

ERKKI ALASAARELA, TUOMO KARVONEN, TERO KOKKILA, JORMA KOPONEN, SATU KOUVALAINEN, HANNU LAURI JA MARKKU VIRTANEN

MAANKÄYTÖN VAIKUTUKSIA KUVAAVA VESISTÖMALLI - ESIMERKKINÄ TURVETUOTANNON VAIKUTUKSET IJOEN VESISTÖALUEELLA

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUS
OULUN VESI- JA YMPÄRISTÖPIIRI
Helsinki 1995

ERKKI ALASAARELA, TUOMO KARVONEN, TERO KOKKILA, JORMA KOPONEN,
SATU KOUVALAINEN, HANNU LAURI JA MARKKU VIRTANEN

**MAANKÄYTÖN VAIKUTUKSIA KUVAAVA
VESISTÖMALLI - ESIMERKKINÄ TURVETUOTANNON
VAIKUTUKSET IJOEN VESISTÖALUEELLA**

Etukannen kuva:

Maankäytön vaikutuksia kuvaava vesistömalli kuvaa värisävyjen avulla veden laadun alueellisen jakautumisen ja siinä tapahtuvat muutokset sekä erittelee maankäyttömuotojen osuudet pitoisuusarvojen muodostumisessa. Kuva on otettu tietokoneen näytöltä.

Tekijät ovat vastuussa julkaisun sisällöstä, eikä siihen voida vedota vesi- ja ympäristöhallituksen virallisena kannanottona.

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLINNON JULKAISUJA koskevat tilaukset:
Painatuskeskus Oy, PL 516, 00101 Helsinki
puh. (90) 566 0266

ISBN 951-53-0237-4
ISSN 0786-9592

Helsinki 1995

Julkaisija

Vesi- ja ympäristöhallitus, Oulun vesi- ja ympäristöpiiri

Julkaisun päivämäärä

Tammikuu 1995

Tekijä(t) (toimielimestä: nimi, puheenjohtaja, sihteeri)

Erkki Alasaarela, Tuomo Karvonen, Tero Kokkila, Jorma Koponen, Satu Kouvalainen, Hannu Lauri ja Markku Virtanen

Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)

Maankäytön vaikutuksia kuvaava vesistömalli - esimerkkiä turvetuotannon vaikutukset

Julkaisun laji

Tutkimusraportti

*Toimeksiantaja**Toimielimen asettamispaikka**Julkaisun osat**Tiivistelmä*

Tässä raportissa esitellään vesistömalli, joka soveltuu laajahkon alueen maankäytön vaikutusten kuvaamiseen. Laaditussa järjestelmässä on kehittyneen käyttöliittymän avulla kytketty toisiinsa osamallit, jotka kuvaavat valunnan ja huuhtouman sekä avouoman virtauksen ja veden laadun. Erityistä huomiota on kiinnitetty tulosten visualisointiin.

Laskentamallit käyttävät lähtötietoina päivittäisiä sadannan, ilman lämpötilan ja kokonaissäteilyn arvoja. Malliin on sisällytetty myös lumen kertymisen ja sulamisen sekä maan routaantumisen laskenta. Vesistön osa-alueet on jaettu maankäyttöluokkiin ja eri maankäyttömuodoilta tapahtuva valunta ja huuhtoutuminen on kuvattu ns. tyyppiprofiilien avulla.

Järjestelmää sovellettiin lijojen vesistöalueella, missä päähuomio kiinnitettiin turvetuotannon vaikutusten arvioimiseen. Työ oli osa Pudasjärvelle rakennettavaksi suunnitellun turvevoimalaitoksen ympäristövaikutusten arviointia.

Järjestelmää voidaan kehittää edelleen liittämällä siihen uusia osamalleja sekä kytkemällä järjestelmään taloudellis-yhteiskunnallisten vaikutusten arviointimenetelmiä ja päätöksenteon tukijärjestelmä. Tässä esitetty järjestelmä pyritään välittömästi ottamaan käyttöön lijojen vesistön velvoitetarkkailun tukena ja käyttöä laajennetaan myös muihin vesistöihin.

Asiasanat (avainsanat)

Maankäyttö, turvetuotanto, valunta huuhtoutuminen, vesistömallit

*Muut tiedot**Sarjan nimi ja numero*

Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A 219

ISBN

951 - 53 - 0237 - 4

ISSN

0786 - 9592

Kokonaissivumäärä

85

Kieli

Suomi

*Hinta**Luottamuksellisuus*

Julkinen

*Jakaja*Painatuskeskus Oy
PL 516, 00101 Helsinki*Kustantaja*Vesi- ja ympäristöhallitus
PL 250, 00101 Helsinki

Utgivare
Vatten- och miljöstyrelsen

Utgivningsdatum
Januari 1995

Författare (uppgifter om organet: namn, ordförande, sekreterare)
Erkki Alasaarela, Tuomo Karvonen, Tero Kokkila, Jorma Koponen, Satu Kouvalainen, Hannu Lauri ja Markku Virtanen

Publikation (även den finska titeln)

Vattendragsmodellen beskrivande verkningar av jordbehandlingsformerna – verkningarna av torvproduktion inom Ljo älvs vattendrag som exempel
(Maankäytön vaikutuksia kuvaava vesistömalli – Esimerkkinä turvetuotannon vaikutukset lijoen vesistöalueella)

Typ av publikation
Forskningsrapport

Uppdragsgivare

Datum för tillsättandet av organet

Publikationens delar

Referat

I rapporten framställs vattendragsmodellen, som lämpar sig för att beskriva effekterna av olika jordbehandlingar i ganska vidsträckt område. Med en utvecklade bruksanslutning kopplas till det utarbetade systemet delmodeller, beskriver avrinning och urlakning samt kanalströmning och vattenkvalitet. Speciellt beaktad är visualisering av resultaten.

Beräkningsmodellerna har som ursprungsmaterial dagliga värden av nederbörd, lufttemperatur och totalstrålning. Modellen innehåller också beräkningen av snähopning och –smältning samt tjälning. Delområdena av vattendraget har uppdelats på jordbehandlingsklasserna. Avrinning och urlakning av olika jordbehandlingsformer har framställts med s.k. typprofiler.

Systemet tillämpades på Ljo älvs vattendrag, där huvudsakligen beaktades att kalkylera effekter av torvproduktionen. Arbetet var en del av miljökonsekvensbedömningen för torvkraftverket, som har planerats att bygga i Pudasjärvi kommun.

Systemet kan utvecklas vidare med att förena nya delmodeller samt med att koppla till den bedömningsmetoder för ekonomiska och sociala verkningar. Stödsystemet för beslutfattande strävas att ta i bruk omedelbart som hjälp av övervakningen inom Ljo älvs vattendrag och användningen skall utvidgas också till andra vattendragen.

Sakord (nyckelord)

Jordbehandling, torvproduktion, avrinning, urlakning, vattendragsmodeller

Övriga uppgifter

Seriens namn och nummer
Vatten- och miljöförvaltningens publikationer – serie A 219

ISBN
951 – 53 – 0237 – 4

ISSN
0786 – 9592

Sidantal
85

Språk
Finska

Pris

Sekretessgrad
offentlig

Distribution
Tryckericentralen Ab
PB 516, 00101 Helsingfors

Förlag
Vatten- och miljöstyrelsen
PB 250, 00101

Published by
National Board of Waters and the Environment
Oulu Water and Environment District

Date of publication

January 1995

Author(s)

Erkki Alasaarela, Tuomo Karvonen, Tero Kokkila, Satu Kouvalainen, Hannu Lauri ja Markku Virtanen

Title of publication

A watershed model supporting planning and environmental impact assessment of peat mining

Type of publication

Research report

Commissioned by

Parts of publication

Abstract

In this report a watershed model is presented that applies to the simulation of the environmental impacts of land use on a relatively large watershed area. In this system, submodels simulating runoff, leaching, open channel flow and water quality are inter-connected under an advanced user interface. Special attention has been payed to the visualization of the results.

The calculation models use daily values of precipitation, air temperature and total radiation as input data. The calculation of snow accumulation and melting as well as freezing of ground are included in the model. The watershed sub-basins were divided into land use classes, the runoff and leaching from each class being simulated by means of "type profiles".

The system was applied to the River Iijoki watercourse, the main purpose being to assess the environmental impacts of peat mining. The work was one part of the environmental impact assessment of the peat power plant of Pudasjärvi village planned in the drainage basin area.

The model now presented can be developed further by coupling new submodels. Assessment methods of economical and social impacts and support systems for decision can also be linked to the system. The system presented here will be immediately used to support obligatory water quality monitoring in the River Iijoki basin, and its utilization will be extended also to other watercourses.

Keywords

Land use, peat mining, runoff, leaching, watershed models

Other information

Series (key title and no.)

Publications of the Water and Environment
Administration - series A 219

ISBN

951 - 53 - 0237 - 4

ISSN

0786 - 9592

Pages

85

Language

Finnish

Price

Confidentiality

Distributed by

Painatuskeskus Oy
P.O. BOX 516, FIN-00101 Helsinki, Finland

Publisher

National Board of Waters and the Environment
P.O. Box 250, FIN-00101 Helsinki, Finland

ALKUSANAT

Valtioneuvoston vahvistama vesiensuojelun tavoiteohjelma vuoteen 1995 edellyttää, että eri maankäyttömuotojen aiheuttama hajakuormitus saatetaan samanvertaiseen asemaan ns. pistekuormituksen kanssa. Tämä on antanut maankäytön kuormituksen arvioinnin ja vesiensuojelutekniikan suunnittelulle uusia tavoitteita. Laajojen projektien yhteydessä tietoa on viime vuosina saatu runsaasti lisää ja sitä voidaan soveltaa käytännön vesiensuojelutyössä.

Oulun vesi- ja ympäristöpiiri käynnisti vuonna 1991 tutkimuksen, jossa kehitetään numeerisia malleja erilaisten maankäyttömuotojen vedenlaatuvaikutusten erittelyyn ja kvantifiointiin. Tarkoituksena on kehittää järjestelmä, joka käyttää malleja hyväksi ja tukee vesiensuojeluun liittyvää päätöksentekoa ja vaikutusten seurantaa. Sovelluskohteeksi valittiin Iijoki ja tässä vaiheessa päähuomio kohdistettiin turvetuotannon vaikutusten erittelyyn.

Tutkimus kuuluu kauppa- ja teollisuusministeriön SIHTI-ohjelmaan, josta projekti sai tarvittavan rahoituksen. Lisärahoitusta saatiin vesi- ja ympäristöhallitukselta ja turvetuottajilta. Hankkeen kokonaisrahoitus vuosina 1991-1993 oli n. 2 milj.mk. Järjestelmän kehittämisestä kantoivat päävastuun Suomen Ympäristövaikutusten Arviointikeskus Oy (käyttöliittymä, avouoman virtaus- ja vedenlaatumalli) ja Vodata Oy (valuma- ja huuhtoumamalli). Työtä auttoi asiantuntijaryhmä, johon kuuluivat tekijöiden lisäksi seuraavat henkilöt:

Vanhempi tutkija Tapani Sallantaus, Tampereen vesi- ja ympäristöpiiri
Ylitarkastaja Tom Frisk, Tampereen vesi- ja ympäristöpiiri
Erikoistutkija Seppo Rekolainen, vesi- ja ympäristöhallitus

Taiton on tehnyt apulaistarkastaja Leena Kakko.

Työtä valvoi KTM:n asettama ryhmä ja työn suuntaamista auttoi Oulun vesi- ja ympäristöpiiristä järjestelmän tulevista käyttäjistä koottu ryhmä sekä ulkopuolisista yhteistyötahojen edustajista koottu yhteistyöryhmä.

Lausumme työtämme rahoittaneille ja auttaneille tahoille ja asiantuntijoille lämpimät kiitokset.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	9
2	TUTKIMUKSEN TAUSTA	9
2.1	Ihmistoimintojen vaikutusten arviointimenetelmistä	9
2.2	Valunta- ja huuhtoumamallien kehityksen nykytila	10
2.3	Vesistömallien kehityksen nykytila	11
2.4	Tiedon hallinta ja käyttöliittymät	12
3	VESISTÖMALLIN YLEISKUVAUS	13
3.1	Vesistömallin rakenne	13
3.1.1	Olemassa olevat mallityypit	14
3.1.2	Tyypiprofiiliajattelu	15
3.2	Vesistöalueen osa-aluejako	16
3.4	Maankäytön tulkinta	16
4	LUMEN KERTYMISEN JA SULAMISEN LASKENTA	17
5	TURVETUOTANTOALUEIDEN VESIMÄÄRIEN JA KUORMITUSTEN ENNUSTAMINEN	18
5.1	Yleistä	18
5.1.1	Turvetuotannon hydrologiset vaikutukset	19
5.1.2	Turvetuotannon vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen	21
5.1.3	Ominaiskuormitusarvoja	21
5.2	Vesimäärien laskenta	24
5.2.1	Turvetuotantosaran vesitaseen komponentit	24
5.2.2	Pintavalunnan ennustaminen	24
5.2.3	Profiilin kautta ojiin virtaava vesimäärä	25
5.3	Turvetuotantosaran kuormitusten ennustaminen	25
5.3.1	Johdanto	25
5.3.2	Kiintoaineen ja fosforin huuhtoutuminen	25
5.3.3	Liukoisen fosfaatin ennustaminen	27
5.3.4	Liukoisen ammonium- ja nitraattipitoisuuden ennustaminen	28
5.3.5	Orgaaniset aineet ja veden väri	28
6	PELTOALUEILTA PURKAUTUVIEN VESIMÄÄRIEN JA KUORMITUSTEN ENNUSTAMINEN	29
6.1	Yleistä	29
6.1.1	Salaojituksen vaikutus valumiin	29
6.1.2	Maatalouden vaikutus veden laatuun	29
6.1.3	Peltoviljelyn aiheuttaman ravinnekuormituksen suuruus	30
6.2	Maatalousalueiden valumiinien laskenta	31
6.2.1	Yksittäisen peltokuvion vesimäärien ennustaminen	31
6.2.2	Maatalousalueilta tulevien kokonaisvesimäärien ennustaminen	32
6.3	Maatalousalueiden kuormitusten ennustaminen	32
7	SUO- JA METSÄALUEILTA TULEVIEN VESIMÄÄRIEN JA KUORMITUSTEN ENNUSTAMINEN	33
7.1	Yleistä	33
7.1.1	Metsäojituksen hydrologiset vaikutukset	33
7.1.2	Metsäojituksen vaikutus veden laatuun	34
7.1.3	Hakkuun vaikutus hydrologiaan ja veden laatuun	35
7.2	Ojittamattomien metsäalueiden virtaamien ja ravinnekuormitusten laskenta	36

7.2.1	Ojittamattoman metsäprofiilin vesitase	36
7.2.2	Metsäalueiden kokonaisvirtaaman laskeminen	36
7.2.3	Ojittamattomien metsäalueiden ravinnekuormitus	37
7.3	Ojitettujen metsäalueiden vesimäärien ja ravinnekuormituksen laskenta	37
7.3.1	Vesimäärien laskenta	37
7.3.2	Ravinnekuormitusten laskenta	37
7.4	Ojittamattomilta avosoilta tulevat vesimäärät ja ravinnekuormitukset	37
7.4.1	Yksittäisen suoalueen vesimäärien ennustaminen	37
7.4.2	Avosualueiden kokonaisvesimäärän ennustaminen	38
7.4.3	Avosualueiden kuormitusten ennustaminen	38
7.5	Valuma- ja huuhtoumamallin kehitystarpeet	38
8	AVOUOMAN VIRTAUSTEN JA VEDEN LAADUN LASKENTA	39
8.1	Vedenlaatua ja virtausta kuvaavat perusyhtälöt	39
8.2	Mallin rakenne	40
8.3	Mallin käyttökohteet	41
9	KÄYTTÖLIITTYMÄ	42
9.1	Järjestelmän yleiskuvaus	42
9.2	Käyttöliittymän osat	43
10	VESISTÖMALLIN SOVELTAMINEN IIOKEEN	47
10.1	Tutkimuksen tausta	47
10.2	Sovelluksen tarkoitus ja hyöty	47
10.3	Kohdealueen kuvaus	48
10.4	Suunnitellun Pudasjärven turvevoimalaitoksen vaikutus turvetuotannon kehittymiseen	49
10.5	Laskettavat vaihtoehdot ja oletukset	49
10.5.1	Vaihtoehdot ja laskentajaksot	49
10.5.2	Osa-aluejako ja maankäyttöluokitus	50
10.5.3	Eri maankäyttömuotojen osuudet	50
10.5.4	Taajamien, kalankasvatuksen ja karjatalouden kuormitus	50
10.6	Malli- ja mittaustulosten vertailu	51
10.6.1	Taustaa	51
10.6.2	Virtaamien kalibrointi	51
10.6.3	Kuormitus- ja vedenlaatumallien kalibrointi	52
10.7	Veden laatu eri osa-alueilla ja eri maankäyttömuotojen vaikutus veden laatuun	52
11	JÄRJESTELMÄN JATKOKEHITTÄMISTARPEET JA SOVELTAMISMAHDOLLISUUDET	74
11.1	Mallien jatkokehittämistarpeet ja uudet soveltamisalat	74
11.2	Käyttöliittymän jatkokehittämistarpeet ja uudet soveltamisalueet	70
11.3	Taloudellis-yhteiskunnalliset tarkastelut	75
11.4	Päätöksenteon tukijärjestelmät	76
11.5	Uudet tutkimusprojektit	76
	KIRJALLISUUS	78

1 JOHDANTO

Vesiensuojelun tavoiteohjelmassa vuoteen 1995 (Ympäristöministeriö 1989) on puututtu voimakkaasti maankäytön aiheuttamaan kuormitukseen. Ohjelmassa asetettiin maatalouden kuormitukselle määrällisiä tavoitteita ja edellytettiin mm. metsätalouden ja turvetuotannon osalta selvityksiä, joita tultaneen käyttämään hyväksi, kun tavoiteohjelmaa seuraavalle jaksolle laaditaan. YVA 92 -toimikunnan mietinnön (1992) mukaan ympäristövaikutusten arviointimenettelyä tulisi soveltaa maankäyttöhankkeisiin, joilla on laaja-alaisia ympäristövaikutuksia (mm. yli 200 ha:n kuivatushankkeet).

Rion kansainvälisen ympäristö- ja kehityskongressin pohjalta laaditussa toimintaohjelmassa (Ympäristöministeriö 1992) painotetaan tarvetta yhdentää vesivarojen suojeleminen ja käyttö yhteiskunnan muuhun kehittämiseen. Toimintaohjelman mukaan maankäytön ja vesien käytön suunnittelua on tarpeen yhdentää aiempaa paremmin. Päätösten toteutumisen perustaso on alueellinen taso. Vesivarojen käyttö ja suojeleminen tulee toimintaohjelman mukaan suunnitella valuma-alueittain, jolloin vesistöjen luonnontalous voidaan ottaa asianmukaisesti huomioon.

Viime vuosina on maankäytön aiheuttamasta vesistökuormituksesta ja vesistövaikutuksista saatu runsaasti uutta tietoa. MAVERO-projektin (Rekolainen ym. 1992) yhteydessä saatiin tietoa maatalouden vesiensuojelutoimia varten. Meneillään oleva METVE-projekti tuottaa tietoa metsätalouden vesiensuojelun suunnitteluun ja KTM:n energia ja ympäristö-ohjelmassa (SIHTI I ja II) selvitetään laajasti mm. turvetuotannon vesiensuojelutekniikkaa.

Ympäristövaikutusten arviointia varten on kehitetty numeerisia malleja. Useissa maissa on käytössä malleja, joilla voidaan arvioida kokonaisilla vesistöalueilla vallitsevaa tilannetta ja eritellä eri kuormittajien vaikutuksia. Joihinkin malleihin on liitetty myös mahdollisuus ympäristötaloudelliseen arviointiin (Virtanen 1989). Myös Suomessa on kehitetty malleja, joilla voidaan arvioida veden laadun muodostumista ja siihen vaikuttavia tekijöitä kokonaisilla vesistöalueilla (mm. Ähtävänjoki). Erillisten sovellutusten vaatiman suuren työpanoksen vuoksi malleja ei kuitenkaan ole vielä otettu rutiinikäyttöön. Myös tilastollisia malleja on onnistuneesti käytetty ravinte- huuhtoumien arviointiin (Kauppi 1978, Bilaltdin ym. 1991). Sovelluksista saatuja kokemuksia voidaan käyttää hyväksi tässä työssä.

Ympäristötiedon suuri määrä ja ympäristön vuorovaikutussuhteiden monimutkaisuus edellyttävät näiden hallintaa tukevien menetelmien kehittämistä. Vesiensuojelun alueellista suunnittelua ja päätöksentekoa ei voida perustaa yksinomaan tapauskohtaiseen tarkasteluun ja yksittäisiin seurantaohjelmiin. Vesistöalueita on käsiteltävä kokonaisuuksina. Vesistöalueet muodostuvat useista valuma-alueista, jotka pitävät sisällään erilaisia maankäyttömuotoja ja muuta kuormittavaa toimintaa.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on kehittää vesistömalliin pohjautuva järjestelmä, jota voidaan käyttää erilaisten maankäyttömuotojen ympäristövaikutusten arvioinnissa. Järjestelmällä voidaan havainnollisesti eritellä eri maankäyttömuodoista aiheutuvaa kuormitusta ja sen kulkeutumista ja vaikutusta vesistössä sekä erilaisten vesiensuojelutoimien merkitystä. Järjestelmä käyttää hyväksi tutkimustuloksia sekä kokoa erillistä osaamista ja valmiuksia. Se palvelee vesiensuojelutoimien suunnittelua sekä tukee seurantaa ja valvontaa. Sovelluskohteena on Iijoki ja erityinen huomio kiinnitetään alueen vesiensuojelun kannalta tärkeään maankäyttömuotoon, turvetuotantoon.

2 TUTKIMUKSEN TAUSTA

2.1 Ihmistoimintojen vaikutusten arviointimenetelmistä

Ihmistoiminnan vaikutuksia voidaan tutkia **vertailualue menetelmän** avulla. Tutkittava alue ja sen vertailualue pidetään aluksi alkuperäisessä tilassa ns. kalibrointijakson ajan.

Tänä aikana tutkittavan alueen valunta- ja vedenlaatuosuudet kytketään vertailualueen vastaaviin suureisiin tavallisesti regressioanalyysin avulla. Tarkasteltavana olevan toimenpiteen, esim. puuston hakkuun, jälkeen lasketaan regressioyhtälöiden avulla, kuinka suuri tutkittava muuttuja, esim. vuosivalunta olisi ollut, ellei toimenpidettä olisi suoritettu. Mitatun ja lasketun arvon erotus ilmoittaa toimenpiteen vaikutuksen.

Menetelmä edellyttää, ettei kummallakaan alueella tehdä muita tutkittavaan suureeseen vaikuttavia toimenpiteitä kalibrointikaudella eikä toimenpidetaudella. Tilastollisesti merkittävien erojen saaminen edellyttää myös, että kalibrointi on hyvä, ts. muuttujan vaihteluväli on riittävän suuri ja korrelaatio kiinteä. Kunnollisen kalibroinnin aikaansaaminen edellyttää yleensä verrattain pitkän ajan – 10 vuoden luokkaa. Toinen menetelmän varjopuoli on, että kerrallaan voidaan yleensä tutkia vain yhden toimenpiteen vaikutuksia (Seuna 1986).

Toinen, varsin paljon käytetty menetelmä on jo alunperin erilaisten alueiden vertailu. Tällöin lähdetään oletuksesta, että alueiden erilaisuus koskee vain tutkittavaa toimenpidettä, esim. metsänhakkuuta. Hydrologisessa tai vedenlaatuosuudessa alueiden välillä olevan eron tulkitaan esittävän ko. toimenpiteen vaikutusta. Menetelmän selvä heikkous on se, ettei varmuudella tiedetä, miten hyvin alueet todellisuudessa vastaavat toisiaan. Siten mitattuun valunta- tai vedenlaatuparametrin eroon saattaa olla muitakin syitä kuin tutkittava toimenpide (Seuna 1986).

Simulointimalleja käytettäessä tullaan yleensä toimeen lyhyemmällä kalibrointijaksolla. Jos malli on riittävän fysikaalinen kuvaus systeemistä, on periaatteessa mahdollista arvioida usean eri tekijän samanaikaisen vaikutus vesimääriin tai veden laatuun. Simulointimallien etu myös se, että on mahdollista tehdä erityyppisiä ennusteita olettaen esimerkiksi, että turvetuotanto laajenee oletettua nopeammin. Vertailualueen menetelmän aiemmin mainituista haittatekijöistä johtuen tässä tutkimuksessa on mahdollista käyttää ainoastaan simulointimalleihin perustuvia ympäristövaikutusten arviointimenetelmiä.

2.2 Valunta- ja huuhtoumamallien kehityksen nykytila

Hydrologiset mallit simuloivat veden kulkeutumista kahdessa tai kolmessa dimensiossa. Vertikaalisuunnassa tapahtuu veden vaihtoa maanpinnan ja ilmakehän välillä: sadanta, haihdunta ja infiltraatio eli veden imeytyminen maaperään. Horisontaalisuunnassa tapahtuu veden virtausta sekä maan pinnalla, että pohjavesivyöhykkeessä. Periaatteessa hyvin samantyyppiset mallintamisperiaatteet soveltuvat erisuuruksille alueille (esim. 100 m^2 – $100\,000 \text{ km}^2$) tai eri aikaskaaloille (aika-asteleena minuutti – kuukausi). Mallin rakenne ja käytettävä aikaskaala valitaan käsiteltävänä olevan ongelman luonteesta ja laajuudesta riippuen. Ongelmakenttä on hyvin laaja, eikä yleispäteviä ratkaisuja voi antaa.

Viimeisten 30 vuoden aikana on julkaistu lukematon määrä erityyppisiä hydrologisia malleja, jotka laskevat valunnan määrän selvästi rajatulla alueella: pienellä valuma-alueella, homogeenisessa kaltevassa profiilissa (hillslope) tai pohjavesiesiintymässä. Keskeisiä mallien kehitykseen liittyviä vaiheita ja merkkipaaluja ovat esittäneet mm. Anderson ja Burt (1985), Kirkby (1985, 1993), Beven (1985, 1993), Wood & O'Connell (1985), Bathurst (1986), Beven ym. (1987), Becker (1992), Kutchment (1992) ja Schultz (1993a).

Grenoblessa vuonna 1994 pidetyssä kansainvälisessä geofysiikan symposiumissa keskeinen painopistealue oli eri skaalaan kehitettyjen mallien linkittäminen hierarkiseksi systeemiksi. Etsitään siis vastausta miten pienelle alueelle, esimerkiksi yksittäiselle turvetuotantosuolle, tehtyä mallia voidaan käyttää koko vesistöalueen vaikutusten arvioinnissa? Keskeinen ongelmakenttä valuntamallien osalta ei nykyään olekaan se, etteikö prosesseja osattaisi mallittaa luotettavasti silloin, kun kyseessä on pieni ja

rajattu valuma-alue ja käytettävissä on kaikki tarpeellinen lähtötieto. Vaikeutena on linkittää mikrotason (esim. yksittäinen turvetuotantosuo, metsikkö, rajattu peltoalue) mallit toisiinsa niin, että isot vesistöalueet voidaan käsitellä riittävän tarkasti, mutta niin ettei laskenta-aika tai lähtötietojen tarve kasva liian suureksi.

Kokonaisten valuma-alueiden huuhtouman ennustaminen on tähän saakka perustunut pääasiassa tilastollisten riippuvuuksien hyödyntämiseen (esim. Bilaletdin ym. 1991) johtuen siitä, että hydrologisia prosesseja ei ole pystytty mallintamaan isoilla vesistö-alueilla fysikaalisesti perustellulla tavalla. Veden laadun tarkka mallintaminen edellyttää, että veden kulkureitti sadannasta valunnaksi lasketaan riittävän tarkasti.

Viime aikoihin saakka ei ole ollut mahdollista laskea kuinka suuri osuus valuma-alueen ravinnekuormasta on peräisin eri maankäyttötyypeistä. Kaukokartoituksen, maastomallien ja karttatietojärjestelmien hyödyntäminen tarjoaa aivan uuden näkökulman alueellisesti hajautettujen mallien laatimiselle (mm. Schultz 1993a ja 1993b, Moore ym. 1991, Band 1993, Jolma 1993, Nisell ym. 1994).

Kirkby (1993) toteaa, että teoreettisesti on mahdollista tarkastella kokonaista valuma-aluetta jakamalla se itsenäisiin osa-alueisiin ja laskemalla veden ja ravinteiden liike fysikaalisesti perustelluilla kaavoilla. Käytännössä tässä on onnistuttu vain pienillä valuma-alueilla. Schultz (1993a) esittääkin, että isoilla valuma-alueilla, joiden pinta-ala on luokkaa 100 - 10 000 km², olisi edullisempaa pyrkiä täysin hajautettujen (distributed) systeemien sijasta malleihin, joissa valuma-alue jaetaan "hydrologisesti samalla tavalla käyttäytyviin yksikköihin" eli tyyppiprofiileihin (semi-distributed system).

2.3 Vesistömallien kehityksen nykytila

Yhteenvedon vesistömalleista ovat julkaisseet Sarkkula (1989, 1991), Virtanen (1989) ja Koponen ym. (1992). Luotettavuudeltaan varmistettuja matemaattisia malleja on valmiina valuma-alueiden useimmille osille, erityisesti pintavesien virtauksille ja veden laadulle

- jokiuomissa ja -verkostoissa,
- järvissä ja tekojärvissä,
- suisto- ja rannikkoalueilla sekä
- laajemmilla merialueilla.

Näitä täydentävät maa- ja pohjavesien valunta- ja huuhtoumamallit sekä melko äskeisinä kehityssaavutuksina alueelliset ja paikalliset tiheän erotustarkkuuden (ns. mesoskaalan) tuulimallit ja leviämislaskelmat.

Eri osa-alueiden laskelmia käytetään valtaosin irrallisina, toisistaan erillään. Niiden keskinäinen yhdistely on ollut melko harvinaista ja silloinkin rajoittunut lähinnä kahden viereisen osa-alueen tarkasteluihin. Esimerkkejä näistä ovat ilmakulkeutumisen vaikutukset maa-alueille, valumalaskelmien yhdistely jokiin, tekojärvien vaikutus jokiin ja jokilaskelmien käyttö rannikkomallien syöttötietoina. Nämä osoittavat laajemmatkin yhdistelyt teknisesti mahdollisiksi.

Yhdistelyn pääasteinä ovat tähän asti ilmeisesti olleet käytännön vaikeudet eri osa-alueiden asiantuntemuksen yhdistämiseksi yhteiseen tavoitteeseen. Myös kunkin mallin yksityiskohtaiset rakenteet rajoittavat yhdistelyä. Kunkin malli hyödyntää yleensä tietokoneen mahdollisuuksia ääriään myöten, jolloin tilaa ja aikaa toiselle tai varsinkaan useammalle yhtä vaativalle rinnakkaistyölle ei löydy helposti.

Mielenkiintoa yhdistelyyn on osaltaan voinut laimentaa myös se, että useimmissa osamalleissa sinänsäkin on vielä paljon kehitettävää. Erittäin käyttökelpoisia tuloksia on silti saatavissa jo nykyisten mallien yhdistelystä. Samalla keskeisimmät kehitys-

tarpeet entisestään täsmentyvät. Vähiten jatkokehitystä tarvitsevat pintavesien virtausmallit.

Lisää varmistusta tarvitaan ja koko ajan kertyy tukemaan ja hiomaan ainetaseiden laskentaa erityisesti maan alla ja pohjavesissä. Pintavesien veden laadun laskennan kehitys on pääsemässä käsiksi orgaanisen aineen, ravinteiden ja ympäristömyrkköjen kierron syvempään ymmärtämiseen monitahoisissa ravintoverkoissa. Ravinnetasoja, niiden vaikutuksia, myrkkypitoisuuksia ja näiden rikastumista on onnistuneesti saatu lasketuiksi jo muutamissa sovelluksissa.

2.4 Tiedon hallinta ja käyttöliittymät

Mallien kehitystä ovat vahvasti tukeneet ja tehneet mahdolliseksi kenttämittaukset, jotka useimmiten perustuvat vesinäytteisiin ja niiden myöhempään analysointiin, harvemmin automaattiseen seurantaan (Virtanen ym. 1986). Näytteiden keruu on vakiintunut Euroopan useimmissa osissa varsin runsaaksi. Kenttämittausten puute tuskin on ratkasevin rajoitus mallisovelluksille – joskin kehitettävää kenttämittauksissa on paljonkin, yhtä hyvin kuin malleissakin. Malli- ja mittaustuloksia ovat täydentävät kaukokartoituksen ja säädeltyjen laboratoriokokeiden (biologisten malliekosysteemien) tulokset.

Esimerkit tulosten talletuksesta tietorekistereihin ovat lukuisia, vaan eivät aina rohkaisevia. Eri erotustarkkuuden tarve eri sovelluksiin ei anna tukea kaiken paikka-tiedon ja tulosten yhdenmukaiseen talletukseen. Rantaviivat fraktaalien perikuvina havainnollistavat tätä selvästi. Valuma-alue vaikuttaa kokonaisuudelta, jolta hedelmällisimminkin voidaan tallettaa yhdistellen hyödynnettäviksi hyvin erityyppisiä tietoja: kenttämittaustuloksia, lasketatuloksia, maaston muotoja, maan käyttöä, päästöjä, tuotannon tunnuslukuja, tilastollisia yhdistelmiä, talous-, väestö-, terveys- ja hyvinvointitietoja, mielipiteitä ja arvostuksia jne.)

Viime vuosina korostunutta huomiota on suunnattu rekistereiden ja matemaattisten mallien käytön helpottamiseen. Tähän on päästy käyttöliittymillä, joiden laatimista ohjelmointivälineiden kehitys on kaiken aikaa helpottanut ja tukenut. Käyttöliittymillä voidaan hallita monimutkaisia matemaattisia malleja ja laajoja tietorekistereitä melko harvoilla valinnoilla, joita graafisesti kuvaruudulla näkyvinä on hyvinkin helppo ymmärtää ja käyttää.

Uusimpiin käyttöliittymiin sisältyy lukuisia päättelysääntöjä, hyväksimisrajoja, tilanteiden tunnistuksia, epätarkkuuden sietoa, päättelyketjuja, jäsentelyä ja tarkistuksia. Nämä helpottavat ja varmistavat järjestelmän käyttöä ja pohjustavat yhdistelmien laajenemista syvällisiksi asiantuntijajärjestelmiksi. Valmiit käyttöliittymät ovat tois-taiseksi lähinnä muutamien mallien ja mahdollisuuksien alustavia esimuotoja (prototyyppejä), mutta niiden kehitys yhä laajemmin eri aiheita sisältäviksi kokonaisuuksiksi näyttää mahdolliselta melko kohtuullisillakin henkilökohtaisen tietokoneen kokoon-panoilla.

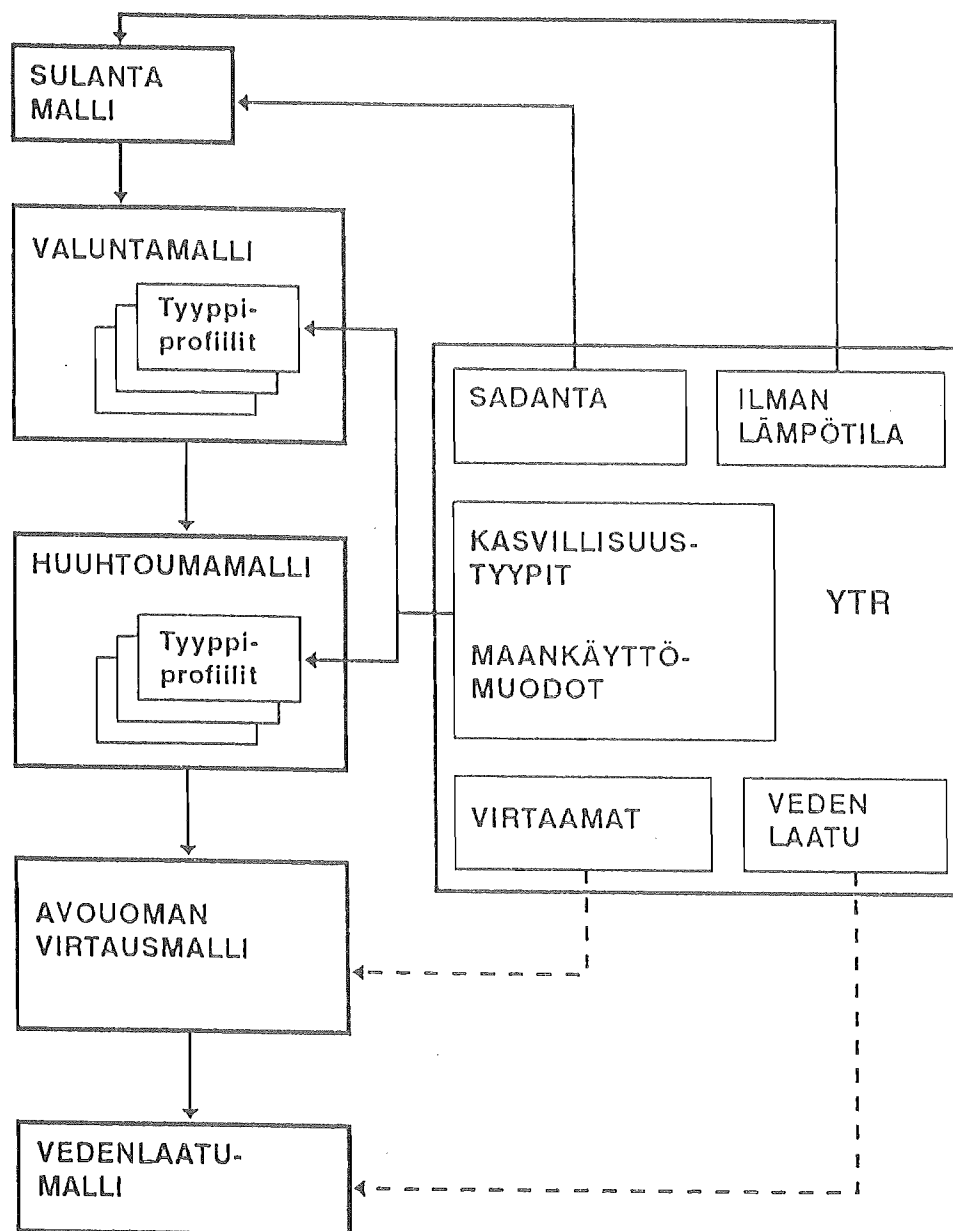
Mallien tapaan myös käyttöliittymien tulokset ovat havainnollisia ja monipuolisia. Niistä voidaan valita esiin karttapohjia, pitoisuusjakaumia, animaatioita, virtauskenttiä, kulkeutumisseurantaa, käyriä, leikkauksia, heijastuksia ja näkövaikutelmia sekä keskinäisiä vertailuja. Tulokset, niiden syyt, syntytausta ja merkitys käyvät näiden kautta ilmeisiksi ja helpoiksi ymmärtää. Kuvatuloksia voidaan suoraan tallentaa videonauhalle ja täydentää puhutuin selityksin, luontoäänin, kaavioin, piirroksin, elävin kuvin ja musiikilla.

3 VESISTÖMALLIN YLEISKUVAUS

3.1 Vesistömallin rakenne

Vesistöön vaikuttaa useita erillisiä valuma-alueita, ja kunkin valuma-alueen sisällä on useita maankäyttötyyppejä. Vesistössä puolestaan aine kulkeutuu virtausten mukana, erilliset valumat ja huuhtoumat summautuvat ja aineen pitoisuudet muuttuvat mm. sedimentaation ja biologisen hajoamisen johdosta. Valumat, kuormitukset ja virtaamat riippuvat mm. sadannasta ja vuodenajasta ja ne muuttuvat ajan suhteen. Tällaisen monimutkaisen kokonaisuuden hallinta tapahtuu luontevimmin matemaattisilla malleilla, joissa syy-seuraussuhteet on perustellusti otettu huomioon.

Kuvassa 1 on esitetty kaavion avulla vesistömallin osat ja tärkeimmät malleihin vaikuttavat tekijät. Vesistömalli käyttää hyväksi ympäristötietorekisterissä olevaa tietoa. Valuma-alue on jaettu luonnonmaantieteellisiin ja maankäyttöllisiin perusteisiin tyypiprofiileihin, jotka muodostavat valuma-alueen pienimmän kuvioinnin. Seuraava taso on vesistön osa-alueet, joita on kuvattu seuraavassa kappaleessa.



Kuva 1. Vesistömallin rakenne, osamallien suhteet ja tärkeimmät malleihin vaikuttavat tekijät.

Vesistömalli kuvaa veden ympärivuotisen kierron valuma-alueella: Sateen, lumen kerääntymisen, roudan muodostumisen, sulamisen, veden valumisen maan pinnalla ja maan sisällä, ainevirtojen muodostumisen erilaisilla tyyppiprofiileilla, vesistön osa-alueilta tulevien vesien ja ainevirtojen määrän, näiden kulkeutumisen, summautumisen ja pidättymisen avouomissa ja veden laadun muodostumisen ja vaihtelut koko vesistö-alueella eri vuodenaikoina. Mallien laskemia virtaamia ja veden laatua voidaan verrata mittauksilla saatuihin tuloksiin.

Vesistömalli muodostuu useista toisiinsa kytketyistä osamalleista. Nämä on yhdistetty kehittyneen käyttöliittymän alle. Käyttäjä voi hallita mallikokonaisuuden ja tulosten tarkastelun ilman erikoistumista niiden käyttöön.

3.1 Valunta- ja huuhtoumamallin rakenteen valinta

3.1.1 Olemassa olevat mallityypit

Anderson ja Burt (1985) korostavat, että valittavan valuntamallin rakenne riippuu mallin käyttötarkoituksesta. Useimpien valuntamallien tavoitteena on joko laskea ennuste vesistöalueen hydrologisesta käyttäytymisestä välittömässä lähitulevaisuudessa (ns. reaaliaikainen ennustaminen) tai arvioida jonkin toimenpiteen pitkäaikaisvaikutukset valumien käyttäytymiseen.

Hydrologiset mallit voidaan luokitella rakenteeltaan kolmeen pääryhmään:

- 1) Tilastolliset mallit
- 2) Konseptuaaliset mallit
- 3) Deterministiset eli fysikaalisesti perustellut mallit

Tilastollisista malleista voitaisiin käyttää myös nimitystä black-box-mallit, sillä ne eivät pidä sisällään mitään systeemin käyttäytymistä kuvaavia lakeja tai kaavoja. Tämäntyyppisiä malleja ovat mm. yksikkövaluntakäyrä, regressiomallit, aikasarjamallit ja siirtofunktioimallit (esim. Wood ja O'Connel, 1985). Tämäntyyppisillä malleilla voidaan saavuttaa erittäin hyvä mitattujen ja laskettujen virtaamien vastaavuus, mutta niiden ongelmana on se, ettei tietylle havaintojaksolle ja vesistöalueelle kehitettyä mallia voida yleistää muihin olosuhteisiin. Black-box-mallit soveltuvat parhaiten reaaliaikaiseen tulvien ennustamiseen.

Konseptuaalisissa malleissa valuma-alueella oletetaan olevan erityyppisiä vesivarastoja (maavesivarasto, välivesivarasto, pohjavesivarasto, uomaverkoston vesivarasto jne.) ja veden liike varastosta toiseen lasketaan empiiristen tai puoliempiiristen kaavojan avulla. Konseptuaalisissa malleissa tarkasteltava vesistö tai sen osa-alue kuvataan horisontaalisuunnassa homogeenisena systeeminä, jolloin alueellista vaihtelua ei pystytä huomioimaan. Vesistöalueen maankäytön jakaantumista ei voida ottaa huomioon, vaan konseptuaaliset mallit laskevat tarkasteltavan osa-alueen kokonaisvirtaaman. Stanfordin malli (Crawford ja Linsley, 1966), SSARR (1975), HBV-malli (Bergström ja Forsman 1973) ovat esimerkkejä varhaisimmista konseptuaalisista malleista. Suomessa on käytetty pääasiassa HBV-mallia (esim. Vehviläinen 1986 ja 1992) ja jonkin verran myös SSARR-mallia (Karvonen 1980) ja SATT-mallia (Vakkilainen ja Karvonen 1982).

Deterministiset mallit perustuvat tunnettuihin fysikaalisiin lainalaisuuksiin siitä, miten vesi luonnossa liikkuu. Fysikaalisesti perustettujen mallien taustalla ovat osittaisdifferentiaaliyhtälöt, jotka joudutaan ratkaisemaan numeerisesti esim. elementti- tai differenssimenetelmällä. Deterministiset mallit johtavat väistämättä hajautettuihin systeemeihin, eli vesistöalue jaetaan sekä pysty- että vaakasuunnassa elementteihin tai solmuihin.

Determinististen mallien kehitys on ollut erittäin hidasta (Beven 1985). Yksittäisten prosessien malleja on esitetty erittäin runsaasti, erityisesti pohjavesien virtauksista

(esim. Freeze ja Cherry 1979), veden liikkeestä maaperän kyllästymättömässä vyöhykkeessä (mm. Feddes ym. 1978; SOIL-malli, Jansson ja Halldin 1980; Karvonen, 1988) ja avo-uomavirtauksesta (esim. Fread 1985). Sen sijaan hyvin vähän on esitetty malleja, joissa osaprosessit olisi linkitetty yhteen ja mallia olisi sovellettu kokonaisen vesistöalueen virtaamien simulointiin. Joitakin olemassa olevia malleja on testattu, mutta vain pienille valuma-alueille: SHE-malli (Beven & al. 1980; Bathurst 1986), SWAM-malli (DeCoursey 1982) ja IHDM (Morris 1980; Beven ym. 1987). Determinististen mallien sovellettavuutta heikentävät suuri laskentakapasiteetin ja lähtötietojen tarve silloin, kun halutaan käsitellä kokonaisia vesistöalueita.

Vaikka determinististen mallien käyttöön liittyy monia ongelmia, on niiden kehittäminen perusteltua mm. seuraavista syistä (Beven ja O'Connell 1982): 1) ennustettaessa maankäytön muutoksen vaikutuksia tai eroteltaessa eri maankäyttömuotojen osuuksia kokonaisvalumasta, 2) ennustettaessa alueellisesti vaihtuvien lähtötietojen vaikutus, 3) ravinteiden kulkeutumisen laskennassa ja 4) ennustettaessa virtaamia vesistöalueelle, jolta ei ole olemassa havaintoja.

3.1.2 Tyypiprofiiliajattelu

Erittäin kuvaavan esimerkin perinteisen hydrologisen mallintamisen puutteista on matkakertomuksessaan antanut Jolma (1994): "...eräs SCS:ää (Soil Conservation Service) edustanut henkilö kysyi David Maidmentilta, tunnetulta hydrologilta, että olisiko hydrologeille mitään hyötyä maalajitietokannoista, joissa olisi ilmoitettu kultakin alueelta kuinka paljon eri maalajeja se suhteellisesti sisältää, niin Maidment vastasi, että ei ole, hydrologit ottavat joka tapauksessa painotetun keskiarvon niistä". Tästä ajattelutavasta on pyritty tämän tutkimuksen malleissa eroon ottamalla käyttöön ns. tyypiprofiiliajattelu, jota selvitetään seuraavassa.

Edellisessä kappaleessa todettiin, että vain deterministisillä malleilla voidaan erotella eri maankäyttömuotojen osuus kokonaisvalunnasta. Toisaalta todettiin, että tähän mennessä laaditut deterministiset mallit eivät tule kyseeseen suurten vesistöalueiden laskennassa. Jo aiemmin mainittu IHDM-malli (Morris 1980; Beven ym. 1987) muistuttaa rakenteeltaan jonkin verran tässä työssä kehitettyä tapaa laskea valuma-alueen kokonaisvirtaamat. Vastaavanlaista lähestymistapaa ovat suositelleet myös mm. Becker (1992) ja Schultz (1993a). Periaatteena on jakaa alue ns. "hydrologisesti samalla tapaa käyttäytyviin" yksikköihin, joita tässä työssä kutsutaan tyypiprofiileiksi. Tyypiprofiileihin jako perustuu useaan hierarkiatasoon: korkeimmalla tasolla maankäytön suhteen ja alemmilla tasoilla esim. maalajin, kaltevuuden, peitteisyyden, viljakasvin, ojitustiheyden jne suhteen. Tässä työssä käytettyjä luokittelumenetelmiä on kuvattu tarkemmin kappaleessa 3.3.

IHDM-mallissa valuma-alueen kokonaisvirtaama saadaan summaamalla useiden kaltevien profiilien vesimäärät. Kukin kalteva profiili lasketaan itsenäisesti muista riippumatta 2-D mallilla, jossa tarkastellaan veden liikettä sekä vaak- että pystytasossa. Kolmas dimensio on eliminoitu olettamalla kalteva profiili homogeeniseksi toisen vaakakoordinaatin suhteen.

Tässä työssä kehitetyssä menetelmässä tyypiprofiiliajattelu on viety vielä pidemmälle kuin IHDM-mallissa. Metsäalueiden kalteva profiili (luku 7) on rakenteeltaan täsmälleen samanlainen kuin IHDM-mallissa, mutta matemaattinen tarkastelutapa on yksinkertaisempi. Muille maankäyttömuodoille on valittu omat tyypiprofiiliratkaisut: turvetuotantoalueille ja peltoalueille samantyyppinen avo- tai salaojitetun profiilin vesitaseen laskentaan perustuva menetelmä (luku 5), sekä avosoille oma tyypiprofiili.

Tyypiprofiiliajattelun vahvuus on siinä, että kukin profiili lasketaan itsenäisesti muista riippumatta, jolloin profiilin matemaattinen käsittely voidaan helposti vaihtaa esimerkiksi monimutkaisempaan ilman, että mallin muu rakenne muuttuu. Tyypiprofiilien määrää voidaan helposti kasvattaa, jos käytettävissä olevat lähtötiedot sen sallivat.

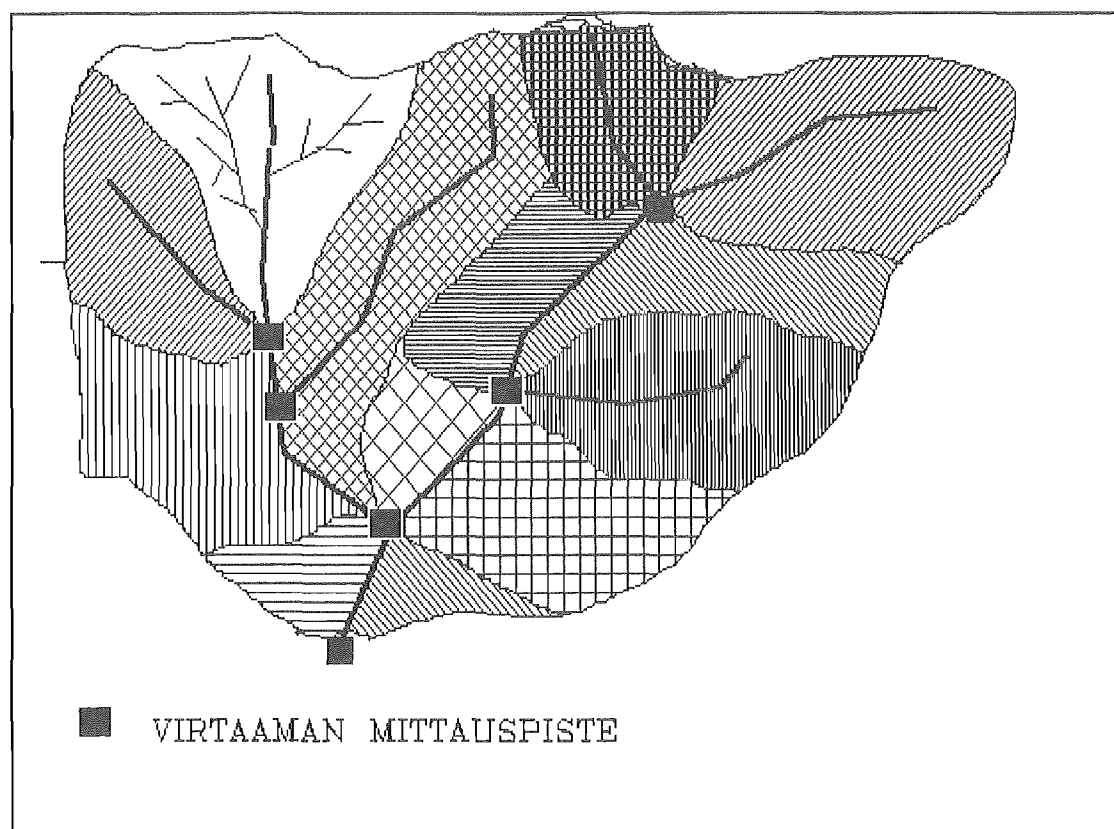
Turvetuotantosuon ojitus-, kuivumis-, tuotanto- ja jälkikäyttövaiheiden laskennallinen tarkastelu on helpointa toteuttaa juuri siten, että jokaiselle vaiheelle laaditaan oma tyyppiprofiili. Vastaava tarkastelutapa soveltuu myös metsäalueilla esimerkiksi avohakkuun, metsäojituksen tai aurauksen vaikutusten arviointiin.

Turvetuotantosoiden ja maatalousalueiden tyyppiprofiilit ovat helpoimmin testattavissa ja näiden alueiden laskennan keskeinen vaikeus on riittävän tarkan lähtötiedon hankkiminen. Metsäalueiden ja avo-soiden tyyppiprofiilien matemaattista kuvausta on vielä tarkennettava ja malleja on testattava erityyppisillä kohdealueilla. Eri tyyppiprofiilien matemaattinen tarkastelu ja malleissa olevat epävarmuudet on esitelty tarkemmin luvussa 7.

3.2 Vesistöalueen osa-aluejako

Tarkasteltava vesistöalue jaetaan itsenäisiin osa-alueisiin esimerkiksi kuvan 2 osoittamalla tavalla. Osa-aluejaon määräävät toisaalta käytettävissä olevien virtaamahavaintopaikkojen lukumäärä ja toisaalta tarkastelun kannalta kiinnostavien osa-alueiden sijainti ja koko.

Osa-alueet lasketaan itsenäisesti ja niiltä purkautuvat vesimäärät kuljetetaan joen virtausmallilla alajuoksulle päin.



Kuva 2. Esimerkki vesistöalueen jakamisesta osa-alueisiin.

3.3 Maankäytön tulkinta

Vuonna 1988 aloitettiin laaja yhteistyöprojekti maankäyttö- ja puustoluokkien tulkittamiseksi satelliittikuvilta. Projektissa tulkittiin maankäyttö- ja puustoluokat Landsat TM satelliittikuvilta koko Suomen alueelta yhteistyössä useiden viranomaisten kesken (Maanmittaushallitus, Vesi- ja ympäristöhallitus, Ympäristöministeriö,

Tilastokeskus, PTL-TELE ja Metsäntutkimuslaitos). Metsäluokkiin sisältyy myös arvio puuston määrästä $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ tarkkuudella. Ympäristötietokeskuksessa maankäyttö- ja puustotiedot on yhdistetty vesistöaluetietoihin, jolloin saadaan halutut maankäyttö- ja puustojakaumat vesistöalueilla tai niiden osa-alueilla. Tästä aineistosta on tehty INGRES-rekisteri, joka on osa ympäristötietojärjestelmää.

Vesistön osa-alueiden maankäyttö- ja puustotulkinnassa käytetään INGRES-rekisteristä poimittuja tietoja. Esimerkki Iijoen vesistöalueen osa-alueen 61.28 maankäyttömuotojen jakautumisesta on esitetty taulukossa 1. Taulukon 1 mukaista luokitusta ei käytetä sellaisenaan, vaan eri luokkia yhdistelemällä on valittu järjestelmän pohjaksi seuraavat maankäyttöluokat:

- 1° Turvetuotantosuo
– suoraan rekisteristä
- 2° Ojittamattomat suot
– arvioitava osuus avosoiden, korpien ja rämeiden kokonaispinta-alasta
- 3° Ojitetut metsäalueet
– loput avosoiden, korpien ja rämeiden kokonaispinta-alasta
- 4° Ojittamattomat metsäalueet
– avohakkuiden, mänty-, kuusi-, lehti- ja sekametsien sekä taimikoiden yhteen laskettu pinta-ala
- 5° Salaojitetut pellot
- 6° Avo-ojitetut pellot
- 7° Muut alueet (vesistöt, taajamat ym.)

Taulukko 1. Esimerkki ympäristötietokeskuksen INGRES-tietokannasta poimitusta tulostuksesta (Iijoki, osa-alue 61.28).

Päävesistöaluenumero	61.28		
	km ²	%	Σ
Vesialueet	0.81	1.05	1.05
Pellot	0.34	0.44	1.48
Avohakkuut	0.72	0.93	2.42
Muu avomaa	0.03	0.04	2.46
Avosuot	1.50	1.94	4.40
Turvetuotantosuo	0.00	0.00	4.40
Korvet	7.37	9.53	13.93
Rämeet	4.99	6.46	20.39
Mäntymetsät	11.49	14.87	35.26
Kuusimetsät	9.59	12.41	47.67
Lehtimetsät	2.27	2.93	50.61
Sekametsät	34.14	44.17	94.78
Taimikot	3.77	4.88	99.66
Muut	0.27	0.34	100.00
Yhteensä	77.28		

4 LUMEN KERTYMISEN JA SULAMISEN LASKENTA

Lumisateen osuus vuosisadannasta on Lounais-Suomessa alle 30 % ja Pohjois-Suomessa lähes 50 %. Tammi-helmikuussa lumisateen osuus on esim. Pohjois-Suomessa n. 98 %. Kevätajan valunta aiheutuu lumen sulamisesta ja sulamiskauden sadannasta. Se on maan eteläosissa keskimäärin 100–120 mm ja Pohjois-Suomessa 140–180 mm. Kevätvalunnan osuus vuosivalunnasta on siten Etelä-Suomessa 40–50

% ja Pohjois-Suomessa 50–60 %. Sulantakauden kuormitus edustaa suurta osaa koko vuoden kuormituksesta, joten ympäristövaikutusten arviointiin tarkoitettun järjestelmän osana tarvitaan lumen kertymistä ja sulantaa kuvaavat osamallit.

Fysikaalisesti perusteltu lumen sulanta- ja kertymismalli perustuisi energiataseen laskentaan (esim. Andersson, 1968; Price, 1977). Syöttötietoina tarvittaisiin tällöin säteilyn lisäksi tuulen nopeus ja ilman suhteellinen kosteus. Näiden muuttujien alueellisia arvoja ei ole mahdollista saada, joten lumen kertymis- ja sulantamallin on vesistöaluesovellutuksissa perustuttava ilman lämpötilojen käyttöön.

Sulantamallissa sadannan olomuoto ratkaistaan ilman keskilämpötilan perusteella siten, että annettava rajalämpötilan T_{ALA} alapuolella sadanta tulkitaan kokonaan lumeksi, rajalämpötilan T_{YLA} yläpuolella kokonaan vedeksi ja välisellä alueella lineaarisesti interpoloiden osittain lumeksi ja osittain vedeksi. T_{ALA} on n. -1 °C ja T_{YLA} N. 2..3 °C. Mitatun sadannan komponentit korjataan kertoimilla, jotka vesisateelle ovat n. 1.05..1.1 ja lumisateelle n. 1.3..1.35.

Sulanta lasketaan yleensä astepäivätekijään perustuvilla malleilla, joiden yhtälö on muotoa:

$$M = K_M(T - T_R) \quad (1)$$

missä M on sulanta (mm d^{-1}), K_M on astepäivätekijä ($\text{mm } ^\circ\text{C}^{-1} \text{d}^{-1}$), T on ilman keskilämpötila ($^\circ\text{C}$) ja T_R on kynnyslämpötila ($^\circ\text{C}$). Kuusiston (1984, 1986) mukaan sulantaparametri K_M on aukeilla keskimäärin $2.5 \text{ mm } ^\circ\text{C}^{-1} \text{d}^{-1}$, metsässä se on n. $2.8 \text{ mm } ^\circ\text{C}^{-1} \text{d}^{-1}$, jos latvusten peittävyys on 20 %. Tästä se alenee lineaarisesti siten, että 80 % peittävyydellä saavutetaan arvo $1.2 \text{ mm } ^\circ\text{C}^{-1} \text{d}^{-1}$. Astepäivätekijä vaihtelee myös säätyypistä riippuen siten, että aurinkoisina, mutta viileinä päivinä se on keskimääräistä suurempi. Kokonaisille valuma-alueille sovellettaessa astepäivätekijä saa yleensä arvoja välillä $2.0..3.0 \text{ mm } ^\circ\text{C}^{-1} \text{d}^{-1}$. Kynnyslämpötila on yleensä lähellä nollaa. Kynnyslämpötilaan vaikuttaa kuitenkin esim. lämpötilan mittausaseman sijainti. Esimerkiksi runsaasti avosoita ja peltoja sisältävällä valuma-alueella T_R on noin -1.0 °C.

Sulanta tai vetenä tullut sadanta kasvattaa lumen tiheyttä ja varastoituu lumeen kunnes lumi on riittävän "märkää". Tämän raja-arvon ylittävä vesimäärä pystyy läpäisemään lumipeitteen. Lumipeitteeseen varastoituva vesimäärä on lumen vesiarvon funktio ja siten koko ajan muuttuva tekijä. Mallissa annetaan lumen vesivaraston maksimikoko parametrin R_C avulla. Oletetaan, että lumen vesiarvo on L mm. Tällöin mallissa lumen vesivaraston maksimikoko on $R_C \cdot L$. Pidäntäkapasiteetin R_C arvo on yleensä n. $0.05..0.15$ (Kuusisto 1984). Nestemäisen veden malliin sisältyy myös veden uudelleenjäätymisen. Se määritetään tässä tapauksessa vuorokauden keskilämpötilan perusteella siten, että rajalämpötilan T_R alapuolella uudelleenjäätymisen M_F lasketaan kaavasta:

$$M_F = K_F(T - T_R) \quad (2)$$

5 TURVETUOTANTOALUEIDEN VESIMÄÄRIEN JA KUORMITUSTEN ENNUSTAMINEN

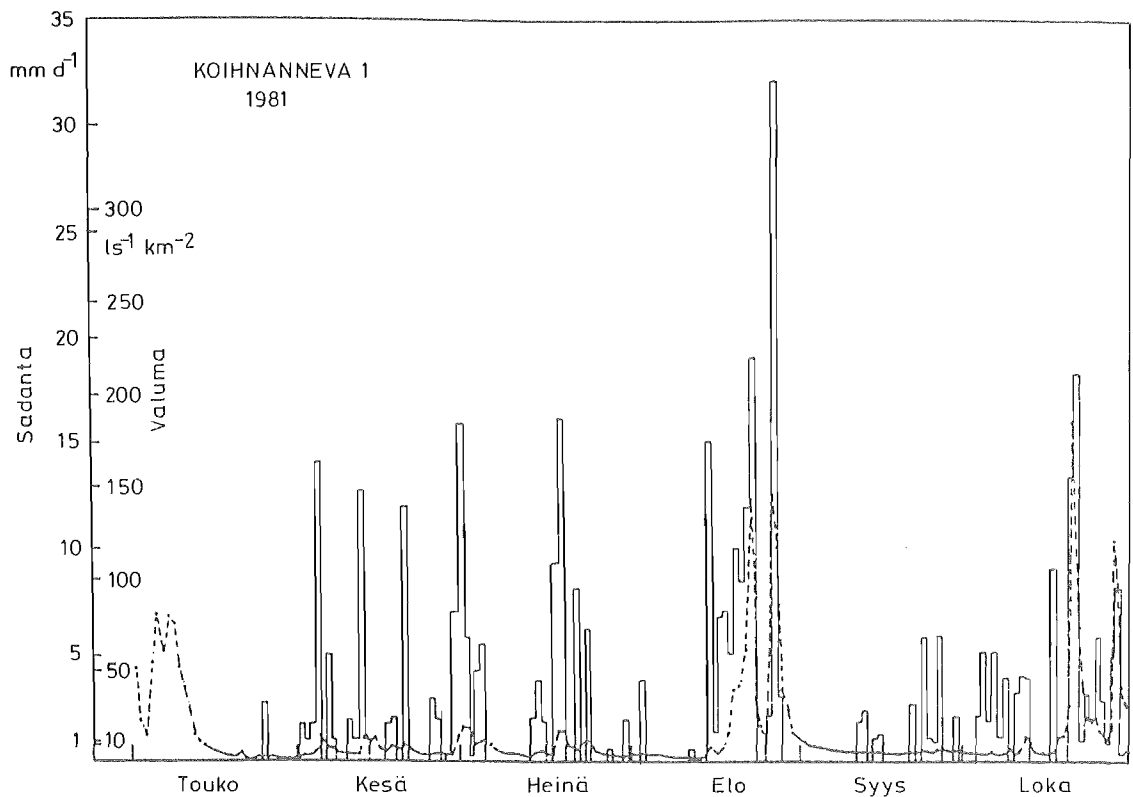
5.1 Yleistä

Suon ojittaminen turvetuotantoa varten muuttaa sekä hydrologisia olosuhteita, että lisää ravinnekuormitusta. Turvetuotantosuoilta purkautuvat vedet sisältävät runsaasti kiintoainetta, liuennutta orgaanista ainetta, typpeä, fosforia ja rautaa (Sallantaus, 1983 ja 1986; Selin ja Koskinen, 1985; Marja-Aho ja Koskinen, 1989). Kuormitukselle

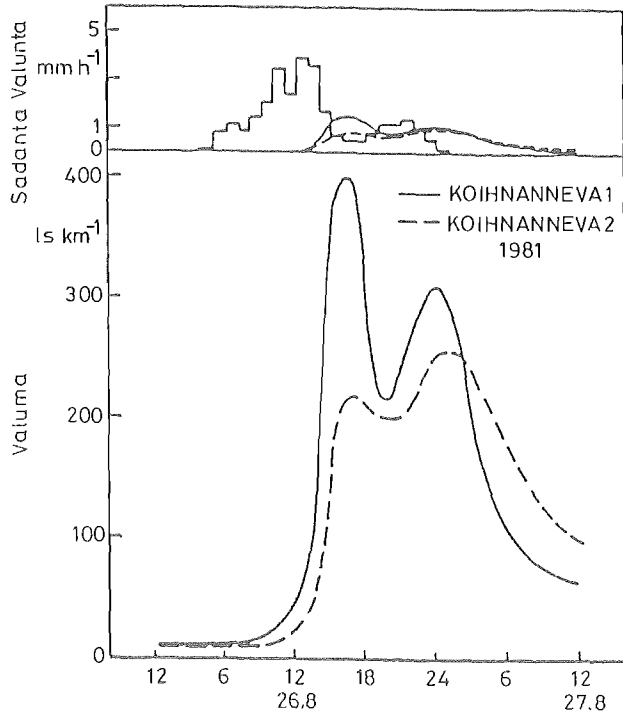
on tyypillistä suuri ajallinen ja paikallinen vaihtelu, mikä vaikeuttaa alueellisten huuhtoumien ennustamista.

5.1.1 Turvetuotannon hydrologiset vaikutukset

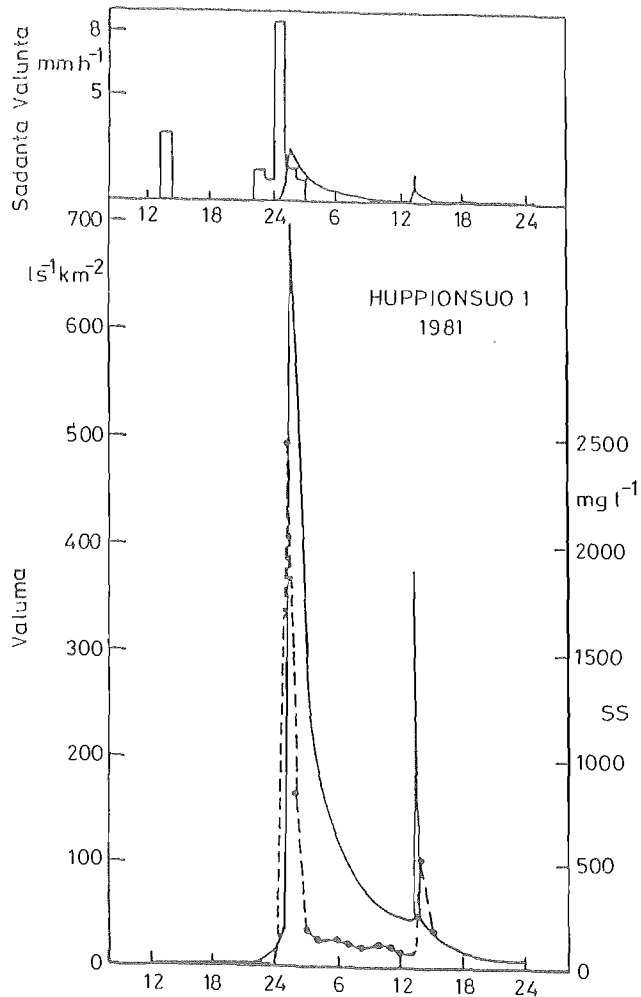
Turvetuotannon kuivatusvaiheessa pohjavesi alenee, vesivarasto vähenee ja valunta nopeutuu, mitkä tekijät helposti lisäävät ainakin kokonaisvaluntaa ja alivalumia. Turvetuotantoon siirtyminen saattaa myös lisätä jonkin verran kokonaisvaluntaa, sillä haihtuminen turvesuon pinnasta on pienempää kuin kuivattamattomalla suolla. Hyvin todennäköistä sen sijaan on, että valumahuiput kasvavat. Suuria hetkellisiä valuntahuippuja syntyy helposti turvetuotantoalueelta varsinkin kesällä (kuva 3). Ojien kaltevuus lisää voimakkaasti hetkellistä valuntahuippua (kuva 4). Suurimmillaan sateiden aiheuttamat valumahuiput saattavat turvetuotantoalueelta nousta lähelle $1\ 000\ \text{l s}^{-1}\ \text{km}^{-2}$ (kuva 5). Turvetuotannon paikallisuuden ja pienialaisuuden vuoksi ei sillä kuitenkaan ole suurta merkitystä hydrologiselta kannalta.



Kuva 3. Sadanta (pylväät) ja valuma (murtoviiva) Koihnannevan turvetuotantoalueella 1981 (Sallantaus 1984).



Kuva 4. Ojikaltevuuden vaikutus valumaan. Koihanneva 1 ojikaltevuus 2.5 m km^{-1} , Koihanneva 2 ojikaltevuus 1.0 m km^{-1} (Sallantaus 1984).



Kuva 5. Hetkellinen valuma q (yhtenäinen viiva) ja suspendoituneen kiintoaineen pitoisuus SS (katkoviiva) Huppionsuon turvetuotantoalueella heinäkuussa 1981 (Sallantaus 1984).

5.1.2 Turvetuotannon vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen

Veden laadun kannalta turvetuotannolla on huomattava paikallinen merkitys. Suspensioituneen kiintoaineen pitoisuudet saattavat nousta korkeiksi, helposti yli 1 000 mg/l:aan (Sallantaus 1984). Lähes yksinomaan orgaanista ainetta olevan kiintoaineen kulkeuma saattaa sateisena vuonna nousta $30 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ($300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Keskimäärin se jää kuitenkin alle puoleen tästä (Sallantaus 1984).

Liuenneen orgaanisen aineksen määrä on Sallantausten (1984, 1985) tutkimusten mukaan kiintoaineen määrää suurempi, havaintojen mukaan keskimäärin $16...37 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$. Tätä voidaan pitää turvetuotannon merkittävimpana haitallisena vaikutuksena. Fosforin ja typen huuhtoutuminen lisääntyy turvetuotannon yhteydessä samaan tapaan kuin turvemaiden metsätaloudellistenkin ojitusten yhteydessä.

Kiintoaineeseen pidähtynyt fosfori ja typpi vapautuu liukoiseen muotoon, mikä selittää tuotantosuolta purkautuvien vesien korkeat fosfaatti- ja ammoniumpitoisuudet luonnontilaisiin soihin verrattuna.

5.1.3 Ominaiskuormitusarvoja

Turvetuotantoon siirtyminen lisää varsinkin kuivatusvaiheessa **valumi**en kokonaisuutta jopa 100 mm a^{-1} (Komiteamietintö 1987). Tuotantovaiheelle on tyypillistä alivalumiin pieneminen ja pintavalunnan lisääntyminen (ja samalla tulvahuippujen kasvaminen). Taulukossa 2 on esitetty keskimääräiset kuukausivalumat turvetuotannon pintavalutuskenttien toimintaa analysoineesta tutkimuksesta (Ihme ym. 1990), sekä eri turvetuotantoalueiden hetkellisiä valumia.

Taulukko 2. Keskimääräiset kuukausivalumat ($1 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$) tutkituilla turvetuotantoalueilla, Tujuojan luonnontilaisella pienvaluma-alueella vuosina 1988–1989, sekä eri turvetuotantoalueiden hetkellisiä valumia (Ihme ym. 1990).

Aika	Kompsasuo pohjoisosassa (kunnostettavana)	Laakasuo (tuotannossa)	Eri turvetuotantoalueet	Tujuojan pienvaluma-alue
Tammikuu	0,4	4,2		0,7–0,9 ¹⁴⁾
Helmikuu	0,5	3,1		0,6 ¹⁴⁾ –1,7
Maaliskuu	1,1	15,3	2,0–7,0 ⁷⁾	0,5 ¹⁴⁾ –4,9
Huhtikuu	158,9 ¹⁾	55,1	135,8 ¹²⁾ , 212,5–216,3 ⁸⁾	4,9–17,4 ¹⁴⁾
Toukokuu	35,4	13,8	205,8 ¹²⁾ , 187–1000 ¹³⁾	14,0–45,3 ¹⁴⁾
Kesäkuu	24,0	2,4–12,1 ⁵⁾		8,5–16,0 ¹⁴⁾
Heinäkuu	4,4 ²⁾ –14,8	4,2–6,1 ⁵⁾	1,5–65,5 ⁹⁾	0,6 ¹⁴⁾ –1,3
Elokuu	4,8 ²⁾ –9,6	4,2–18,7 ⁵⁾	1,2 ¹⁰⁾	6,5 ¹⁴⁾ –13,9
Syyskuu	6,0–7,8 ²⁾	4,0–16,4 ⁵⁾		2,3–3,3 ¹⁴⁾
Lokakuu	6,6–18,0 ²⁾	6,0–15,5 ⁵⁾		8,2 ¹⁴⁾ –9,1
Marraskuu	1,6 ³⁾ –11,2	7,2 ⁵⁾ –12,3	32,9 ¹¹⁾	2,9 ¹⁴⁾
Joulukuu	3,6	1,5 ⁵⁾ –2,2		1,0 ¹⁴⁾
Vuosi	22,8 ¹⁾	10,6 ⁶⁾		8,6 ¹⁴⁾

1) Vuosi 1989, kevättulva-aikainen padotus mahdollisesti väärästi tuloksia, 2) Mittaus kerran viikossa kolmiomittapadon avulla vuonna 1988, 3) Mittaus kerran viikossa kolmiomittapadon avulla vuonna 1989, 4) Keskimääräinen valuma ajalta 27.3.–31.12.1989, 5) Vuosi 1988, 6) Vuosi 1989, 7) Sallantaus (1983), hetkellisiä arvoja eri turvetuotantoalueilta vuosina 1980–1982, 8) Marja-aho ja Koskinen (1989), maksimi vuorokausikeskiarvoja Läyniönsuolta vuonna 1986, 9) Marja-aho ja Koskinen (1989), hetkellisiä minimi- ja maksimivalumia Läyniönsuolla vuonna 1986, 10) Marja-aho ja Koskinen (1989), kuukausikeskiarvo Heikinsuolta vuonna 1984, 11) Marja-aho ja Koskinen (1989), kuukausikeskiarvo Läyniönsuolta vuonna 1986, 12) Marja-aho ja Koskinen (1989), Ansapuron maksimi vuorokausikeskiarvo vuosina 1984 ja 1986, 13) Sallantaus (1983), hetkellisiä maksimivalumia eri tuotantoalueilla vuonna 1981, 14) Vuosi 1988

Suspendoituneen kiintoaineksen, humuksen (COD_{Mn}), kokonaisfosforin, liukoisien ammoniumin ja nitraatin, kokonaisfosforin ja liukoisen fosforin, sekä kokonaisraudan keskimääräisen laadun arvoja (mg l^{-1}) on esitetty taulukossa 3. Taulukossa mainituista soista Kompsasuo ja Murtosuo ovat kuntoonpanovaiheessa ja Laakasuo tuotantovaiheessa (Ihme ym. 1990). Taulukossa 4 on esitetty vastaavat ainehuuhtoumat ($\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$).

Kiintoainehuuhtoumat ($\text{kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) olivat suurimmillaan kevättulvan aikana. Toiminnassa olevalta suolta (Laakasuo) tulevan veden keskimääräinen kiintoainepitoisuus oli 3 - 4 kertainen kuntoonpanovaiheessa olevien soiden keskimääräisiin pitoisuuksiin verrattuna. Kuntoonpanovaiheessa olevilla soilla kiintoainepitoisuus kasvoi virtaaman voimistuessa, mutta tuotantovaiheessa olevalla suolla pitoisuus oli riippumaton virtaamasta (Ihme ym. 1990). Luonnontilaiseen suohon verrattuna kiintoainepitoisuudet kasvoivat oleellisesti (taulukko 3).

Ihmeen ym. (1990) tutkimuksessa **orgaanisen aineksen** pitoisuudet eivät poikenneet oleellisesti luonnontilaisen suon valumavesien pitoisuudesta (taulukko 3).

Typen osalta turvetuotantoon siirtyminen lisää pitoisuusarvoja erityisesti luonnontilaisiin soihin verrattuna. Kuntoonpanovaiheessa olevilla soilla pitoisuudet olivat vain hiukan suurempia kuin luonnontilaisen soiden vastaavat pitoisuudet (taulukko 3). Erityisen paljon kasvoivat epäorgaanisen typen ($\text{NO}_3\text{-N}$ ja $\text{NH}_4\text{-N}$) pitoisuudet luonnontilaisiin soihin verrattuna.

Fosforipitoisuudet (kokonaisfosfori ja liukoinen ortofosfaatti) olivat Ihmeen ym. 1990) tutkimuksessa suurempia kuin luonnontilaisen soiden vastaavat pitoisuudet ja likimain yhtä suuria aikaisemmin tutkittujen turvetuotantoalueiden vastaavien pitoisuuksien kanssa (taulukko 3).

Tärkeimmät selittäjät turvetuotantoalueiden valumavesien kokonaisfosforipitoisuudelle ovat yleensä näytteenottohetken valuma, vuodenaika ja kiintoainepitoisuus (Sallantaus 1983).

Ihmeen ym. (1990) tutkimuksessa keskimääräinen **kokonaisrautapitoisuus** oli lähes samansuuruinen kuin luonnontilaisen suon valumavesien pitoisuus. Rautaa huuhtoutuu turvetuotantoalueiden valumaveden kiintoaineeseen ja humukseen sitoutuneena. Laakasuo suurien rautapitoisuuksien johtunevat osittain valumaveden suurista kiintoainepitoisuuksista (Ihme ym. 1990). Suuri osa turvetuotantosuo kokonaisraudasta on kuitenkin sitoutunut humusaineisiin (Ghassemi ja Christman 1968; Koenings ja Hooper 1986).

Veden keskimääräinen **väriluku** oli kuntoonpanovaiheessa olevilla soilla kesä-loku-kuussa keskimäärin 220 - 360 Pt mg l^{-1} , mutta tuotantovaiheessa olevalla suolla 360 - 740 Pt mg l^{-1} . Vesien keskimääräinen väriluku on maassamme 91 Pt mg l^{-1} ja Keski-Pohjanmaalla 180 Pt mg l^{-1} (Laaksonen 1970).

Taulukko 3. Luonnontilaisen suon valumaveden, eri turvetuotantoalueiden, sekä Ihmeen ym. (1990) tutkimuksessa mukana olleiden soiden valumaveden laatu.

Vedenlaatu- muuttuja	Luonnontilainen suo	Aiemmin tutkitut turvetuotantoalueet	Kompsasuo ¹⁴⁾ pohjoinen (kunnostettavana)	Laakasuo ¹⁵⁾ (tuotannossa)
Kiintoaine (mg l ⁻¹)	1,2-10,4 ⁵⁾	4,6-42,3 ¹⁾ 7,0-25,8 ⁶⁾ 2,0-2400 ⁹⁾¹⁰⁾	5,9 (1,7-142,9)	22,7 (6,4-142,0)
Kok.N (mg l ⁻¹)	0,3-4,7 ¹⁾ 0,63 ⁷⁾ 0,89 ⁸⁾	0,93-4,6 ¹⁾ 0,86-4,5 ⁶⁾ 1,3-1,8 ⁹⁾ 1,3-4,7 ¹⁰⁾	2,4 (1,1-5,6)	4,0 (1,7-19,0)
NO ₃ -N (µg l ⁻¹)	1 ⁷⁾ 10 ⁹⁾ <100 ¹⁾²⁾³⁾	37-840 ¹⁾ 35-450 ⁹⁾ 10-1000 ¹⁰⁾	370 (11-2000)	120 (0-620)
NH ₄ -N (µg l ⁻¹)	20 ⁷⁾ 30 ⁸⁾ <100 ¹⁾²⁾³⁾	42-41000 ¹⁾ 71-3000 ⁶⁾ 250-1000 ⁹⁾ 350-3000 ¹⁰⁾	1240 (350-2300)	2330 (570)
Kok. P (µg l ⁻¹)	27 ⁴⁾ 20 ¹¹⁾ 24-90 ⁶⁾ 18-19 ⁷⁾	20-160 ¹⁾ 18-140 ⁶⁾ 29-170 ⁹⁾ 35-230 ¹⁰⁾	52 (29-200)	64 (32-13)
PO ₄ -P (µg l ⁻¹)	7-63 ⁵⁾	2-47 ¹⁾ 9-196 ⁶⁾	23 (4-190)	13 (2-33)

1) Heikkinen (1990), Kiiminkijoen valuma-alueella sijaitsevat Jauhosoja ja Vittasuo kesällä ja sykyllä, 2) Kenttämies (1979), 3) Hynninen ja Sepponen (1983), 4) Heikurainen ym. (1978), keskimääräinen pitoisuus Pohjanmaan soien valumavesissä, 5) Heikkinen (1990), Kiiminkijoen valuma-alueella sijaitseva, ojitamattomalta runsassoiselta valuma-alueelta laskeva Keihäsoja kesällä ja sykyllä 1985 ja 1986, 6) Pohjois-Suomen Vesitutkimustoimisto (1989), Oulun vesi- ja ympäristöpiirin alueentehotarkkailusoiilta purkautuvien vesien keskimääräinen laatu vuonna 1988, 7) Sallantaus (1983), Häädeteidas huhti-toukokuu 1980 ja 1981, 8) Sallantaus (1983) Häädeteidas kesä-lokakuu 1980 ja 1981, 9) Sallantaus (1983), eri turvetuotantoalueita huhti-toukokuu 1980 ja 1981, 10) Sallantaus (1983), eri turvetuotantoalueita kesä-lokakuu 1980 ja 1981, 11) Kenttämies (1980), valumaveden keskipitoisuus luonnontilaisilta soilta, 12) Tolonen ja Hosiashuoma (1978), valumaveden keskipitoisuus luonnontilaisilla soilla vuonna 1972, 13) Piipsannevan turvetuotantoalueelta valuvan veden hetkellisiä pitoisuuksia eri suodatusten aikana, 14) Keskimääräinen titoisuus tämän tutkimuksen aikana vuosina 1987 - 89, 15) Keskimääräinen pitoisuus kesä-lokakuussa vuosina 1987 - 1989.

Taulukko 4. Keskimääräiset ainehuuhtoumat eri ajanjaksoilla Ihmeen ym. (1990) tutkimuksessa mukana olleilta soilta, sekä muilta turvetuotantoalueilta ja luonnontilaisilta soilta.

Vedenlaatu- muuttuja	Kompsasuo pohjoisosa (kg km ⁻² vrk ⁻¹)	Laakasuo ³⁾ (kg ha ⁻¹ vkr ⁻¹)	Eri turvetuotantoalueet (kg ha ⁻¹ v ⁻¹)	Luonnontilainen alue (kg ha ⁻¹ v ⁻¹)
Kiintoaine	0,3-252,2	5,4-43,2	20-300 ⁵⁾	
Kok. N	0,1-19,7	14,-6,0	7,5-11,0 ⁵⁾	
NH ₄ -N	0,1-7,2	0,6-4,0	2,0-7,0 ⁵⁾	
NO ₃ -N	0,01-4,0	0,04-0,29	1,2-2,2 ⁵⁾⁸⁾	
Kok. P	0,004-0,38	0,02-0,09	0,27	0,06
PO ₄ -P	0,004-0,11	0,01-0,02		

1) Kaikki vuodenajat (kevättalvi, kevät, kesä, syky, syystalvi), 2) Kesä-lokakuu, 3) Kesä-elokuu 1988-1989, 4) Vuosi 1989, 5) Sallantaus (1983), eri valmistelu- ja tuotantoviheessä olevia alueita, 6) Sallantaus (1983), Huppionsuo 1:n kesä-lokakuun maksimihuuhtoumia vuosina 1980-1981, 7) Sallantaus (1983), keskimääräinen humuksen huuhtoutuminen Suomessa, 8) Sallantaus (1983), epäorgaanisen typen keskimääräinen huuhtouma 6,5 kg ha⁻¹ v⁻¹, 9) Sallantaus (1983), Huppionsuo 2 ja Vähä-Hautaneva kesä-lokakuussa vuonna 1981.

5.2 Vesimäärien laskenta

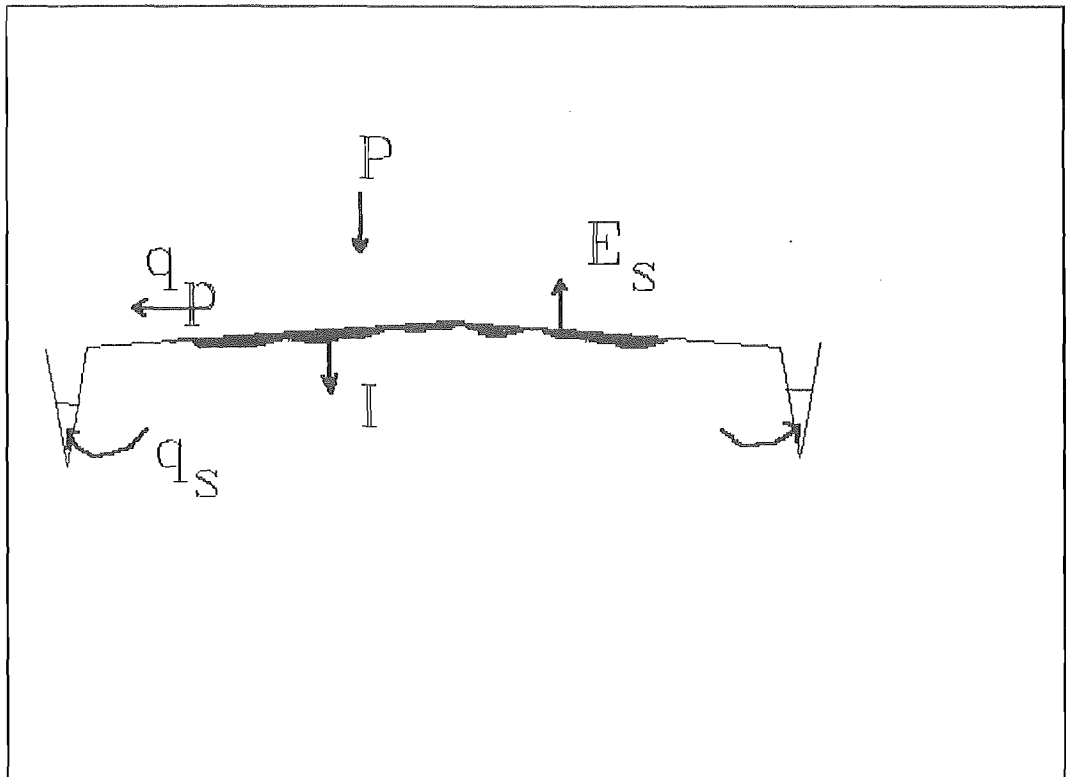
5.2.1 Turvetuotantosaran vesitaseen komponentit

Tavoitteena on laskea turvetuotantosaran vesitase kuvan 6 esittämässä profiilissa. Jos sadanta P ylittää maan infiltraatiokapasiteetin I , osa sadannasta kulkeutuu ns. pintavaluntana q_p kuivatusojiin. Maahan imeytyvä sadanta kasvattaa maan vesivarastoa ja nostaa pohjavedenpinnan korkeutta. Vettä purkautuu maaprofiilista avo-oihin (q_s), mikäli pohjavedenpinta on korkeammalla kuin painetaso ojissa.

Tarkasteltavan systeemin vesitaseyhtälö esitetään tässä tapauksessa muodossa:

$$dV_a/dt = q_s + E_s - I \quad (3)$$

missä dV_a on maaprofiilin ilmatilavuuden muutos pinta-alayksikköä kohden (cm), t on aika (h), q_s on veden virtaus ojiin (cm h^{-1}), E_s on todellinen haihdunta turpeen pinnasta ja I on infiltraatio (cm h^{-1}). On huomattava, että yhtälö (3) poikkeaa normaalista vesitaseyhtälöstä siten, että ohjelma ei laske maassa olevan vesimäärän muutosta, vaan vedestä vapaana olevien huokosten osuutta kokonaistilavuudesta. Yhtälö (3) on valittu siitä syystä, että pohjavedenpinnan syvyyden ja kapillaarisen nousukorkeuden laskenta helpottuu kun ilmatilavuuden muutos lasketaan. Vastaavanlaista tarkastelutapaa on soveltanut mm. Skaggs (1975, 1978 ja 1980) salaojitettun pellon vesitaseen laskemiseen.



Kuva 6. Turvetuotantosaran vesitaseen komponentit

5.2.2 Pintavalunnan ennustaminen

Maan pintakerroksessa on laskettava erikseen vesitaseyhtälö, jossa P (cm h^{-1}) jaetaan kolmeen komponenttiin: infiltraatio I , pintavalunnan määrä q_p (cm h^{-1}) ja ns. painan-
nevaraston muutos d_s (cm) ja pintavarastosta tapahtuva haihdunta E_s .

$$dq_s/dt = P - I - q_p - E_s \quad (4)$$

Painannevarasto voidaan tulkita fysikaalisesti siten, että se edustaa tuotantosaran pinnan epätasaisuutta. Käytännössä tämä merkitsee sitä, että pintavaluntaa ei voi tapahtua ennen kuin painannevarasto on täyttynyt. Pintavesivaraston maksimisuuruus riippuu lähinnä pinnan tasauksesta. Varaston maksimiarvo (cm) kuvaa kaikkien painanteiden yhteenlaskettua varastotilavuutta olettaen, että vesimäärä olisi jakautunut tasaisesti koko tuotantosaran alueelle. USA:ssa tehtyjen mittausten mukaan pintavesivaraston maksimikoko on hyvin pieni, n. 0.1 cm, silloin kun pinta on tasattu ja muotoiltu hyvin ja 1–2 cm kun pinta on hyvin epätasainen (Skaggs ym. 1990).

5.2.3 Profiilin kautta ojiin virtaava vesimäärä

Veden virtaukseen profiilista kuivatusojiin päin vaikuttavat maan hydraulinen johtavuus vaakasuunnassa, ojien välinen etäisyys ja ojien syvyys, sekä pohjavedenpinnan korkeus ojien keskikohdalla. Vesi liikkuu ojiin päin sekä maan vedellä kyllästyneessä, että kyllästymättömässä vyöhykkeessä. Oikeaoppisin tapa laskea ojiin virtaavan veden määrä olisi käyttää veden virtausta kuvaavan osittaisdifferentiaaliyhtälön ratkaisua kaksi-dimensionaalisessa tapauksessa. Tämä johtaisi kuitenkin mm. siihen, että profiilin hydrauliset ominaisuudet – vedenläpäisevyys ja pF-käyrä – olisi tunnettava sekä vaaka- että pystysuunnassa. Tämä johtaisi liian suuriin lähtötietovaatimuksiin käytännön tarpeita silmällä pitäen.

Mallissa on oletettu, että vesi virtaa maaprofiilissa ojiin päin vain maan kyllästyneessä vyöhykkeessä ja veden virtaus ojiin päin (q_s) voidaan laskea Bouwer ja Schilfgaarden (1963) esittämällä tavalla:

$$q_s = \frac{8 \cdot K \cdot D \cdot h + 4 \cdot K \cdot h^2}{L^2} \quad (5)$$

missä K on maan hydraulinen johtavuus vaakasuunnassa (cm d^{-1}), h on korkeusero pohjavedenpinnan ja ojien vedenpinnan välillä (cm), L on kuivatusojien välinen etäisyys (cm), D on ns. tehoisa etäisyys ojan pohjasta koko profiilin alareunaan (cm) (50–150 cm).

5.3 Turvetuotantosaran kuormitusten ennustaminen

5.3.1 Johdanto

Turvetuotannon ympäristövaikutusten arviointia tukevassa järjestelmässä ennustetaan ominaiskuormitus päivittäisenä arvona ($\text{kg km}^{-2} \text{d}^{-1}$), mikä edellyttää valuman ja purkautuvan veden pitoisuuden samanaikaisen laskemisen.

Malli laskee seuraavien veden laatua kuvaavien muuttujien pitoisuudet:

- kiintoainepitoisuus (mg l^{-1})
- kokonaisfosfori (mg l^{-1})
- kokonaistyyppi (mg l^{-1})
- ammoniumtyppi (mg l^{-1})
- nitraattityppi (mg l^{-1})
- veden väriluku (mg Pt l^{-1})

5.3.2 Kiintoaineen ja fosforin huuhtoutuminen

Fosforin huuhtoutumat aiheutuvat lähes yksinomaan pintavalunnan aiheuttamasta eroosiosta. Lähtökohtana on se, että mallilla pyritään ennustamaan huuhtoutuvan

kiintoaineen määrä. Fosforin huuhtoutumisen oletetaan mallin nykyisessä versiossa aiheutuvan sekä kiintoainekseen että liukoiseen orgaaniseen ainekseen pidättyneenä. Eroosio voidaan prosessina jakaa kahteen osaan: kiintoainehiukkasten irtoamiseen (detachment) ja materiaalin kulkeutumiseen (transport of soil material). Hiukkasten irtoamista aiheuttavat sekä sadanta (detachment by rainfall), että pintavalunta (detachment by runoff). Kulkeutumiseen vaikuttavat samat tekijät (transport by rainfall ja transport by runoff). Tarkasteltavat prosessit ovat erittäin vaikeita mallittaa. Dillaha ja Beasley (1983) ovat todenneet, että parhaimmillaankin näiden prosessien ennustemallit ovat hyvin epätarkkoja kuvauksia todellisista prosesseista.

Sadannan ja pintavalunnan aiheuttama kiintoaineen irtoaminen

Sadannan aiheuttama kiintoaineen irtoaminen D_p lasketaan mallissa menetelmällä, jonka ovat esittäneet Dillaha ja Beasley (1983):

$$D_p = C_p \cdot a_p \cdot p^{b_p} \quad (6)$$

missä C_p on yksikkömuunnoksissa tarvittava kerroin, a_p on maan pintakerrosten ominaisuuksista riippuva eroosiokerroin, b_p on eksponentti, jonka arvon on todettu olevan n. 1.5..2.2 (Meyer ja Wischmeier, 1969; Bubenzer ja Jones, 1971; Foster ja Meyer, 1972, David & al. 1975) ja P on sadanta.

Pintavalunnan aiheuttama kiintoaineen irtoaminen D_F lasketaan myös Dillahan ja Beasley'n (1983) esittämällä tavalla:

$$D_F = C_F \cdot a_F \cdot q_s \quad (7)$$

missä C_F on yksikkömuunnoksissa tarvittava kerroin, a_F on suon ominaisuuksista riippuva eroosiokerroin ja q_s on pintavalunnan määrä.

Laskelmissa todellinen kiintoaineen irtoaminen on pienempi arvoista D_p ja D_F .

Kiintoaineen kulkeutuminen tuotantosaralla

Mallissa oletetaan, että kiintoaineen kulkeutumisen aiheuttaa pääasiassa pintavalunta, eli sadannan vaikutus kulkeutumiseen jätetään ottamatta huomioon. Kiintoaine kulkeutuu peltosaralla kahdella tavalla: 1) pintaa pitkin pyörimällä tai liukumalla (ns. bedload), 2) suspensiona, eli veteen sekoittuneena (suspended load). Turvetuotantosaran tapauksessa suspendoituneen kiintoaineksen osuus lienee hallitseva.

Useat tutkijat (Foster ja Meyer, 1972; Alonso & al., 1981; Foster, 1982 ja Dillaha ja Beasley, 1983) ovat vertailleet pintaeroosion kulkeutumisyhtälöitä ja todenneet, että ns. Yalinin yhtälö antaa parhaat tulokset kokeellisiin mittauksiin verrattuna. Yalinin yhtälön oletus on, että sedimentin kulkeutuminen alkaa, kun virtauksen aiheuttama nostovoima ylittää ns. kriittisen nostovoiman. Yalinin yhtälössä tarvitaan kaksi virtausparametria, hydraulinen säde R ja pinnan kaltevuus S_G . Kulkeutumiseen vaikuttavat maan ominaisuudet ovat tiheys S_G , hiukkasten halkaisija d , ja kriittinen nostovoima Y_{CR} . Kulkeutuminen T_F lasketaan kaavoista:

$$T_F = A_1 \cdot S_G \cdot \sigma_w \cdot d \cdot V^* \quad (8)$$

missä

$$A_1 = 0.635 \cdot \Gamma [1 - (1/\tau) \ln(1+\tau)] \quad (9)$$

$$\tau = A_C \cdot \Gamma \quad (10)$$

$$\Gamma = (Y_F/Y_{CR}) - 1 \quad (\text{jos } Y_F < Y_{CR}, \text{ niin } \Gamma = 0) \quad (11)$$

$$A_C = 2.45 (S_G)^{-0.4} \cdot (Y_{CR})^{0.5} \quad (12)$$

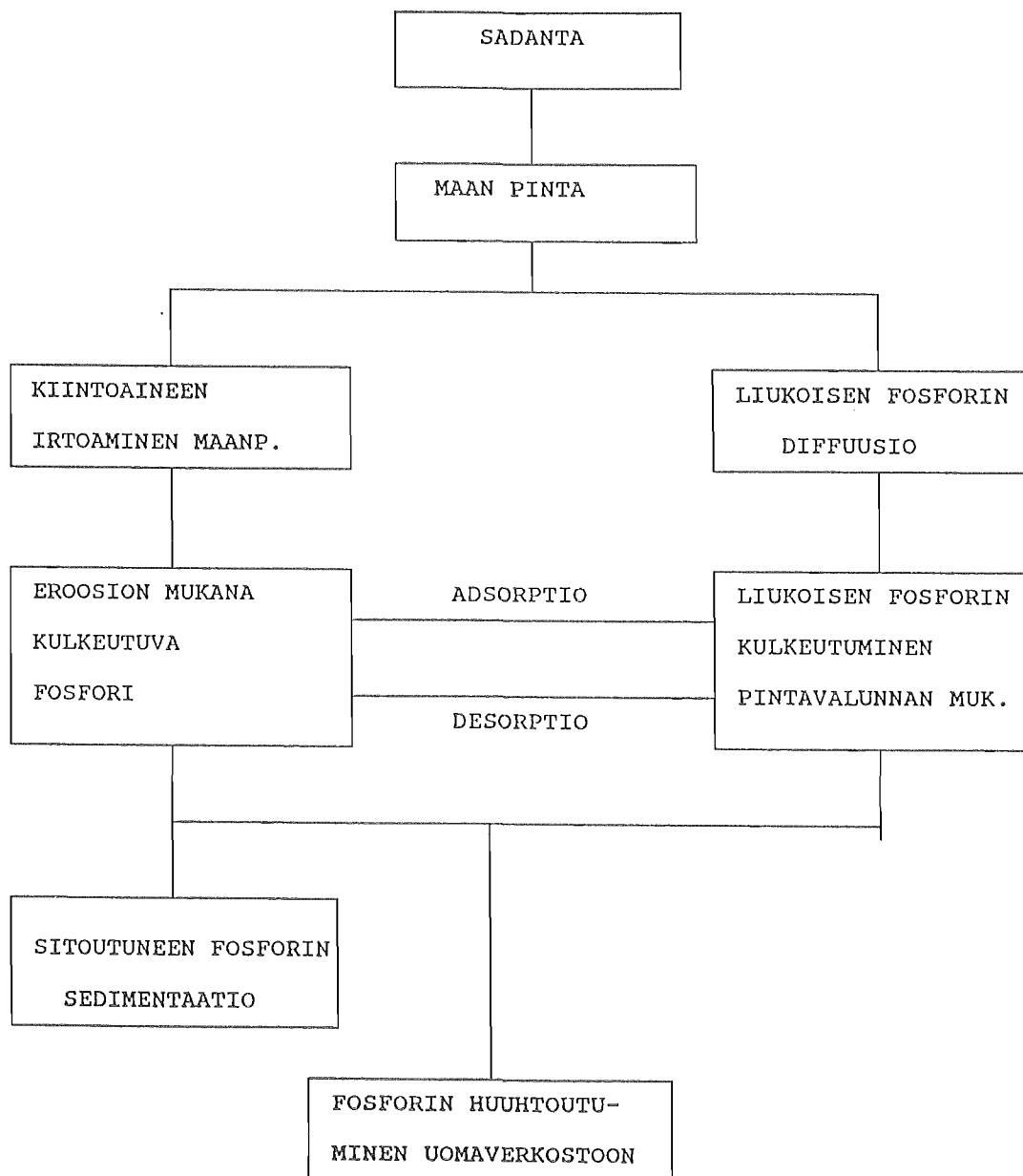
$$Y_F = V_*^2 / [(S_{G_0} - 1) \cdot g \cdot d] \quad (13)$$

$$V_* = (g \cdot R \cdot S_s)^{0.5} \quad (14)$$

missä aiemmin kerrottujen muuttujien lisäksi tarvitaan fysikaaliset vakiot: σ_w on veden tiheys ja g on maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyys. Foster ja Meyerin (1972) mukaan yhtälöissä esiintyvä vakio 0.635 on Y_{CR} :n lisäksi ainoa empiirisesti johdettu kerroin.

5.3.3 Liukoisen fosfaatin ennustaminen

Storm ym. (1988) ovat esittäneet mallin, joka otettiin lähtökohdaksi turvetuotantosuoilta tapahtuvan fosforin huuhtoutumisen ennustamiseksi (kuva 7). Storm ym. ovat käyttäneet mallia maatalousalueilta tapahtuvan huuhtoutumisen arviointiin. Turvetuotantosuo tapauksessa mallia yksinkertaistettiin niin, että liukoisen fosforin osuuden oletetaan aiheutuvan siitä, että kiintoainekseen pidättynyt fosfori vapautuu liukoiseen muotoon, kun kiintoaines sekoittuu kokoojajojissa suurempaan vesitilavuuteen. Edellinen tarkoittaa käytännössä sitä, että tuotantosaralla maavedessä ei oleteta olevan merkittävää määrää liukoista fosforia.



Kuva 7. Fosforin kulkeutumismalli (Storm ym. 1988).

Fosforin desorptio on palautuva prosessi ja se tapahtuu kahdessa vaiheessa. Ensimmäinen vaihe on nopea ja kestää vain muutamia minutteja tai tunteja. Toinen vaihe on hitaampi ja kestää jopa viikkoja. Useimmissa tapauksissa fosforin adsorption/desorption oletetaan tapahtuvan välittömästi. Matemaattisesti fosforin desorptio maahiukkasten pinnoilta käsitellään mallissa ns. Langmuirin isotermin avulla (Tchobanoglous ja Schroeder 1985):

$$\frac{M_x}{M_m} = \frac{A_{MAX} \cdot b_A \cdot C_E}{1 + b_A \cdot C_E} \quad (15)$$

missä M_x on hiukkasten pinnoille pidättyneen fosforin määrä, M_m on kiintoaineen määrä, A_{MAX} adsorption maksimimäärä, b_A empiirinen, hiukkasten ominaisuuksista riippuva kerroin ja C_E tasapainotilan konsentraatio nesteessä.

Storm ym. (1988) muokkasivat yhtälöä (15) seuraavasti:

$$\frac{P_{in} + d_p}{M_m} = \frac{A_{MAX} \cdot b_A \cdot (C_{in} - d_p)}{V_w + b_A \cdot (C_{in} - d_p)} \quad (16)$$

missä P_{in} on hiukkasten pinnoille pidättyneen fosforin määrä alkuhetkellä, d_p on fosforin siirtyminen nesteestä maahiukkasten pinnoille, C_{in} on liukoisen fosforin määrä alkuhetkellä ja V_w on vesitilavuus. d_p voi olla joko positiivinen (adsorptio) tai negatiivinen (desorptio) ja mallissa d_p ratkaistaan kaavasta (16).

5.3.4 Liukoisen ammonium- ja nitraattipitoisuuden ennustaminen

Typen oletetaan huuhtoutuvan sekä liukoisessa muodossa, että kiintoainekseen pidättyneenä. Ammoniumioni voi olla maanesteessä liukoisessa muodossa ja siten suoraan alttiina huuhtoutumiselle. NH_4^+ -ioni pidättyy myös maahiukkasten pinnoille, tosin eri tyyppisillä voimilla kuin fosfori. Mallin nykyisessä versiossa oletetaan liukoisen ammoniumin ja hiukkasten pinnoille pidättyneen ammoniumin välillä olevan yhteys, joka voidaan kuvata Langmuirin isotermin avulla vastaavalla tavalla kuin fosforille (kaava 16). Nitraattityypin huuhtoutuminen lasketaan yksinkertaisella differentiaaliyhtälöllä, jossa osa liukoisesta ammoniumista muuttuu nitrifikaatiossa nitraatiksi.

5.3.5 Orgaaniset aineet ja veden väri

Turvetuotantosuoilla suuri orgaanisten aineiden pitoisuus johtuu usein korkeasta kiintoainepitoisuudesta, sillä kemiallinen hapenkulutus lisääntyi kiintoainepitoisuuden lisääntyessä (Ihme ym. 1990). Tässä vaiheessa kemiallisen hapenkulutuksen pitoisuus lasketaan yksinkertaisella regressioyhtälöllä

$$COD_{Mn} = a_{CODMn} \cdot q_S + b_{CODMn} \quad (17)$$

missä kertoimet a_{CODMn} ja b_{CODMn} ovat suotyypistä riippuvia.

Veden värin on todettu korreloivan kemiallisen hapenkulutuksen ja kokonaisrautapitoisuuden kanssa (Heikkinen 1990, Ihme 1990). Pitoisuus mallitetaan kaavaa (17) vastaavalla yhtälöllä, jossa selittäjänä voidaan käyttää joko kemiallista hapenkulutusta tai kokonaisrautapitoisuutta, jos se tunnetaan.

6 PELTOALUEILTA PURKAUTUVIEN VESIMÄÄRIEN JA KUORMITUSTEN ENNUSTAMINEN

6.1 Yleistä

Maailmanlaajuisesti maatalous on eräs merkittävimmistä hydrologiseen kiertoon vaikuttavista ihmisen toiminnoista. Suomen oloissa maatalouden hydrologiset vaikutukset eivät ole kovin radikaaleja. Kuitenkin maankäytön muuttuminen metsämaasta pelloksi sekä pellon kuivatusmuodon muuttumisen avo-ojitetusta salaajitetuksi ovat niin laaja-alaisia, että niiden hydrologisilla vaikutuksilla ja laadun muuttumisella on ilmeistä merkitystä (Seuna 1986).

Peltoa on aikojen kuluessa raivattu Suomessa runsaat 2,5 milj. ha. Peltoala ei tulevaisuudessa tule sanottavasti muuttumaan. Sen sijaan kuivatusmuoto muuttuu siten, että vuosittain salaajitetaan n. 20 - 25 000 ha peltoa.

6.1.1 Salaajituksen vaikutus valumiin

Pellon kuivatusmuodon muuttaminen avo-ojituksesta salaajitukseksi muuttaa alueen hydrologisia oloja - joiltakin osin radikaalisti. Pintavalunta pienenee ja maaprofiilin kautta virtaavan veden osuus kasvaa. Hovin peltoalueella Vihdissä varsin tiiviillä maalla ja kaltevassa maastossa on keskimäärin vain 23 % kokonaisvalunnasta ollut pintavaluntaa (Seuna ja Kauppi 1981). Jonkin verran edellisestä poikkeavia tuloksia ovat saaneet Turtola ja Jaakkola (1985). Jokioisissa savimaalla (kaltevuus 0.2 - 2.5 %) tehdyissä kokeissa vuosien 1980-1982 aikana keskimääräinen pintavalunnan osuus oli nurmella 65 % ja ohralla 56 %.

Hyvin toimivalla ojituksella pintavaluntaa syntyy runsaammin vain lumen sulamisaikoina ja erityisesti, mikäli routaa on runsaasti ja se on rakenteeltaan tiivistä. Keskimäärin on tällöin kevätylivaluman vuorokausiarvosta 44 % ja hetkellisestä huipusta 62 % ollut pintavaluntaa. Kesäylivaluman vuorokausiarvosta on tällä Hovin peltoalueella salaajituksen jälkeen vain 2 % ja hetkellisestä huipusta 3 % ollut pintavaluntaa (Seuna ja Kauppi 1981).

Seunan ja Kaupin (1981) havaintojen mukaan salaajitus lisää alueen pinta- ja salaajavalunnan summaa vuosivalunnan osalta (15 %), kevätvalunnan osalta (12 %) ja alivalumien osalta (2...3-kertaiseksi). Vastaavasti ylivalumat pienenevät (kevätylivaluma 4 % ja kesäylivaluma 36 %). Kesäylivaluman pieneminen on ojittamisen jälkeisenä parina ensimmäisenä vuonna hyvin selvä, mutta sen jälkeen sitä ei juuri tapahdu.

6.1.2 Maatalouden vaikutus veden laatuun

Maatalouden eri tuotantosuuntien aiheuttama kuormitus on luonteeltaan hyvin erilaista. Karjataloilta kuormitus on lantaloiden ym. osalta lähes pistemäistä, kun taas peltoviljelystä aiheutuva kuormitus on tyypillisintä hajakuormitusta. Kummassakin tapauksessa ravinteita, erityisesti typpeä ja fosforia, voidaan pitää vesistöjen kannalta merkityksellisimpinä. Mikäli lantaa joutuu suoraan vesistöön, saattaa sen happea kuluttava vaikutus olla huomattava. Peltoviljelyssä taas eroosio voi, ravinteiden ohella, heikentää vesistön tilaa.

Karjatalouden aiheuttamaa kuormitusta on hyvin vaikea arvioida määrällisesti ja toistaiseksi sitä ei oteta mallissa huomioon ollenkaan.

Peltoviljelystä aiheutuva vesistökuormitus perustuu ennen kaikkea maa-aineksen ja ravinteiden huuhtoutumiseen vesistöihin. Kuormituksen suuruuteen vaikuttavat mm. maalaji, sääolot, maaperän vesitalous, pellon käyttö ja viljelytekniikka sekä lannoitus.

Eri maalajit pystyvät sitomaan ravinteita eri tavoin. Karkeilta, hyvin vettä läpäiseviltä mailta ravinteet huuhtoutuvat helpommin kuin hienojakoisilta hiesu- ja savimailta. Esimerkiksi kohonneita pohjavesien nitraattipitoisuuksia on yleensä havaittu vain läpäisevillä mailla. Toisaalta savimaa tiivistuu helposti, mikä aiheuttaa liettymistä ja siten mahdollistaa eroosion, mikäli pintavaluntaa esiintyy. Eroosio onkin voimakkainta maan lounaisosissa, jossa savikot on yleisiä ja peltoalan osuus suuri (Mansikkaniemi 1982). Samalla fosforikuorma kasvaa, koska suurin osa fosforista kulkeutuu vesistöön maahiukkasiin sitoutuneena. Turvemaat taas pidättävät huonosti ravinteita. Varsinkin lannoitefosfori huuhtoutuu helposti (Kauppi 1986).

Sääolot vaikuttavat ratkaisevasti huuhtoutumiseen. Mikäli maa on keväällä lumensulamisaikaan roudassa, eivät sulamisvedet saa aikaan kovinkaan suurta maa-aineksen huuhtoutumaa. Roudan ohella kevättulvan rajuus vaikuttaa sen kykyyn aiheuttaa eroosiota. Myös syksyn sääolot vaihtelevat melkoisesti vuodesta toiseen. Pitkä, märkä syksy mahdollistaa maassa olevan nitraatin tehokkaan huuhtoutumisen (Kauppi 1986).

Maan vesitaloudella, eli pitkälti ojitustavalla, on merkitystä varsinkin eroosion ja fosforin kannalta. Pintavalunnan väheneminen vähentää eroosion määrää ja samalla myös fosforin huuhtoutumista. Näin ollen, salaojituksen tulisi vähentää fosforihuuhtoutumia, koska se vähentää pintavaluntaa. Tähänastiset tutkimustulokset eivät kuitenkaan yksiselitteisesti tue tätä käsitystä. Seunan ja Kaupin (1981) tulosten mukaan valuma-alueelta poistuvan fosforin määrä ei merkittävästi muuttunut salaojituksen vuoksi. Sen sijaan nitraattityypen huuhtoutuma lisääntyi varsinkin muutamana ojituksen jälkeisenä vuotena. Typen osalta vastaanvanlaisia tuloksia on saatu myös Jokioisilla tehdyissä kokeissa (Tiiri 1990).

Viljelykasvin valinta ja viljelytekniikka vaikuttavat lähinnä siihen kuinka suuren osan vuodesta maa on paljaana ja siten alttiina eroosiolle. Niinpä kesantopelloilta huuhtoutuu enemmän, mutta nurmelta vähemmän kuin viljapelloilta.

6.1.3 Peltoviljelyn aiheuttaman ravinnekuormituksen suuruus

Eroosion suuruudesta ei ole esitetty koko maan kattavaa arviota. Mansikkaniemen (1982) mukaan rinnepeltojen eroosio Lounais-Suomessa on keskimäärin 2000...3000 kg hehtaarilta vuodessa, sateisina vuosina jopa 7000 kg. Sen sijaan tasaisilta pelloilta vesistöön kulkeutuva ainesmäärä on normaalivuosina noin 1000 kg/ha/a ja sateisina vuosinakin vain noin 1500 kg/ha/a.

Taulukossa 5 on esitetty eri tutkimuksiin perustuvia maatalouden fosfori- ja typpi-kuormitusarvoja pohjoismaista. Arviot maatalouden aiheuttamasta vesistöjen ravinnekuormituksesta perustuvat Suomessa suurelta osin maataloushallituksen maa- ja vesiteknillisen tutkimustoimiston 1950-luvun lopulla perustamien pienten hydrologisten valuma-alueiden havaintoaineistoon. Vuonna 1962 alueilla aloitettiin myös veden laadun seuranta kerran kuussa. Sittemmin näytteenotto on keskitetty kevään ja syksyn ylivalumakausiin. Veden laatua seurataan tällä hetkellä 13 alueella (Kauppi 1986).

Kuuden pienen valuma-alueen tuloksiin perustuen on myös laskettu maatalouden ominaiskuormitusarvot, jotka on ilmoitettu peltohehtaaria kohti. Lukuihin sisältyy myös karjatalouden kuormitus, jonka erottaminen peltoviljelyn aiheuttamasta kuormituksesta on pienten valuma-alueiden aineistossa lähes mahdotonta. Yleensäkin yleispätevien tietojen antaminen karjatalouden merkityksestä vesistöjen kuormittajana on vaikeaa, koska kuormitus riippuu olennaisesti siitä, kuinka hyvin lannan ja virtsan talteenotto on järjestetty (Kauppi 1986).

Taulukko 5. Eri tutkimuksiin perustuvia maatalouden fosfori- ja typpikuormitusarvoja (ref. Kauppi 1986, lisätty Rekolainen 1989).

Maa - maan käyttö	Fosfori kg ha ⁻¹ a ⁻¹	Typpi kg ha ⁻¹ a ⁻¹	Viite
Ruotsi			
- metsä	0,06–0,09	0,8–1,2	Ahl (1977)
- pelto	0,93	22,5	–"
- pelto	0,37	39 (NO ₃ -N)	Brink (1982)
- pelto (pintavalunta)	0,16	3,4 (NO ₃ -N)	Brink ym. (1984)
- pelto (salaoja)	0,46	48 (NO ₃ -N)	–"
- pelto	1,30	31 (NO ₃ -N)	Ryding (1982)
- metsä	0,13	2,9 (NO ₃ -N)	–"
- pelto	0,11–0,16	31–43	Gustafsson ja Torstensson (1984a)
- pelto	0,04–0,94	4,8–22	–" (1984b)
- pelto	0,01–4,0	0,8–15,5	–" (1984c)
Norja			
- metsä	0,30	2,2	Holmen (1977)
- pelto	1,2–5,3	4–57	–"
Tanska			
- vähäravinteinen maa	0,05	5	Larsen (1977)
- runsasravinteinen maa	0,25	25	–"
Suomi			
- metsä	0,04–0,06	1–2	Kauppi (1979a)
- metsä	0,11–0,16	2,0–2,7	Rekolainen (1989)
- luonnontil. metsä	0,06–0,09	–	–"
- pelto	0,63	–	Kajosaari (1965)
- pelto	–	30	Mussaari ja Pekkarinen (1978)
- pelto	0,57	12	Kauppi (1979b)
- pelto	–	4–43 (NO ₃ -N)	Jaakkola (1984)
- pelto	0,90–1,80	7,6–20,0	Rekolainen (1989)

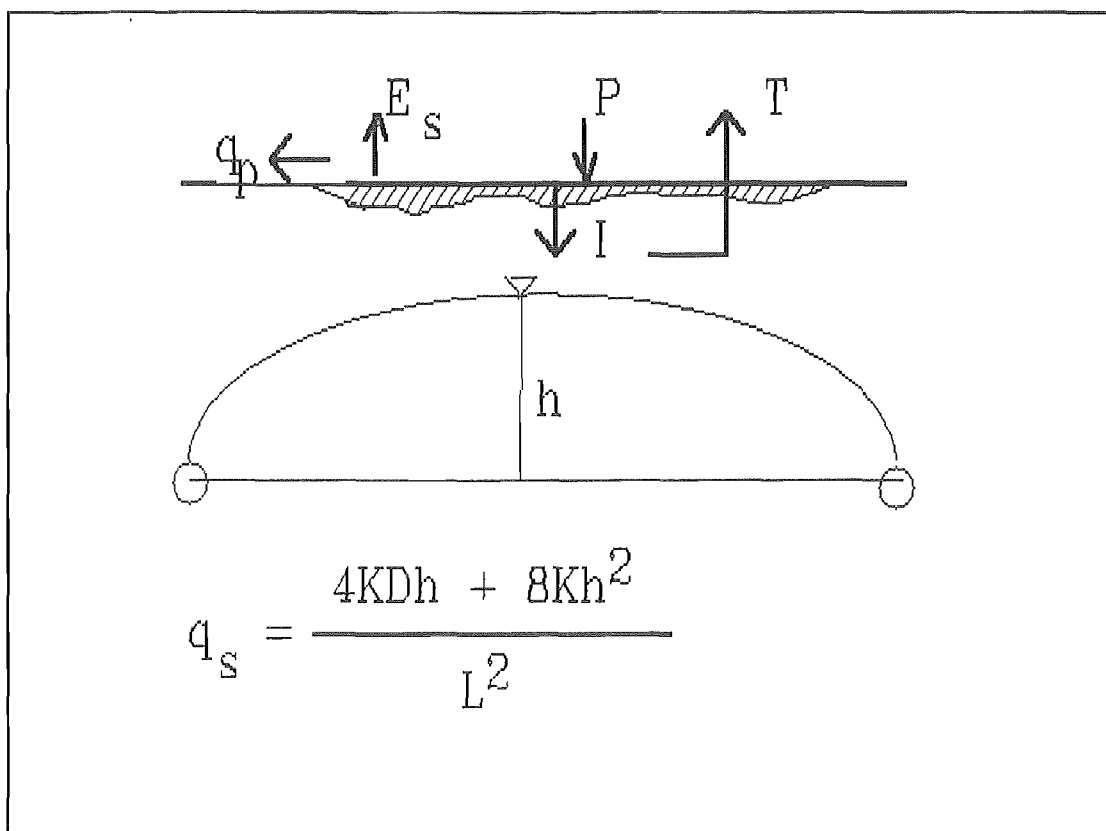
Turtolan ja Jaakkolan (1985) savimaalla tehdyissä tutkimuksissa ohramaasta huuhtoutui nitraattityppiä keskimäärin 11.1 (6.5 – 16.5) kg ha⁻¹. Tästä huuhtoutui salaojavesissä 6.3 (4.5 – 9.2) kg ha⁻¹. Nurmesta huuhtoutui nitraattityppeä keskimäärin 5.4 (2.3 – 7.1) kg ha⁻¹, ja tästä salaojavesien mukana kulkeutui 2.3 (1.0 – 3.5) kg ha⁻¹. Ammoniumtyypen huuhtoutuminen oli vain murto-osa nitraatin huuhtoutumisesta. Lannoituksen lisääminen kaksinkertaiseksi ei vaikuttanut nitraattityypen huuhtoutumiseen ohramaasta. Sen sijaan nurmesta tyypeä huuhtoutui enemmän ja salaojavesien nitraattipitoisuudet olivat suuremmat korkeammalla typpilannoitustasolla.

Fosforia huuhtoutui Turtolan ja Jaakkolan (1985) kokeissa ohramaasta 1.2 (0.5 – 1.6) kg ha⁻¹ vuodessa. Tästä salaojavesien kautta huuhtoutunut osuus oli 0.4 (0.2 – 0.6) kg ha⁻¹. Nurmesta huuhtoutui fosforia keskimäärin 1.6 (0.4 – 2.6) kg ha⁻¹ ja tästä kulkeutui salaojavesien mukana 0.3 (0.1 – 0.6) kg ha⁻¹. Ohramaasta huuhtoutuneesta kokonaisfosforista kolmasosa ja nurmesta huuhtoutuneesta liki kaksi kolmasosaa oli liukoisessa muodossa. Liukoisen fosforin osuus kokonaisfosforista oli suurin nurmelta tulleissa pintavesissä. Fosforinlannoituksen lisääminen ei vaikuttanut fosforin huuhtoutumiseen salaojavesien mukana.

6.2 Maatalousalueiden valumien laskenta

6.2.1 Yksittäisen peltokuvion vesimäärien ennustaminen

Salaojitetun pellon vesitase ratkaistaan kuvan 8 mukaisessa profiilissa analogisella tavalla turvetuotantosuon vesitaseen kanssa. Suurin ero laskentateknisesti on kasvuston vaikutus sekä pellon vesi- että ravinnetaseeseen. Kasvuston ottamien ravinteiden vaikutuksen kompensoi kuitenkin pellolle lannoitteena annettavat ravinteet. Turvetuotantosuolla infiltraatio on yleensä pienempi kuin salaojitetulla pellolla, eli pintavalunnan osuus on pellolla pienempi kuin toiminnassa olevalla turvetuotantosuon saralla.



Kuva 8. Salaojitetun peltoprofiilin vesitaseen komponentit.

Avo-ojitetun pellon vesitase lasketaan vastaavalla tavalla kuin salaojitetulla pellolla. Matemaattisesti suurin ero on se, että pintavalunnan keskimääräinen matka peltosarjalta ojaverkostoon on avo-ojituksessa keskimäärin paljon lyhyempi kuin salaojituksessa. Sen lisäksi avo-ojien mataluus salaojien syvyyteen verrattuna aiheuttaa yleensä suhteessa enemmän pintavaluntaa.

6.2.2 Maatalousalueilta tulevien kokonaisvesimäärien ennustaminen

Maatalousalueilta purkautuvien vesimäärien laskenta tapahtuu siten, että malli laskee valuman (mm d^{-1}) useilta ns. tyyppiprofiileilta ja summaa koko osa-alueen virtaamat painottamalla kutakin tyyppiä pinta-alan suhteessa. Tyyppiprofiilit edustavat eri ojitustyypppejä, eri maalajeja ja tarvittaessa myös viljakasveja.

6.3 Maatalousalueiden kuormitusten ennustaminen

Ennustemalli laskee maatalousalueilta purkautuvien vesien kiintoainekuormituksen, sekä kokonaisfosforin, kokonaistypen ja liukoisen typen (ammonium ja nitraatti) pitoisuudet. Luvussa 5.2 esitetty vesitasemalli laskee pintavalunnan ja ojien kautta purkautuvien vesien määrän lisäksi myös sen, miten vesi liikkuu tarkasteltavassa maaprofiilissa (alaspäin tai ylöspäin). Veden liike maaprofiilissa vaikuttaa siihen, kuinka paljon kunakin päivänä ravinteita liikkuu maaprofiilissa esimerkiksi salaojia kohti. Laskennan lähtötietoina tarvitaan arvio alkuhetken ravinnepitoisuudesta profiilissa (nitraatti ja ammonium), sekä maan pintakerroksen ravinnanalyysi lähinnä fosforin huuhtoumien arvioimiseksi. Keskimääräinen lannoitustaso on myös annettava lähtötietona.

Kiintoaineshuhtoumien arviointi tehdään samalla tavalla kuin turvetuotantosuo-yhteydessä (kts. luku 5.3).

7 SUO- JA METSÄALUEILTA TULEVIEN VESIMÄÄRIEN JA KUORMITUSTEN ENNUSTAMINEN

7.1 Yleistä

Tässä luvussa esitellään ns. luonnontilaisilta soilta, metsitetyiltä soilta (metsätalouskäyttöön ojitetut suot), sekä ojittamattomilta metsäalueilta tulevien vesimäärien ja kuormitusten ennustemenetelmät. Lisäksi esitellään ko. maankäyttötyyppien eri lähdeviitteistä saatuja ominaiskuormituslukuja.

7.1.1 Metsäojituksen hydrologiset vaikutukset

Suomessa arvioidaan olevan soita ja suometsiä n. 11 milj. ha. Tästä alasta noin 7 milj. ha katsotaan ojituskelpoisiksi. Vuoden 1984 loppuun mennessä oli ojitettu vajaa 6 milj. ha. Vuosittainen uudistusojitusala on ollut viime vuosina n. 50 000 ha luokkaa oltuaan 1960-luvun lopussa lähes 300 000 ha. Metsä 2000 ohjelman mukaan tultaisiin vuoteen 2000 mennessä uudisojitusta tekemään yhteensä 550 000 ha, josta 175 000 ha sijaitsee maan pohjoispuoliskossa (Seuna 1986).

Vähenevän uudisojituksen sijalle on tulossa vanhojen ojitusten kunnostaminen – ojien perkaus ja täydennysojitukset. Metsä 2000-ohjelman tavoite on tältä osin 120 000 ha a⁻¹, josta valtaosa on perkausojituksia (Keltikangas 1985). Ojituksen kokonaismäärä tulee siten lievästi kasvamaan lähivuosina, joskin suunnitellut ojituksen kokonaismäärät jäävät selvästi 1960- ja 1970-lukujen ojitusmääriä pienemmiksi.

Metsäojituksen kunnostuksella, perkauksella ja täydennysojituksella on hydrologiselta kannalta todennäköisesti lievä uudisojituksen suuntainen vaikutus. Sen sijaan veden laatuun, mm. kiintoaineen kulkeumaan ja ravinteiden huutoutumiseen kunnostusojituksella todennäköisesti on voimakkaampi vaikutus, vaikka tutkimustuloksia ei juuri olekaan käytettävissä (Seuna 1986).

Luonnontilaiset metsäiset suot eivät poikkea vesitaloudellisessa mielessä merkittävästi tavanomaisista metsää kasvavista valuma-alueista. Sen sijaan vetiset avosuot toimivat kuten muukin tulva-alue tai järvi, ts. huippujen tasausaltaina. Tällaisen tulva-altaan poistaminen ojituksella suurentaa yleensä alapuolista tulvahuippua.

Ojitus vaikuttaa suon hydrologiaan lähinnä kahta kautta:

- 1) pohjaveden pintaa alentamalla
- 2) valuntaa nopeuttamalla.

Pohjaveden pinnan aleneminen merkitsee

- suohon varastoituneen veden vähenemistä ja sen seurauksena turpeessa olevan varastotilan lisääntymistä
- suon pinnasta tapahtuvan haihdunnan (evaporaation) pienenemistä
- kasvien aiheuttaman haihdunnan (transpiraation) muuttumista.
- suon lämpöominaisuuksien muuttumista

Pohjaveden etääntyessä maan tai suon pinnasta pinnan haihdunta voimakkaasti vähenee (esim. Virta 1966). Vesivaraston väheneminen ja evaporaation pieneminen ovat molemman välittömästi valuntaa suurentavia tekijöitä. Suon vesivaraston tyhjentymisellä on merkitystä erityisesti parina ensimmäisenä vuonna ojituksen jälkeen. Evaporaation vähenemisen aiheuttama valunnan lisäys on luonteeltaan pysyvämpi. Transpiraation muutosta voidaan aluksi pitää useimmiten valuntaa lisäävänä entisen suokasvillisuuden osittain tuhoutuessa. Myöhemmin kasvillisuuden sopeuduttua uusiin kasvuoloihin ja erityisesti puuston elpymässä haihdunta kasvaa.

Suhteellisen kostealla suolla tavanomaista ojitusmenettelyä käyttäen tehty ojitus lisää yleensä vuosivaluntaa (Kaitera 1955, Mustonen ja Seuna 1971, Seuna 1981, 1982, 1985). Jos ojitusalueella poistetaan merkittävästi suon vesivarastoa saattaa ojituksen aiheuttama vuosivalunnan lisäys vielä 10 ensimmäisen vuoden keskiarvonakin olla lähes 1 % ojitusalun prosenttia kohden, Kaakkois-Suomessa sijaitsevalla Huhtisuolla 0,8 % (Seuna 1981). Kokonaisuudessaan vuosivalunta on tässä tapauksessa lisääntynyt 33 %, kun valuma-alueen nevat - 40 % koko alasta - on ojitettu noin 50 m sarkoihin.

Hieman puustoisemmalla suolla on ojituksen aiheuttama vuosivalunnan kasvu pienempi. Eri tutkimuksien perusteella voidaan tällöin ojituksen aiheuttamaksi tyypilliseksi vuosivalunnan kasvuksi Suomen oloissa arvioida 0,3...0,6 % ojitusprosenttia kohden alkuvuosina. Ranuan Ylijoella vuosivalunta kasvoi 10 %, kun 17 % valuma-alueesta ojitettiin ja Nurmeksen Koivupuruolla 14 %, kun 26 % alasta ojitettiin ja 5 % hakattiin. Luvut ovat 3 ensimmäisen vuoden keskiarvoja ojituksen jälkeen (Seuna 1982, 1985). Käytettäessä ojitusta, jossa vesiä ei johdeta suoraan puroon, vaan ojan ja puron väliin jätetään kaivamaton kannas, ei ojitus alustavien havaintojen mukaan lisää vuosivaluntaa lainkaan (Seuna 1985).

Kevätylivaluma on Suomessa tehdyissä tutkimuksissa lisääntynyt Huhtisuon nevasoiden ojituksen vaikutuksesta 9 ensimmäisen vuoden aikana keskimäärin 31 %, ja Nurmeksen Koivupuron ojituksen (26 % valuma-alueesta + 5 % hakkuuta) vaikutuksesta 11 % 3 ensimmäisen vuoden keskiarvona. Kevätylivaluma on vähentynyt Ranuan Ylijoen ojituksen vaikutuksesta 10 % 2 ensimmäisen vuoden keskiarvona (Seuna 1982, 1985). Sekä Koivupuro että Ylijoki ovat pääasiassa puustoisia soita, ja kaikilla em. valuma-alueilla ojitus ulottuu ainakin osaksi turpeen alla olevaan kivennäismaahan.

Ojitusalueen sijainnilla on ilmeinen vaikutus ylivalumaan yleensäkin, mutta erityisesti kesäylivalumaan (Mustonen ja Seuna 1971). Ojitusalueen sijaitessa valuma-alueen latvoilla terävöityy koko alueen tulvahuippu valunnan yläjuoksulta nopeutuessa. Vastaavasti alajuoksulla toteutettavat ojitukset saattavat pienentää valuntahuippua (Seuna 1986).

7.1.2 Metsäojituksen vaikutus veden laatuun

Tyypillisiä piirteitä luonnontilaiselta suolta purkautuvalle vedelle Suomessa ovat mm. melko runsas liuenneiden orgaanisten aineiden määrä, matala pH ja pienet ravinnepitoisuudet. Suon luonne vaikuttaa kuitenkin voimakkaasti näihin ominaisuuksiin ja esim. minerogeeniselta suolta purkautuva vesi saattaa olla happamuudeltaan lähes neutraalia (Seuna 1986).

Suspendoituneen kiintoaineen pitoisuus luonnontilaiselta metsää ja suota käsittävältä valuma-alueelta on yleensä pieni (tyypillisesti 1...5 mg/l) ja vain vähän tai ei lainkaan riippuvainen valunnan suuruudesta (mm. Seuna 1982, Ahtiainen ja Kenttämies 1985). Lisäksi suoalueiden yleensä pieni kaltevuus on eroosiota vähentävä tekijä.

Maaperää suojaavan pinnan rikkominen ojituksella antaa edellytykset eroosiolle ja kiintoaineen kulkeutumiselle. Tutkimusten mukaan ojitus lisääkin kiintoaineen kulkeutumista, eräissä tapauksissa hyvinkin voimakkaasti ja tekee samalla pitoisuuden (SS) vahvasti valunnasta (q) riippuvaksi, yleensä eksponentiaalisesti ($SS = aq^b$). Niinpä esim. Ranuan Ylijoella on suspendoituneen kiintoaineen kulkeutuminen kasvanut kahtena ensimmäisenä ojituksen jälkeisenä vuonna keskimäärin $8.3 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ eli noin 5-kertaiseksi (Seuna 1982). Kevätvalunnan aikana on ojituksen jälkeen tullut 91 % vuotuisesta kulkeumasta, kun vastaava osuus ennen ojitusta on ollut 65 %. Yksittäiseltä ojitusalueelta saattaa kevätvalunnan aikana Suomenkin oloissa kulkeutua yli 200 t km^{-2} jolloin kiintoaineen pitoisuus voi ylittää 2000 mg l^{-1} . Tällöin pitoisuudessa saattaa esiintyä 2 erillistä huippua - ensimmäinen kevättulvan nousuvaiheessa ja toinen roudan sulamisen yhteydessä (Seuna 1982a).

Nurmes-tutkimuksen yhteydessä ovat kiintoainekulkeuman lisäykset olleet $3 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ luokkaa. Kaivamattomien suojakannasten käyttö ei ole selvästi vähentänyt kiintoaineen pääsyä vesistöön, vaan niiden yhteydessä on esiintynyt poikkeuksellisesti jopa $16 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ kiintoainekulkeumia lähinnä uomaeroosiosta johtuen (Ahtiainen ja Kenttämies 1985). Kiintoaineen kulkeuman yhteydessä on korostettava ääritapausten merkitystä. Yksikin poikkeuksellisen raju tulva saattaa vaikuttaa ratkaisevasti koko vuotuiseen kulkeumaan Suomenkin oloissa.

Metsäojituksella on ravinteiden huuhtoutumisessa merkitystä lähinnä **fosforin** osalta. Luonnontilaisen suon valumaveden fosforipitoisuus on yleensä pieni, luokkaa $20 \mu\text{g l}^{-1}$ (Kenttämies 1981, Sallantaus 1983). Useiden tutkimusten mukaan metsäojitus lisää kokonaisfosforin huuhtoutumista. Kenttämies (1977) totesi 2 ensimmäisenä ojituksen jälkeisenä vuotena fosforin keskipitoisuudeksi $58 \mu\text{g/l}$ eli yli kaksinkertaisen ojitusta edeltäneeseen tasoon verrattuna. Tällöin 25 % valuma-alueesta oli ojitettu. Myös Nurmestutkimuksen alueilla ovat kokonaisfosforin pitoisuudet kasvaneet ojituksen (ojituksen osuus 13...26 % alasta) vaikutuksesta 2...3 kertaiseksi eli $10...14 \text{ kg km}^{-2} \text{ a}^{-1}$:aan (Ahtiainen ja Kenttämies 1985). Suurimmat fosforipitoisuudet ovat tällöin ylittäneet $300 \mu\text{g/l}$. Suuret fosforipitoisuudet ojituksen yhteydessä liittyvät useimmiten kiintoaineen kulkeumaan ja pelkkä ojitus – ellei siihen liity eroosiota eikä lannoitusta – ei todennäköisesti merkittävästi lisääkään fosforin huutoutumista (Seuna 1986).

Typen osalta metsäojituksen aiheuttamat muutokset jäävät pienemmiksi kuin fosforille.

7.1.3 Hakkuun vaikutus hydrologiaan ja veden laatuun

Valuma-alueen puustolla on voimakkaasti haihduntaa lisäävä vaikutus sekä transpiraation että interseption kautta. Puuston vähentäminen tai poistaminen lisää tällöin lähes poikkeuksetta kokonaisvaluntaa, mikä on todettu lukuisissa tutkimuksissa (Mustonen 1965, Heikurainen 1967, Mustonen ja Seuna 1971, Päivänen 1974, Seuna 1985). Vuosivalunnan kasvuun voi pieneltä osin vaikuttaa myös lumen kertymisen muuttuminen, vaikka tästä ei olekaan mittaustuloksia valuma-alueen mitassa (Seuna 1986).

Ainoan Suomessa valuma-alueen mitassa tehdyn vertailualue-tutkimuksen mukaan (ns. Nurmestutkimus) avohakkuu lisäsi vuosivaluntaa 65–78 mm, kun valuma-alueelta poistettiin puustoa 100 m^3 hehtaaria kohden. Luku edustaa hakkuun jälkeisen kahden ensimmäisen vuoden tuloksia kahdella valuma-alueella. Avohakatun alan osuus on molemmilla alueilla ollut lähes sama, runsaat 55% valuma-alueesta ja samoin valuman suhteellinen lisäys – 17% – mutta puuston kuutiomäärää kohden kivennäismaalta poistettu puusto on aiheuttanut hieman pienemmän vuosivalunnan lisäyksen kuin osittain myös suoalueita käsittävältä alueelta (Seuna 1986).

Tutkimusten mukaan hakkuu lisää **fosforin** huuhtoutumista erityisesti turvemaalta (Ahtiainen ja Kenttämies 1985). Kokonaisfosforin huuhtouma on avohakkuun seurauksena (55% alasta) kasvanut $50 - 70 \text{ kg km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ eli 4 – 5 kertaiseksi. Fosforista yli puolet on ollut fosfaattimuodossa. Fosforin lisäys on samaa suuruusluokkaa kuin ulkomailla tehdyissä tutkimuksissa, joissa hakkuu lisäsi fosforin huuhtoutumaa ombrogeeniselta suolta $50 \text{ kg km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ja minerogeeniselta suolta $150 \text{ kg km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ (Knighton ja Stiegler 1980).

Kivennäismaalta aiheuttaa hakkuu todennäköisesti pienemmän fosforilisäyksen kuin suolta, esim. Nurmeksen tutkimusalueella vain n. 30 % (Ahtiainen ja Kenttämies 1985). Fosfaattifosforin määrä ei ole tällöin kasvanut. Eräissä tutkimuksissa on tosin todettu myös kivennäismailla tehtyjen hakkuiden lisänneen fosforin huuhtoutumaa merkittävästi, $10 - 15 \text{ kg km}^{-2} \text{ a}^{-1}$. Merkittävimmin on tällöin lisääntynyt fosforin huuhtoutuma alueilta, joilla on ollut vanhaa metsäojitusta. Myös Nurmeksen tulokset viittaavat siihen, että maaperään syntyvällä ura- tai ojaverkolla on fosforin huuhtoutumista edistävä vaikutus (Seuna 1986).

7.2 Ojittamattomien metsäalueiden virtaamien ja ravinnekuormitusten laskenta

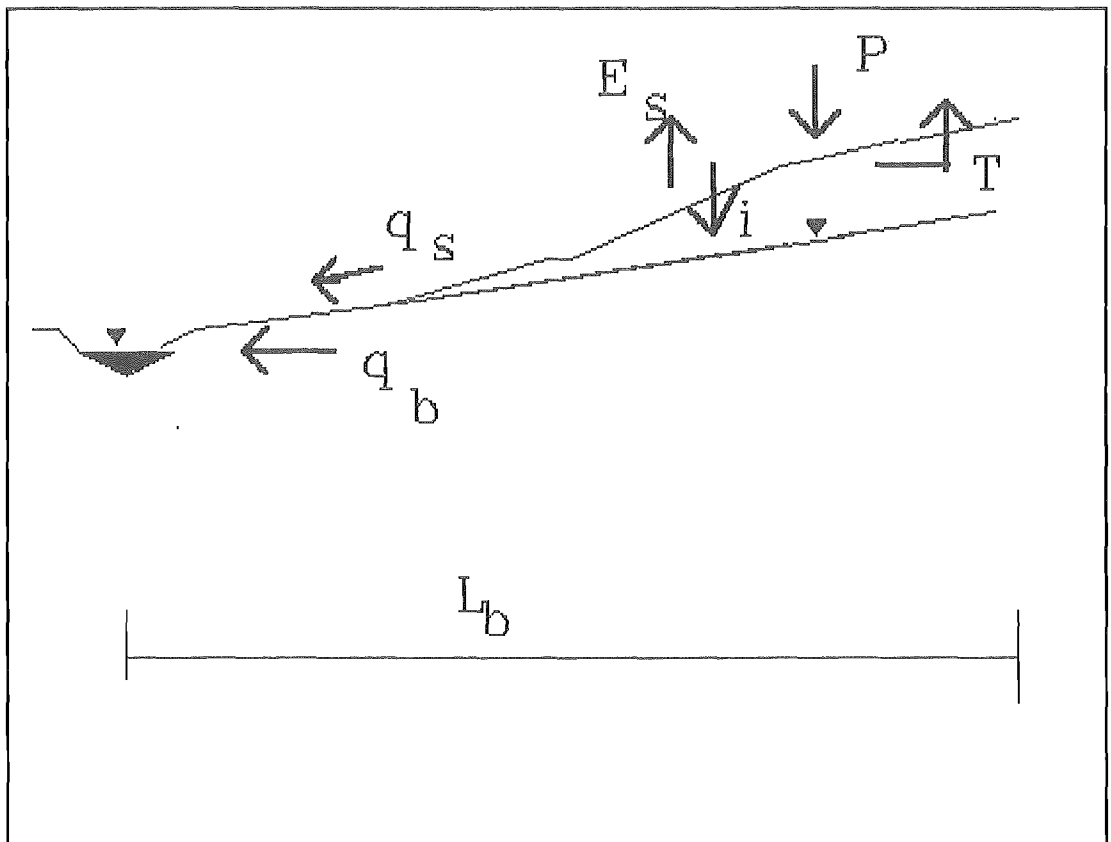
7.2.1 Ojittamattoman metsäprofiilin vesitase

Kunkin osa-alueen sisällä on puumainen uomaverkosto, joka hajaantuu pienempiin ja pienempiin puroihin ja ojiin. Luonnontilaiselta metsäalueelta purkautuvien vesimäärien ennustaminen voidaan viime kädessä pelkistää kuvan 6-1 mukaisen kaltevan profiilin vesitaseen laskentaan. Sadanta P aiheuttaa rinteen yläosassa suotautumista I , joka nostaa pohjavedenpintaa koko profiilissa. Rinteen alaosiin muodostuu tulva-aikoina täysin vedellä kyllästynyt vyöhyke, jossa esiintyy pintavaluntaa q_s . Kyllästyneen vyöhykkeen ala riippuu rinteen kaltevuudesta ja pituudesta L_b , sadannan ja sulannan summasta, maan vaakasuuntaisesta vedenläpäisevyydestä ja uoman koosta. Uomiin virtaama vaakasuuntainen vesimäärä q_b lasketaan pohjavedenpinnan kaltevuuden, vedenläpäisevyyden ja virtauksen tehoisan syvyyden avulla. Kokonaishaihdunta saadaan maanpinnan evaporaation ja kasvuston transpiraation summana. Puuston kuutiomäärä vaikuttaa oleellisesti transpiraatioon. Mallilla on siis mahdollista arvioida likimääräisesti myös suurten metsähakkuiden vaikutus kokonaisvesimääriin.

Metsäprofiilin vesitaseen laskenta tapahtuu lähes vastaavalla tavalla kuin esim. Beven (1985) on esittänyt. Bevenin esittämä tarkastelu on täysin 2-dimensionaalinen, mutta tässä tutkimuksessa on päädytty ns. näennäisesti 2-D tarkasteluun, jolloin veden liike vaakasuunnassa lasketaan yksidimensionaalisenä ja pystysuunnan (infiltraatio) mallit linkitetään vaakasuunnan malleihin recharge-termiin kautta.

7.2.2 Metsäalueiden kokonaisvirtaaman laskeminen

Kuvan 9 tapaisia ns. "tyyppiprofiileja" lasketaan useampia. Koko osa-alueen kokonaisvirtaama saadaan painottamalla kutakin tyyppiprofiilia sen edustamalla pinta-alalla. Tyyppiprofiilit voivat edustaa eri maalajityyppejä, maaston keskikaltevuutta tai puuston kuutiomäärää.



Kuva 9. Kaltevan metsäprofiilin vesitaseen komponentit.

7.2.3 Ojittamattomien metsäalueiden ravinnekuormitus

Kokonaisvaluma koostuu kahdesta komponentista, pintavalunnasta ja ns. pohjavalunnasta. Pintavalunta huuhtoo mukaansa ravinteita maan ylimmästä kerroksesta, jonka ravinnepitoisuus poikkeaa pohjamaan ravinteisuudesta. Molemmille kuormituslähteille etsitään kirjallisuudesta tyyppi-arvoja, joita painotetaan valuntakomponenttien suhteessa. Ojittamattomalle metsäalueelle ennustemallit ovat tyyppiltään regressiomalleja, joilla arvioidaan purkautuvan veden ravinnepitoisuus ja kokonaiskuormitus saadaan kertomalla valunta pitoisuudella.

7.3 Ojitettujen metsäalueiden vesimäärien ja ravinnekuormituksen laskenta

7.3.1 Vesimäärien laskenta

Ojitettujen metsäalueiden vesimäärät lasketaan vastaavalla tavalla kuin avo-ojitetulla pellolla. Suurimmat erot peltoalueisiin verrattuna ovat transpiraation suurempi ja pintavalunnan pienempi osuus kokonaisvesitaseesta. Tyyppi-profiilit edustavat tässä tapauksessa eri maalajityyppejä tai puuston kuutiomäärää.

7.3.2 Ravinnekuormitusten laskenta

Ojitettujen metsäalueiden kuormitusten arviointi noudattaa soveltuvin osin samaa periaatetta kuin peltoalueilla käytetty menetelmä. Metsäalueiden luontainen ravinnepitoisuus laskennan alussa on arvioitava maalajityypin, puuston määrän ym. perusteella.

7.4 Ojittamattomilta avosoilta tulevat vesimäärät ja ravinnekuormitukset

7.4.1 Yksittäisen suoalueen vesimäärien ennustaminen

Luonnontilaisilla soilla ei ole vastaavaa ojaverkostoa kuin turvesuolla, joten purkautuviin vesimääriin vaikuttavat ensi sijassa suon tyyppi, suon kaltevuus ja suoalueiden keskimääräinen koko. Purkautuminen suoalueelta tapahtuu pintavaluntana siten, että purkautumiseen vaikuttavat pinnan kaltevuuden ja suon koon lisäksi:

- vapaan vedenpinnan korkeus suhteessa suon kynnyskorkeuteen
- lumipeitteen vesiarvo
- kasvillisuus

Vesitaseen matemaattinen käsittely

Tämän luvun tavoitteena on muodostaa matemaattinen malli, jolla analysoidaan suon vesitasetta. Tavoitteena on muodostaa laskentamallin perusrunko mahdollisimman yksinkertaiseksi kuitenkin niin, että se sisältää oleelliset osat suoalueelta tapahtuvan purkautumisen eri komponenteista. Muodostettavan mallin osamallit ovat sinänsä käyttökelpoisia millä suoalueella tahansa.

Suon vesitaseen matemaattisen mallin muodostaminen

Kokonaismallin kannalta oleellisin osamalli suolle kertyvien sulantavesien purkautumista mallittava osa. Suota ei voida tarkastella mallissa yhtenä suurena järvenä (suuret kaltevuuserot suon eri osien välillä) mutta toisaalta suo ei toimi hydraulisesti myöskään normaalin tulva-alueen tapaan, koska suolla olevat jänteet estävät vapaan pintavesien virtailun suon alueella. Suoalueen voi ajatella siis koostuvan useasta itsenäisestä alueesta, joissa vedenpinnan voidaan olettaa olevan lähes vaakasuorassa. Toinen oleellinen piirre luonnontilaisille suoalueille on se, että lumen sulaminen

tapahtuu melko nopeasti ja syntyvä tulvajärvi purkautuu vasta sen jälkeen, kun lähes kaikki lumi on sulanut. Tulvajärvien purkautuminen on niin nopeaa, että esim. Pomoaavalla mitattiin keväällä 1987 koko alueelta suurempi hetkellinen menovirtaama kuin mitä oli maksimissaan sulantasumma ko. valuma-alueella (Nisula 1989).

Tulvahuipun jälkeen suoalueen vedenpinta laskee hyvin nopeasti ja suon purkautumisolosuhteet ovat kesäaikana oleellisesti erilaiset kuin kevätsulannan yhteydessä. Suolla olevien osa-alueiden purkautumisessa voidaan erottaa kolme erillistä vaihetta:

- tulvajärvien purkautumista edeltävä vaihe
- tulvajärvien purkautumisvaihe
- kesä- ja syysajan purkautumisvaihe

Mallin muodostamisen kannalta on tarpeen olettaa, että osa-alueille ei kerry merkittävässä määrin sulamis- tai sadevesiä ympäröiviltä alueilta, mikä lienee myös realistinen oletus. Infiltraatiota ei suoalueilla ole – ainoastaan pohjavedenpinnan korkeus vaihtelee. Kun käytettävissä on sadanta ja lasketut tiedot lumen vesiaron kehityksestä kevätaikana, voidaan yksittäisen suoalueen vesitase laskea kaavalla:

$$dW_S/dt = M_S - Q_S - f_{w,s} \cdot E_S \quad (18)$$

$$Q_S = k_S(W_S - W_{K,S})^\beta \quad (19)$$

missä W_S on suoalueen vedenpinnan korkeus, M_S on sulannan ja vetenä tulevan sadannan määrä, Q_S on suoalueelta purkautuvan veden määrä, k_S purkautumiskerroin, sekä $W_{K,S}$ kynnyskorkeus, eli purkautumista voi tapahtua vain, kun vedenpinta on korkeammalla kuin kynnysarvo, β on purkautumisen epälineaarisuuden huomioon otettava parametri, E_S on potentiaalinen haihdunta suon pinnasta ja $f_{w,s}$ on todellisen ja potentiaalisen haihdunnan suhde, joka on suon pinnankorkeuden funktio.

Suoalueen vedenpinta tulisi periaatteessa mitata todellisena korkeuslukuna, mutta käytännössä näitä mittauksia ei ole käytettävissä, eikä niitä jatkossakaan ole mahdollista kaikilta suoalueilta mitata. Toistaiseksi kirjallisuudessa on esitetty yksi vastaavantyylinen luonnontilaisen suoalueen matemaattinen kuvaus (Nisula, 1989). Kaavan (18) parametreille saadaan alustavat arviot Nisulan tekemien mittausten perusteella.

7.4.2 Avosuoalueiden kokonaisvesimäärän ennustaminen

Kaikilta suoalueilta purkautuvat vesimäärät lasketaan vastaavalla tavalla kuin metsä- ja peltoalueillekin, eli pinta-alalla painotettuna.

7.4.3 Avosuoalueiden kuormitusten ennustaminen

Kuormitukset lasketaan antamalla kullekin vedenlaatumuuttujalle valumaan sidotut ominaispitoisuudet. Jos suoalueet on jaettu useaan eri tyyppiin, niin jokaiselle voidaan antaa omat pitoisuusarvot. Kokonaiskuormitus on valuman ja pitoisuuden tulo.

7.5 Valuma- ja huuhtoumamallin kehitystarpeet

Perinteinen hydrologinen mallintaminen on perustunut asioiden keskiarvoistamiseen, jolloin ei ole ollut mahdollista huomioida alueellista vaihtelua valumien ja kuormitusten laskennassa.

Tässä työssä on laadittu ns. näennäisesti hajautettu malli, jossa valuma-alueelta on satelliittikuvien tulkinnan avulla etsitty hydrologisesti homogeenisesti käyttäytyviä alueita.

Pääpaino tämän raportin malleissa on ollut hydrologisen osan kehittämisessä ja kuormituksen laskenta on väistämättä jäänyt vähemmälle huomiolle. Mallien dokumentoinnin voi myös katsoa olevan liian ylimalkaisella tasolla, mutta ongelmakentän laajuus ei ole mahdollistanut nykyistä tarkempaa tyyppi-profiilien kuvausta. Samasta syystä tyyppi-profiilien laskennassa tarvittavien parametrien listausta ei ole voitu sisällyttää tähän julkaisuun. Tämän julkaisun pääpaino on kokonaisuuden hahmottamisessa ja useissa tapauksissa valitettavasti yksityiskohtien kustannuksella.

Tyyppi-profiilien matemaattinen tarkastelu "elää" koko ajan ja jatkossa on tarkoitus julkaista tarkempi kuvaus ja testaus kustakin tyyppi-profiilista erikseen, jolloin tässä työssä vähemmälle jäänyt eksakti tieteellisyys tulee korjatuksi.

Turvetuotannon osalta vedenlaadun tarkempi ja ehkä yksinkertaisempi mallittaminen on tarkoitus tehdä lähinnä Piipsannevalta kerättävän yksityiskohtaisen virtaama- ja vedenlaatuaineiston avulla. Ammoniumin ja liukoisen fosforin osamallit vaativat jatkokehittelyä.

Suoalueiden osalta ongelmallisinta on se, että ympäröivien metsäalueiden vedet kulkevat suoalueen läpi. Nykyisin saatavissa olevalla aineistolla ei ollut kuitenkaan mahdollista erotella suoaluetta ympäröivien alueiden laajuutta, joten profiilin oikeaoppinen mallintaminen ei ollut mahdollista.

Metsäalueiden tyyppi-profiilin testaus erityyppisillä pienillä valuma-alueilla on tarpeen. Erityisenä mielenkiinnon kohteena ovat toisaalta kaltevuuden ja rinteiden pitoisuuden vaikutus ja toisaalta akviferityyppisten metsäprofiilien mallintaminen.

8 AVOUOMAN VIRTASTEN JA VEDEN LAADUN LASKENTA

8.1 Vedenlaatua ja virtausta kuvaavat perusyhtälöt

Vesistöön joutunut aine kulkeutuu virtausten mukana, sekoittuu pyörteiden vaikutuksesta, vajoaa pohjalle, irtautuu jälleen sieltä, hajoaa jne. Aineen käyttäytymistä joessa tai jokimaisessa vesistössä voidaan kuvata kaavalla

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -u \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial c}{\partial x} \right) + L(c) + S, \quad (20)$$

jossa c on pitoisuus, t aika, x paikka, u nopeus, D pituussuuntainen sekoittumiskerroin, $L(c)$ aineen fysikaaliset, kemialliset ja biologiset prosessit (esim. vajoaminen, hajoaminen ja ilmastuminen) ja S kuormitus.

Virtausnopeus saadaan liike- ja jatkuvuusyhtälöstä

$$\frac{\partial U}{\partial t} = -g \frac{\partial z}{\partial x} - \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial x} (U^2) + \frac{\tau_s}{H\rho} - r \quad (21)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} = - \frac{\partial Q}{\partial x} + q$$

(22)

jossa U on keskimääräinen nopeus yli poikkileikkauksen, g maan vetovoiman kiihtyvyys, z pinnankorkeus, H poikkileikkauksen keskisyvyys, ρ veden tiheys, τ_s tuulen

pohjakitkan avulla saadaan r :n arvoksi

$$r = C_b \frac{U|U|}{H^k}, \quad (23)$$

jossa C_b on pohjakitkakerroin ja k vaihtelee yleensä 0:n ja 2:n välillä (Virtanen, 1977). Myös U :n itseisarvolle voidaan antaa 1:stä poikkeava potenssi. Kun häviötermi annetaan energiaviivan kaltevuuden kautta käytetään yhtälöistä (2) ja (3) nimitystä Saint Venantin yhtälöt. Energiaviivan kaltevuus annetaan yleisesti Manningin kaavan avulla, jolloin häviötermi on

$$r = gn^2 \frac{U|U|}{R^{4/3}}, \quad (24)$$

jossa n on ns. Manningin karkeuskerroin ja R hydraulinen säde = A/P , missä P on märkäpiiri eli poikkileikkauspinnan veden kanssa kosketuksissa olevien reunojen pituus. Kaavat 23 ja 24 eivät oleellisesti poikkea toisistaan muuten kuin poikkileikkauksen geometrian huomioonotossa. Kun joen leveys on huomattavasti suurempi kuin sen syvyys, niin $R \approx H$ ja kaavat 23 ja 24 ovat ekvivalenteja, mikäli $k = 4/3$. Käytännössä joudutaan pohjakitkakerroin ja Manningin kerroin kalibroimaan mittaus-tulosten pohjalta, koska niiden määrittämiseen ei ole olemassa riittävän yleisiä sääntöjä ja koska niiden kautta otetaan huomioon muitakin kuin suoraan pohjan ja rantojen kitkan kautta tapahtuvia energiahäviöitä.

Yleensä vesimassa oletetaan joessa sekoittuneeksi sekä syvyys- että jokea vastaan poikittaissuunnassa. Tällöin päädytään edellä oleviin 1-dimensioisiin yhtälöihin. Jos vesistöalueeseen kuuluu suuria altaita, saattaa olla perusteltua käyttää 2- tai 3-dimensioisia yhtälöitä.

8.2 Mallin rakenne

Yksinkertaisimmillaan vedenlaadusta saadaan arvio summaamalla tietyn jokipisteen yläpuolisen vesistöalueen kuormitukset ja virtaamat ja tarkastelemalla niiden osamäärää. Paperilla tapahtuva summaaminen on kuitenkin hankalaa muuttuvissa olosuhteissa, joissa on useita tarkastelu-, kuormitus- ja valumapisteitä. Lisäksi tällainen tarkastelu ei ota huomioon viipyymiä ja jokialueella tapahtuvia prosesseja. Käytännöllisin tapa on tällöin soveltaa vesistöalueelle jotain virtaus- ja vedenlaatumallia.

Mallin rakennetta mietittäessä on otettava huomioon kuvattava ilmiö, lähtötietojen tarkkuus, haluttu laskennan tarkkuus, laskennan raskaus ja käytettävissä oleva laskentakapasiteetti. Mallin käyttö tulisi olla suhteellisen helppoa ja laskennan vaatiman tietokoneajan kohtuullista, jos mallia käytetään paljon ja rutiiniluonteisesti. Muutoin mallin hyödyntäminen jää yleensä vähäiseksi.

Ijoen mallitutkimuksen lähtökohdat ovat käytännön tarpeissa. Tutkimuksen päämielenkiinto on maankäyttömuotojen vesistövaikutusten selvittämisessä. Tiedot muiden kuin Ijoen pääuoman geometriasta ovat puutteellisia. Valumat, huuhtuomat ja pistekuormitukset ovat jossain määrin epätarkkoja. Pienien osa-alueiden vedenlaadun tarkka laskenta tai äkillisten virtaamamuutosten aiheuttamien aaltojen etenemisen kuvaaminen eivät ole tutkimuksen keskeisiä tavoitteita. Mallilla ajetaan vähintään 21 muuttujaa 6 vuoden jaksoissa useilla eri suunnitteluvaihtoehtoilla. Sen lisäksi mallin testaus ja kalibrointi vaativat huomattavaa määrää laskentaa.

Edellä esitettyjen syiden johdosta mallissa on päädytty yksinkertaistettuun hydrauliiikkaan. Virtaamat muuttuvat mallissa suhteessa jokeen tuleviin valumiin. Toisistaan riippumattomia valuma-alueita voidaan määrittellä käytännössä useita kymmeniä.

Edellä esitettyjen syiden johdosta mallissa on päädytty yksinkertaistettuun hydraulii-kaan. Virtaamat muuttuvat mallissa suhteessa jokeen tuleviin valumiin. Toisistaan riippumattomia valuma-alueita voidaan määrittellä käytännössä useita kymmeniä. Virtaaman muuttuessa ei lasketa transiitotilannetta, vaan virtaukset asetetaan suoraan vakiintuneeseen tilanteeseen. Transiitotilanteen huomioonottavan jokimallin liittämisen järjestelmään on myös mahdollista, kun jokimallin syöttö- ja tulostus yhdenmu-kaistetaan järjestelmän kanssa. Hydrauliiikan tarkentamisesta saavutettava hyöty on kuitenkin edellä kuvatuista syistä epävarmaa, varsinkin kun vertailu nykyisen mallin ja mittaustulosten välillä osoittaa hydrauliiikan kuvauskyvyn varsin hyväksi.

Vaikka luonnossa jonkin aineen pitoisuudesta ei tietenkään voida mitata eri lähteistä peräisin olevia osuuksia, on tämä malliteknisesti kuitenkin mahdollista. Eri maan-käyttömuodoilta tulevat kuormitukset lasketaan erillisinä vedenlaatumallissa. Näin esim. kokonaisfosforin laskenta jaetaan mallissa seitsemään osaan: metsästä, pelloilta, luonnon- ja turvesoilta, karjataloudesta, taajamista ja kalankasvatuksesta peräisin olevat osuudet. Osuuksia lasketaan erikseen ja osuudet yhdistämällä saadaan koko-naisfosforipitoisuus. Periaate toimii niin kauan, kun yhtälö (1) on lineaarinen. Epä-lineaarisuutta saattaa esiintyä reaktiotermissä $L(C)$ (esim. neliöllinen vajoaminen). Tällöin epälineaarinen vaikutus lasketaan suhteessa kokonaispitoisuuteen ja vaikutus jaetaan pitoisuussuhteissa osapitoisuuksille. Menetelmän matemaattinen perusta on kuvattu liitteessä 1.

Mallilla voidaan laskea mitä tahansa vedenlaatumuuttujaa. Yleisimpiä laskennassa käytettyjä muuttujia ovat ravinteet, kasviplankton, happi, kiintoaine ja veden väri. Vedenlaatumallissa otetetaan huomioon aineiden fysikaaliset, kemialliset ja biologiset reaktiot. Käytettyjä reaktioyhtälöitä on esitelty lukuisissa julkaisuissa (esim. Virtanen et. al, 1986). Uusina mahdollisuuksina on kehitystyön alla typen fraktioiden, ravin-toverkköjen, sinilevien ja limoittumisen mallit (Haapamäki 1992, Inkala et. al. 1993). Valuma- ja huuhtoumamallin kalibroinnissa on käytetty vesistöissä mitattuja pitoi-suuksia, joten vesistöalueella tapahtuva pidättäminen on otettu jo osittain huomioon kuormitustiedoissa. Tästä syystä pidättymiskertoimet ovat mallissa pieniä paitsi lijoen vesistöalueen yläjuoksulta tuleville vesille, joiden fosforista 50% pidättyy jokiuomaan ja altaisiin matkan varrella.

Vedenlaatumallin oleellimmat syöttötiedot ovat valunnat ja kuormitukset. Valuma- ja huuhtoumamallissa käytetty tyyppiprofiliajattelu mahdollistaa laajoillakin pinta-aloilla suoritettavien maankäytön muutosten vaikutusten joustavan arvioinnin. Käyttä-jän tarvitsee vain muuttaa tyyppiprofilien suhteellisia osuuksia eri valuma-alueilla, jolloin valuma- ja huuhtoumallin ajamisen jälkeen muuttuneet syöttötiedot välittyvät automaattisesti vedenlaatumallille. Huuhtoumamallin kuormitustietoihin lisätään taajamien, karjan- ja kalankasvatuksen kuormitukset. Kuten edellä jo todettiin pistekuormituksen merkitys korostuu vähävetisinä vuosina, jolloin pitoisuuksia laimentavat vesimäärät ovat vähäisiä. Valuma-alueilta tuleva kuormitus riippuu puolestaan virtaamista, jolloin valumavesien pitoisuudet vaihtelevat vähemmän. Valuma-alueilta tulevat kuormitukset ja virtaamat syötetään malliin yleensä päivän välein. Pistekuormitukset syötetään puolestaan malliin puolivuosisikeskiarvoina.

Ijoen sovelluksessa vesistöalue on jaettu 508 osa-alueeseen eli hilakoppiin, joiden virtauksia ja vedenlaatua ratkaistaan. Vedenlaatua kuvataan kokonaisfosforin, koko-naistypen ja kiintoaineen avulla. Kuten edellä on jo esitetty kukin muuttuja jaetaan edelleen seitsemään eri kuormituslähteestä peräisin olevaan osamuuttujaan. Mallin tulosteina saadaan numeromuotoisen tulostuksen lisäksi graafiset vedenlaadun aikasarjat joen eri pisteistä sekä vedenlaadun kehitystä kuvaava animaatio.

8.3 Mallin käyttökohteet

Maankäytön vaikutuksia laskevalla järjestelmällä on neljä päätavoitetta:

1. eri maankäyttömuotojen vaikutusosuuksien erittely

2. piste- ja hajakuormitusten vaikutusten vertaaminen
3. maankäyttömuotojen muutosten vaikutusten ennustaminen
4. vesistötarkkailun tukeminen.

Maankäyttömuotojen ja pistekuormittajien vaikutusosuuksien erittely on tärkeää, koska vesiensuojelutoimenpiteiden kohdistamista varten tarvitaan tietoa eri kuormitusläh- teiden suhteellisista merkityksistä veden laadun kannalta. Tutkimuksessa on maan- käyttömuotoina eritelty:

- metsät
- pellot
- luonnontilaiset suot
- turvetuotanto.

Pistekuormitukset on puolestaan eroteltu seuraaviin luokkiin:

- kalankasvatus
- karjatalous
- taajamat.

Piste- ja hajakuormitus käyttäytyvät oleellisesti eri tavoin suhteessa hydrologisiin olosuhteisiin, ja siksi niiden erittelemine on oleellista. Hajakuormitus korreloi yleensä valumiin, jolloin hajakuormituksen kasvu kompensoituu suuremmilla laimentavilla vesimäärillä. Pistekuormitus taas ei riipu valumista, jolloin pistekuormituksen vaikutus pitoisuuksiin on kääntäen verrannollinen joessa virtaaviin vesimääriin. Selvimmin tämä tulee ilmi alivirtaamatilanteissa, jolloin pistekuormituksen suhteellinen osuus verrattuna hajakuormitukseen voi kasvaa hyvinkin rajusti. Pistekuormituksen merkitys korostuu, koska pitoisuuksia laimentavat vesimäärät ovat vähäisiä.

Maankäyttömuotojen muutosten vaikutusten ennustaminen liittyy esim. metsäojituk- siin, hakkuisiin, soiden muuttamiseen turvetuotantoon ja peltojen metsittämiseen. Mallin kyky ennustaa näitä muutoksia riippuu oleellisesti valuma- ja huuhtouma- mallin luotettavuudesta ja joustavuudesta.

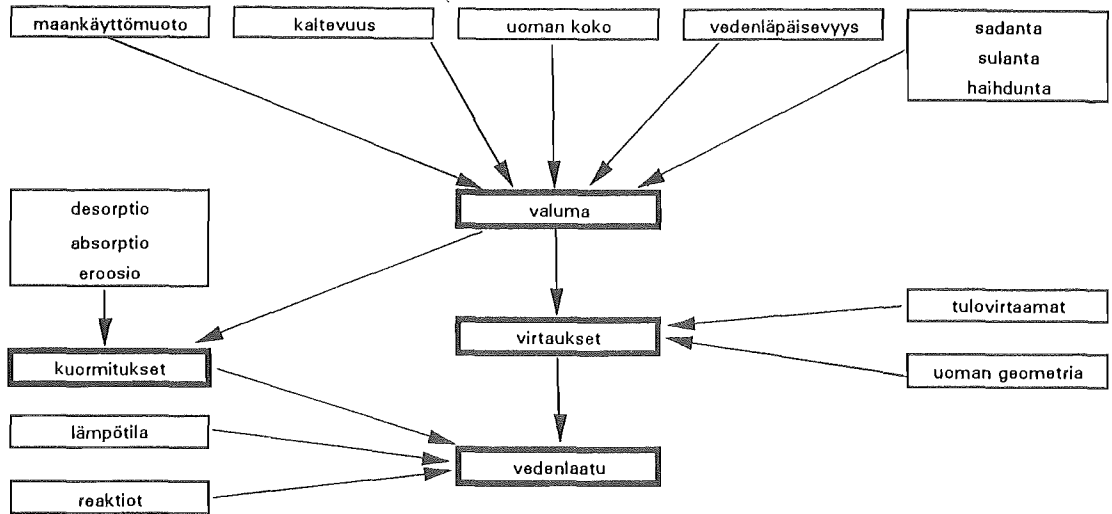
Mallin käyttö vesistötarkkailun tukena helpottaa mittaustulosten tulkintaa. Mallin avulla voidaan eritellä hydrologian, kuormitusten, viipymien ja prosessien osuus joki- alueen eri osissa eri ajanhetkinä. Yksittäinen mittaustulos kytketään mallin kautta koko vesistöalueen dynamiikkaan. Ideaalitulanteessa kaikkia jokialueella suoritettavia mittauksia käytetään mallin varmistamiseen ja toisaalta mallia käytetään mittaush- jelmien suunnittelussa. Mallia voidaan käyttää myös raportoinnin apuna, jolloin esim. mallin olosuhdetiedot ja laskentatulokset voidaan tulostetaan automaattisesti osaksi vesistötarkkailuraporttia.

Mallin käyttökelpoisuuden edellytyksenä on sen luotettavuus ja kyky ennustaa vedenlaadun muutoksia muuttuvissa olosuhteissa. Toistaiseksi erityisesti valuma- aluiden osalta on tietämyksessä useita aukkoja, joiden täyttäminen vaatii panostusta tutkimukseen. Selvä tarve perustutkimuksessa ei kuitenkaan sulje pois mallien käyttöä käytännön ongelmien ratkaisemisessa. Mallien käytön kautta kootaan ja samalla lisätään perustietoa ja saatetaan se käyttökelpoiseen muotoon. Iijoen vesistöalueen mallisovellus on osoittanut mallin perustan toimivuuden ja auttanut hahmottamaan turvetuotantovaihtoehtojen vaikutuksia eri joen osa-alueilla hydrologisesti erilaisissa olosuhteissa.

9 KÄYTTÖLIITTYMÄ

9.1 Järjestelmän yleiskuvaus

Kuvassa 10 on esitetty kaavion avulla järjestelmän osamallien suhteet ja tärkeimmät malleihin vaikuttavat tekijät. Ainevirrat kulkevat valuma-alueiden tyyppiprofiileista vesistön osa-alueisiin ja sieltä edelleen vesistön alajuoksulle.



Kuva 10. Osamallit (vahvennetut ääriviivat) ja niihin vaikuttavat tärkeimmät tekijät.

Mallin soveltamisessa muodostuu ongelmaksi valumaa, kuormitusta, virtaamaa ja veden laatua kuvaavien osamallien yhdistäminen ja hallinta. Mallien kehittäjienkin on usein vaikea kontrolloida kaikkia sovellusten piirteitä, antaa varmenneet syöttötiedot malleille ja yhdistää eri osamallit oikealla tavalla. On ymmärrettävää, että tällöin mallien käyttökynnys nousee liian korkeaksi muiden kuin varsinaisten asiantuntijoiden osalta. Kuitenkin mallien hyödyntämisen kannalta on oleellista, että niitä voivat käyttää henkilöt, jotka vastaavat suoraan esim. suunnittelusta ja seurannasta. Maankäytön suunnittelua ja vesistövaikutusten arviointia tukevan järjestelmän eräänä tarkoituksena onkin ollut mallien käytön laajentaminen. Tätä tarkoitusta varten tutkimusprojektissa on yhdistetty maankäyttötyyppejä sekä vesistöjä kuvaavat mallit kehittyneen käyttöliittymän alle.

Käyttöliittymän avulla suunnittelusta ja seurannasta vastaava henkilöstö voi hallita mallikokonaisuuden ja tulosten tarkastelun ilman erikoistumista niiden käyttöön. Käyttöliittymän perusajatuksena on se, että tietojen syöttö ja tarkastelu tapahtuu joko valikkopohjaisesti tai graafisesti. Grafiikka mahdollistaa esim. yksittäisen turvetuotantoalueen valinnan karttapohjalta, jolloin alueeseen liittyviä tietoja voidaan muuttaa alueen viereen avautuvassa ikkunassa. Ikkunassa voidaan syöttää esim. vaihtoehtoisia tuotantosuunnitelmia. Tämä on huomattavasti nopeampi ja varmempi tapa muuttaa tietoja, kuin johonkin alueeseen liittyvien tietojen etsiminen ja editointi useista erillisistä tiedostoista. Käyttäjän apuna ovat lisäksi syöttötietojen järjestyksen tarkistus ja avustusjärjestelmä. Järjestelmää ja malleja voidaan ajaa 386 tai tehokkaammissa PC-koneissa DOS-käyttöjärjestelmän alaisuudessa. Järjestelmän laadinnassa on varauduttu myös muihin käyttöjärjestelmiin kuten UNIX:iin ja Windowsiin.

Järjestelmä on ikkunoitu, mikä mahdollistaa erilaisten olosuhdetietojen ja graafisten tulosteiden tarkastelun rinnakkain. Graafisista tulosteista tärkeimmät ovat aikasarjat ja animaatiot. Animaatioiden avulla voidaan vedenlaadun muutoksia havainnollistaa koko vesistöalueella kun taas aikasarjat kuvaavat ainoastaan yhtä pistettä. Järjestelmällä voidaan myös visualisoida eri suunnitteluvaihtoehtojen eroja.

9.2 Käyttöliittymän osat

Ohjelman oletuskielenä on Suomi, mutta englanninkielisen version saa käyttöön käynnistettäessä ohjelma -e parametrin kanssa. Mikäli käytettävissä on VESA-standardin mukainen kortti tai eräitä muita yleisiä korttityyppejä, voidaan ohjelmaa ajaa super-VGA resoluutiolla. Muutoin oletuksena on VGA-tila. Mikäli ei haluta graafista käyttöliittymää, voi ohjelman käynnistää myös tekstiilassa.

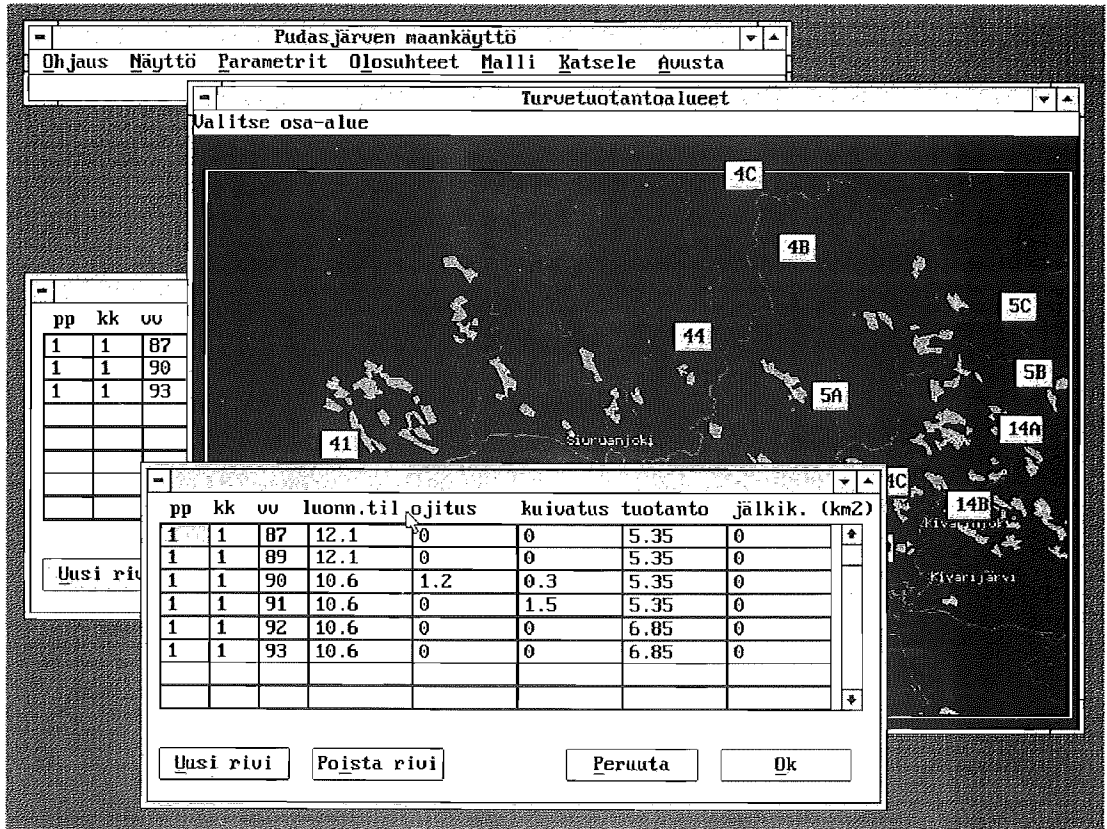
Järjestelmän päävalikko muodostuu seuraavista kohdista (kuva 11):

- ohjaus
- näyttö
- parametrit
- olosuhteet
- malli
- katsele
- avusta.

Ohjauksen alla voidaan poistua järjestelmästä, valita tulostin sekä tallettaa, palauttaa tai poistaa haluttu laskentatilanne. Näyttö ohjaa ikkunoiden järjestystä. Parametreissa muutetaan mallien keskeisiä parametrejä. Olosuhteissa muutetaan säätietoja tai annetaan vaihtoehtoisia maankäyttöskenaarioita. Mallin alla määrätään laskentajakso, laskentamuuttujat ja mallien käynnistys. Katsele huolehtii olosuhdetietojen ja mallitulo-
lostoiden graafisesti tulostamisesta. Avustusjärjestelmä antaa tietoa järjestelmän ja mallien kontrolloinnista. Päävalikon avustusjärjestelmä antaa yleisiä ohjeita ja käyttötilanteeseen liittyvä avustus esim. tietoa syöttötietojen muuttamisesta.

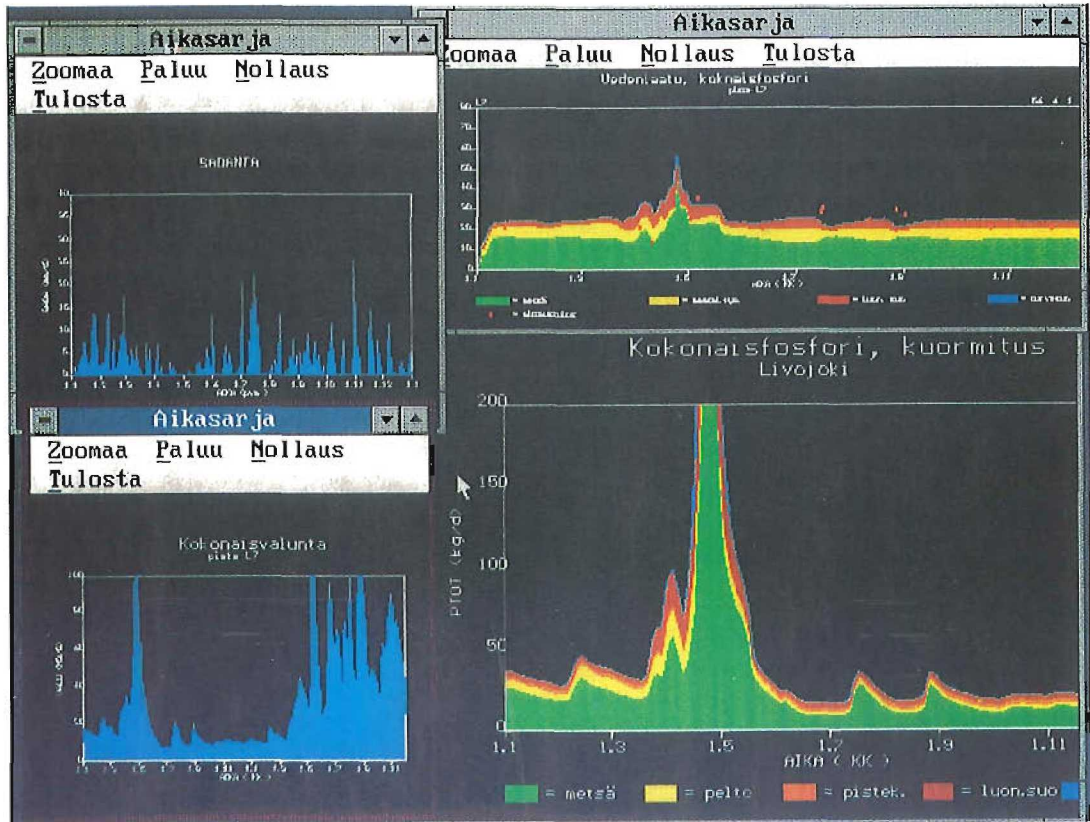
Järjestelmässä on samanaikaisesti mahdollisuus vertailla kolmen eri malliajon tuloksia. Mikäli laskentatilanne halutaan tallettaa myöhempää käyttöä varten, voidaan se arkistoida. Kun tilannetta halutaan myöhemmin tarkastella, niin Palauta-ikkuna näyttää talletetut tilanteet. Tilanteet voidaan tulostaa tulostimilla, jotka tukevat joko HPGL:ää (HP:n grafiikkakieli) tai Postscriptiä.

Kuvassa 11 on esimerkki turvetuotantotietojen syötöstä. Takana olevalla karttapohjalla esitetään alueet, joiden turvetuotantotietoja voidaan muuttaa. Käyttäjä valitsee napista halutun alueen, jonka jälkeen avautuu turvetuotannon syöttöikkuna. Ikkunassa voidaan syöttää ja muuttaa ojituksessa, kuivatuksessa ja tuotannossa olevan suon määrä eri ajanhetkinä. Luonnontilaisen suon määrä vähenee automaattisesti, kun kunnostuksen tai tuotannon osuutta kasvatetaan. Järjestelmä tarkistaa päivämäärän ja pinta-alojen oikeellisuuden (esim. pinta-alojen summa ei voi ylittää alkuperäisen luonnontilaisen suon määrää).

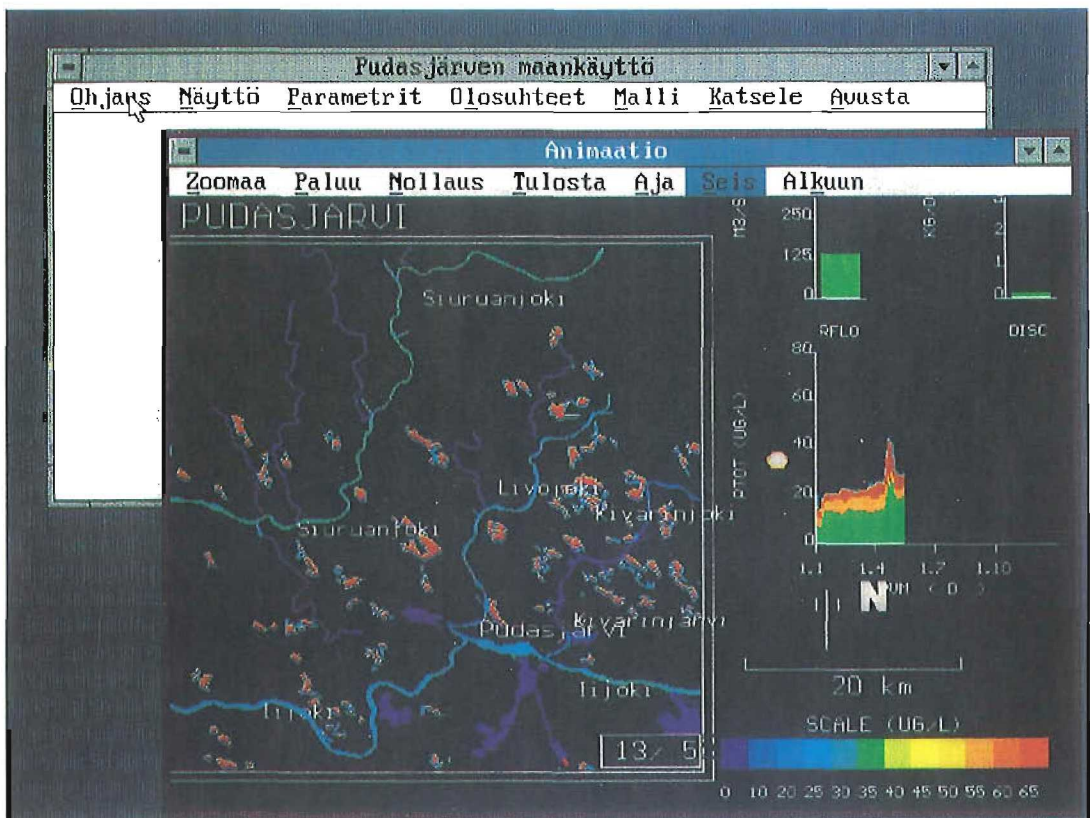


Kuva 11. Esimerkki turvetuotantoalueen tuotantotietojen muuttamisesta käyttöjärjestelmässä. Takana lijoen vesistöalueen kartta ja turvetuotantoalueet. Edessä turvetuotantoikkuna.

Kuvissa 12 ja 13 on esitetty esimerkit mallin graafisista tulosteista. Kuvassa 12 olevien aikasarjojen tulostuspiste valitaan karttapohjalta. Esimerkissä on esitetty sadanta, yläpuoliselta jokiosuudelta summattu valunta ja kuormitus sekä vedenlaadun aikasarja. Vedenlaadun aikasarjassa ovat mukana myös mittaustulokset. Kuvassa 13 on puolestaan esitetty esimerkki animaatiosta. Siinä on kuva zoomattu mallin osa-alueelle ja pysäytetty animaatio tiettyyn hetkeen. Kuvaa voidaan zoomata mielivaltaisen pitkälle ja useampiportaisesta zoomauksessa voidaan kulkea tilanteita myös taaksepäin. Zoomausta voidaan haluttaessa käyttää myös aikasarjojen tulostuksessa.



Kuva 12. Esimerkki käyttöjärjestelmän aikasarjatulosteista. Kuvassa sadanta, yhden tulostuspisteen vedenlaatu ja yläjuoksulta summatut valumat ja kuormitukset.



Kuva 13. Esimerkki käyttöjärjestelmän animaatiotulostuksesta. Karttapohjalla lijoen mallialueen osa. Jokialueen väriskaala ilmoittaa fosforipitoisuutta. Kuvassa oikealla yhdestä tulostuspisteestä piirretty aikasarja, lijoen virtaama sekä yhdeltä turvetuotantoalueelta tuleva kuormitus. Karttapohjalla punaisella näkyvät alueet ovat soita.

10 VESISTÖMALLIN SOVELTAMINEN ILJOKEEN

10.1 Tutkimuksen tausta

Valtioneuvosto on 14.6.1984 päättänyt oikeuttaa vesihallituksen suunnittelemaan ja toteuttamaan turvetuotannon valmisteluun kuuluvia esi- ja peruskuivaustöitä, vesien- suojelujärjestelyjä ja edellisiin liittyviä tietöitä. Lisäksi valtioneuvosto on 12.2.1987 päättänyt, että vesi- ja ympäristöhallitus osallistuu Pudasjärvelle rakennettavaksi suunnitellun turvevoimalaitoksen tarvitseman, yhteensä noin 5000 hehtaarin suoalan kuntoonpanoon. Kuntoonpanoa toteuttaa Oulun vesi- ja ympäristöpiiri. Vesi- ja ympäristöhallinnon osallistumista hankkeeseen perustellaan sillä, että näin saadaan hankkeen ympäristövaikutusten arviointi, seuranta ja vesiensuojelujärjestelyt asianmukaisiksi.

Turvetuotannon vaikutusten arvioinnin ja vesiensuojelutekniikan kehittäminen on Oulun vesi- ja ympäristöpiirin vesien käytön, hoidon ja suojelun kehittämissuunnitelmassa (Oulun vesi- ja ympäristöpiiri 1990) keskeisellä sijalla. Ko. suunnitelmassa esitetään lähiajan selvitystehtäväksi ja toiminnan painopistealueeksi mm. vesistömalliin pohjautuvan asiantuntijajärjestelmän kehittäminen Pudasjärven ja Haapaveden turvesuokeskittymille. Järjestelmälle on käyttöä valvonnan apuna ja tarkkailuohjelmien täydentäjänä ja keventäjänä. Muillakin alueilla vesi- ja ympäristöpiirin on valvovana viranomaisena oltava selvillä turvetuotannon ja muidenkin maankäyttömuotojen vesistövaikutuksista. Ihmistoimintojen vaikutusten arviointiin tarvitaan joku menetelmä, jolla voidaan erottaa mm. eri kuormituslähteiden suhteellinen osuus, sekä ennustaa muutosten vaikutukset vesistössä.

Turvetuotannossa, kuten muussakin taloudellisessa toiminnassa ympäristökysymykset ovat nyt yksi tärkeä kasvua rajoittava tekijä. Jo tiedon puute voi johtaa siihen, että valvonta ja päätöksentekijät joutuvat turvautumaan kieltäviin ja rajoittaviin toimenpiteisiin. Turvetuotannon kuormituksen vähentäminen on vaikeaa ja vaatii kalliita ratkaisuja. Tämän vuoksi valmiudet turvetuotannon ympäristövaikutusten arviointiin ja hallintaan ovat tärkeitä jo taloudellisista syistä.

Turvetuotantoon liittyvät ympäristökysymykset on koettu vaikeaksi asiaksi. Turvetuotannon seuranta pohjautuu yleensä vesistö tarkkailuun, jonka tuottama tieto on puutteellista vesimäärien suurten vaihteluiden vuoksi. Tuotannon vaikutuksia arvioidaan kirjavilla menetelmillä. Eräät esittävät kuvailevia arvioita, toiset laskennallisia tuloksia, mutta perusteissa on huomattavia eroja. Tämä tekee asioiden tasapuolisen hoitamisen viranomaisille vaikeaksi.

10.2 Sovelluksen tarkoitus ja hyöty

Tutkimuksen tavoitteena on kehittää vesistömalliin pohjautuva järjestelmä, jota voidaan käyttää hyväksi laajahkolle valuma-alueelle sijoittuvien turvetuotantoalueiden kokonaisvaltaisessa ympäristövaikutusten arvioinnissa (YVA). Järjestelmällä voidaan kuvata havainnollisesti turvetuotantoalueiden kuormitusta ja sen vaikutusta vesistössä sekä erilaisten vesiensuojelutoimien merkitystä. Järjestelmä palvelee vesiensuojelutoimien suunnittelua ja valvontaa sekä käyttää hyväksi turvetuotantoon liittyvää tietoa ja tutkimustuloksia sekä kokoaa erillistä osaamista ja valmiuksia.

Työn tarkoituksena on muodostaa turvetuotannon vaikutusten arviointia ja hankkeiden suunnittelua sekä päätöksentekoa auttava järjestelmä, jota voidaan käyttää myös valvonnan ja seurannan apuna. Järjestelmää tarvitaan

- vertailtaessa turvetuotantoalueiden sijoitusvaihtoehtoja
- arvioitaessa turvetuotannon kokonaisvaikutuksia nykytilanteessa ja erilaisilla kuntoonpano ja käyttövaihtoehtojilla
- arvioitaessa vesistön tilan pitkäaikaista kehitystä kuntoonpanotöiden ja turvetuotannon jatkuessa useita vuosia
- suunniteltaessa turvetuotannon laajuutta ja etenemisjärjestystä siten, että se ei johda

veden laadun kannalta kriittiseen tilanteeseen

- eriteltäessä yksittäisten kuormitushuippujen (tulvat, rankkasateet) vaikutusta koko vesistöalueella
- annettaessa lausuntoja ennakoilmoitusmenettelyn mukaisista ilmoituksista; eriteltäessä tai ennustettaessa yksityisen turvesuon vaikutuksen osuutta vesistöalueella
- eriteltäessä turvetuotannon vaikutuksia muusta vesistövaikutuksista
- suunniteltaessa vesiensuojeluteknisiä ratkaisuja ja arvioitaessa niiden kokonaisvaikutusta vesistöalueella
- velvoitetarkkailun tukena, täydentäjänä ja keventäjänä
- optimoitaessa turvetuotannon vaikutusten tarkkailua; tarkkailupisteiden paikkojen ja tarkkailutiheyden määrittäminen
- suunnitellun turvetietorekisterin tietojen tulkkina ja havainnollistajana

10.3 Kohdealueen kuvaus

Iijoen vesistöalueen (kuva14) pinta-ala on 14 191 km² ja järvisuus 5,67 % (Ekholm 1993). Mallinnettava alue käsittää Iijoen vesistöalueen Pudasjärven taajaman kohdalta joen suulle saakka (6314 km², liite 2). Alueella on tuotantokunnossa tai tuotannossa 21 suota, joiden yhteenlaskettu pinta-ala on 60 km². Tarkoituksena oli selvittää Pudasjärvelle rakennettavaksi suunnitellun turvevoimalaitoksen edellyttämän turvetuotannon vaikutuksia Iijoen vesistön veden laatuun.

Iijoen vesistön veden laatua tarkkaillaan ns. yhteistarkkailuna. Tarkkailulle on ollut tyypillistä havaintopaikkojen runsaus ja havaintokertojen vähyys. Vuonna 1993 tarkkailuohjelmaa on uudistettu siten, että havaintopaikkoja on vähennetty ja havaintokertoja lisätty. Kuntoonpanotöiden vesistövaikutuksia seurataan 41 pisteessä neljällä Iijoen vesistön osa-alueella (Kivarinjoki, Tuulijärvi, Livojoki ja Siuruanjoki) ja Iijoen pääuomassa. Lisäksi mallinnettavalla alueella on lukuisia Iijoen vesistön yhteistarkkailuun kuuluvia havaintopaikkoja.

Vesistöön kohdistuu pistemäistä kuormitusta lähinnä yhdyskunnista ja kalankasvatustilaksista. Kalankasvatuksen kuormitus kohdistuu pääosin kesäaikaan. Hajakuormitusta aiheutuu maa- ja metsätaloudesta sekä turvetuotannosta. Alueen nykyinen turvetuotanto on painottunut Siuruanjoen vesistöalueelle.



Kuva 14. Iijoen vesistöalue

10.4 Suunnitellun Pudasjärven turvevoimalaitoksen vaikutus turvetuotannon kehittymiseen

Pudasjärven turvevoimalan vuosittain tarvitseman turvemäärän tuottaminen edellyttää 5 600 – 6 200 ha:n tuotantoalaa. Koska tuotantoalueiden keskimääräiseksi käyttöajaksi voidaan olettaa 15 vuotta ja voimalaitoksen käyttöajaksi 30 vuotta, on voimalaitoksen kaikkiaan tarvitsema tuotantopinta-ala kaksi kertaa edellä esitetyn suuruinen. Mikäli voimalaitos otettaisiin suunnitelmien mukaisesti käyttöön vuoden 1997 lopulla, tarvittaisiin laitoksen aloitusvaiheen polttoainehuollon turvaamiseksi lisäksi 1 700 ha jo nykyisin tuotannossa olevaa suota. Voimalaitoksen käyttöaikanaan tarvitsema tuotantopinta-ala on yhteensä 12 800 – 13 800 ha.

Turvetuottajien ilmoituksen mukaan Pudasjärven voimalan käyttöön on osoitettavissa noin 14 000 ha:n suoala. Voimalan turvepolttoaineen pääasiallinen hankinta-alue sijoittuu Iijoen vesistöalueelle. Varsinkin voimalan käytön ensimmäisinä vuosina turvetta toimitettaisiin Pudasjärvelle myös Kuivajoen, Olhavanjoen ja Kiiminkijoen vesistöalueiden turvetuotantosoilta. Osa soista on jo nyt tuotannossa ja osa tuotantoa varten valmisteltuna, pääosa on kuitenkin vielä luonnontilassa (taulukko 6).

Taulukko 6. Pudasjärven turvevoimalan käyttöön osoitettujen suovarausten sijainti vesistöalueittain.

Vesistöalue	Tuotannossa ha	Valmisteltuja ha	Luonnontilaisia ha	Yhteensä ha
Kiiminkijoki	380	336	837	1 553
Iijoki	1 137	2 342	8 645	12 124
Olhavanjoki	217	–	–	217
Kuivajoki	–	100	266	366
Yhteensä	1 734	2 778	9 748	14 260

Kiiminkijoen, Olhavanjoen ja Kuivajoen vesistöalueilla Pudasjärven turvevoimalaitos ei olennaisesti vaikuttaisi turvetuotantoalaan ja sen kehitykseen. Sen sijaan Iijoen vesistöalueella tuotantoala jäisi noin 6000 ha pienemmäksi, mikäli Pudasjärven voimalaitosta ei rakennettaisi. Erityisesti alueen itäosan soita jätettäisiin ottamatta turvetuotantoon.

10.5 Laskettavat vaihtoehdot ja oletukset

10.5.1 Vaihtoehdot ja laskentajaksot

Vertailtavat vaihtoehdot ovat voimalaitoksen toteutusvaihtoehto ja ns. 0-vaihtoehto. Toteutusvaihtoehdolla tarkastellaan erikseen voimalaitoksen tarvitseman ensimmäisen ja toisen suokerran käyttöaikaa. Sekä toteutusvaihtoehdossa että 0-vaihtoehdossa otetaan huomioon myös muita käyttökohteita kuin Pudasjärven voimalaa varten tarvittava tuotantoala ja sen kehittyminen. Näin ollen turvetuotannosta aiheutuu 0-vaihtoehdollakin kuormitusta vesistöön.

Laskentajaksoina on kuuden vuoden mittaiset jaksot ensimmäisen ja toisen suokerran ajalta. Laskennassa käytetyt meteorologiset ja hydrologiset olosuhteet ovat kaikissa laskentatilanteissa samat.

10.5.2 Osa-aluejako ja maankäyttöluokitus

Iijoki on jaettu valuman ja huuhtouman laskennassa 14 osa-alueeseen seuraavasti: Pudasjärven yläpuolista vesistöaluetta tarkasteltiin yhtenä noin 8000 km²:n suuruisena osa-alueena. Iijoen alaosan, Siuruanjoen ja Livojoen vesistöalueet jaettiin 13:een osa-alueeseen.

Kunkin osa-alueen maankäyttömuodot on luokiteltu seuraavasti:

- 1) Turvetuotanto
- 2) Metsäalueet
- 3) Maatalousalueet
- 4) Suoalueet
- 5) Avovesialueet

10.5.3 Eri maankäyttömuotojen osuudet

Tiedot kunkin osa-alueen maankäyttömuodoista perustuvat satelliittikuvatulkintoihin. Satelliittikuvatulkintoista saadut eri maankäyttömuotojen osuudet Iijoen vesistöalueella ovat:

Maankäyttömuoto	Osuus %
vesialueet	5,83
pellot	2,01
avohakkuut	5,14
muu avomaa	0,54
avosuot	7,88
korvet	13,72
rämeet	15,24
mäntymetsät	6,99
kuusimetsät	6,55
lehtimetsät	4,00
sekametsät	24,06
taimikot	7,78
muut	0,26

Satelliittikuvatulkintoihin perustuvia maankäyttöluokkia on täydennetty turvetuotannon osalta. Lisäksi luokkia on yhdistetty siten, että suoalueisiin on laskettu avosuot ja puolet rämeiden ja korpien pinta-alasta. Puolet rämeistä ja korvista on luokiteltu metsiksi. Metsäojitusten on oletettu jakautuvan siten, että 1/3 ojituksista on tehty metsissä ja 2/3 soilla. Tämä merkitsee sitä, että suoalueilta tuleva kuormitus ei ole luonnontilaista.

Maankäyttömuodoissa oletetaan tapahtuvan tarkastelujakson aikana muutoksia vain soiden siirtymisestä turvetuotantoalueiksi. Eri maankäyttömuodoilta tapahtuvan valuman ja huuhtouman oletetaan pysyvän ennallaan.

10.5.4 Taajamien, kalankasvatuksen ja karjatalouden kuormitus

Pistemäisen kuormituksen osalta tiedot perustuvat velvoitetarkkailutuloksiin. Karjataloudesta aiheutuvaa kuormitusta on arvioitu karkeasti kuntien nautaeläinmäärien perusteella. Käytetyt kuormitusarvot on esitetty taulukossa 7. Iijoen alaosan, Livojoen ja Siuruanjoen kuormitukset on jaettu tasaisesti kaikille osa-alueille kuitenkin siten, että Kivarinjoen osa-alueelle ei ole kohdistettu taajamien eikä kalankasvatuksen kuormitusta. Talviaikana kalankasvatuslaitosten ei ole oletettu aiheuttavan kuormitusta. Taajamien, kalankasvatuksen ja karjatalouden kuormituksen on oletettu pysyvän ennallaan koko tarkastelujakson ajan.

Taulukko 7. Taajamien, kalankasvatustilustien ja karjatalouden kuormitukselle käytetyt arvot. Taajamien ja kalankasvatuksen osalta tiedot perustuvat velvoitetarkkailuun (Pohjois-Suomen Vesitutkimustoimisto 1993). Karjatalouden kuormitus on nautaeläinmääriin perustuva karkea arvio.

Vesistöalue	Kuormitus (kg/d)		
	Kok.P	Kok.N	kiint.
Iijoen yläosa			
Iijoen keskiosa			
Kostonjoki			
Korpijoki			
taajamat	0,3	24,1	9,4
kalankasvatus (kesä)	35,0	305	-
karjatalous	7,5	41	-
Iijoen alaosa			
taajamat	4,2	79	118
kalankasvatus (kesä)	5,0	51	-
karjatalous	5,0	28	-
Livojoki			
taajamat	-	-	-
kalankasvatus (kesä)	0,1	1,0	-
karjatalous	2,0	12	-
Siuruanjoki			
taajamat	1,5	23	37
kalankasvatus (kesä)	1,8	15	-
karjatalous	4,5	25	-

10.6 Malli- ja mittaustulosten vertailu

10.6.1 Taustaa

Pudasjärvelle kaavaillun turvevoimalanpolttoaineen pääasiallinen hankinta-alue sijoittuu Iijoen vesistöalueelle ja erityisesti sen osavaluma-alueille 61.1 (Iijoen alaosa), 61.4 (Siuruanjoki) ja 61.5 (Livojoki). Turvevoimalan tarvitsemien turvetuotantoalueiden käyttöönoton ympäristövaikutusten arviointi jakaantuu kahteen osaan: 1) valumien ja kuormitusten arviointi osa-alueittain ja maankäyttömuodoittain (tämä raportti) ja 2) joen virtaus- ja ravinnemalli.

Tässä raportissa kuvatut valuma- ja huuhtoumamallit kalibroitiin Iijoen vesistöalueelle siten, että Pudasjärven yläpuolinen vesistöalue (osa-alueet 61.2, 61.6-61.9) tarkasteltiin yhtenä n. 8 000 km²:n osa-alueena. Osa-alueet 61.1, 61.4 ja 61.5 jaettiin yhteensä 13 osa-alueeseen, joilta jokaiselta laskettiin erikseen päivittäiset virtaamat ja ravinnekuormitukset (kiintoaine, kokonaistyyppi, ammoniumtyyppi, nitraattityyppi ja kokonaisfosfori).

10.6.2 Virtaamien kalibrointi

Mallin kalibrointiaineistona käytettiin vuosien 1989 ja 1990 päivittäisiä havaintoja neljästä virtaaman havaintopisteestä: Siuruanjoki (valuma-alue 2 395 km²), Livojoki/Hanhikoski (valuma-alue 1 985 km²), Kurenalus (valuma-alue 8 005 km²) ja Iijoen pääuoma/Raasakka (valuma-alue 14 315 km²).

Sadantatietoina käytettiin Ilmatieteen laitoksen Pudasjärven sadeaseman havaintoja ja laskettuja virtaamia verrattiin neljän havaintopaikan tuloksiin. Havaintopaikat olivat Iijoessa Kurenalla ja Raasakassa sekä Livojoessa ja Siuruanjoessa. Kalibrointitulokset vuosilta 1989 – 1990 on esitetty kuvissa 15–18. Mallin selityksasteet eri osa-alueilla olivat: Siuruanjoki 0,83, Livojoki 0,88, Kurenalus 0,89 ja Raasakka 0,70. Kokonaisuuutena mallin antamia tuloksia voidaan pitää riittävän tarkkoina.

10.6.3 Kuormitus- ja vedenlaatumallien kalibrointi

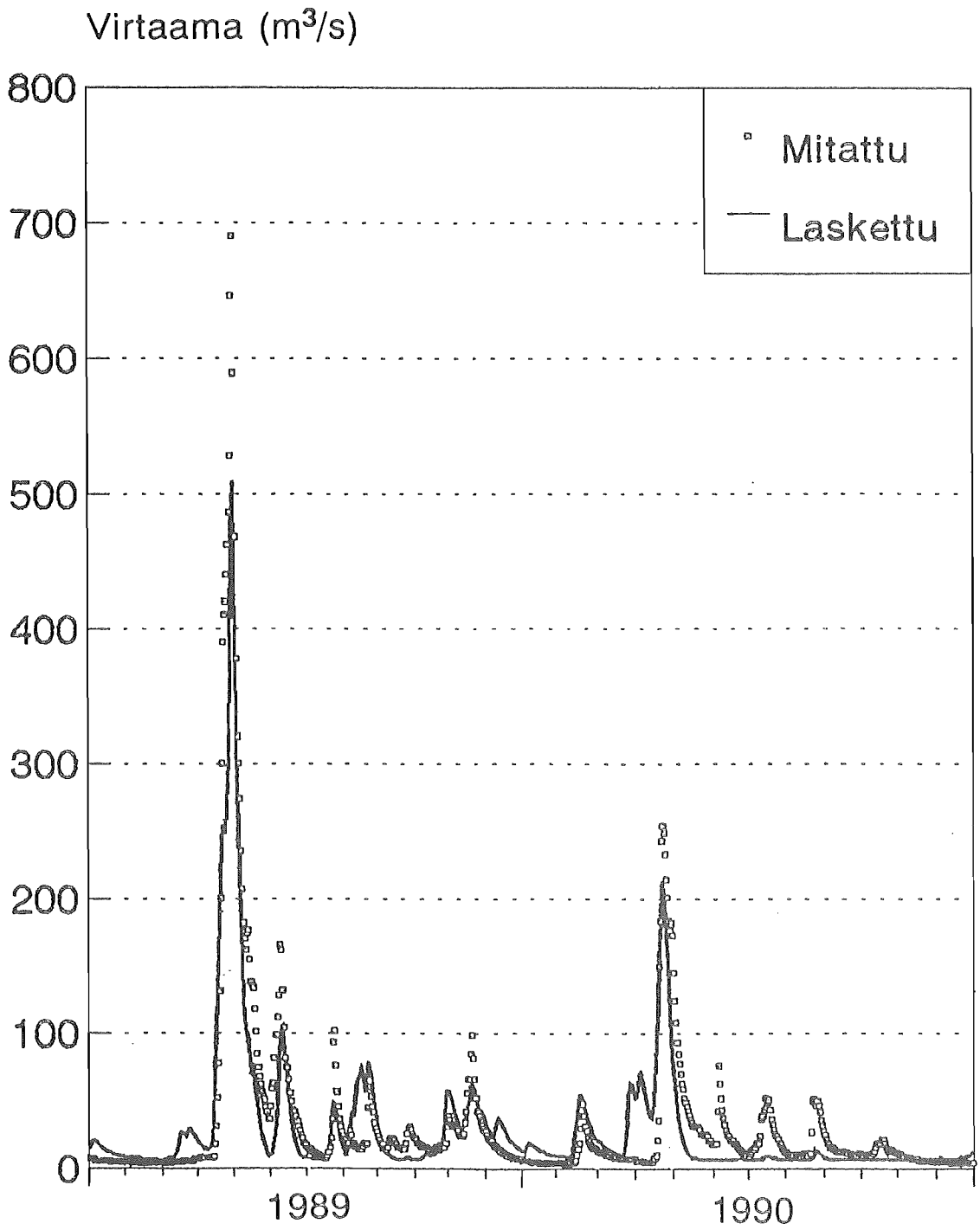
Malleilla laskettiin viiden vedenlaatumuuttujan päivittäiset arvot: kiintoaininen, kokonaistyppi, ammonium- ja nitraattityppi, sekä kokonaisfosfori. Huuhtouma- ja kulkeutumismallit kalibroidiin vuosien 1987 – 1992 vesistö tarkkailutulosten avulla. Eri maankäyttömuotojen huuhtouma-arvoja verrattiin lisäksi tarkkailutuloksiin ja kirjallisuudessa esitettyihin arvoihin.

Kalibroinnissa eri maankäyttömuotojen osuudet pidettiin ennallaan koko jakson ajan. Pistekuormituksen ja karjatalouden kuormituksen oletettiin olevan taulukon xx mukaisia koko kalibrointijakson ajan.

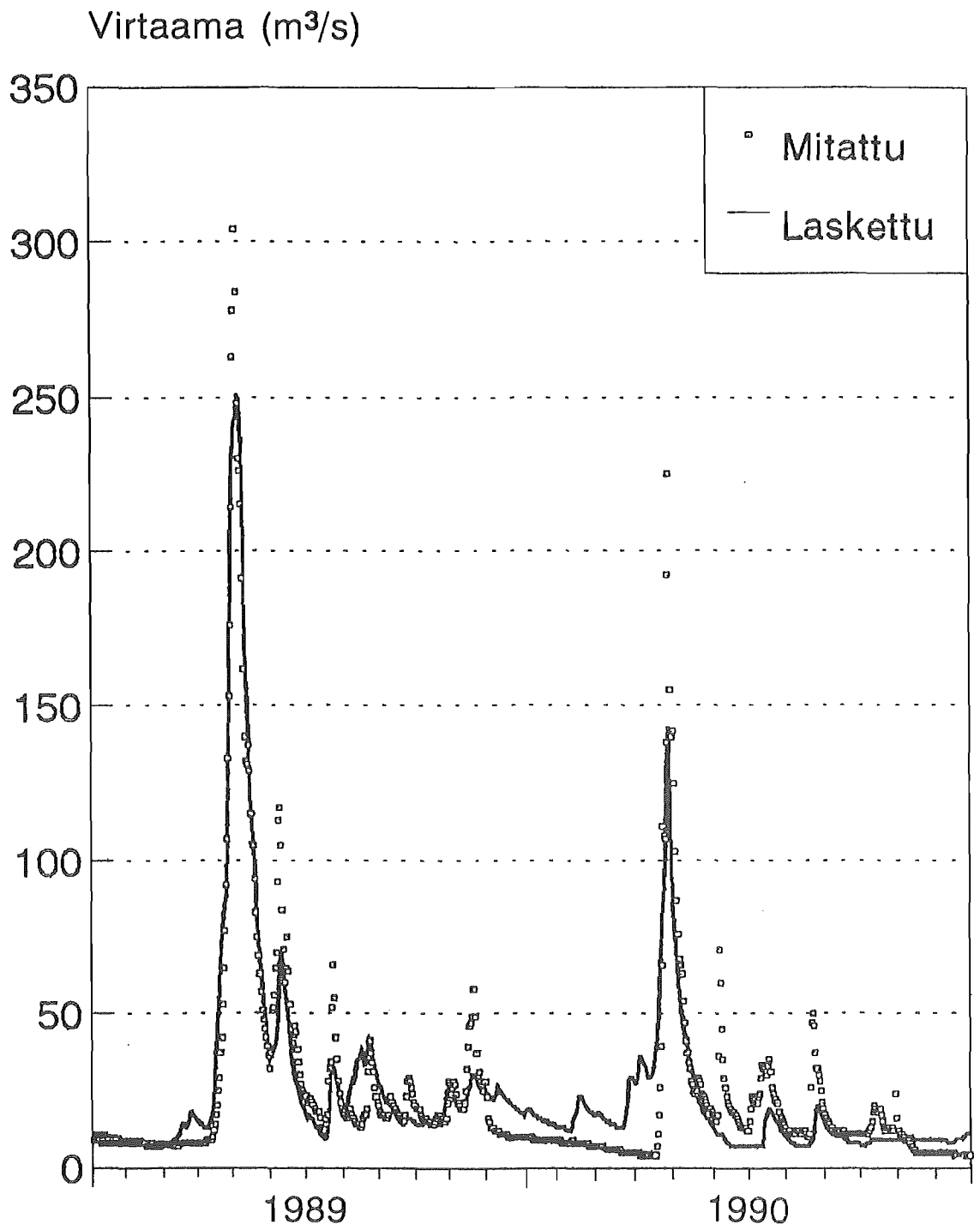
Vertailu vesistö tarkkailun tuloksiin tehtiin Kivarinjoen, Livojoen, Siuruanjoen ja Ijoen alaosien havaintopaikoilla (liite 2). Tulokset on esitetty kuvissa 19–22. Peltojen, karjatalouden, taajamien ja kalankasvatuksen osuudet on kuvissa esitetty yhdistettynä.

10.7 Veden laatu eri osa-alueilla ja eri maankäyttömuotojen vaikutus veden laatuun

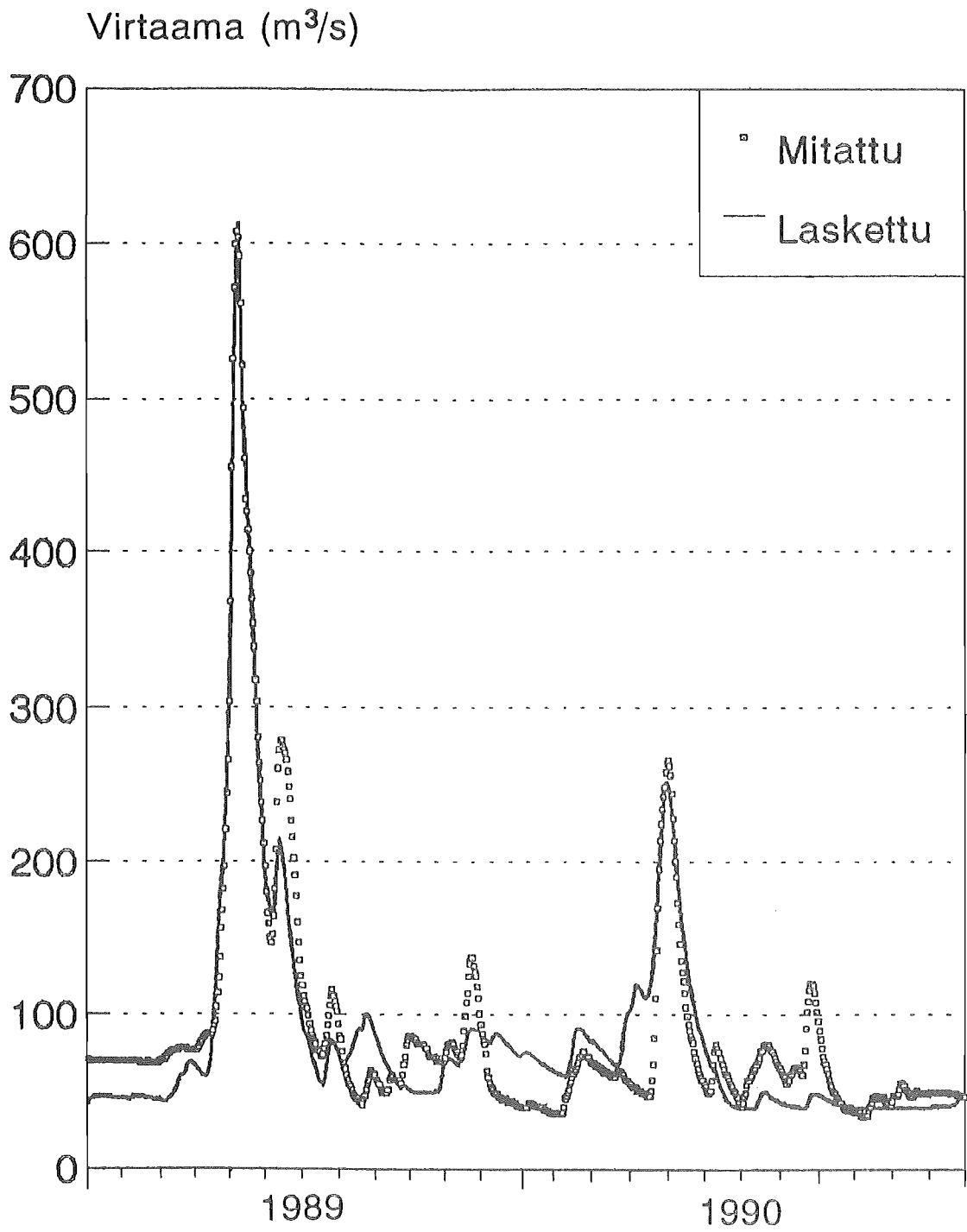
Veden laatu ja eri kuormituslähteiden pitoisuusosuudet tarkastelluilla vaihtoehdoilla Kivarinjoen, Livojoen, Siuruanjoen ja Ijoen alaosilla on esitetty kuvissa 22–33. Peltojen, karjatalouden, taajamien ja kalankasvatuksen osuudet on kuvissa esitetty yhdistettynä. Tulosten tulkinnan Pudasjärven turvevoimalaitoksen ympäristövaikutusten arviointiselostusta varten on tehnyt Pohjois-Suomen Vesitutkimustoimisto (1993).



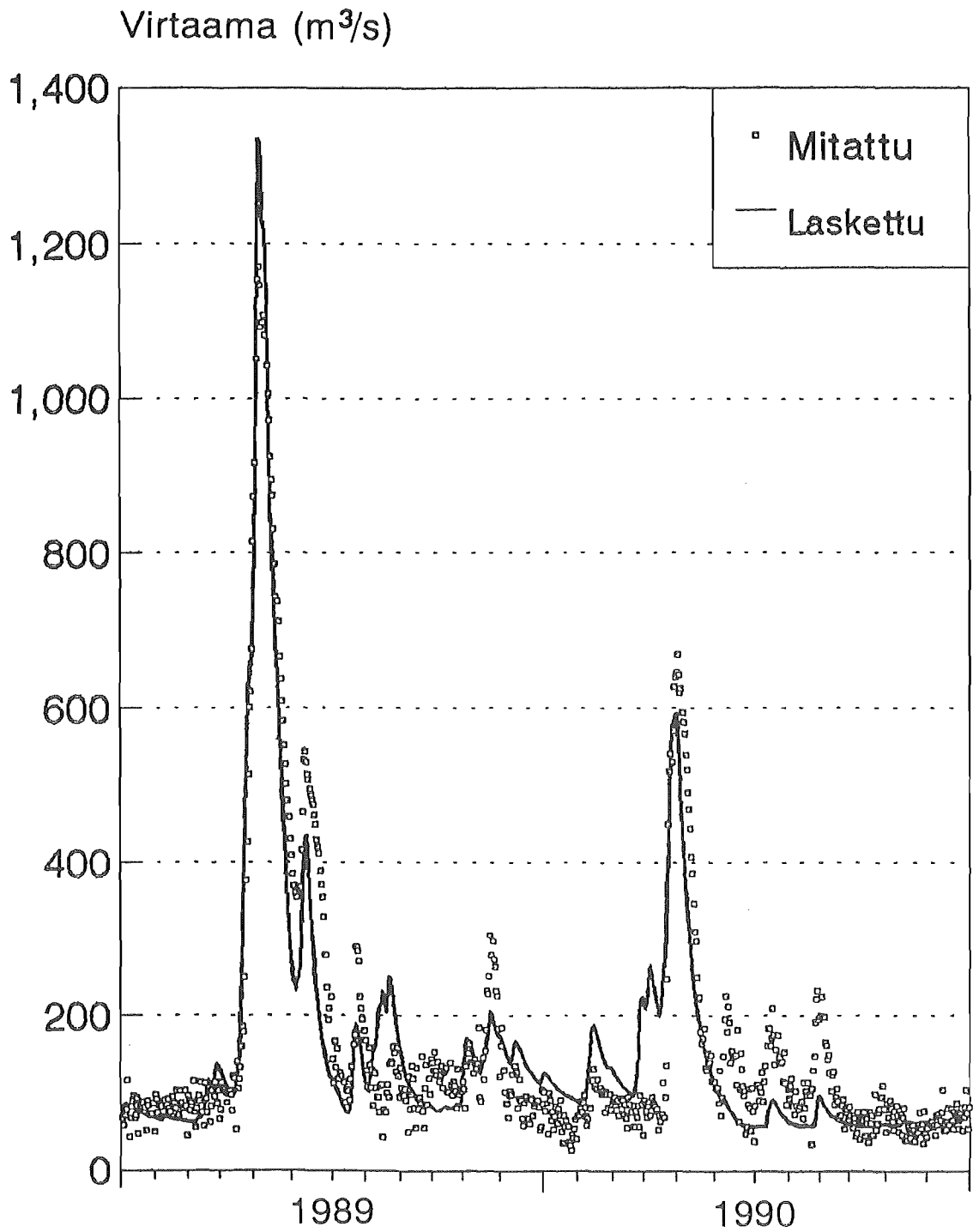
Kuva 15. Kalibroitajakson mitatut ja lasketut virtaamat Siuruanjoella.



Kuva 16. Kalibrointijakson mitatut ja lasketut virtaamat Livojoella.



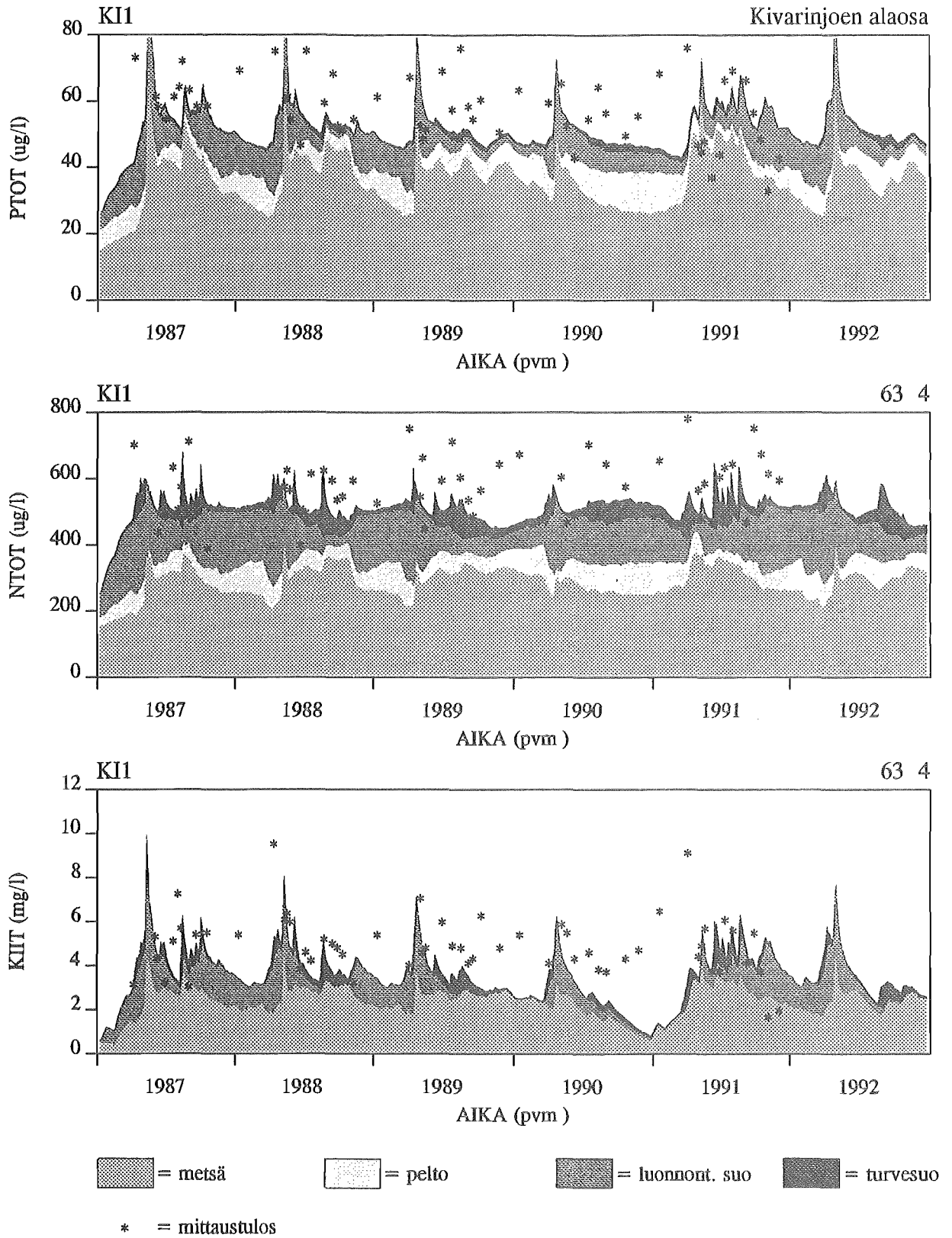
Kuva 17. Kalibrointijakson mitatut ja lasketut virtaamat/Kurenalus.



Kuva 18. Kalibrointijakson mitatut ja lasketut virtaamat/Raasakka.

KOKONAISFOSFORI, -TYPPI JA -KIINTOAINE

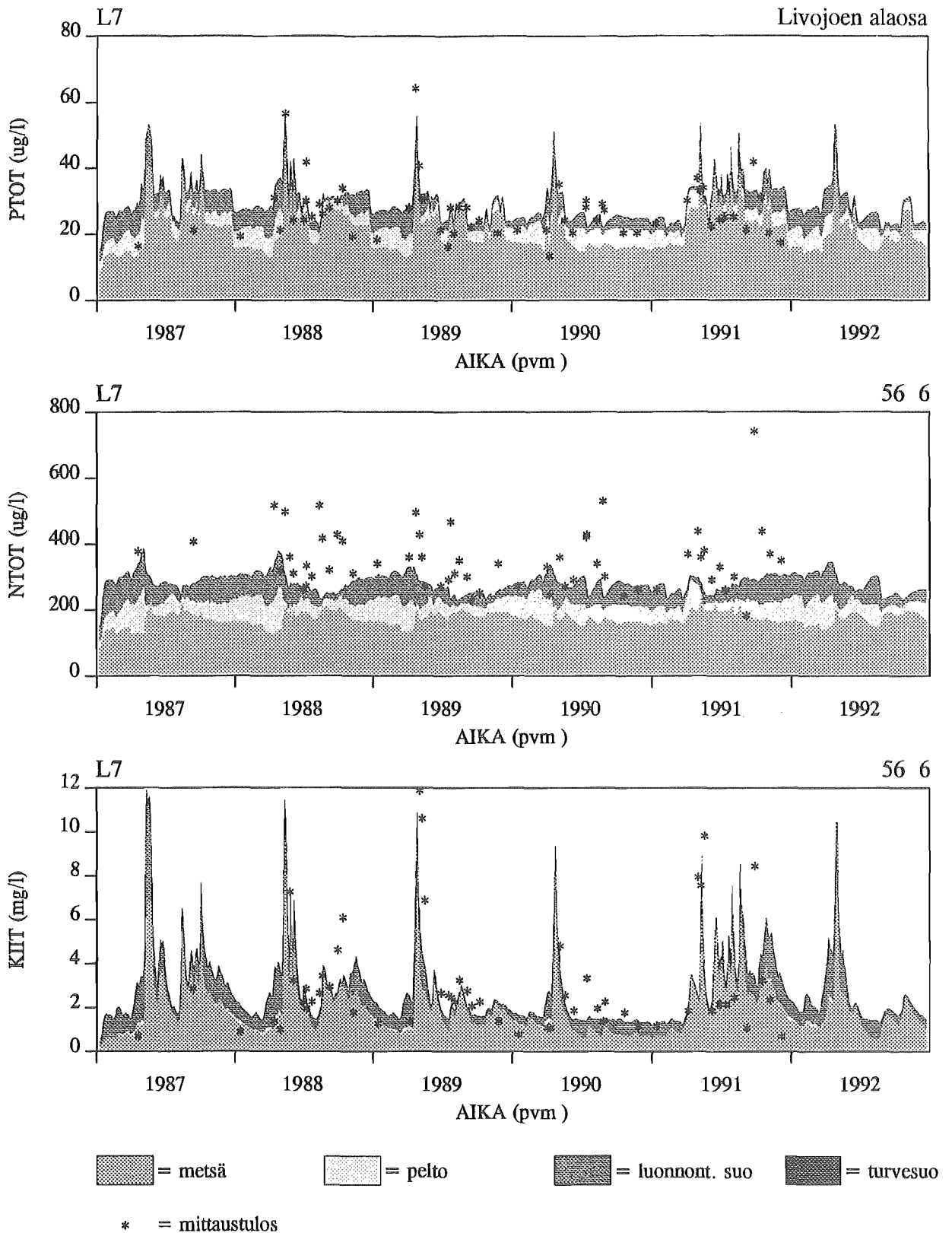
vertailu mittauksiin



Kuva 19. Mallilla laskettujen tulosten vertailu mittaustuloksiin. Mitatut arvot edustavat kokonaispitoisuuksia. Mallilla on eritelty metsistä, maataloudesta ym:sta (=pelto, sis. taajamien ja kalalaitosten kuormituksen), luonnontilaisilta soilta ja turvetuotannossa olevilta soilta tulevan kuormituksen. Kokonaisfosfori-, kokonaistyppi- ja kiintoainepitoisuudet Kivarinjoen alaosalla v. 1987–1992.

KOKONAISFOSFORI, -TYPPI JA -KIINTOAINE

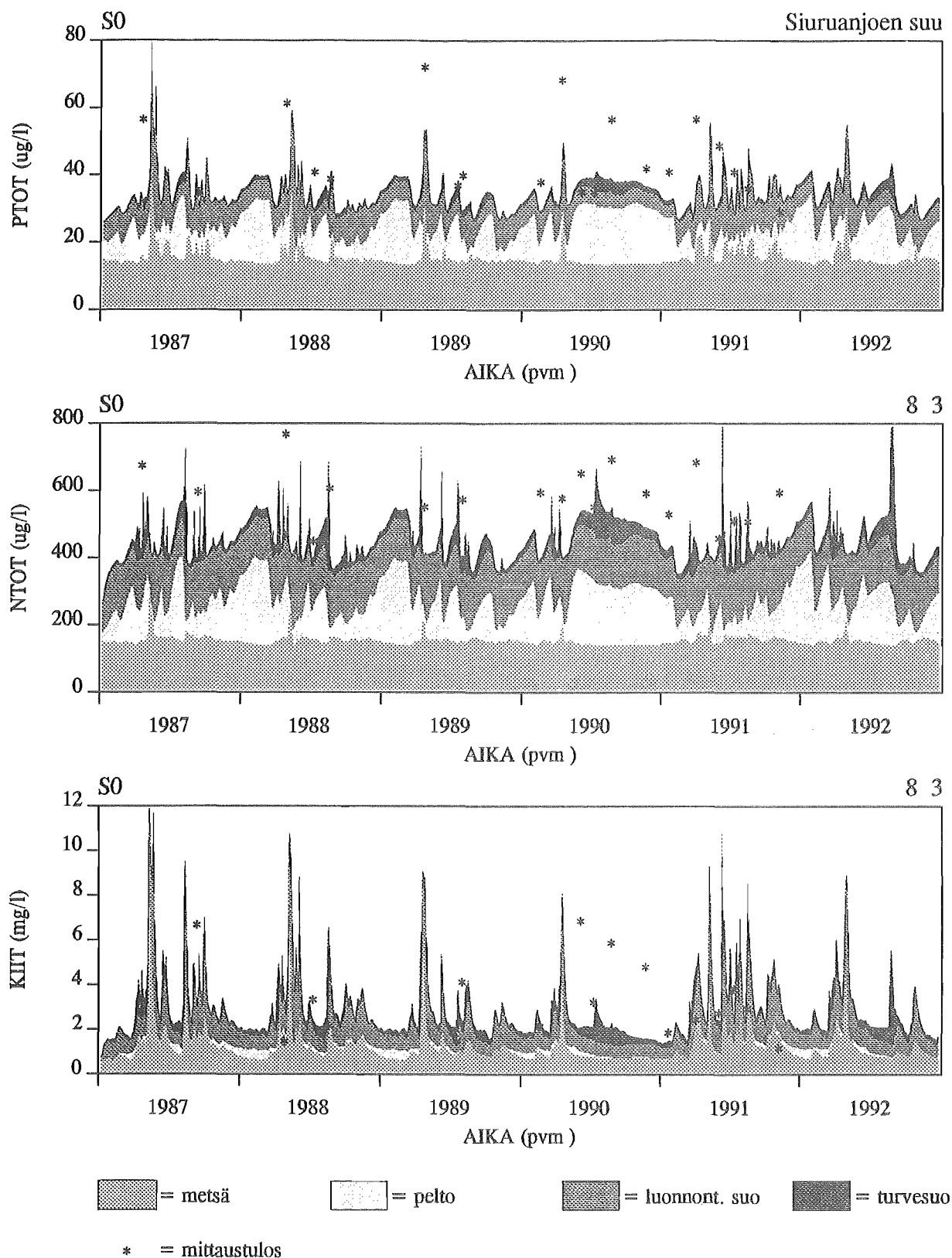
vertailu mittauksiin



Kuva 20. Mallilla laskettujen tulosten vertailu mittaustuloksiin. Mitatut arvot edustavat kokonaispitoisuuksia. Mallilla on eritelty metsistä, maataloudesta ym:sta (=pelto, sis. taajamien ja kalalaitosten kuormituksen), luonnontilaisilta soilta ja turvetuotannossa olevilta soilta tulevan kuormituksen. Kokonaisfosfori-, kokonaistyppi- ja kiintoainepitoisuudet Livojoen alaosalla v. 1987–1992.

KOKONAISFOSFORI, -TYPPI JA -KIINTOAINE

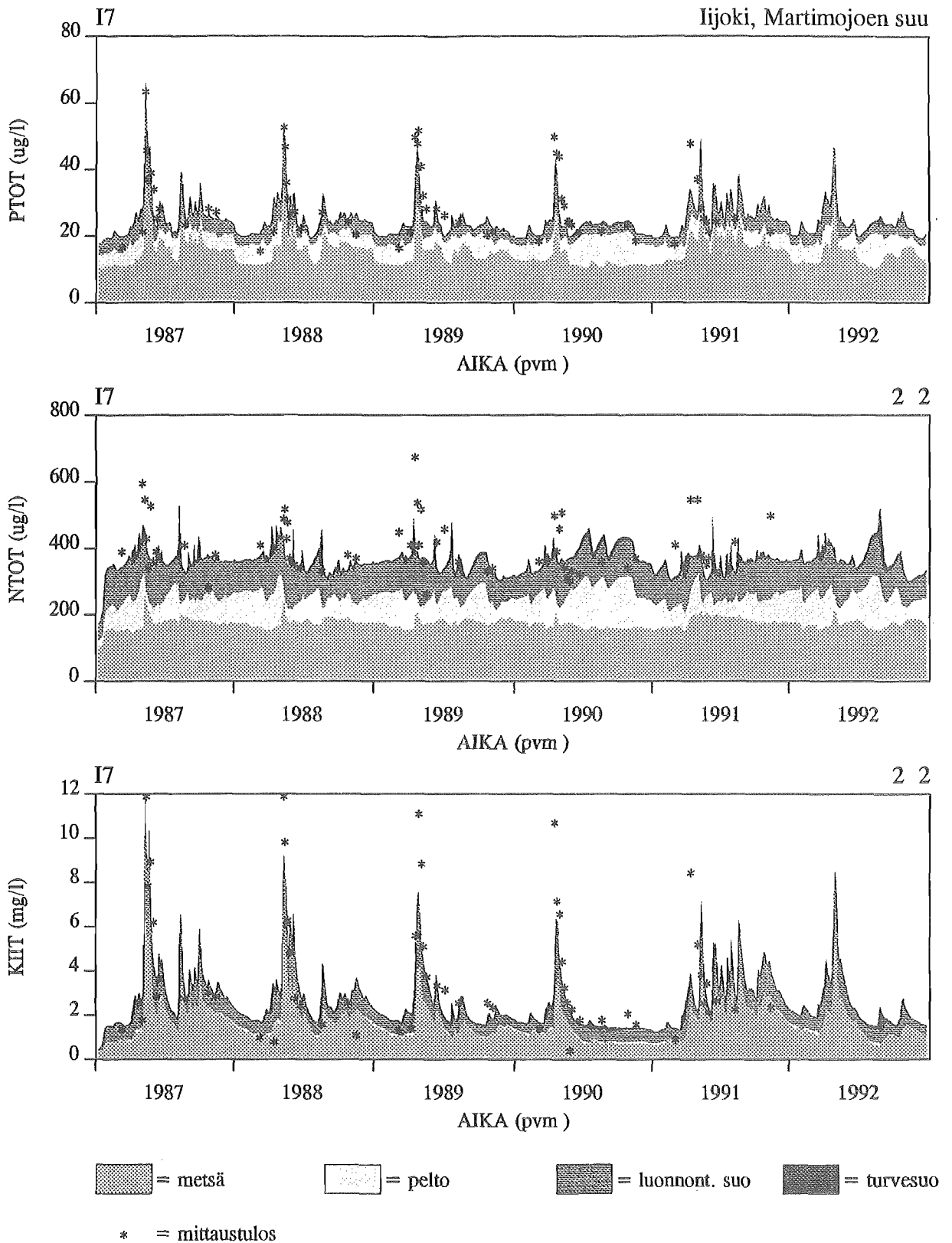
vertailu mittauksiin



Kuva 21. Mallilla laskettujen tulosten vertailu mittaustuloksiin. Mitatut arvot edustavat kokonaispitoisuuksia. Mallilla on eritelty metsistä, maataloudesta ym:sta (=pelto, sis. taajamien ja kalalaitosten kuormituksen), luonnontilaisilta soilta ja turvetuotannossa olevilta soilta tulevan kuormituksen. Kokonaisfosfori-, kokonaistyppe- ja kiintoainepitoisuudet Siuruanjoen suulla v. 1987-1992.

KOKONAISFOSFORI, -TYPPI JA -KIINTOAINE

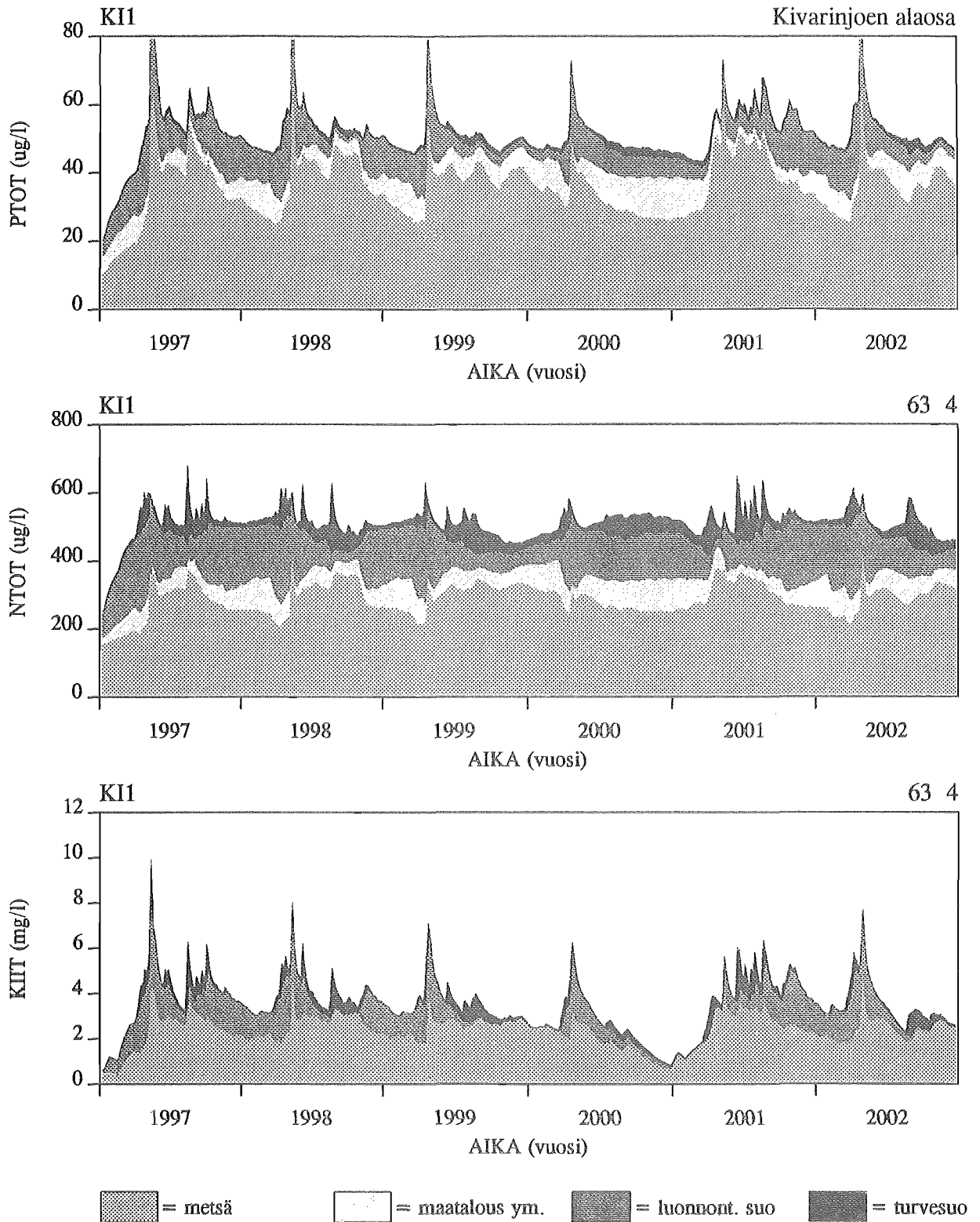
vertailu mittauksiin



Kuva 22. Mallilla laskettujen tulosten vertailu mittaustuloksiin. Mitatut arvot edustavat kokonaispitoisuuksia. Mallilla on eritelty metsistä, maataloudesta ym:sta (=pelto, sis. taajamien ja kalalaitosten kuormituksen), luonnontilaisilta soilta ja turvetuotannossa olevilta soilta tulevan kuormituksen. Kokonaisfosfori-, kokonaistyppi- ja kiintoainepitoisuudet lijoessa Martimonjoen suun kohdalla v. 1987-1992.

KOKONAISFOSFORI, -TYPPI JA -KIINTOAINE

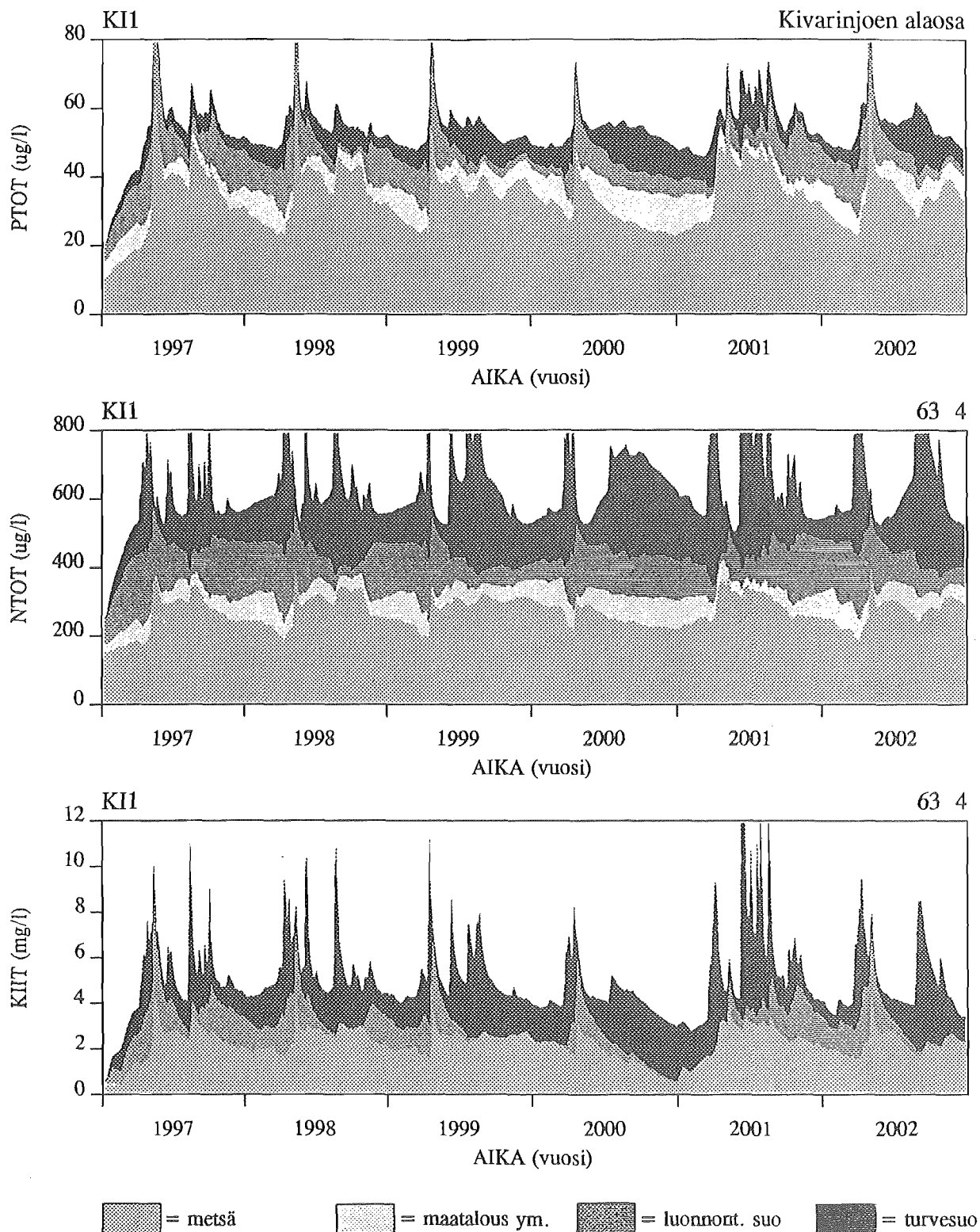
O-vaihtoehto



Kuva 23. Mallilla eritelty metsistä, maataloudesta ym:sta (=pelto, sis. taajamien ja kalalaitosten kuormituksen), luonnontilaisilta soilta ja turvetuotannossa olevilta soilta tulevan kuormituksen osuus kokonaisfosfori-, kokonaistyppi- ja kiintoainepitoisuuksissa Kivarinjoen alaosalla O-vaihtoehdolla (Pudasjärven voimalaa ei rakenneta) v. 1997 - 2002.

KOKONAISFOSFORI, -TYPPI JA -KIINTOAINE

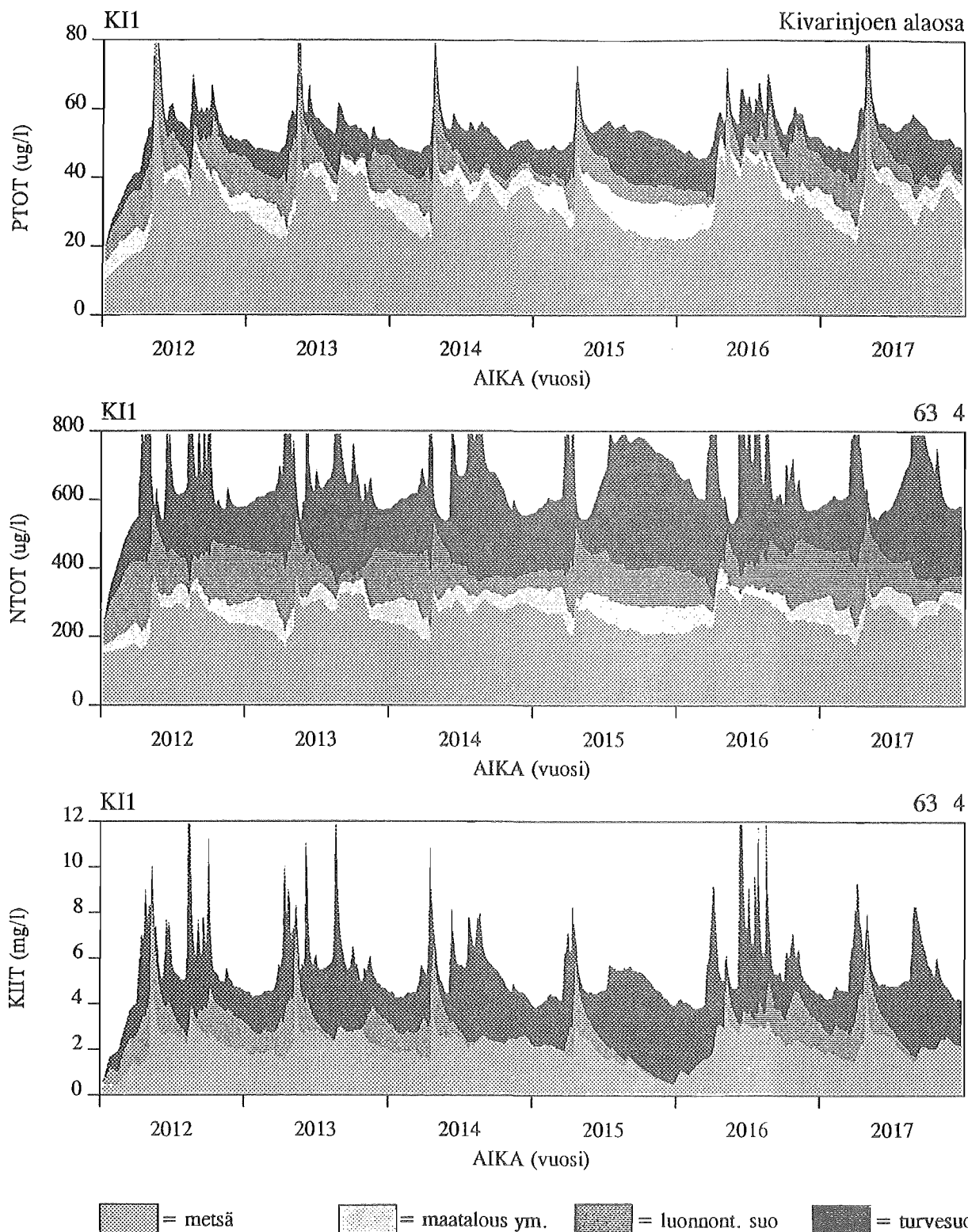
1. suokerta



Kuva 24. Mallilla eritelty metsistä, maataloudesta ym:sta (=pelto, sis. taajamien ja kalalaitosten kuormituksen), luonnontilaisilta soilta ja turvetuotannossa olevilta soilta tulevan kuormituksen osuus kokonaisfosfori-, kokonaistyppi- ja kiintoainepitoisuuksissa Kivarinjoen alaosalla Pudasjärven turvevoimalaitoksen ensimmäisen suokerran aikana v. 1997 – 2002.

KOKONAISFOSFORI, -TYPPI JA -KIINTOAINE

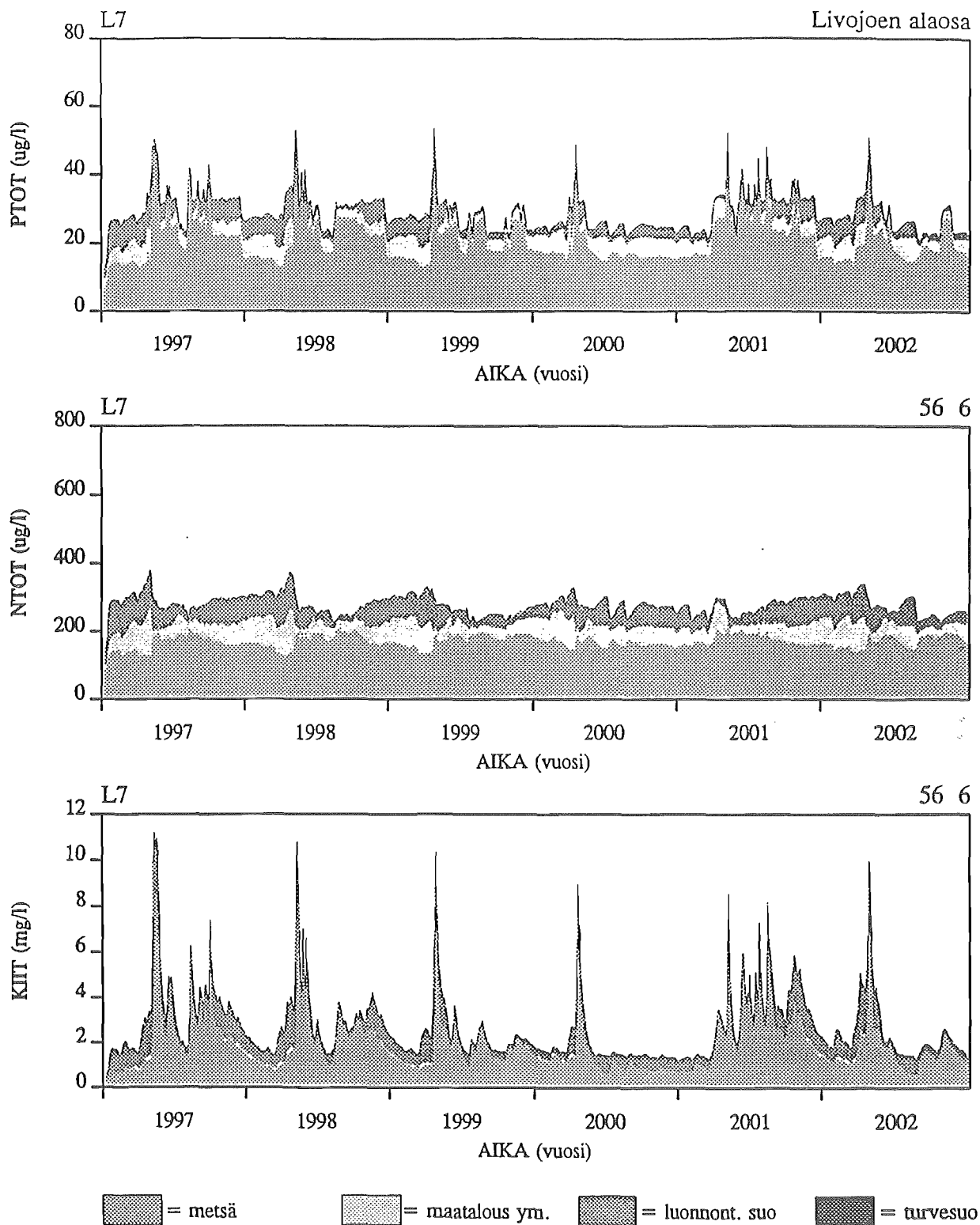
2. suokerta



Kuva 25. Mallilla eritelty metsistä, maataloudesta ym:sta (=pelto, sis. taajamien ja kalalaitosten kuormituksen), luonnontilaisilta soilta ja turvetuotannossa olevilta soilta tulevan kuormituksen osuus kokonaisfosfori-, kokonaistyppi- ja kiintoainepitoisuuksissa Kivarinjoenjoen alaosalla Pudasjärven turvevoimalaitoksen toisen suokerran aikana v. 2012 – 2017.

KOKONAISFOSFORI, -TYYPPI JA -KIINTOAINE

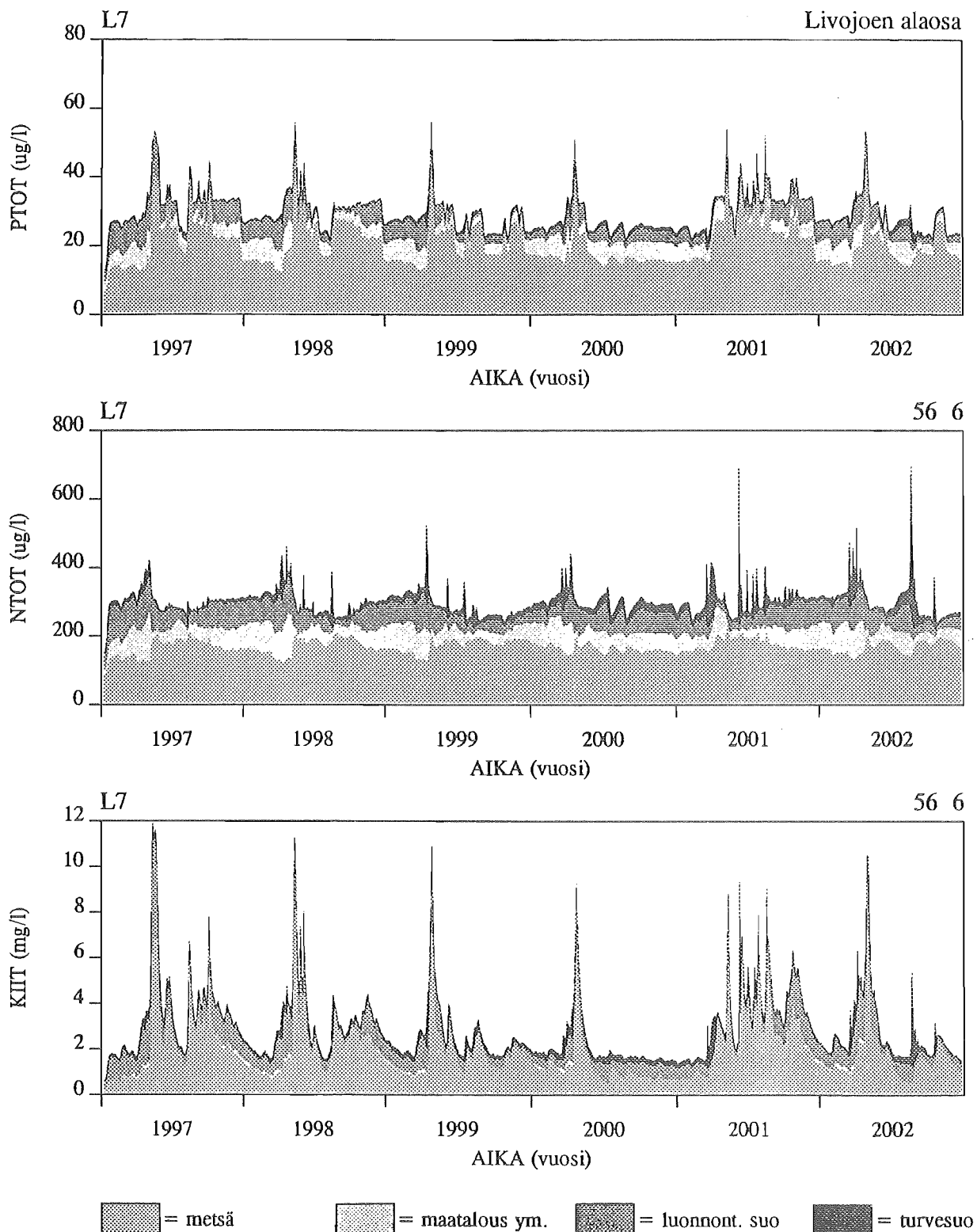
O-vaihtoehto



Kuva 26. Mallilla eritelty metsistä, maataloudesta ym:sta (=pelto, sis. taajamien ja kalalaitosten kuormituksen), luonnontilaisilta soilta ja turvetuotannossa olevilta soilta tulevan kuormituksen osuus kokonaisfosfori-, kokonaistyyppi- ja kiintoainepitoisuuksissa Livojoen alaosalla O-vaihtoehdolla (Pudasjärven voimalaa ei rakenneta) v. 1997 - 2002.

KOKONAISFOSFORI, -TYPPI JA -KIINTOAINE

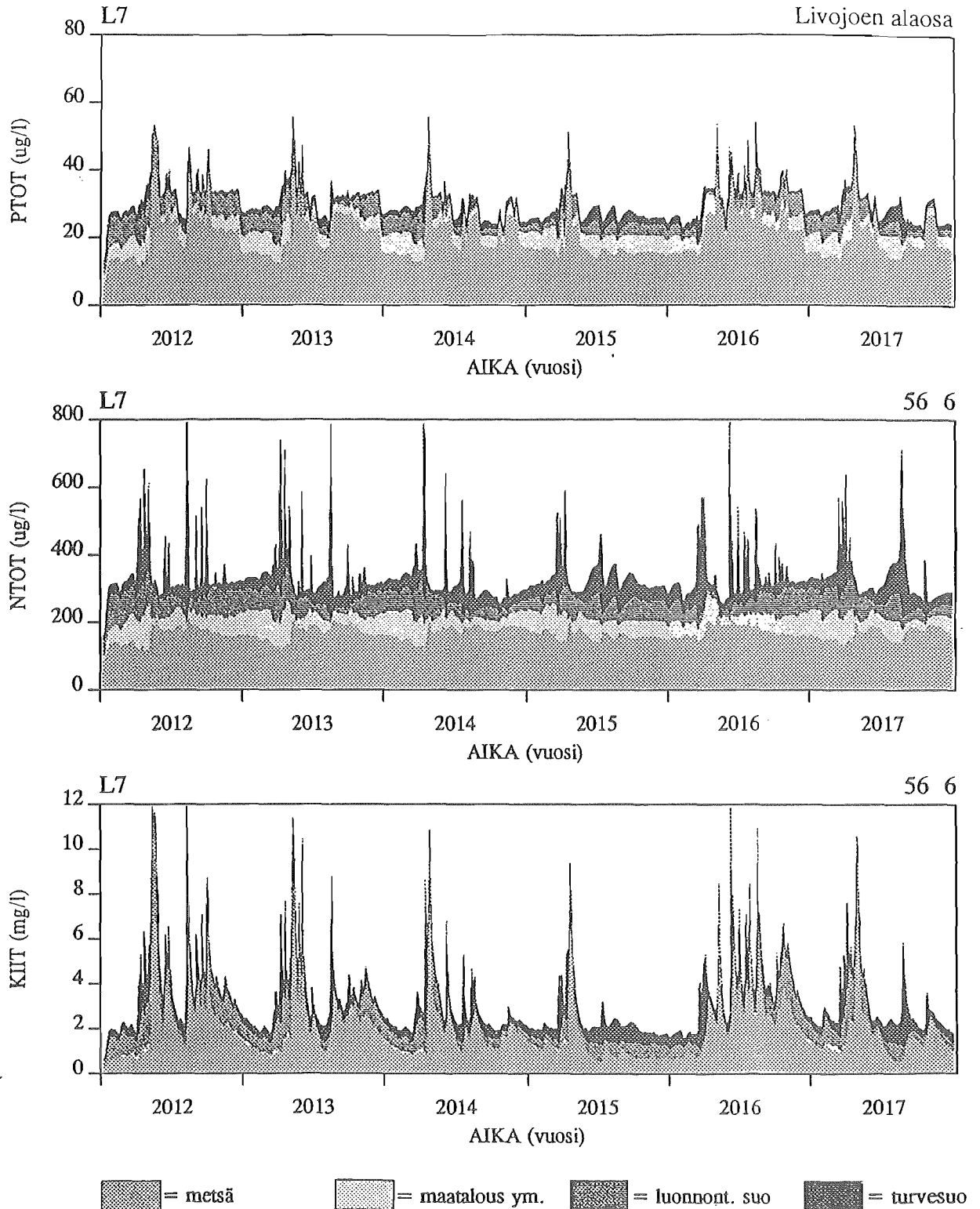
1.suokerta



Kuva 27. Mallilla eritelty metsistä, maataloudesta ym:sta (=pelto, sis. taajamien ja kalalaitosten kuormituksen), luonnontilaisilta soilta ja turvetuotannossa olevilta soilta tulevan kuormituksen osuus kokonaisfosfori-, kokonaistyppi- ja kiintoainepitoisuuksissa Livojoen alaosaalla Pudasjärven turvevoimalaitoksen ensimmäisen suokerran aikana v. 1997 – 2002.

KOKONAISFOSFORI, -TYPPI JA -KIINTOAINE

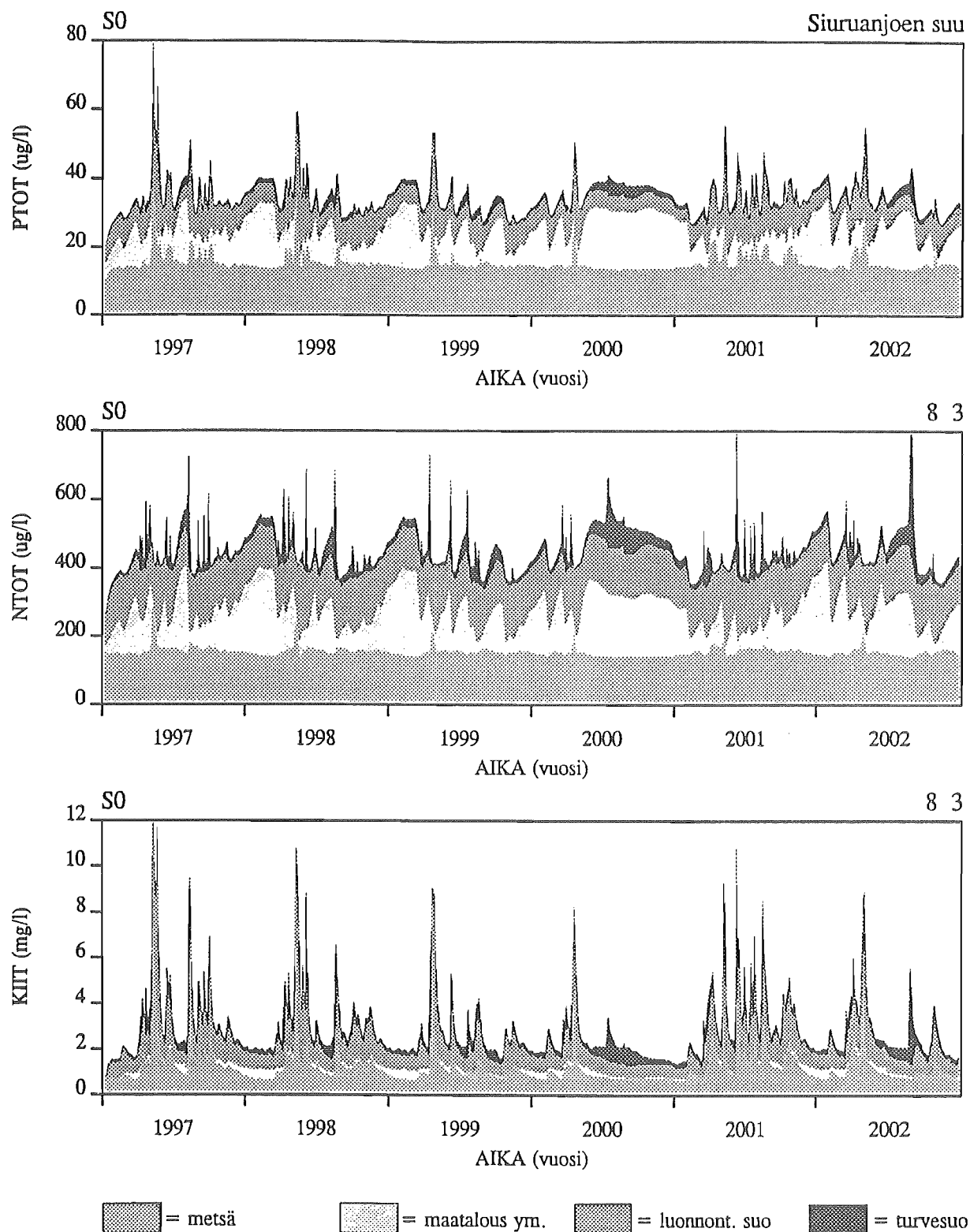
2. suokerta



Kuva 28. Mallilla eritelty metsistä, maataloudesta ym:sta (=pelto, sis. taajamien ja kalalaitosten kuormituksen), luonnontilaisilta soilta ja turvetuotannossa olevilta soilta tulevan kuormituksen osuus kokonaisfosfori-, kokonaistyppi- ja kiintoainepitoisuuksissa Livojoen alaosalla Pudasjärven turvevoimalaitoksen toisen suokerran aikana v. 2012 – 2017.

KOKONAISFOSFORI, -TYPPI JA -KIINTOAINE

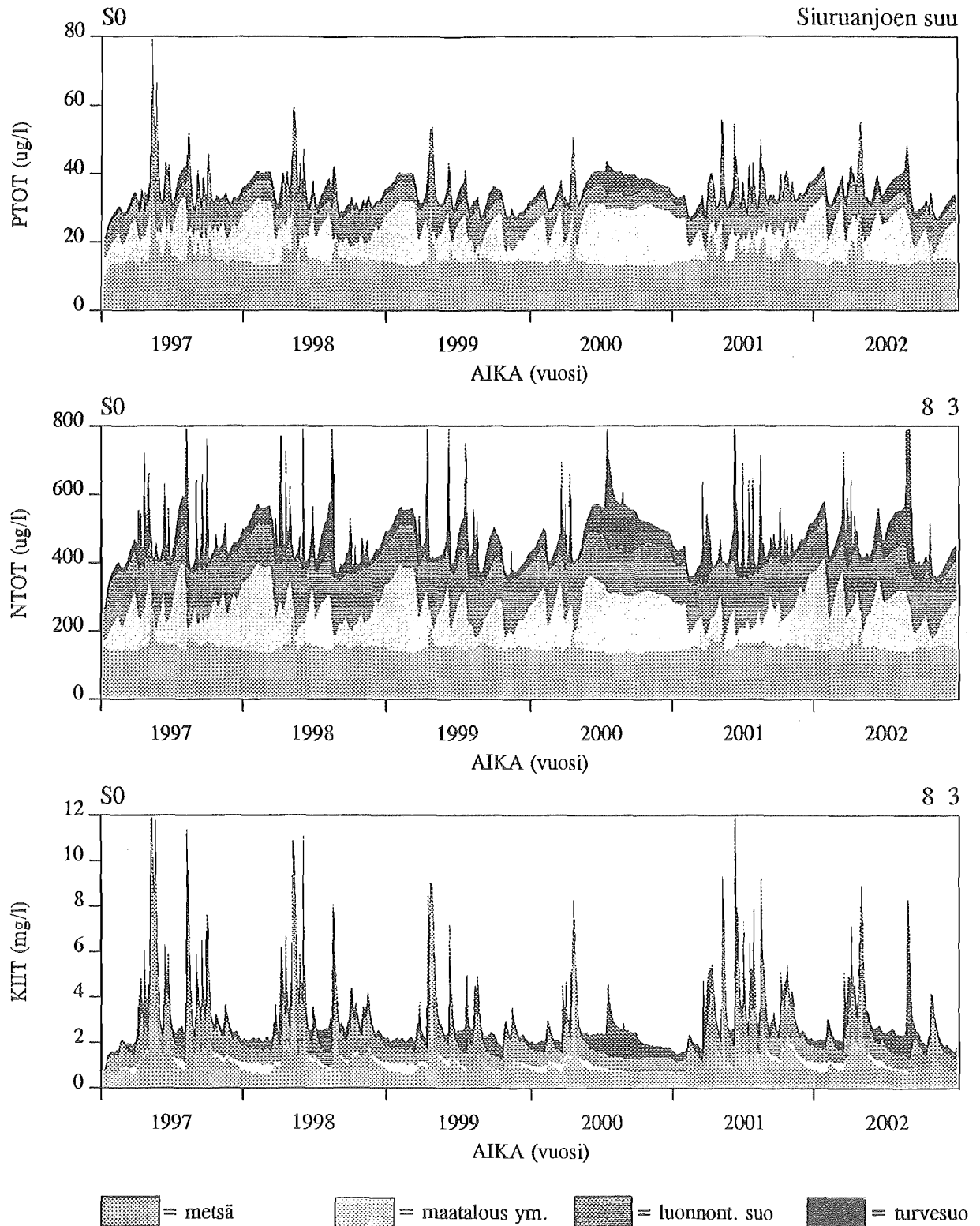
O-vaihtoehto



Kuva 29. Mallilla eritelty metsistä, maataloudesta ym:sta (=pelto, sis. taajamien ja kalalaitosten kuormituksen), luonnontilaisilta soilta ja turvetuotannossa olevilta soilta tulevan kuormituksen osuus kokonaisfosfori-, kokonaistyppi- ja kiintoainepitoisuuksissa Siuruanjoen suulla O-vaihtoehdolla (Pudasjärven voimalaa ei rakenneta) v. 1997 - 2002.

KOKONAISFOSFORI, -TYPPI JA -KIINTOAINE

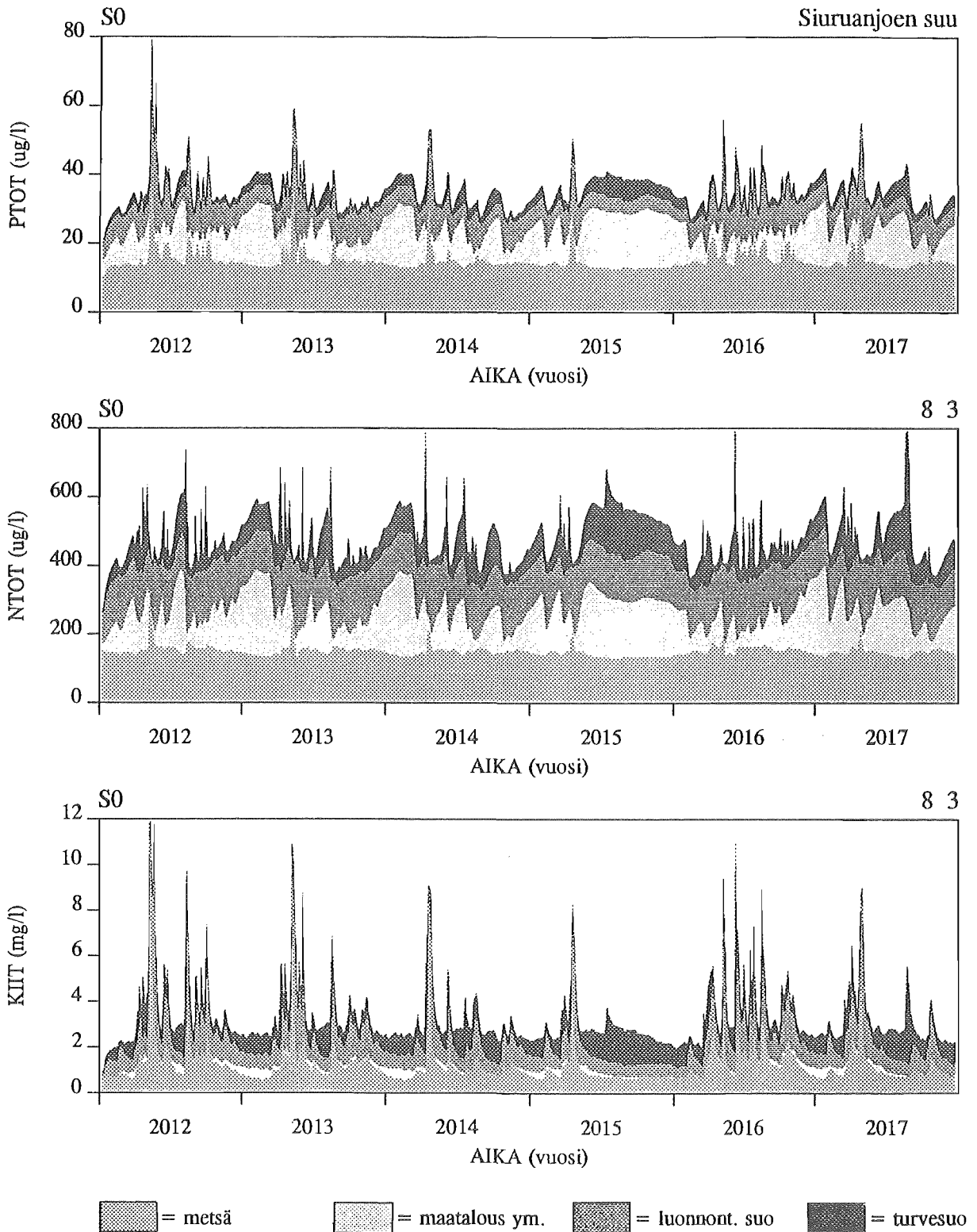
1. suokerta



Kuva 30. Mallilla eritelty metsistä, maataloudesta ym:sta (=pelto, sis. taajamien ja kalalaitosten kuormituksen), luonnontilaisilta soilta ja turvetuotannossa olevilta soilta tulevan kuormituksen osuus kokonaisfosfori-, kokonaistyppi- ja kiintoainepitoisuuksissa Siuruanjoen suulla Pudasjärven turvevoimalaitoksen ensimmäisen suokerran aikana v. 1997 - 2002.

KOKONAISFOSFORI, -TYPPI JA -KIINTOAINE

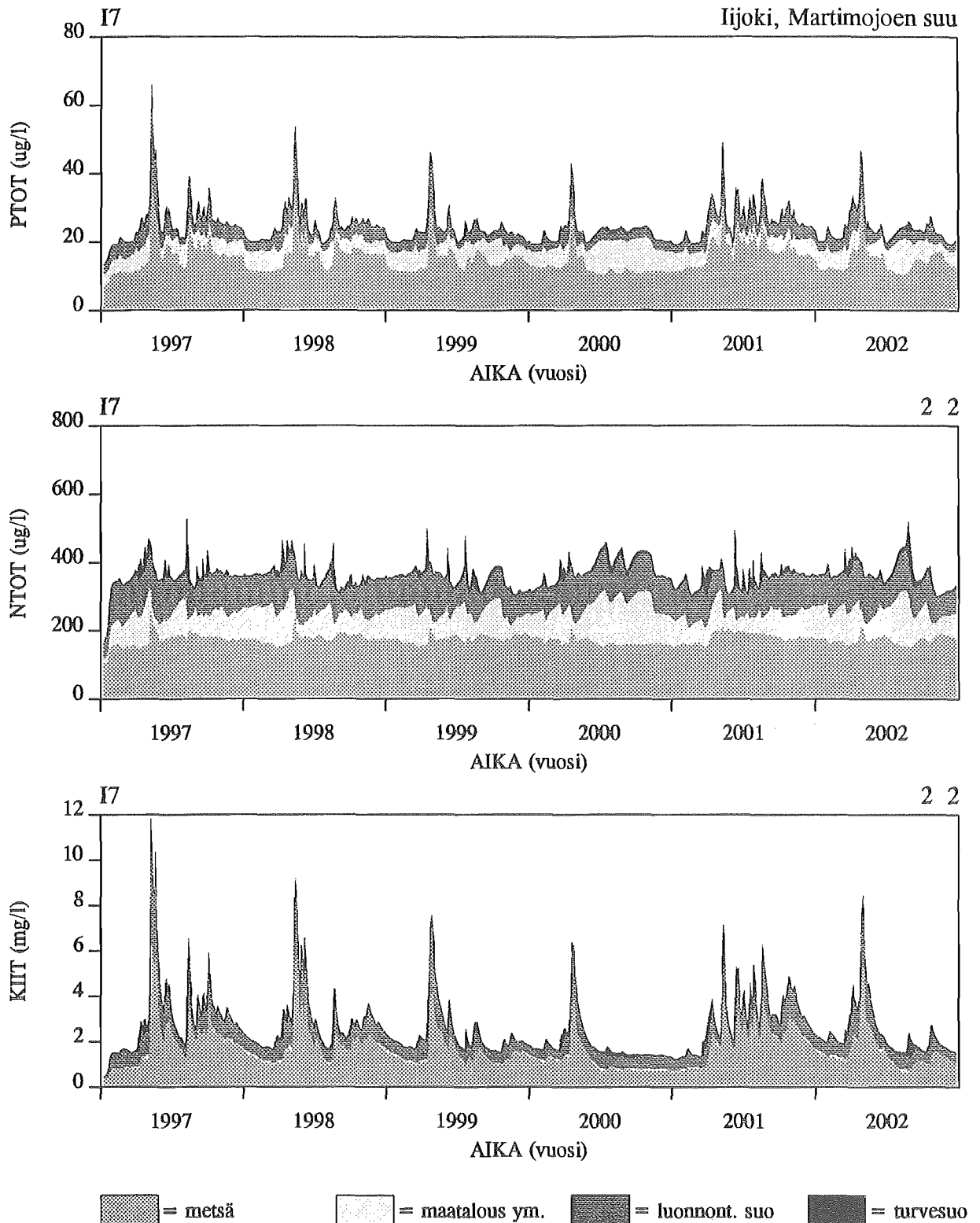
2. suokerta



Kuva 31. Mallilla eritelty metsistä, maataloudesta ym:sta (=pelto, sis. taajamien ja kalalaitosten kuormituksen), luonnontilaisilta soilta ja turvetuotannossa olevilta soilta tulevan kuormituksen osuus kokonaisfosfori-, kokonaistyppi- ja kiintoainepitoisuuksissa Siuruanjoen suulla Pudasjärven turvevoimalaitoksen toisen suokerran aikana v. 2012 - 2017.

KOKONAISFOSFORI, -TYYPPI JA -KIINTOAINE

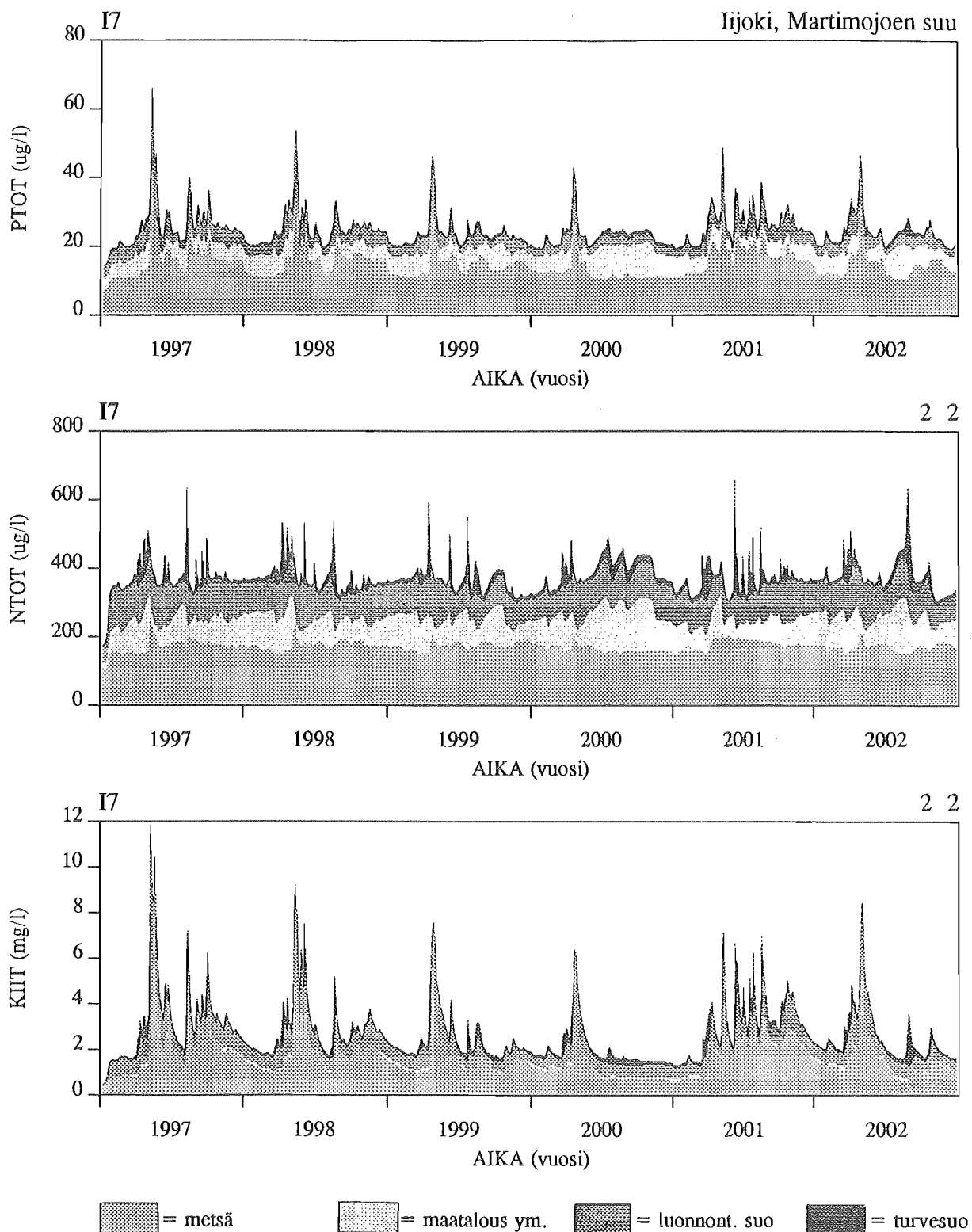
O-vaihtoehto



Kuva 32. Mallilla eritelty metsistä, maataloudesta ym:sta (=pelto, sis. taajamien ja kalalaitosten kuormituksen), luonnontilaisilta soilta ja turvetuotannossa olevilta soilta tulevan kuormituksen osuus kokonaisfosfori-, kokonaistyyppi- ja kiintoainepitoisuuksissa lijoessa Martimonjoen suun kohdalla O-vaihtoehdolla (Pudasjärven voimalaa ei rakenneta) v. 1997 - 2002.

KOKONAISFOSFORI, -TYPPI JA -KIINTOAINE

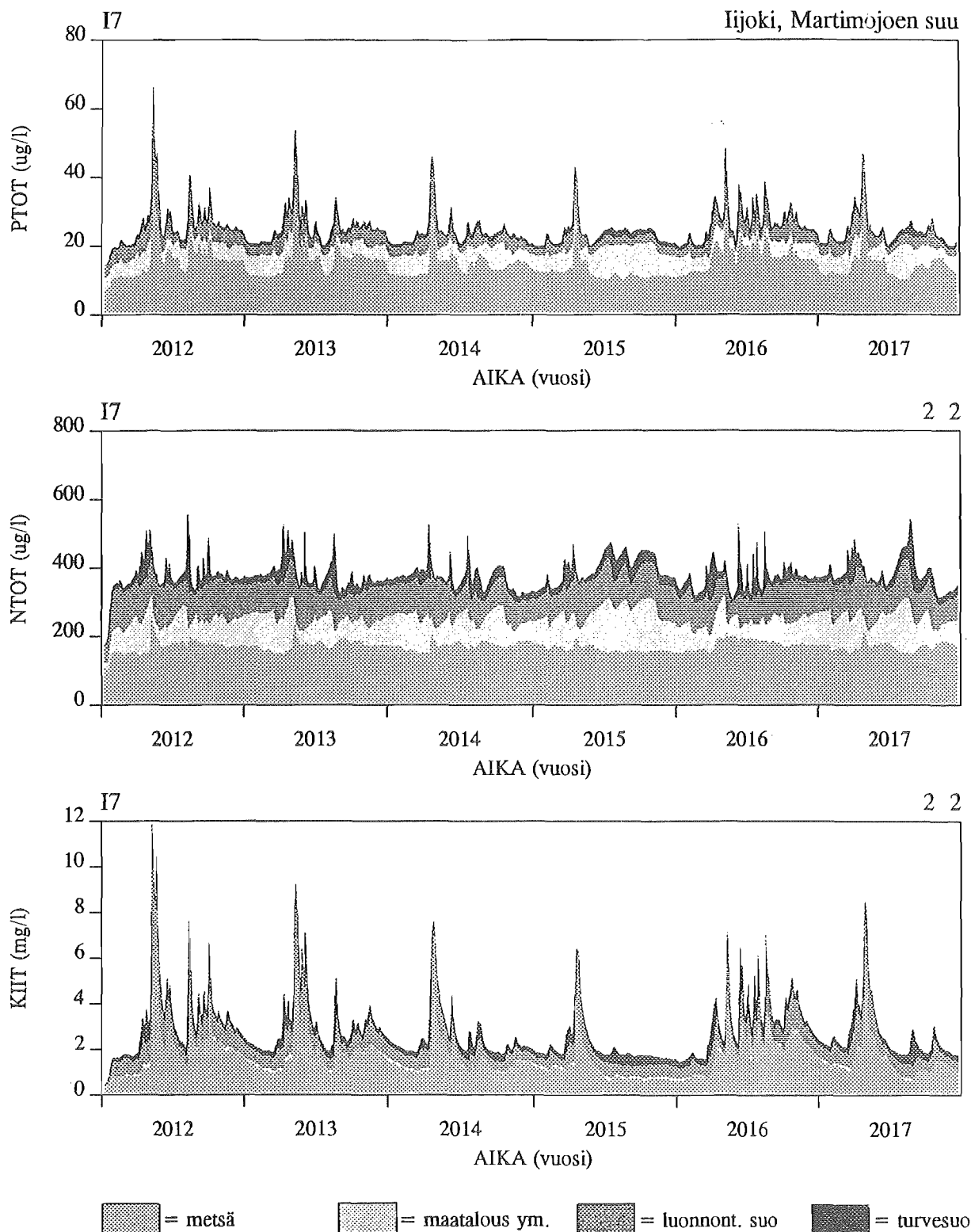
1. suokerta



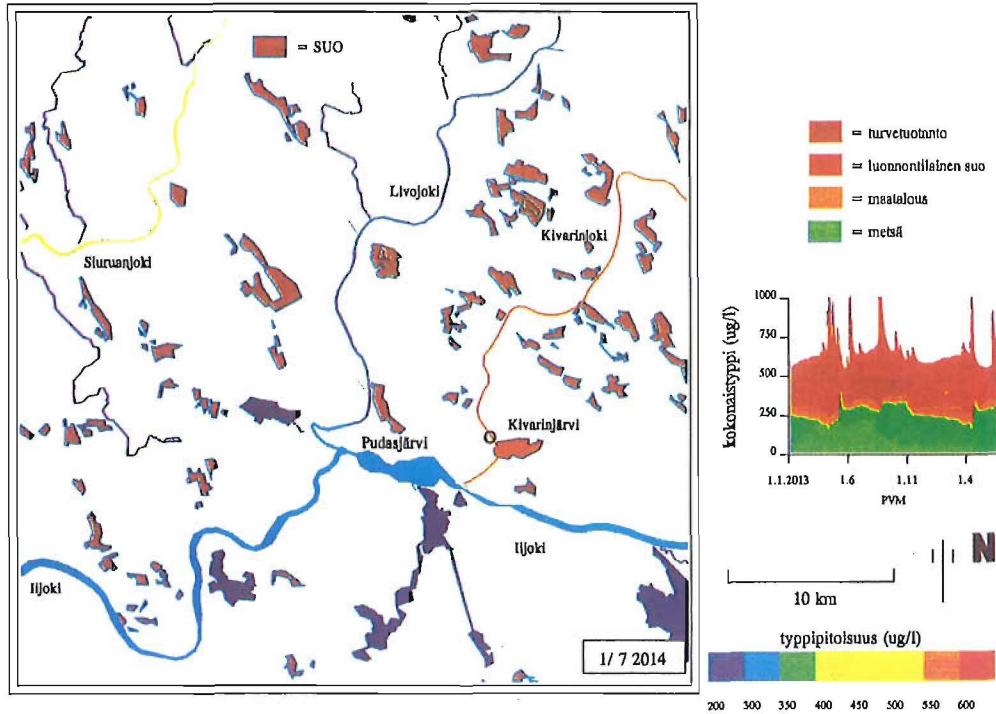
Kuva 33. Mallilla eritelty metsistä, maataloudesta ym:sta (=pelto, sis. taajamien ja kalalaitosten kuormituksen), luonnontilaisilta soilta ja turvetuotannossa olevilta soilta tulevan kuormituksen osuus kokonaisfosfori-, kokonaistyppi- ja kiintoainepitoisuuksissa Iijoen suun Martimojoen suun kohdalla Pudasjärven turvevoimalaitoksen ensimmäisen suokerran aikana v. 1997 - 2002.

KOKONAISFOSFORI, -TYPPI JA -KIINTOAINE

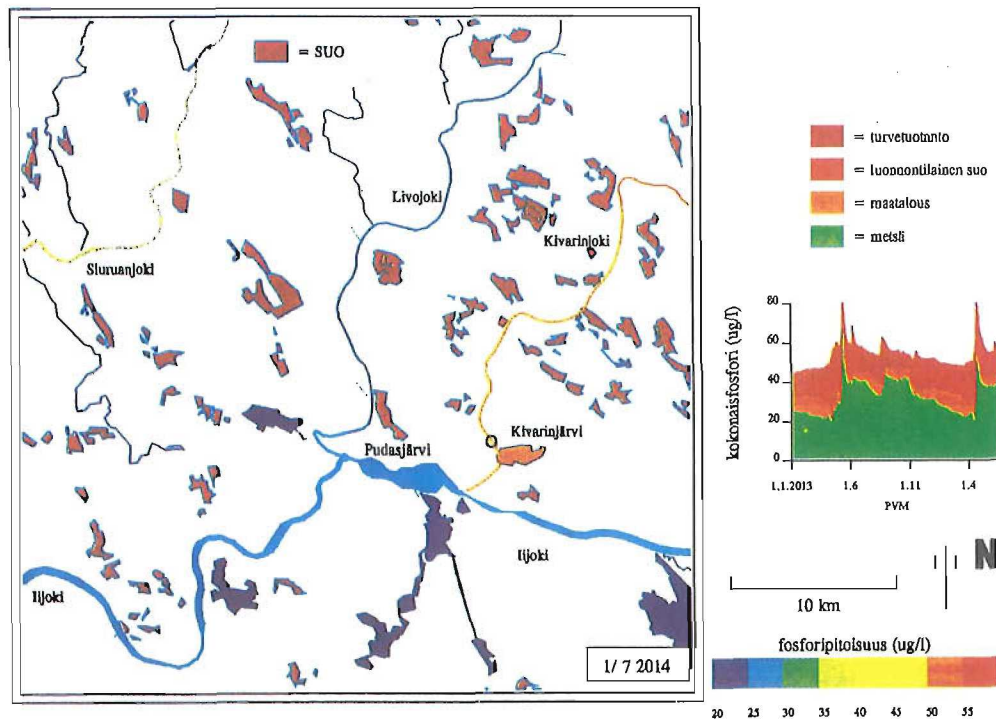
2. suokerta



Kuva 34. Mallilla eritelty metsistä, maataloudesta ym:sta (=pelto, sis. taajamien ja kalalaitosten kuormituksen), luonnontilaisilta soilta ja turvetuotannossa olevilta soilta tulevan kuormituksen osuus kokonaisfosfori-, kokonaistyppi- ja kiintoainepitoisuuksissa Iijoen suussa Martimojoen suun kohdalla Pudasjärven turvevoimalaitoksen toisen suokerran aikana v. 2012 - 2017.



Kuva 35. Kuva tietokoneen näyttörudusta: Vesistömallilla laskettu Pudasjärven alueen jokien kokonaisfosforipitoisuus 1.7.2014, jolloin on tuotannossa Pudasjärven voimalaitoksen toinen suokerta. Oikealla on esitetty kokonaisfosforipitoisuuden päivittäinen muuttuminen Kivarinjoen suulla 1.1 – 1.7.2014 ja eri maankäyttömuotojen osuus kokonaisfosforipitoisuuden muodostumisessa.



Kuva 36. Kuva tietokoneen näyttörudusta: Vesistömallilla laskettu Pudasjärven alueen jokien kokonaistyyppipitoisuus 1.7.2014, jolloin on tuotannossa Pudasjärven voimalaitoksen toinen suokerta. Oikealla on esitetty kokonaistyyppipitoisuuden päivittäinen muuttuminen Kivarinjoen suulla 1.1 – 1.7.2014 ja eri maankäyttömuotojen osuus kokonaistyyppipitoisuuden muodostumisessa.

11 JÄRJESTELMÄN JATKOKEHITTÄMISTARPEET JA SOVELTAMISMAHDOLLISUUDET

11.1 Mallien jatkokehittämistarpeet ja uudet soveltamisalueet

Vesistömallaja on Suomessa sovellettu ja kehitetty jo 20 vuoden ajan. Olemassa olevien vesistömallien rakenne ja käyttö on vakiintunut lukuisissa sovelluksissa varsin pitkälle. Vesistömallien kehitys painottuu uusien alueiden kuvaamiseen ja mallien yhdistämiseen. Edellä mainitut ravintoverkko- ja typpimallit (Haapamäki 1992, Inkala 1993) on kytketty 3D-virtausmalliin. Työn alla ovat myös sinilevä, aalto- ja eroosio-mallit (Keränen ym. 1992). Sinilevien, limoittumisen ja sedimentin ravinne-dynamiikan tunteminen ja mallintaminen luo pohjaa yhä luotettavampien vedenlaatuennusteiden tekemiselle.

Perinteinen hydrologinen mallintaminen on perustunut asioiden keskiarvoistamiseen, mikä ei ole mahdollistanut alueellisen vaihtelun huomioimista valumia ja kuormituksia ennustettaessa. Kaukokartoitusmenetelmien, digitaalisten maastomallien ja karttatieto-järjestelmien (GIS) voimakas kehittyminen avaa tulevaisuudessa kokonaan uusia mahdollisuuksia alueellisesti hajautetun eli spatiaalisen tiedon hyödyntämisessä hydrologisia ennusteita laadittaessa. Alueellisesti hajautettujen hydrologisten mallien metodologiset ja käytännölliset vaikeudet on tässä työssä pyritty poistamaan tyyppi-profiilien avulla, eli jakamalla alue hydrologisesti homogeenisiin osa-alueisiin. Tämän menetelmän tarkempi testaaminen erityyppisillä pienillä valuma-alueilla, joiden maankäyttö tunnetaan on yksi kiireellisimpiä mallin kehitystehtäviä. Sopivia aineistoja voisivat olla Hydrologisen toimiston ns. pienet valuma-alueet, jotka järetyttömyyden ansiosta sopivat tyyppiprofiilitarkastelun testialueiksi.

Mallien käyttö tulee laajenemaan yhä suurempiin kokonaisuuksiin. Ensimmäisenä esimerkkinä on tästä Iijoen vesistöalueen sovellus, jossa valuma-, huuhtouma-, virtaus- ja vedenlaatumallit on kytketty kiinteäksi kokonaisuudeksi. Uutena mahdollisuutena voidaan mallitarkasteluun liittää fysikaalinen tuuli- ja ilmakehämalli. Tällöin on esim. jonkin teollisuuslaitoksen ympäristövaikutuksia mahdollista tarkastella yhtenä kokonaisuutena. Tämän lähestymistavan pohjalta voidaan arvioida erilaisia kuormitusvaihtoehtoja ja laajimmillaan tuotannon koko elinkaarta koko ympäristön kannalta.

Vakiintuneiden vedenlaatumallien kehitystyö liittyy niiden nopeuden ja tarkkuuden parantamiseen. Nopeuden parantaminen saavutetaan yksinkertaistetuilla malleilla, käyttämällä parannettuja laskenta-algoritmeja, laskennan osa-alueiden älykkäällä valinnalla ja tulevaisuudessa moniprosessoroinnilla. Mallien laskennallinen tarkkuus paranee tietokonekapasiteetin kasvaessa, koska voidaan käyttää yhä tarkempia hilarakenteita. Laskennallista tarkkuutta parannetaan myös vähentämällä numeerisia epätarkkuustekijöitä. Esimerkkinä tästä ovat partikkelien käyttö kulkeutumiskuvauksessa, numeerisen diffuusion vuokorjausmenetelmät ja diagonaalisen kulkeutumisen laskenta. Altaiden virtausten kuvaamisessa tarkkuus paranee, kun mallien syöttötietona annettava tuulikenttä tarkentuu esim. paikallisten tuulimallien ansiosta. Altaiden virtausdynamiikan kannalta ehkä tärkein tehtävä on kerrostuneen virtauksen kuvaamisen parantaminen.

11.2 Käyttöliittymän jatkokehittämistarpeet ja uudet soveltamisalueet

Luonnollisesti uusien mallien ja sovelluskohteiden liittäminen järjestelmään vaatii käyttöliittymän kehittämistä. Käyttöliittymä on kuitenkin pyritty pitämään rakenteeltaan mahdollisimman joustavana ja yleisenä, jolloin sen muutokset ja lisäykset eivät vaadi kohtuuttomia resursseja.

Järjestelmän laajentaminen vesistötarkkailun tukemiseen edellyttää järjestelmältä joustavaa kytkentää esim. havaintotuloksiin. Esitysgrafiikan täytyy myös palvella velvoitetarkkailun tarpeita. Käyttöjärjestelmän integrointi tekstinkäsittely-, taulukko-laskenta-, esitysgrafiikka- ja tietokantaohjelmiin saattaa olla mielekästä, koska tällöin

raportointi helpottuu ja monipuolistuu. Käyttöjärjestelmän avulla voidaan myös esittää vedenlaadun kehitystä havainnollisella ja kiinnostavalla tavalla tiedotusvälineille ja suurelle yleisölle, jolloin velvoitetarkkailun tuloksia pystytään hyödyntämään laajemmin.

Taloudellisten tekijöiden ja päätöksentekojärjestelmien liittäminen järjestelmään luo uuden haasteen käyttöjärjestelmälle. Eri osatekijöiden on kyettävä välittämään tietoa toisilleen ja hyödyntämään tietoa älykkäällä tavalla. Tuotettu tieto pitää myös pystyä esittämään riittävän selkeässä muodossa mutta kuitenkin niin, että oleellista päätöksentekoon vaikuttavaa informaatiota ei häviä.

Käyttöjärjestelmästä voi olla hyötyä myös tutkimuksessa. Mallien käyttökynnyksen madaltuessa ja mallitulosten tarkastelun helpottuessa, mallien käyttö voi levitä yhä laajempiin piireihin. Näin esim. biologinen tutkimus voi hyödyntää malleja testattaessa eri hypoteesejä tai selitettäessä mittaustuloksia.

11.3 Taloudellis-yhteiskunnalliset tarkastelut

Todelliset yhteydet ympäristövaikutusten ja yhteiskunnallis-taloudellisten merkitysten ja yhteyksien kesken ovat laskelmissa tähän asti olleet olemattoman ohuita, joskin kuilu on kaventumassa. Ympäristöpalveluiden (-käytön, -nautinnan jne.) hinta ei määräydy suoraan hyödykemarkkinoilla. Sen vuoksi on löydettävä epäsuoria tapoja ympäristöhyötyjen mittaamiseksi - joko rahassa tai luonnollisina ja alkuperäisinä yksikköinä.

Ulkokohtaisia (objective) arvotusmahdollisuuksia ovat mm. nautinnonhalun hinnoittelu (hedonic pricing), matkakustannusten vertailu, kiinteistön hintojen riippuvuustarkastelut ja terveyspalvelujen kysyntä. Näissä ympäristöhyödykkeen hinta johdetaan markkinatarvaiden hinnoista vertailemalla. Omakohtaiset (subjective) menetelmät puolestaan kartoittavat yksilöiden etusijavalintoja, mieltymyksiä ja maksuhalukkuutta ja yhdistävät näitä ympäristön hinnaksi.

Suhteellinen (tai satunnainen) arvottaminen (contingent valuation method, CVM) on tavallisin keino ympäristöhyötyjen raha-arvon määrittämiseen. Siinä ihmisiltä kysytään maksutarjouksia tai korvausvaatimuksia markkinoita vaille olevien hyödykkeiden määrän tai laadun muutosten estämiseksi tai hyväksymiseksi. Todellisten markkinoiden sijaan CVM pyrkii luomaan otaksutut (hypothetic) markkinat vastaajien mieliin ja täten jäljittelemään tavaramarkkinoita mahdollisimman luonnonmukaisesti.

Monen tavoitteen (multi-object) tarkasteluissa ympäristöarvoja voidaan käsitellä sellaisinaan - latistamatta, kaventamatta tai aliarvioimatta niitä rahoiksi. Tämä tarkastelu ehkä parhaiten pitää päätelmät ja päätökset todellisia tuntemuksia vastaavina. Ympäristön hinnaksi raha-arvomäärittämisestä näyttää tähän asti saadun joko yliarvioituja tai alhaisia lukuja. Esim. voimataloushyötyihin verrattuna kalaston arvo jää olemattomaksi ja virkistysyödyt miltei vielä vähäisemmiksi ainakin siihen asti kunnes kyse on viimeisestä virkistystilasta.

Päätettäessä ympäristöön vaikuttavasta tuotannosta tai toimenpiteistä ei pelkkien suorien ympäristövaikutusten tunteminen yleensä riitä. Päätäjän täytyy ottaa huomioon toimenpiteiden kustannukset, käytettävissä olevat resurssit ja toimenpiteiden taloudelliset seuraukset. Päätöksillä on myös välillisiä yhteiskunnallisia seuraamuksia esim. työllisyyden kautta.

Taloudellis-yhteiskunnallisten vaikutusten määrittäminen ei ole yksikäsitteinen tehtävä. Hyvän esimerkin tästä tarjoaa ydinvoimakeskustelu, jossa kannattavuuslaskelmat poikkeavat rajusti toisistaan laskelmien esittäjästä riippuen. Ympäristövaikutusten taloudellisia seuraamuksia arvioitaessa lisäongelman luovat vaikutusten ennustamisen epävarmuustekijät ja vaikutusten arvottaminen rahassa. Epävarmuustekijät voidaan ottaa huomioon riskien kautta: vaikutuksia arvioitaessa käytetään todennäköisyyksiä eikä

suoraa pitoisuus-raha syy-yhteyttä. Tällöin annetaan mallien pohjalta arvio esim. myrkyllisen leväkukinnan esiintymistodennäköisyyden muutoksesta kun kuormitusta muutetaan tietty määrä.

Riskit puolestaan voidaan arvottaa taloudellisesti eri kriteereillä. Päätöksentekijälle jätetään vastuu kriteerin tai kriteerien valitsemisessa. Käyttöjärjestelmän tulee sisältää keskeiset arviointimenetelmät, joista käyttäjä voi valita tapaukseen soveltuvat menetelmät.

11.4 Päätöksenteon tukijärjestelmät

Päätöksenteko on vaikeaa tilanteessa, jossa syy-seuraussuhteet ovat monimutkaiset, taloudellisia vaikutuksia voidaan painottaa useilla tavoilla ja ympäristöön kohdistuu erilaisia käyttöpaineita. Ympäristön eri käyttömuodot ovat lisäksi usein ristiriidassa keskenään, ja hyötyä arvioitaessa niitä ei voida pukea yhteismitalliseen muotoon.

Mallien käyttö helpottaa osaltaan päätöksentekoa, joka lähtee ympäristövaikutusten arvioinnista. Kehittynyt graafinen käyttöjärjestelmä ja esim. GIS:in (Geographic Information System) yhdistäminen siihen helpottavat mallien ja mittaustulosten tulkintaa ja syy-seuraussuhteiden arviointia. Mallien käyttö ja edellisessä kappaleessa kuvattu taloudellisten vaikutusten arviointitapa luo myös tietoa varsinaisille päätöksenteon tukijärjestelmille. Tukijärjestelmistä voidaan ottaa esimerkiksi:

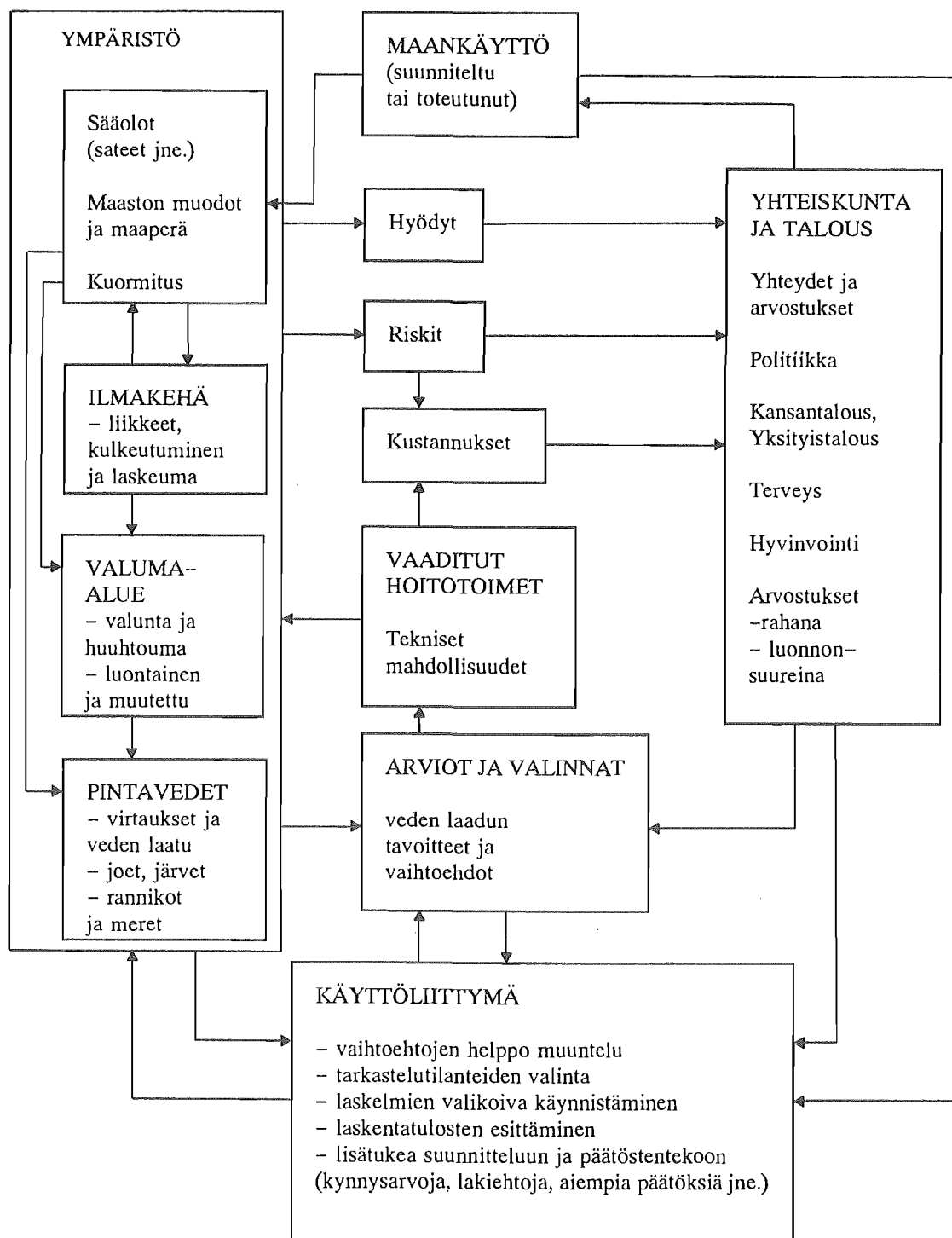
- optimoinnilla voidaan hakea esim. ympäristön kannalta parasta toimenpiteiden joukkoa, kun käytettävissä on tietty rahamäärä
- asiantuntijajärjestelmiin sisällytetään asiantuntijoiden tietämystä sääntöpohjaisiin päättelyketjuihin
- sumeat systeemit soveltuvat epätasällisen tiedon ja päättelyn esittämiseen
- hermoverkkoja käytetään esim. tunnistamisessa ja luokittelussa
- AHP:tä käytetään yhdistämään useiden asiantuntijoiden käsityksiä (Saaty 1980).

11.5 Uudet tutkimusprojektit

Järjestelmän osia sovelletaan EY:n ympäristötutkimusohjelmaan esitetyssä hankkeessa, jonka nimi on RIVERBASE (River Basin Waste Management System). Projektin tarkoituksena on kehittää jokialueen monitorointijärjestelmää, jolla pystytään valvomaan jokialueen kuormittajia. Jokialueelle sijoitetaan suuri joukko antureita. Kun jatkuvasti mitatut pitoisuusarvot ylittävät määrätyn rajan, käynnistyy päästölähteen jäljityksestä ja toimenpiteiden suuntaamisesta huolehtiva järjestelmä. Päästölähdettä jäljitetään matemaattisten mallien, sumean logiikan, hermoverkkojen ja asiantuntijajärjestelmien avulla. Hermoverkkoja ja asiantuntijajärjestelmiä käytetään myös ohjaamaan toimenpiteitä. Järjestelmässä arvioidaan lisäksi joen pitkän aikavälin kehitystä ja järjestelmän käytön vaikutusta joen tilaan. Järjestelmässä käytetään hyväksi maankäytön vesistövaikutusten hallintaan kehitettyä käyttöliittymää.

Tanskan valtiollisen ympäristöntutkimuslaitoksen (NERI) on käynnistetty yhteistyö sosio-ekonomisten näkökohtien liittämiseksi järjestelmään. Samalla järjestelmää kehitetään edelleen ylläeriteltyjen jatkokehittämistarpeiden pohjalta. Kehittämistyön suuntaviivat osoittaa kuva 37.

Oulun vesi- ja ympäristöpiiri kehittää yhteistyössä naapuripiirien sekä vesi- ja ympäristöhallituksen kanssa ympäristön seurantajärjestelmää. Kehittämistyön aikataulu tähtää vuoteen 1996. Työssä pyritään suuntaamaan vesistöseurantoja uudella tavalla ja seurantajärjestelmään liitetään myös muut seurannat. Vesistöjen seuranta kehitetään tietokoneavusteiseksi. Tämän tutkimuksen yhteydessä Iijoen vesistöalueelle kehitettyä vesistömallia pyritään käyttämään jo vuonna 1994 velvoitetarkkailun tukena. Saatujen kokemusten mukaan järjestelmää kehitetään edelleen ja sen käyttöä laajennetaan myös muihin vesistöihin.



Kuva 37. Suunnitelma kehittämistyön jatkamiseksi. Maankäytön yhteydet maan laatuun ja kuormitukseen, säätilat ja valuma-alueen laskenta sekä jokien virtauksen ja veden laadun laskenta on jo liitetty käyttöliittymällä toisiinsa. Seuraavassa vaiheessa pyritään kokoamaan käyttöliittymän ohjaama tieto, suunnittelu ja seurantajärjestelmä ympäristö-, yhteiskunta- ja talousvaikutusten yhdistämiseksi maankäytön valintoihin ja päätöksiin.

KIRJALLISUUS

- Ahtiainen, M. ja Kenttämies, K. (1985). Ennakkotuloksia avohakkuun ja metsäojituksen vaikutuksista ympäristöoloihin Nurmes-tutkimuksessa. Metsä- ja turvetalouden vesistövaikutukset, seminaari 12.11.1985.
- Alonso, C.W., Neibling, W.H. and Foster, R.G. (1981). Estimating sediment transport capacity in watershed modeling. *TRANSACTIONS of the ASAE* 24(5): 1211-1220.
- Andersson, E. (1968). Development and testing of snow pack energy balance equations. *Water Resources Research* 4:1, s. 19-37.
- Anderson, M.G. and Burt, T.P. (1985). Modelling strategies. In *Hydrological Forecasting* (eds. Anderson, M.G and Burt, T.P.). John Wiley & Sons, Chichester, Uk. pp. 1-14.
- Band, L.E. (1992). Extraction of channel networks and topographic parameters from digital elevation data. Chapter 2 in *Channel Network Hydrology* (eds. Beven, K. and Kirkby, M.J). pp. 13-42.
- Bathurst, J.C. (1986). Physically based distributed modelling of an upland catchment using the Systeme Hydrologique Europeen (SHE). *J. Hydrology*, 87 (1/2), 79-102.
- Becker, A. (1992). Criteria for a hydrologically sound structuring of large scale land surface process models. Chapter 7 in *Advances in Theoretical hydrology* (ed. O'Kane, J.O.P). pp. 97-112.
- Bergström, S. and Forsman, A. (1973). Development of conceptual deterministic rainfall-runoff model. *Nordic Hydrology*, 4, pp. 47-70.
- Beven, K. (1985). Distributed models. In *Hydrological Forecasting* (eds. Anderson, M.G and Burt, T.P.). John Wiley & Sons, Chichester, Uk. pp. 405-436.
- Beven, K. (1993). Models of channel networks: Theory and predictive uncertainty. Chapter 10 in *Channel Network Hydrology* (eds. Beven, K. and Kirkby, M.J). pp. 295-310.
- Beven, K., Calver, A. and Morris, E.M. (1987). The Institute of Hydrology Distributed Model (IHDM), Institute of Hydrology Report 97, Wallingford, UK.
- Beven, K. and O'Connell, P.E. (1982). On the role of distributed models in hydrology. Institute of Hydrology Report 81, Wallingford, UK.
- Beven, K., Warren, R. and Zaoui, J. (1980). SHE: towards a methodology for physically distributed forecasting in hydrology. *Hydrol. Sci. Bull.* 24(1)d,43-69.
- Bilaletdin, Ä., Koskinen, K., & Frisk, T. (1991). Statistical assessment of different contributions to nutrient loading from a drainage basin. *Aqua Fennica*, vol. 12, no. 2, p. 117-126.
- Blackie, J.R. and Eeles, C.W.O. (1985). Lumped catchment models. In *Hydrological Forecasting* (eds. Anderson, M.G and Burt, T.P.). John Wiley & Sons, Chichester, Uk. pp. 311-346.
- Bouwer, H. and van Schilfgaarde, J. (1963). Simplified method of predicting fall of water table in drained land. *Transactions of the ASAE* 6(4): 288-291.
- Bubbenzer, G. and Jone, B.A. (1971). Drop size and impact velocity effects on the detachment of soils under simulated rainfall. *TRANSACTIONS of the ASAE* 14(4): 625-628.
- Crawford, N.H. and Linsley, R.K. (1966). Digital simulation in Hydrology: Stanford Watershed Model IV. Technical Report 39, Dept. of Civil Engineering, Stanford University.

- David, W.P. and Beer, C.E. (1975). Simulation of soil erosion – part I. development of a mathematical erosion model. *TRANSACTIONS of the ASAE* 18(1): 126–129.
- DeCoursey, D.G. (1982). ARS Small watershed model. *Am. Soc. Agric. Eng. Paper* 82–2094, presented at summer meeting 1982, at University of Wisconsin, Madison.
- Dillaha, T.A. and Beasley, D.B. (1983). Distributed parameter modeling of sediment movement and particle size distributions. *TRANSACTIONS of the ASAE* 26: 1766–1772.
- Ekholm, M. (1993). Suomen vesistöalueet. Helsinki, vesi- ja ympäristöhallitus, (Painatuskeskus). 166 s. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja A 126. ISBN 951–47–6860–4, (ISBN 951–47–1087–4,) ISSN 0786–9592.
- Feddes, R.A., Kowalik, P. and Zaradny, H. (1978). Simulation of field water use and crop yield. Wageningen, 189 p.
- Foster, G.R. and Meyer, L.D. (1972). Transport of soil particles by shallow flow. *TRANSACTIONS of the ASAE* 15(1): 99–102.
- Foster, G.R. (1982). Modeling the erosion process. In: *Hydrologic modeling of small watersheds*. ASAE, St. Joseph, MI. 450 p.
- Fread, D.L. (1985). Channel routing. In *Hydrological Forecasting* (eds. Anderson, M.G and Burt, T.P.). John Wiley & Sons, Chichester, Uk. pp. 437–504.
- Freeze, R.A. and Cherry, J.A. (1979). *Groundwater*. Prentice–Hall, Inc., New Jersey.
- Ghassemi, M. and Cristman, R.F. (1968). Properties of the yellow organic acids in natural waters. *Limnol. Oceanogr.*, vol 13, p. 583–597.
- Haapamäki, J. (1993). Malli hiilen kierrosta avovesisysteemin ravintoverkossa. Oulun yliopisto ja Oulun vesi ja ympäristöpiiri. Tutkimusraportti 68 s. Oulu.
- Heikkinen, K. (1990). Seasonal changes in iron transport and nature of dissolved organic matter in a humid river in northern Finland. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 15, no. 6.
- Heikurainen, L. (1967). Hakkuun vaikutus soiden vesitalouteen. *Acta For. Fenn.* 82:2, pp. 1–45.
- Ihme, R., Heikkinen, K. ja Lakso, E. (1990). Pintavalutus turvetuotantosoon valumavesien puhdistuksessa. Käsikirjoitus.
- Jansson, P.E. and Halldin, S. (1980). Soil water and heat model. Technical description. Technical Report 26, 1980. Swedish Coniferous Forest Project. Dept of Ecology and Environment Research. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- Jensen, K.H. (1983). Simulation of water flow in the unsaturated zone including the root zone. Institute of Hydrodynamics and Hydraulic Engineering, Technical University of Denmark, Series paper No. 33, Lungby.
- Jolma, A. (1993). Digital terrain models and geographic information systems in snow modeling. Thesis for the degree of licentiate of technology, Helsinki University of Technology, Department of Water Resources Engineering. 69 pp.
- Jolma, A. (1994). Matkakertomus: Second International Conference/Workshop on Integrating Geographic Information Systems and Environmental Modeling 26.–30.9.1993, Breckenbridge, Colorado, USA. *Vesitalous* 2/1994, 34–36.
- Kaitera, P. (1955). Raivauksen ja ojituksen vaikutuksesta vesistöalueiden hydrologiaan. *Suo* 6:6, 1–10.

- Karvonen, T. (1980). Sadanta-valuntamallin soveltaminen Kyrönjoen vesistösuunnitteluun. Diplomityö, teknillinen korkeakoulu, Otaniemi, 106 p.
- Karvonen, T. (1986). Systeemianalyysi vesitaloudessa. Sovellettu hydrologia, luku 12.4. Vesiyhdistys r.y., Helsinki 1986. pp 349-361.
- Karvonen, T. (1988). A model for predicting the effect of drainage on soil moisture, soil temperature and crop yield. Helsinki University of Technology, Publications of the Laboratory of Hydrology and Water Resources Engineering 1988/1.
- Kauppi, L. (1978). Effect of drainage basin characteristics on the diffuse load of phosphorus and nitrogen. Helsinki, National Board of Waters, Finland. Publications of the Water Research Institute 30: 21-41.
- Kauppi, L. (1986). Maatalouden vaikutus veden laatuun. Sovellettu hydrologia, luku 14.22. Vesiyhdistys r.y., Helsinki 1986. pp. 391-397.
- Keltikangas, P. (1985). Metsätalouden kehitysnäkymät. Metsä- ja turvetalouden vesistövaikutukset, seminaari 12.11.1985.
- Kenttämies, K. (1977). Utlakningen av fosfor och kalium från dikade och gödslade torvmarker. Diffuse vannförorensningar, tillförsel og transport. Nord. Symp. om Vattenforsk., Röros, Mai 1977. Nordforsk, Miljövärdsssekreteriatet, Publ. 1977:2, 271-280.
- Kenttämies, K. (1981). The effects on water quality of forest drainage and fertilization in peatlands. Publ. Water Res. Inst. 43, p. 24-31.
- Keränen, R., Riihimäki, J., Asunmaa, A., Madekivi, O., Hellsten, S., Alasaarela, E. ja Seppänen, E. (1992). Oulujärven rantojen kasvillisuuden kehittyminen ja käyttöedellytysten parantaminen. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 292:1-100. Helsinki.
- Kirkby, M.J. (1985). Hillslope hydrology. In Hydrological Forecasting (eds. Anderson, M.G and Burt, T.P.). John Wiley & Sons, Chichester, Uk. pp. 37-76.
- Kirkby, M.J. (1993). Network hydrology and geomorphology. Chapter 1 in Channel Network Hydrology (eds. Beven, K. and Kirkby, M.J). pp. 1-12.
- Knighton, M.D. and Stiegler, J.H. (1980). Phosphorus release following clearcutting of a black spruce fen and a black spruce bog. Proc. 6th Int. Peat Congr., Duluth, Minn. Aug. 1980, pp. 577-583.
- Koenings, J.P. and Hooper, F.F. (1976). The influence of colloidal organic matter on iron and iron-phosphorus cycling in an acid bog lake. Limnol. Oceanogr., vol 21, p. 684-696.
- Komiteamietintö (1987). Metsä- ja turvetalouden vesiensuojelutoimikunnan mietintö. Helsinki, Maa- ja metsätalousministeriö. 344 p.
- Konikow, L.F. and Patten, E.P.(1985). Groundwater forecasting. In Hydrological Forecasting (eds. Anderson, M.G and Burt, T.P.). John Wiley & Sons, Chichester, Uk. pp. 221-270.
- Koponen, J., Alasaarela, E., Lehtinen, K., Sarkkula, J., Simbierowicz, P., Vepsä, H. & Virtanen, M. (1992). Modelling of dynamics of a large sea area. Helsinki, National Board of Waters and the Environment. 91 p. Publications of the Water and Environment Research Institute 7.
- Kuusisto, E. (1984). Snow accumulation and snowmelt in Finland. Helsinki, vesihallitus, Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 55. 149 p.

- Kuusisto, E. (1986). Lumipeite ja jääilmiöt. Sovellettu Hydrologia, luku 4 (toim. S. Mustonen). Vesiyhdistys ry, Helsinki. s. 42–60.
- Kutchment, L.S. (1992). The construction of continental scale models of the terrestrial hydrological cycle: an analysis of the state of-the-art and future prospects. Chapter 8 in *Advances in Theoretical hydrology* (ed. O'Kane, J.O.P). pp. 113–128.
- Laaksonen, R. (1970). Vesistöjen veden laatu. Summary: Water quality in the water systems. *Soil Hydrotech. Invest.* 47. 132 p.
- Mansikkaniemi, H. (1982). Soil erosion in areas of extensive cultivation in southwestern Finland. *Fennia* 160:2, 225–276.
- Marja-Aho, J. and Koskinen, K. (1989). Turvetuotannon vesistövaikutukset. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisu 36. Helsinki. 278 p.
- Meyer, L.D. and Wischmeier, W.H. (1969). Mathematical simulation of the process of soil erosion by water. *TRANSACTIONS of the ASAE* 12(6): 754–758.
- Moore, I.D., Grayson, R.B. and Ladson, A.R. (1991). Digital terrain modeling: A review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrol. Proc.*, 5, p. 1–126.
- Morris, E.M. (1980). Forecasting flood flows in grassy and forested basins using a deterministic distributed mathematical model. In *Hydrological Forecasting*, IAHS Publication 129, pp. 247–255.
- Mustonen, S.E. (1965). Meteorologisten ja aluetekijöiden vaikutuksesta haihduntaan. *Soil and Hydrotech. Inv.* 12, 109 s.
- Mustonen, S.E. ja Seuna, P. (1971). Metsäojituksen vaikutuksesta suon hydrologiaan. *Publ. Water Res. Inst.* 2, 63 s.
- Nisell, J., Lindell, T., Meiner, A. and Öberg, M. (1994). The Matsalu Bay drainage basin classified from Landsat. *Remote Sensing* no 25, p. 5–9.
- Nisula, T. (1989). Diplomityö, teknillinen korkeakoulu, vesitalouden laboratorio.
- Nyroos, H. (1988). Veden laadun arviointi vesiensuojelun suunnittelussa. Helsinki, Vesi- ja ympäristöhallitus. 117 p. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisu 30.
- Oulun vesi- ja ympäristöpiiri (1990). Pohjois-Pohjanmaan vedet ja ympäristö 1990-luvulla. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisu 59:1–70.
- Price, A. (1977). Snowmelt runoff processes in a subarctic area. McGill University, Dept. of Geography, Subarctic Research Paper 29, 108 s.
- Pohjois-Suomen Vesitutkimustoimisto (1993). Iijoen vesistöalueen tarkkailun ja seurannan tulokset v. 1962 – 1991 ja ehdotus ohjelman kehittämiseksi. *Moniste.* 75 s.
- Päivänen, J. (1974). Hydrological effects of clear cutting in peatland forests. *Proc. Int. Symp. for Drainage.* Sept. 1974, pp. 219–228.
- Rekolainen, S. (1989). Phosphorus and nitrogen load from forest and agricultural areas in Finland. *Aqua Fennica* 19,2: 95–107.
- Rekolainen, S., Kauppi, K. & Turtola, E. (1992). Maatalous ja vesien tila. *Maveron loppuraportti.* Helsinki, luonnonvarainneuvosto, maa- ja metsätalousministeriö. 61 s. Luonnonvara-julkaisu 15.

- Saaty, T.L. (1980). *The Analytical Hierarchy Process—Planning. Priority Setting, Resource Allocation*. New York, McGraw–Hill.
- Sallantausta, T. (1983). *Turvetuotannon vesistökuormitus. Kauppa- ja teollisuusministeriön energiaosaston julkaisuja, sarja D:29, Helsinki. 122 p.*
- Sallantausta, T. (1986). *Soiden metsä- ja turvetalouden vesistövaikutukset – kirjallisuuskatsaus. Helsinki, Maa- ja metsätalousministeriö. Helsinki, 203 p.*
- Sarkkula, J. (1989). *Measuring and Modelling Flow and Water Quality in Finland. VITUKI Monographs No. 49. Water Resources Research Centre VITUKI, Budapest. 41 p.*
- Sarkkula, J. (1991). *Measuring and modelling water currents and quality as a part of decision making process for water pollution control. Abstract of Ph.D.Thesis, Tartu, Tartu University, 49 p.*
- Schultz, G.A. (1993a). *Application of GIS and remote sensing in hydrology. In: Kovar, K. and Nachtnebel, H.P. (eds.). Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management. IAHS Publ. no 211, pp. 127–142.*
- Schultz, G.A. (1993b). *Hydrological modeling based on remote sensing information. Adv. Space Res., Vol. 13, No 5, pp. 149–166.*
- Selin, P. and Koskinen, K. (1985). *Laskeutusaltaiden vaikutus turvetuotantoalueiden vesistökuormitukseen. Vesihallitus, tiedotus 262, Helsinki. 95 p.*
- Seuna, P. (1981). *Long-term influence of forestry drainage on the hydrology of open bog in Finland. Publ. Water Res. Inst., Nat. Board of Waters, Finl. 43, pp 3–14.*
- Seuna, P. (1982). *Influence of forestry draining on runoff and sediment discharge in the Ylijoki basin, North Finland. Aqua Fennica 12, s. 3 – 16.*
- Seuna, P. (1985). *Metsätalouden hydrologiset vaikutukset Nurmestutkimuksen valossa. Metsä- ja turvetalouden vesistövaikutukset seminaari 12.11.1985.*
- Seuna, P. (1986). *Ihmisen toiminnan vaikutus hydrologiseen kiertoon. Sovellettu hydrologia, luvut 14.1..14.21, 14.3..14.4. Vesiyhdistys r.y., Helsinki 1986. pp. 387–391, 397–408.*
- Seuna, P. ja Kauppi, L. (1981). *Influence of sub-drainage on water quantity and quality in a cultivated area in Finland. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 43, pp. 32–47.*
- Simons, T.J. (1980). *Circulation models for lakes and inland seas. Can. Bull. Fisheries and Aquatic Sci., No. 203, 145 p.*
- Skaggs, R.W. (1975). *A water management model for high water table soils. ASAE Paper No. 75–2524 presented at the 1975 Winter Meeting of ASAE, Chigago, Il. Dec 15–18, 27 pp.*
- Skaggs, R.W. (1978). *A water management model for high water table soils. Technical Report No. 134 of the Water Resources Research Institute of the University of North Carolina, N.C. State University, Raleigh NC 27695.*
- Skaggs, R.W. (1980). *A water management model for artificially drained soils. Technical Bulletin No. 267, N.C. Agricultural Research Service, N.C. State University, Raleigh, 54 pp.*
- Smith, R.E, and Woolhiser, D.A. (1971). *Overland flow on an infiltrating surface. Water Res. Research, Vol 7., pp. 899–913.*
- Storm, D.E., Dillaha, T.A., Mostaghimi, S. and Shanholtz, V.O. (1988). *Modeling phosphorus transport in surface runoff. TRANSACTIONS of the ASAE 31(1) : 117–127.*

- Tchobanoglous, G. and Schoeder, I.D. (1985). *Water quality management*. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, MA.
- Turtola, E. ja Jaakkola, A. (1985). Viljelyskasvin ja lannoitustason vaikutus typen ja fosforin huuhoutumiseen savimaasta. *Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 6/85*. 42 p.
- USCE (1975). *SSARR model: Program description and user manual*. North Pacific Division, Portland, Oregon, 188 p.
- Vakkilainen, P. (1982). Maa-alueelta tapahtuvan haihdunnan arvioinnista. *Acta Universitatis Ouluensis, Series C, No. 20*, Oulu.
- Vakkilainen, P. and Karvonen, T. (1982). Adaptive rainfall-runoff model, SATT-I. *Acta Polytechnica Scandinavica, Ci 81*, Helsinki, 45 p.
- van Schilfgaarde, J. (1974). Nonsteady flow to drains. In *Drainage and Agriculture*, J. v vanSchilfgaarde, ed. American Society of Agronomy, Madison, WI., pp. 245-270.
- Vehviläinen, B. (1986). Operational spring time forecasting difficulties and improvements. *Nordic Hydrology vol. 17, no. 4/5*, p. 363-370.
- Vehviläinen, B. (1992). Snow cover models in operational watershed forecasting. *Publ. of Water and Environment Research Institute 11, National Board of Waters and the Environment, Helsinki*. 112 p.
- Virta, J. (1966). Measurement of evapotranspiration and computation of water budget in treeless peatlands in the natural state. *Comment. Physico-Mathematicae, Soil Sci., Fennica, 32:11*, 70 p.
- Virtanen, M. 1989. Mathematical models within river basin management - an overview. *Aqua Fennica, vol 19, no 2*. p. 145-152.
- Virtanen, M., Koponen, J., Dahlbo, K. and Sarkkula, J. (1986). Three-dimensional water-quality-transport model compared with field observations. *Ecological Modelling, vol. 31*, p. 185-199.
- Wood, E.F. and O'Connell, P.E. (1985). Real-time forecasting. In *Hydrological Forecasting* (eds. Anderson, M.G and Burt, T.P.). John Wiley & Sons, Chichester, Uk. pp. 505-558.
- Workman, S. (1989). Agricultural engineering department, North Carolina State University, Raleigh, USA.
- Ympäristöministeriö. (1989). *Water Protection Programme to 1995. Decision in-Principle by the Finnish Council of State*. Helsinki, Ministry of the Environment, 23 p. Series 14/1989.
- Ympäristöministeriö. (1992). UNCED, YK:n ympäristö- ja kehityskonferenssi. Rio de Janeiro 3.-14.6.1992. Helsinki.
- YVA'92-toimikunnan mietintö. (1992). *Ympäristövaikutusten arviointi*. Helsinki, Ympäristöministeriö, Ympäristönsuojeluosasto. 76 p. Työryhmän mietintö 65 1992.

LIITE 1/1

EPÄLINEAARISTEN PROSESSIEN LASKENNAN MATEMAATTINEN PERUSTA

Lineaarisen kuvauksen Λ määritelmä on

$$\Lambda(\alpha x + \beta y) = \alpha \Lambda x + \beta \Lambda y. \quad (1)$$

Veden pitoisuusmuutoksia kuvataan yhtälöllä:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\mathbf{u} \cdot \nabla c + \nabla \cdot (D_{hor} \nabla c) + \frac{\partial}{\partial z} (D_{ver} \frac{\partial c}{\partial z}) + L + S, \quad (2)$$

jossa \mathbf{u} on nopeusvektori, c on pitoisuus, D_{hor} horisontaalinen ja D_{ver} vertikaalinen pyörreridiffuusiokerroin, L biologis-kemiallis-fysikaaliset prosessit ja S sisältää lähde-termit (kuormitukset). c on tässä paikan ja ajan funktio: $c = c(\mathbf{x}, t)$.

L koostuu esim. seuraavista tekijöistä:

$$L = -k_1 c - \frac{\partial k_2 c}{\partial z} - \frac{\partial k_3 c^2}{\partial z}, \quad (3)$$

jossa k_1 hajoamiskerroin, k_2 lineaarinen ja k_3 neliöllinen sedimentoitumiskerroin.

Yhtälö (2) on lineaarinen, jos L on lineaarinen. Merkitään tällöin (2):ta:

$$\Lambda c = S. \quad (4)$$

Jactaan c ja lähde-termit S N :aan osaan:

$$c = \sum_{i=1}^N c_i \quad (5)$$

$$S_c = \sum_{i=1}^N S_i \quad (6)$$

$$\Lambda c_i = S_i. \quad (7)$$

Kuvauksen lineaarisuuden nojalla:

$$\Lambda \sum_{i=1}^N c_i = \sum_{i=1}^N \Lambda c_i = \sum_{i=1}^N S_i = S. \quad (8)$$

Jos yhtälöllä on yksikäsitteinen ratkaisu (eli yksi 0-kohta), niin täytyy olla, että $c = \sum_{i=1}^N c_i$, koska c ja $\sum_{i=1}^N c_i$ toteuttavat yhtälön. M.O.T.

Vastaavasti diskreetissä tapauksessa voidaan lineaarista yhtälöryhmää merkitä:

$$c^{k+1} = T c^k + S, \quad (9)$$

jossa c on n -ulotteinen vektori (n on hilapisteiden lukumäärä), k on aikatason indeksi ja T matriisi, joka sisältää virtaukset, geometrian ja lineaaristen prosessien kertoimet. Vastaavasti kuin edellä voidaan todistaa T :n lineaarisuuden nojalla, että jakamalla c , laskemalla erilliset osuudet ja summaamalla saadaan sama tulos kuin laskemalla jakamatonta pitoisuutta.

Kun L sisältää epälineaarisia prosesseja ei pitoisuuksien suoraviivainen jakaminen onnistu, koska esim.

$$\left(\sum_{i=1}^N c_i \right)^2 \neq \sum_{i=1}^N c_i^2. \quad (10)$$

Merkitään epälineaarista termiä $\Phi(c)$. Jos erillisiä osuuksia laskettaessa epälineaarinen termi määritellään muodossa:

$$\frac{\Phi(c)}{c} c_i, \quad (11)$$

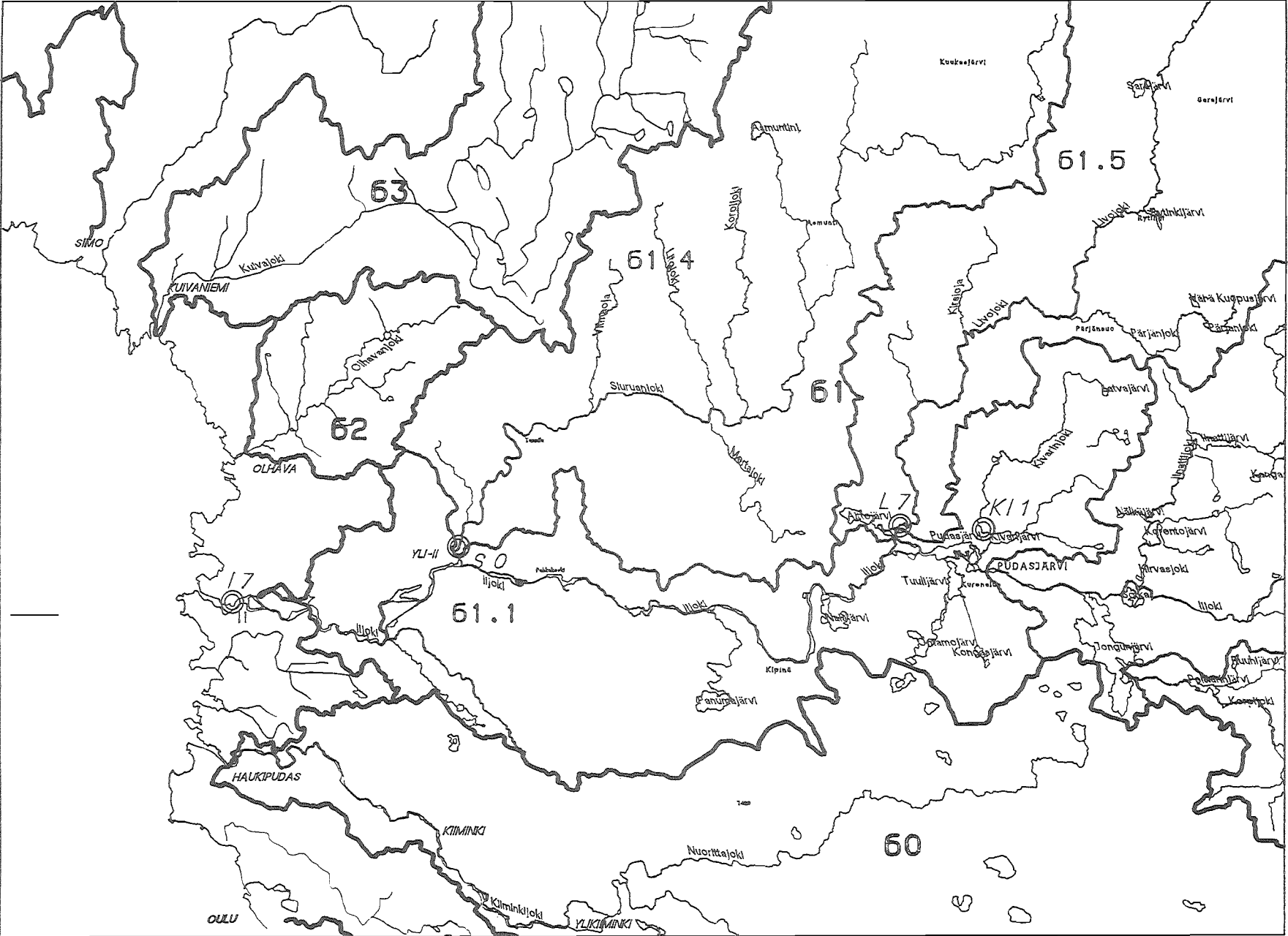
niin yhtälöt summaamalla saadaan jakamattoman pitoisuuden yhtälö.

Diskreetissä tapauksessa epälineaarisen termin käsittely on vastaavaa. Neliöllisen vajomisen tapauksessa epälineaarinen termi supistuu muotoon:

$$-k_3 \frac{c c_i}{H}, \quad (12)$$

missä H on kerrossyvyys ja c tietenkin $\sum_{i=1}^N c_i$.

SUNNITTELUALUEEN YLEISKUVA



VESI- JA YMPÄRISTÖHALLINNON JULKAISUJA - sarja A

83. Vesihuoltolaitokset 31.12.1988 ja 31.12.1989. Helsinki 1992.
84. Sandman, Olavi; Turkia, Jaana & Huttunen, Pertti: Paleolimnologinen tutkimus metsäojituksen ja -lannoituksen vesistövaikutuksista Juupajoen Kalliojärvässä. Helsinki 1992.
85. Helsingin vesi- ja ympäristöpiiri: Uudenmaan ja Etelä-Hämeen vedet. Helsinki 1991.
86. Roila, Tuija: Pienvesien happamoitumisen seuranta vuosina 1979 - 1989.
Roos, Jaana: Puskurikapasiteetin muutokset eräissä pienjärvisissä vuosien 1937 - 48 ja 1988 välillä. Helsinki 1992.
87. Ollikainen, Minna: Karjalan Pyhäjärven tila 1980-luvulla sedimentin piilevien ilmentämänä. Helsinki 1992.
88. Lepistö, Liisa: Planktonlevien aiheuttamat haitat. Helsinki 1992.
89. Rantakangas, Jorma: Perkauksen aiheuttaman kiintoainevirtaaman ennakointi. Helsinki 1992.
90. Kaijalainen, Erkki (toim.): Sonkajärven reitin vesien käytön yleissuunnitelma. Helsinki 1992.
91. Salo, Simo: The fate of chemicals spilled on water. A literature review of physical and chemical processes. Helsinki 1992.
92. Mäkirinta, Urho & Tolonen, Pasi: Vaalan Järvikylän järvien kasvillisuus järvien tilan kuvaajana. Helsinki 1992.
93. Mäkirinta, Urho: Muutoksia Alavetelin Isojärven kasvillisuudessa 1973 - 1981. Helsinki 1992.
94. Nakari, Tarja: Porvoon edustan merialueen meriveden vaikutuksista sumpputettujen ja luonnonkalojen elintoimintoihin. Helsinki 1992.
95. Torpström, Heikki & Lappalainen, Matti: Järvien biomanipulaation perusteita ja käytännön mahdollisuuksia. Helsinki 1992.
96. Salonen, Seija; Frisk, Tom; Kärmenniemi, Tellervo; Niemi, Jorma; Pitkänen, Heikki; Silvo, Kimmo & Vuoristo, Heidi: Fosfori ja typpi vesien rehevöittäjinä – vaikutusten arviointi. Helsinki 1992.
97. Assmuth, Timo; Strandberg, Tapio; Joutti, Anneli & Kalevi, Kirsti: Kemiallisesti saastuneiden maa-alueiden tutkimusmenetelmät. Helsinki 1992.
98. Kivimäki, Anna-Liisa: Tekopohjavesilaitokset Suomessa. Helsinki 1992.
99. Tanninen, Risto: Arvot ja asenteet Pyhäjoen vesiensuojelusuunnittelussa. Helsinki 1992.
100. Kuopion vesi- ja ympäristöpiiri: Rautalammin reitin vene- ja retkisatamasuunnitelma. Helsinki 1992.
101. Eloheimo, Karri: Veneily ja sen ympäristövaikutukset. Helsinki 1992.
102. Sytyke 16. Sannholm, Gun & Söderström, Mirja: Entsyymikäsittelyn merkitys sulfaattimassan valkaisuissa. Helsinki 1992.
103. Sytyke 9. Raitio, Laura: Siistausprosessin ympäristökuormitus. Helsinki 1992.
104. Sytyke 17. Jantunen, Esko: Jätevesipäästötön paperitehdas. Helsinki 1992.
105. Sytyke 10. Lehtinen, K.-J. & Tana: Effects in mesocosms exposed to effluents from bleached hardwood kraft pulp mill. Helsinki 1992.
106. Hudd, Richard; Toivonen, Anna-Liisa & Wistbacka Ralf: Malax å fiskeriutredning. Helsinki 1992.
107. Rontu, Mika: Pohjaveden alkalointi kalkkikivisuodatuksella. Helsinki 1992.
108. Kuopion vesi- ja ympäristöpiiri: Rautalammin reitti - Kansallisvesi. Helsinki 1992.
109. Sytyke 11. Junttila, Vesa: Sellutehtaan ympäristökuormitusten pienentäminen ja hallinta uudella tehdaslaitteilla. Helsinki 1992.
110. Sytyke 20. Kara, Mikko: Natrium- ja rikkitasen säätömahdollisuuksia suomalaisessa sellutehtaassa. Helsinki 1992.
111. Kauppi, Marja: Repoveden alueen vesistöjen perusselvitys. Helsinki 1992.
112. Lindholm, Tapio (toim.): Sukkessiotutkimusten tuloksia Suomen ja SNTL:n luonnonsuojelualueilta. Helsinki 1992.
113. Sytyke 2. Hatakka, Annele; Valo, Marjatta & Lankinen, Pauliina: Puunjalostusteollisuuden jätevesien käsittely valkolahosienillä ja niiden entsyymeillä. Helsinki 1992.
114. Sytyke 19. Krogerus, Märten & Hynninen, Pertti: Sellu- ja paperiteollisuuden päästöjen käsittelyvaihtoehdot ja kustannukset. Helsinki 1992.
115. Hyvärinen, Pekka; Salojärvi, Kalervo; Pushkin, Sergei & Ahonen, Mikko: Kalojen vaellus Oulujärvestä Oulujokeen. Helsinki 1992.
116. Ettala, Matti & Koskela, Juhani: Kloorifenolipitoisten pohjavesien käsittely aktiivihiihliisuodatuksella ja aktiivilietemenetelmällä. Helsinki 1992.

117. Sytyke 6. Myrén, Bertel: Suomen metsäteollisuuden tila vuonna 1995. Helsinki 1992.
118. Lyly, Olavi: Torjunta-aineiden käytön kannattavuus ja ympäristöhaittojen vähentäminen. Helsinki 1992
119. Sytyke 21. Laxén, Torolf: Organosolvkeitot. Helsinki 1992.
120. Sytyke 4. Pere, J; Thun, R; Alén, R; Kyllönen, H & Viikari, L: Metsäteollisuuden jätelietteet. Helsinki 1992.
121. Vesihuoltolaitokset 31.12.1990. Helsinki 1992.
122. Sytyke 14. Siitonen, Heikki; Wartiovaara, Jyrki & Kasanen, Pirkko: Sellu- ja paperitehdas-integraatin ympäristönsuojelutoimien hyötyjen ja haittojen arviointi - casetutkimus. Helsinki 1992.
123. Sytyke 22. Malinen, Raimo: Skenaarioanalyysi massan valmistuksen kehitysvaihtoehdoista. Helsinki 1992.
124. Sytyke 22A. Vasara, Petri: Skenaarioiden tuottaminen ja analyysi massanvalmistukselle Suomessa 1995 - 2010. Helsinki 1992.
125. Törrtö, Heli; Kaakinen, Eero & Alasaarela, Erkki: Ympäristövaikutusten arviointi aluehallinnossa - esimerkkinä Oulun lääni. Helsinki 1992.
126. Ekholm, Matti: Suomen vesistöalueet. Helsinki 1992.
127. Aura, Erkki; Puustinen, Markku; Virtanen, Seija; Mikkola, Hannu; Luoma, Tarmo & Peltomaa, Rauno: Salaojitusmenetelmien vertailu Zaitsevon kenttäkokeessa. Helsinki 1992.
128. Sytyke 15. Puustinen, Jukka: Ravinteiden käytön optimointi metsäteollisuuden aktiivilietelaitoksissa.
Sytyke 3. Lammi, Reino & Pakarinen, Kauko: Typpiravinnelisäyksen vaikutus sellutehtaan aktiivilietelaitoksen toimintaan. Helsinki 1993.
129. Seppälä, Jyri: Ympäristöriskianalyysi teollisuudessa. Helsinki 1992.
130. Sytyke 18. Pihlaja, Kalevi (koordinaattori): Valkaistua sulfaattisellua valmistavan tehtaan jätevesien orgaanisen aineen hajoaminen ja ympäristövaikutukset. Helsinki 1993.
131. Lax, Hans-Göran; Koskenniemi, Esa; Sevola, Pertti & Bagge, Pauli: Tenojoen pohjaeläimistö ympäristön laadun kuvaajana. Helsinki 1993.
132. Sytyke 12. Kauppinen, Jyrki: Metsäteollisuuden hajuaineiden analytiikka ja seuranta. Helsinki 1993.
Sytyke 5. Välttilä, Olli: Biolietteen poltto.
133. Sytyke 10A. Lehtinen, K-J: Ecological impact of pulp mill effluents. Helsinki 1993.
134. Hirvi, Juha-Pekka (toim.): Operatiivinen ajelehtimis- ja kulkeutumismalli merialueille.
135. Nystén, Taina: Kärkölän likaantuneen pohjavesialueen geologia ja matemaattinen mallintaminen. Helsinki 1993.
136. Vesihuoltolaitokset 1991. Helsinki 1993.
137. Ullvén, Johanna: Simpukoiden soveltuvuudesta kloorifenolien tutkimiseen murtovedessä. Helsinki 1993.
138. Peura, Pekka: Happamoituminen Merenkurkun pienissä järvissä.
Peura, Pekka: Försurning av småsjöarna i Norra Kvarken. Helsinki 1993
139. Huttunen, Leena & Soveri, Jouko: Luonnontilaisen roudan alueellinen ja ajallinen vaihtelu Suomessa. Helsinki 1993.
140. Kaatra, Kai & Marttunen, Mika (toim.): Oulujoen vesistön säännöstelyjen kehittämisselvitykset. Helsinki 1993.
141. Suomela, Tapani: Tuusulan kunnan Hyrylän pohjavesialueen suojelusuunnitelma. Helsinki 1993.
142. Kauppi, Lea (toim.): Itäisen Suomenlahden lintukuolemat keväällä 1992. Helsinki 1993.
143. Lahti, Kirsti; Lepistö, Liisa; Niemi, Jorma & Färdig, Michael: Eri vesilaitosten tehokkuus levien ja erityisesti syanobakteerien poistossa. Helsinki 1993.
144. Koskimies, Pertti: Population sizes and recent trends of breeding birds in the nordic countries. Helsinki 1993.
145. Alasaarela, Erkki; Hellsten, Seppo; Keränen, Reijo; Kurttila, Terttu & Riihimäki, Juha: Säännöstelyjen järvien rantojen kunnostuksen ja hoidon periaatteet - esimerkkinä Oulujoen vesistö. Helsinki 1993.
146. Korkka-Niemi, Kirsti; Sipilä, Annika; Hatva, Tuomo; Hiisvirta, Leena; Lahti, Kirsti & Alftan, Georg: Valtakunnallinen kaivovesitutkimus. Helsinki 1993.
147. Ruonala, Seppo (toim.): SYTYKE-ohjelman projektien yhteenvedot. Helsinki 1993.
148. Ruonala, Seppo (red.): Sammandrag av projekten i programmet SYTYKE. Helsinki 1993.
149. Ruonala, Seppo (ed.): Summaries of SYTYKE-projects. Helsinki 1993.

150. Niinioja, Riitta: Lietelannan levitys ja ravinteiden huuhtoutuminen. Helsinki 1993.
151. Hynninen, Pekka (toim.): Pyhäjoen vesiensuojelun yleissuunnitelma. Helsinki 1993.
152. Pohjois-Karjalan vesi- ja ympäristöpiiri: Pohjois-Karjalan vedet ja ympäristö 1990-luvulla. Helsinki 1993.
153. Rathmayer, Hans & Juvankoski, Markku: Tiivistemattoina käytettävät geomembraanit - toiminta-vaatimukset ja materiaalinvalintakriteerit. Helsinki 1993.
154. Vertanen, Suvi: Elinkaarianalyysi ja pakkaukset. Helsinki 1993.
155. Ahtela, Irmeli: Porvoon edustan merialueen tila vuosina 1985 - 1991. Helsinki 1993.
156. Mroueh, Ulla-Maija: Orgaanisten liuotteiden käyttö Suomessa. Helsinki 1993.
157. Hudd, Richard; Leskelä, Ari & Kjellman, Jakob: Kyrönjoen alaosan kalatalous selvitykset vuosina 1980 - 1990. Helsinki 1993.
158. Hottola, Petri : Lintuvesiohjelma puntarissa - Linnustoselvitys Pohjois- Karjalan lintujärvillä. Helsinki 1993.
159. Luther, Annika: Muurahaiset ympäristön seurannassa. Kirjallisuusselvitys. Helsinki 1993.
160. Haatainen, Susanna; Hammar, Taina; Huovila, Juhani; Lahti, Erkki; Oksman, Heikki; Punju, Pirjo & Taipalinen, Irmeli: Hyalotheca dissiliens -koristelevän runsastumisen syistä Rautalammin reitillä. Helsinki 1993.
161. Turun vesi- ja ympäristöpiiri: Kiskonjoen luonnontaloudellinen kehittämissuunnitelma. Helsinki 1993.
162. Porvari, Petri; Verta, Matti: Elohoepa ympäristössä ja tekoaltaissa - kirjallisuuskatsaus ja arvio Vuotoksen tekoaltaan hauen elohoepapitoisuuden kehittymisestä. Helsinki 1993.
163. Grönroos, Juha: Maatalouden ammoniakkipäästöjen vähentäminen. Vähentämismenetelmien arviointitutkimus. Helsinki 1993.
164. Heikkinen, Onni (toim.): Oulujärven vesiensuojelun yleissuunnitelma. Helsinki 1993.
165. Reuna, Marja, Perälä, Jaakko ja Aitamurto, Seppo: Lumen aluevesiarvoja Suomessa vuosina 1946 - 1993. Helsinki 1993.
166. Madekivi, Olli: Alusten aiheuttamien aaltojen ja virtausten ympäristövaikutukset. Helsinki 1993.
167. Shuibo, Pan (ed.) & Loukola, Erkki (ed.): Chinese-Finnish cooperative research work on dam break hydrodynamics. Helsinki 1993.
168. Vesihuoltolaitokset 1992. Helsinki 1993.
169. Virkanen, Juhani; Heikkilä, Raimo; Lindholm, Tapio: Kerrossammalten (Hylocomium splendens) raskasmetallipitoisuudet Kuhmossa 1989. Helsinki 1994.
170. Vuori, Kari-Matti: Hydropsychidae-heimon vesiperhostoukat ympäristökuormituksen mittareina virtaavissa vesissä. Helsinki 1993.
171. Keränen, Saara & Kokko Aira: Pesosjärven yhdenntyn seurannan alueen kasvillisuus vuosina 1989 ja 1990. Helsinki 1993.
172. Kärkkäinen, Sirpa: Kolin alueen lehdot. Helsinki 1994.
173. Marttunen, Mika & Hiedanpää, Juha: Etutahojen suhtautuminen Kokemäenjoen keskiosan ja Loimijoen tulvasuojeluun. Helsinki 1994.
174. Krogerus, Kirsti & Bilaletdin, Ämer: Kyrösjärven, Parkanonjärven ja Jämijärven vesiensuojelusuunnitelma. Helsinki 1994.
175. Rutanen, Ilpo: Etelä-Suomen vanhojen metsien kovakuoriaiset I. Helsinki 1994.
176. Rönkkömäki, Mauno: Hydrologisten mallien käyttö turvetuotantoalueiden vesiensuojelutekniikan kehittämisessä. Helsinki 1994.
177. Lindholm, Tapio & Airaksinen, Outi (toim.): Talaskankaan metsä- ja suoalueen luonnonsuojeluintoiminnit. Helsinki 1994.
178. Dahlbo, Helena: Kiinteän yhdyskuntajätteen metallivirrat – tutkimuksen kokeellinen osa ja yhteen-veto. Helsinki 1994.
179. Sandman, Olavi; Kauppi, Lea & Tossavainen, Tarmo: Metsäojitusten ja -lannoitusten aiheuttamien ravinnehuuhtoutumien pidätyminen järvikerrostumiin.
Sandman, Olavi; Turkia, Jaana & Huttunen, Pertti: Metsätalouden pitkäaikaiset vaikutukset suurissa järvissä, Kuhmon Änättijärven ja Lentuan sedimenttitutkimus. Helsinki 1994.
180. Lapin vesi- ja ympäristöpiiri: Lapin vesistöt ja ympäristö 1990-luvulla. Lapin vesien käytön, hoidon ja suojelun kehittämissuunnitelma. Helsinki 1994.
181. Malve, Olli; Ekholm, Petri; Kirkkala, Teija; Huttula, Timo & Krogerus, Kirsti: Säkylän Pyhäjärven virtaukset, ravinnekuormitus ja rehevyystaso. Helsinki 1994.

182. Kaila-Kangas, Leena; Kangas, Risto & Piirainen, Helena: Ympäristöasennebarometri. Helsinki 1994.
183. Vertanen, Päiviö & Viitasaari, Sauli: Nahanvalmistuksen jätehuolto ja jätevesien käsittely. Helsinki 1994.
184. Repo, Maire & Hämäläinen, Maria-Leena (toim.): Teollisuuden vesitilasto 1992. Helsinki 1994.
185. Valovirta, Ilmari & Heino, Mikko: Maanilviäiset ympäristön tilan seurannassa. Helsinki 1994.
186. Jämsen, Minna: Tekojärvien ja padottujen jokisuvantojen vaikutus Kalajoen veden laatuun. Helsinki 1994.
187. Kemikaaliohjelmatyöryhmä: Kemikaalien aiheuttamien ympäristöriskien hallinta. Vesi- ja ympäristöhallituksen toimintaohjelma. Helsinki 1994.
188. Mononen, Paula & Lozovik, Peter (toim.): Acidification of inland waters. Helsinki 1994.
189. Verta, Matti (toim.): Happikemikaalien käyttöön perustuvan massanvalkaisun ympäristövaikutuksia. Helsinki 1994.
190. Manninen, Pertti; Kivinen, Jarmo & Julkunen, Markku: Hyalotheca dissiliens -koristelevän aiheuttama pyydysten limoittuminen ja levän esiintyminen Mikkelin läänissä. Helsinki 1994.
191. Sulkakoski, Mikko: Humukseen sitoutuneen raudan poisto pohjavedestä biosuodatuksella. Helsinki 1994.
192. Vesihuoltolaitokset 1993. Helsinki 1994.
193. Heikkinen, Kaisa; Ihme, Raimo & Lakso, Esko: Ravinteiden, orgaanisten aineiden ja raudan pidättymiseen johtavat prosessit pintavalutuskentällä. Helsinki 1994.
194. Kullberg, Jaakko: Päiväperhosten käyttö ympäristön seurannassa. Helsinki 1994.
195. Reuna, Marja & Aitamurto, Seppo: Sadannan aluearvoja ja aluearvojen toistuvuuksia Suomessa vuosina 1911–1993. Helsinki 1994.
196. Rutanen, Ilpo: Metsäpalon vaikutuksesta kovakuoriaislajistoon Patvinsuon kansallispuistossa. Helsinki 1994.
197. Korhonen, Iris: Luonnon monimuotoisuus, in-situ -suojelu ja kansainvälinen oikeus – Alue-suojelun kansainväliset ulottuvuudet. Helsinki 1994.
198. Puustinen, Markku; Merilä, Eero; Palko, Jukka & Seuna, Pertti: Kuivatustila, viljelykäytäntö ja vesistökuormitukseen vaikuttavat ominaisuudet Suomen pelloilla. Helsinki 1994.
199. Merilä, Eero: Suomen peltojen peruskuivatuksen tila ja tarve. Helsinki 1995.
200. Perkkiö, Simo; Huttula, Erkki & Nenonen Marjaleena: Simojoen vesistön vesiensuojelusuunnitelma. Helsinki 1995.
201. Marttunen, Mika & Kaatra, Kai (toim.): Kokemäenjoen keskiosan ja Loimijoen alaosan tulvasuojelun vaikutusten arviointiselostus. Helsinki 1995.
202. Joensuu, Elina & Laihonen, Pasi: Ilman laadun seuranta Turun ja Porin läänissä. Helsinki 1995.
203. Reuna, Marja & Aitamurto, Seppo: Tilastotietoja vedenkorkeuden vaihteluista Suomessa. Helsinki 1995.
204. Iivonen, Pasi & Kenttämies, Kaarle: Happamoituneiden vesistöjen kalkitus Suomessa. Helsinki 1995.
205. Ekholm, Petri; Posch Maximilian & Rekolainen, Seppo: Accuracy and precision of annual nutrient load estimates from Nordic rivers. Helsinki 1995.
206. Nakari, Tarja: Kalojen sisäisten biologisten rytmien ja vuodenajan merkitys toksisuus-tutkimuksissa. Helsinki 1995.
207. Heikkilä, Hanna: Finnish-Karelian symposium on mire conservation and classification. Helsinki 1995.
208. Puustinen, Jukka; Jørgensen, Kirsten, S; Strandberg, Tapio & Suortti, Anna-Mari: Bioremediation of oil contaminated soil from service stations. Helsinki 1995.
209. Nieminen, Hanna: Kotitalousjätteen keräys ja kuljetus. Helsinki 1995.
210. Heikkinen, Risto & Husa, Jukka: Luonnon- ja maisemansuojelun kannalta arvokkaat kallioalueet. Helsinki 1995.
211. Viikinkoski, Kari & Hynninen, Pekka (toim.): Liminganlahden vesistöalueen vesiensuojelusuunnitelma. Helsinki 1995.
212. Yrjänä, Timo: Entisten uittojokien kunnostaminen – esimerkkinä Iijoen vesistö. Helsinki 1995.
213. Valve, Helena: Maatalouspolitiikan suunnittelukäytännöt ja ympäristövaikutusten arvioinnin kehittäminen. Helsinki 1995.

214. Talvitie, Jussi (toim.): Virtaavien vesien kalkitusasemien automatisointi. Helsinki 1995.
215. Rutanen, Ilpo: Etelä-Suomen vanhojen metsien kovakuoriaiset II. Helsinki 1995.
216. Frisk, Tom (toim.): Nokian Alisenjärven neutralointiselvitys – loppuraportti. Helsinki 1995.
217. Köykkä, Sirkka: Kullaanjoen vanhat vesirakenteet. Helsinki 1995.
218. Vesijärvi-projekti – Rehevöityneen järven kunnostaminen biomanipulaation avulla. Helsinki 1995.

Tutkimuksessa kehitettiin maankäytön ympäristövaikutusten arviointia, hankkeiden suunnittelua sekä päätöksentekoa tukeva vesistömalli, jota voidaan käyttää myös valvonnan ja seurannan apuna. Laaditussa järjestelmässä on käyttöliittymän avulla kytketty toisiinsa osamallit, jotka kuvaavat valunnan ja huuhtoutuman sekä avouomavirtauksen ja veden laadun vuodenaikaiset vaihtelut. Järjestelmää sovellettiin turvetuotannon vaikutusten erittelyyn ja ennustamiseen lijoen vesistöalueella.

Laadittu järjestelmä auttaa suunnittelijoita, viranomaisia ja tutkijoita, jotka työssään joutuvat erittelemään ja vertailemaan pistekuormittajien ja eri lähteistä tulevan hajakuormituksen vaikutuksia vesistön veden laatuun.