valinnassa, neutraloinnin kustannusten arvioinnissa sekä neutraloinnin vaikutuksen keston ennustamisessa. Järjestelmä tarjoaa myös mahdollisuuden erilaisten neutralointikohteiden vertailuun. Järjestelmään voidaan lisäksi tallentaa tiedot tarkasteltavan kohteen veden laadusta myöhempiä tarkasteluja varten. Järjestelmä ei pyri antamaan valmista ratkaisua eikä korvaamaan päätöksentekijää; varsinaiset päätökset tekee käyttäjä.

### Järjestelmän rakenne ja toteutus

Neutraloinnin tukijärjestelmä muodostuu käyttöliittymästä sekä siihen liittyvistä tieto-, tietämys- ja mallikannoista. Tietokanta sisältää tiedot tarkasteltavasta kohteesta sekä mallilaskelmien tulokset. Tietämyskantaan kuuluvat erilaiset neutraloinnin tarpeellisuuden arvioimiseksi asetetut kriteerit sekä järjestelmän käyttämät päättelyketjut. Malli-

kanta koostuu Sverdrupin liukenemis- ja uudelleen happamoitumismallista. Siihen sisältyy myös kustannusten laskennassa ja kohteiden vertailussa käytetyt mallit.

Järjestelmä koostuu käyttäjän kannalta kolmesta kokonaisuudesta:

- 1) Perustiedot ja karkeat kriteerit
- 2) Mallit ja laskenta
- 3) Kohteiden vertailu

Osassa 'Perustiedot ja karkeat kriteerit' kerätään laskennassa ja päättelyssä käytettäviä tietoja esimerkiksi vesistön laadusta ja käytöstä. Samalla tarkastetaan, että kohde täyttää neutraloinnille asetetut karkeat kriteerit. Mikäli karkeat kriteerit eivät täyty, annetaan käyttäjälle tästä ilmoitus, mutta se ei estä etenemistä ohjelmistossa. Syötetyt tiedot tallennetaan automaattisesti.

Osassa 'Mallit ja neutralointimenetelmän valinta' lasketaan eri neutralointimenetelmien kustannukset sekä käytetään Sverdrupin liukenemis- ja uudelleen happamoitumismalleja neutraloinnin vaikutusten tarkasteluun. Liukenemismallin avulla voidaan laskea esimerkiksi tarvittava neutralointiainemäärä. Uudelleen happamoitumismallilla voidaan laskea vesistön vedenlaadun kehittyminen neutraloinnin jälkeen.

Osa 'Kohteiden ja käyttötietojen vertailu' koostuu kahdesta näytöstä, joissa voi tarkastella usean kohteen käyttötietoja joko graafisesti tai matriisina. Kohteet voi myös asettaa tärkeysjärjestykseen pisteyttämällä ne käyttötietojen ja niihin liittyvien painokertoimien avulla.

Järjestelmä on toteutettu Microsoft Windows ympäristössä ja ohjelmiston käyttäjäystävällisyyteen on kiinnitetty erityistä huomiota. Sen rakentamisessa on käytetty kolmea ohjelmistotyökalua. Päättelysäännöt ja osa laskennasta on toteutettu NEXPERT OBJECT -asiantuntijajärjestelmäkehittimellä, käyttöliittymä TOOLBOOK -ohjelmistolla ja mallit on koodattu C-ohjelmointikielellä.

## KIRJALLISUUS

- Hyvönen, E. ja Seppänen, J. 1986. LISP-maailma; Osa 1; Ohjelmointimenetelmät ja -järjestelmät, Helsinki, Kirjayhtymä. 362 s.
- Hyvönen, E. ja Seppänen, J. 1986. LISP-maailma; Osa 2; Johdatus kieleen ja ohjelmointiin. Helsinki, Kirjayhtymä. 362 s.
- Håkanson, Lars 1989. Ett operativsystem för miljökonskvansanalys för akvatiska ekosystem. Vatten 45, s. 237-255.
- Hämäläinen, R.P. & Lauri, H. 1991. HIPRE 3.0 - New generation in decision aiding. Helsinki university of technology, Systems analysis laboratory, Espoo.
- Lam, D.C.L., Fraser, A.S., Swayne, D.A. & Wong, I. 1988. Regional analysis of watershed acidification using the expert system approach. Environmental Software, Vol 3, No. 3. p. 127-134.
- Linnainmaa, S. (toim.) 1989. Tekoäly 1985-1989. TEKES. Helsinki. 232 s.
- Meszaros, F., Varis, O., Sirviö, H. & Kettunen, J. 1990. A rule-based water quality model for PC-environment. Environmental Software, Vol 5, No. 3, p. 158-162.
- Page, P. 1990. An analysis of environmental expert system applications. Environmental Software, Vol 5, No. 4, p. 177-198.
- Rauhanmaa, 1988. Päijänteen säännöstelyä tukevan tietämysjärjestelmän malli. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Espoo.
- Recknagel, F. 1989. Applied Systems Ecology; Approach and case studies in aquatic ecology. Berlin, Akademie-Verlag Berlin. 136 p.
- Recknagel, F., Beuschold, E. & Petersohn, U. 1991. DELAQUA - A prototype expert system for operational control and management of lake water quality: In proceedings of the IAWPRC conference on "System analysis in water quality management - WATERMATEX '91". Durham, New Hampshire, USA, 3-6 June 1991.
- Sprague, R.H. & Carlsson, E.D. 1982. Building Effective decision support systems. Prentice-Hall. New Jersey. 329 p.
- Sverdrup, H. & Warfvinge, P. 1985. A Reacidification Model for Acidified Lakes Neutralized with Calcite. Water Resources Research 21(9): 1374-1380.
- Starfield, A.M., Farm, B.P. & Taylor, R.H. 1989. A rule-based ecological model for the management of an estuarine lake. Ecol. Modelling, 46: 107-119.
- Viertiö, P. 1987. Päätöksenteon tukijärjestelmät: tavoitteet ja todellisuus - teoksessa: Päätöksenteosta tekoälyyn (toim. Hämäläinen R. ja Ruusunen J.). Helsinki University of Technology, System Analysis Laboratory, research reports B12. Espoo.
- Waterman D.A. 1986. A Guide to expert systems. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts.

*Julkaisija*  
Suomen ympäristökeskus

*Julkaisun päivämäärä*  
15.9.1997

*Tekijä(t) (toimielimestä: nimi, puheenjohtaja, sihteeri)*  
Jussi Pollari, Mika Marttunen

*Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)*  
Päätöksenteon tukijärjestelmä vesistöjen neutralointiin

*Julkaisun laji*  
Moniste

*Toimeksiantaja*

*Toimielimen asettamispv*

*Julkaisun osat*

*Tiivistelmä*

Tämän työn tavoitteena on kehittää vesistöjen happamoitumisen torjuntaa koskeva tietokoneavusteinen päätöksenteon tukijärjestelmä, neutraloinnin tukijärjestelmä. Järjestelmän tavoitteena on koota neutraloinnin suunnittelussa, päätöksenteossa ja tutkimuksessa tarvittava keskeinen tieto ja erilaiset mallit yhdeksi helpokäyttöiseksi tietojärjestelmäksi. Järjestelmä on rajattu happaman laskeuman aiheuttaman vesistö happamuuden torjuntaan.

Tässä raportissa esitetään ensiksi työn yhteydessä tehty kirjallisuusselvitys, jossa tarkastellaan yleisesti päätöksenteon tukijärjestelmiä sekä kuvataan esimerkkien avulla asiantuntijajärjestelmien soveltamismahdollisuuksia vesistöjen käytössä ja hoidossa. Neutraloinnin tukijärjestelmän rakennetta, sen soveltamismahdollisuuksia ja käyttökokemuksia on kuvattu luvuissa

*Asiasanat (avainsanat)*

Vesistöt, vesistöjen kunnostus, neutralointi, päätöksenteko, tietojärjestelmät

*Muut tiedot*

*Sarjan nimi ja numero*

Suomen ympäristökeskuksen moniste 95

*ISBN*

952-11-0181-4

*ISSN*

1455-0792

*Kokonaissivumäärä*

46

*Kieli*

Suomi

*Hinta*

*Luottamuksellisuus*

Julkinen

*Jakaja*

Suomen ympäristökeskus  
asiakaspalvelu puh. (09) 4030 0100  
telefax (09) 4030 0190

*Kustantaja*

Suomen ympäristökeskus  
PL 140  
00251 HELSINKI







ISBN 952-11-0181-4  
ISSN 1455-0792