

Sirkka Tattari ja Markku Puustinen (toim.)

Toimivimmat mallityökalut vesistö- vaikutusten ja ravinteiden kierrätyksen kustannustehokkaaseen hallintaan

Marraskuu 2017

Valtioneuvoston selvitys-
ja tutkimustoiminnan
julkaisusarja 70/2017

KUVAILULEHTI

Julkaisija ja julkaisuaika	Valtioneuvoston kanslia, 24.11.2017		
Tekijät	Sirikka Tattari, Markku Puustinen, Heini Ahtiainen, Turo Hjerppe, Markus Huttunen, Antti Iho, Kauko Koikkalainen, Niina Kotamäki, Heikki Lehtonen, Harri Lilja, Kati Martinmäki-Aulaskari, Olli Niskanen, Soile Oinonen, Elina Röman, Sari Väisänen		
Julkaisun nimi	Toimivimmat mallityökalut vesistövaikutusten ja ravinteiden kierrätyksen kustannustehokkaaseen hallintaan		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 70/2017		
Asiasanat	Vesien- ja merenhoito, maatalous, ravinteiden kierrätys, mallinnus, ympäristötalous		
Julkaisun osat/ muut tuotetut versiot			
Julkaisuaika	Marraskuu, 2017	Sivuja 87	Kieli suomi

Tiivistelmä

Hankkeessa tuotettiin yhdessä maatalous- ja vesiensuojeluasiantuntijoiden kanssa kokonaisvaltainen käsitys vesien- ja merenhoidon arviointi- ja mallinnusmenetelmistä. Työ perustui vesien- ja merenhoidon toimivimpien mallien evaluointiin ja kehitystarpeiden kartoitukseen. Hankkeessa arvioitiin myös eläintilojen rakennemuutoksen aiheuttamia uusia ympäristöpaineita, tarvittavia ohjauskeinoja ja muita kehittämistarpeita. Vesien- ja merenhoidon tarpeisiin esitettiin kehityspolkuja, jossa pyrkimyksenä on lisätä vesistöjen tila-arvioiden tarkkuutta, toimenpiteiden vaikutusarvioiden samakantaisuutta ja parantaa eri lähteistä ja arviointimenetelmistä tulevan epävarman tiedon hallintaa. Hankkeen tuloksena esitettiin useita suosituksia mallien käytöstä vesien- ja merenhoidossa.

Liite 1 Mallien evaluoinnin vaikutusarviot malleista uskottavuuden, relevanssin ja legitimitetin osalta

Tämä julkaisu on toteutettu osana valtioneuvoston vuoden 2016 selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa (tietokayttoon.fi).

Julkaisun sisällöstä vastaavat tiedon tuottajat, eikä tekstisisältö välttämättä edusta valtioneuvoston näkemystä.

PRESENTATIONSBLAD

Utgivare & utgivningsdatum Statsrådets kansli, 24.11.2017

Författare Sirkka Tattari, Markku Puustinen, Heini Ahtiainen, Turo Hjerpe, Markus Huttunen, Antti Iho, Kauko Koikkalainen, Niina Kotamäki, Heikki Lehtonen, Harri Lilja, Kati Martinmäki-Aulaskari, Olli Niskanen, Soile Oinonen, Elina Röman, Sari Väisänen

Publikationens namn De mest effektiva modeller för kostnadseffektiv besittning av vatten och återvinning av näringsämnen

Publikationsseriens namn och nummer Publikationsserie för statsrådets utrednings- och forskningsverksamhet 70/2017

Nyckelord Vatten- och havsvård, jordbruk, återvinning av näringsämnen, modellering, miljöekonomi

Publikationens delar /andra producerade versioner

Utgivningsdatum November, 2017 **Sidantal** 87 **Språk** finska

Sammandrag

Tillsammans med experter inom jordbruk och vattenvård gav projektet en övergripande förståelse för bedömningsmetoder och modeller för vatten- och havsvård. Arbetet omfattade en utvärdering av vatten- och havsvårdens utvecklingsbehov och effektivaste modeller. Inom projektet utvärderade man också nya miljöbelastningar, nödvändiga styråtgärder och andra utvecklingsbehov som orsakats av strukturförändringen av djurhus. Utvecklingsvägar för behoven hos vatten- och havsvård presenterades i syfte att få noggrannare uppskattningar av vattenstatus och enhetligare konsekvensbedömningar av åtgärder samt förbättra hanteringen av osäker information från olika källor och bedömningsmetoder. Resultatet av projektet är en serie rekommendationer om användningen av modeller inom vatten och havsvård.

Bilaga 1 Konsekvensbedömningar av modeller för trovärdighet, relevans och legitimitet

Den här publikation är en del i genomförandet av statsrådets utrednings- och forskningsplan för 2016 (tietokaytoon.fi).

De som producerar informationen ansvarar för innehållet i publikationen. Textinnehållet återspeglar inte nödvändigtvis statsrådets ståndpunkt

DESCRIPTION

Publisher and release date	Prime Minister's Office, 24.11.2017		
Authors	Sirkka Tattari, Markku Puustinen, Heini Ahtiainen, Turo Hjerpe, Markus Huttunen, Antti Iho, Kauko Koikkalainen, Niina Kotamäki, Heikki Lehtonen, Harri Lilja, Kati Martinmäki-Aulaskari, Olli Niskanen, Soile Oinonen, Elina Röman, Sari Väisänen		
Title of publication	The most effective tools for cost-effective management of waters and nutrient recycling		
Name of series and number of publication	Publications of the Government's analysis, assessment and research activities 70/2017		
Keywords	River basin management, marine strategy, agriculture, nutrient recycling, modeling, environmental economics		
Other parts of publication/ other produced versions			
Release date	November, 2017	Pages 87	Language Finnish

Abstract

The project worked with agricultural and water protection experts to produce a comprehensive understanding of the evaluation and modeling methods used in river basin management planning. The work was based on evaluating the most effective models and mapping their development needs. The project also assessed the new environmental pressures caused by the structural change in animal farms, the necessary policy instruments, and other development needs. Development paths for modelling were presented, with the aim of increasing the accuracy of assessing the ecological status of water bodies, the impact assessments of actions, and improving the management of uncertainties in the information provided by variable sources and assessment methods. The result of the project is a series of recommendations on the use of models in river basin management planning and the development of marine strategy.

Appendix 1 Impact assessments of models for credibility, relevance and legitimacy

This publication is part of the implementation of the Government Plan for Analysis, Assessment and Research for 2016 (tietokaytton.fi).

The content is the responsibility of the producers of the information and does not necessarily represent the view of the Government.



SISÄLLYS

ESIPUHE	7
Johdanto	9
2 Suositus mallien käytöstä vesien- ja merenhoidossa	10
3 Vesien- ja merenhoidon suunnittelussa tarvittavat maatalouden tietolähteet	17
3.1 Vesien- ja merenhoidon suunnittelussa tarvittavat maatalouden tietolähteet	17
3.2 Toimintamalli tietolähteiden yhdenmukaistamiseksi vesien- ja merenhoidon tarpeisiin	21
3.2.1 Toimintamalli vesienhoidon toimenpiteiden toteutumisen arviointiin	22
3.2.2 Tietopyynnöt tiedon tuottajalle	23
3.2.3 Tiedon vienti osaksi vesien- ja merenhoidon tietojärjestelmiä	23
3.2.4 Esimerkkinä arvio Paimion-Aurajoen vesimuodostuman toimenpiteiden toteutumisesta SYKEN aineistojen perusteella	24
3.3 Tietojärjestelmien yhteiskäytön kehittäminen: esimerkkinä Taloustohtori-tietojärjestelmä	26
4 Vesien- ja merenhoidon mallityökalut	27
4.1 Arviointityökalut	27
4.1 Empiiriset mallit	28
4.2 Prosessipohjaiset mallit	29
4.4 Maatalouden sektorimalli ja maatilatason viljelykiertomalli	31
4.5 Mallien epävarmuus	32
4.6 Mallien ketjuttaminen	34
4.7 Mallien evaluointikriteeristö	35
4.8 Ravinteiden kierrätyksen haasteet mallinnuksessa	41
4.9 Ilmaston muutoksen aiheuttamat paineet – katsaus	41
5 Ympäristötaloustieteelliset tarkastelut vesien- ja merenhoidossa	45
5.1 Arvio mallitiekartassa kuvattujen mallien käyttökelpoisuudesta vesien- ja merenhoidon ympäristötaloustieteellisissä analyyseissä	45
5.2 Tilannekatsaus vesien- ja merenhoidon taloudellisten hyötyarvioiden tietopohjasta ja arvio yhdistämismahdollisuuksista	48
6 Ympäristötaloudelliset skenaariot	53

6.1 Eläintilojen rakennekehitys ja sen vaikutukset huuhtoumariskiin ja ympäristöohjauksen osuuteen	53
6.2 Ravinteiden kierrätyksen mahdollisuudet – politiikka-toimet ja vaikuttavuus	54
6.3 Ohjauskeinojen vaikuttavuudesta ja koherenssista	55
7 Loppukäyttäjien näkemykset mallien käytöstä.....	57
7.1 Mallien kysyntä ja tarjonta	57
7.2 Mallityökalujen käyttöpotentiaali loppukäyttäjän näkökulmasta	58
7.3 Miten mallien käyttöä tulisi edistää	59
7.4 Mallipalvelujen saatavuus	60
8 Saaristomeren valuma-alueen uudet mallisovellukset	61
8.1 Empiirinen eroosiomalli.....	61
8.2 LLR ja ominaiskuormitusmalli	66
8.3 Maatalouden talousmallinnus ja vesistömallinnus.....	74
8.3.1 Maataloutta kuvaavaa alueellinen sektorimalli (DREMFIA)	74
8.3.2 Vesistömallinnus VEMALA	77
9 Johtopäätökset.....	81
KIRJALLISUUSVIITTEET	82
LIITE 1. Mallien evaluoinnin vaikutusarviot malleista uskottavuuden, relevanssin ja legitimiteetin osalta	86

ESIPUHE

Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) ja Luonnonvarakeskuksen (Luke) yhteistyönä Toimivimmat mallityökalut vesistövaikutusten ja ravinteiden kierrätyksen kustannustehokkaaseen hallintaan -hankkeessa (TOIMI) kehitettiin mallinnusjärjestelmää, jonka avulla saadaan entistä tarkempi ja kokonaisvaltaisempi kuva ravinteiden liikkeistä peltolohkoilta vesistöihin ja sieltä merialueille. Hankkeessa evaluoitiin vesien- ja merenhoidossa käytettyjä malleja ja kartoitettiin mallintamiseen liittyviä seurannan ja tietojärjestelmien kehittämistarpeita. Kartoituksen pohjalta ehdotetaan toimenpiteitä, joilla seurantatieto ja mallinnusjärjestelmä yhdistetään. Samalla luodaan kriteerit mallien käyttökelpoisuuden arvioimiseksi ympäristötaloudellisten analyysien tekemisessä. Työn tulosten pohjalta laadittiin useita suosituksia mallien käytöstä vesien- ja merenhoidossa.

Hankkeesta vastasi Olli Malve SYKE. Alkuvaiheessa työn projektipäällikkönä toimi Kirsti Krogerus SYKE ja loppuvaiheen aikana Sirkka Tattari SYKE. Raportin sisällön tuottamisesta vastasivat:

Sirkka Tattari, Markku Puustinen SYKE (johdanto, luvut 2 ja 9)

Kati Martinmäki-Aulaskari, Elina Röman SYKE (luku 3)

Sirkka Tattari, Turo Hjerppe SYKE (luku 4)

Soile Oinonen, Turo Hjerppe, Sari Väisänen SYKE ja Heini Ahtiainen LUKE (luku 5)

Antti Iho, Kauko Koikkalainen, Heikki Lehtonen, Olli Niskanen LUKE (luku 6)

Markku Puustinen (luku 7)

Heikki Lehtonen ja Harri Lilja LUKE, Niina Kotamäki ja Markus Huttunen SYKE (luku 8)

JOHDANTO

Maatalouden kiintoaine- ja ravinnekuormituksen suuruutta on arvioitu monella eri tapaa. Hankalaksi asian tekee se, että kuormitusta ja sen vaihtelua ei tarkkaan ottaen voida suoraan mitata. Arvioinnissa joudutaan käyttämään epäsuoria mittausten menetelmiä ja laskentakaavoja. Koekentillä ja valuma-alueilla seurannat perustuvat veden määrän (esim. veden korkeuteen perustuva arviointi) ja pitoisuuksien (vesianalyysit, jatkuvatoimiset anturit) arviointiin. Näiden tietojen perusteella lasketaan kuormitusarviot. Toinen tapa arvioida kuormitusta on käyttää erilaisia kuormitusmalleja.

Luotettavalle kuormitustiedolle on suuri tarve. Vesien- ja merenhoidon suunnitelmien teko ja suunnittaminen kuormituslähteille edellyttävät hyvää tietoa kuormituksen tasosta. Jo pelkästään maatalous on suuri haaste kun kuormitusprosessit tapahtuvat runsaalla miljoonalla kasvulohkolla ja ympäristövaikutukset realisoituvat vesistöaluetasolla. Tätä perusasetelmaa vaikeuttaa varsin suuri hydrologinen vuosivaihtelu.

Laaja-alaisessa maatalousympäristössä kokeellinen pitkäaikainen seuranta (koekentät, pienet valuma-alueet) on tuottanut tietoa maatalouskuormituksen tasosta ja pitkäaikaismuutoksista (Vuorenmaa ym. 2002; Tattari ym. 2017; Aakkula & Leppänen (toim.) 2014). Ominaisuuksiltaan erilaisilla lohkoilla esiintyvistä kuormituksen vaihtelusta on saatu tietoa koekentiltä (mm. Puustinen ym. 2010). Edellä mainitut tietolähteet ovat luoneet hyvän pohjan kuormituksen kokonaisarvioille. Varsinaisten vesien- ja merenhoitotoimenpiteiden suunnittelu ja toimenpidekokonaisuuksien vaikutusten valuma- ja vesistöaluetasolla edellyttää kuitenkin toisenlaista lähestymistapaa. Tässä arvioinnissa mallien rooli on keskeinen, erityisesti jos niitä voidaan käyttää niin yhdessä kuin erikseen tarkastelualueesta riippuen.

Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) ja Luonnonvarakeskuksen (Luke) yhteistyönä Toimivimmat mallityökalut vesistövaikutusten ja ravinteiden kierrätyksen kustannustehokkaaseen hallintaan - hankkeessa (TOIMI) kehitettiin mallinnusjärjestelmää, jonka avulla saadaan entistä tarkempi ja kokonaisvaltaisempi kuva ravinteiden liikkeistä eläinsuojista ja peltolohkoilta vesistöihin ja sieltä merialueille. Hankkeessa kartoitettiin mallintamiseen liittyviä seurannan ja tietojärjestelmien kehittämistarpeita. Kartoituksen pohjalta ehdotetaan toimenpiteitä, joilla seurantatieto ja mallinnusjärjestelmä yhdistetään. Samalla luodaan kriteerit mallien käyttökelpoisuuden arvioimiseksi ympäristötaloudellisten analyysien tekemisessä. Tavoitteena on helpottaa mallien hyödyntämistä ja varmistaa, että niiden kehittämisessä ja käytössä noudatetaan luotuja kriteerejä.

Kun käsitys ravinteiden kierrätyksen ekologisista ja taloudellisista vaikutuksista tarkentuu, ravinteiden kierrätystä voidaan ohjata kustannustehokkaasti. Työkalujen tuottamien tulosten perusteella on mahdollista valita parhaat toimenpiteet ja ohjauskeinot vesien hyvän ekologisen tilan ja maatalouden elinvoimaisuuden turvaamiseksi. Työn pohjalta ympäristöviranomaiset voivat arvioida nykyistä kokonaisvaltaisemmin vesien- ja merenhoitosuunnitelmien sekä valmisteilla olevan ympäristökorvausjärjestelmän kustannukset ja hyödyt.

Hankkeen tavoite on löytää yhteistyössä maatalous- ja vesiensuojeluasiantuntijoiden kanssa yhteisesti hyväksytty, kokonaisvaltainen käsitys vesien- ja merenhoidon arviointi- ja mallinnusmenetelmistä. Mallinnusjärjestelmän ja eräiden yksittäisten mallien toimivuutta testataan pilottialueilla. Arvioidaan eläintilojen rakennemuutoksen aiheuttamia uusia ympäristöpaineita, tarvittavia ohjauskeinoja ja muita kehittämistarpeita. Lisäksi esitetään vesien- ja merenhoidon tarpeisiin vastaava malli- ja arviointityökalujen kehityspolut, jossa pyrkimyksenä on lisätä vesistöjen tila-arvioiden tarkkuutta, toimenpiteiden vaikutusarvioiden samakantaisuutta ja parantaa eri lähteistä ja arviointimenetelmistä tulevan epävarman tiedon hallintaa.

2 SUOSITUS MALLIEN KÄYTÖSTÄ VESIEN- JA MERENHOIDOSSA

Suosituksset lyhyesti:

- 1. päätetään ja valitaan mallien käytön kehityspolku tai polut**
- 2. sovelletaan valittua strategiaa vesien ja merenhoitotyössä**
- 3. päätetään mallityöhön tarvittavista resursseista, nimetään kehitys- ja operointiryhmä**
- 4. valitaan vesistöjen tilan arviointimenetelmä tai hyväksytään eri vaihtoehtoja alueittain**
- 5. päätetään toimenpideohjelmien suunnittelumenetelmästä**
- 6. varmistetaan tietokantojen saatavuus ja käyttö eri vaiheisiin**

Vesien- ja merenhoidossa on ainakin kolme kantavaa näkökulmaa, joiden tarkastelu tulisi tehdä läpinäkyvyyden ja ymmärrettävyyden vuoksi erillisinä tarkasteluina. Lähtökohtana on nykytila ja lähitulevaisuus, jossa tarkastelussa keskitytään vain toimenpiteiden vaikuttavuuden arviointiin. Ts. tehdään huolellinen ja perusteellinen arviointi maatalouden toimenpiteiden tarpeesta suhteessa tavoitettiin ja arvioidaan tavoitetilan saavutettavuutta ja minkälaisilla toimenpidekombinaatioilla tavoitettiin päästään. Ilmastonmuutoksesta arvioidaan vähän tuonemmaksi (30-50 vuotta) kuormituksen kasvupotentiaalia ja sen kompensoimiseksi tarvittavat toimenpiteet (laatu ja määrä). Kolmantena näkökulmana arvioidaan kiertotalouden potentiaalia vesienhoidossa. Arvioidaan nykytietämystä, menettelytapoja ja tutkimustarpeita.

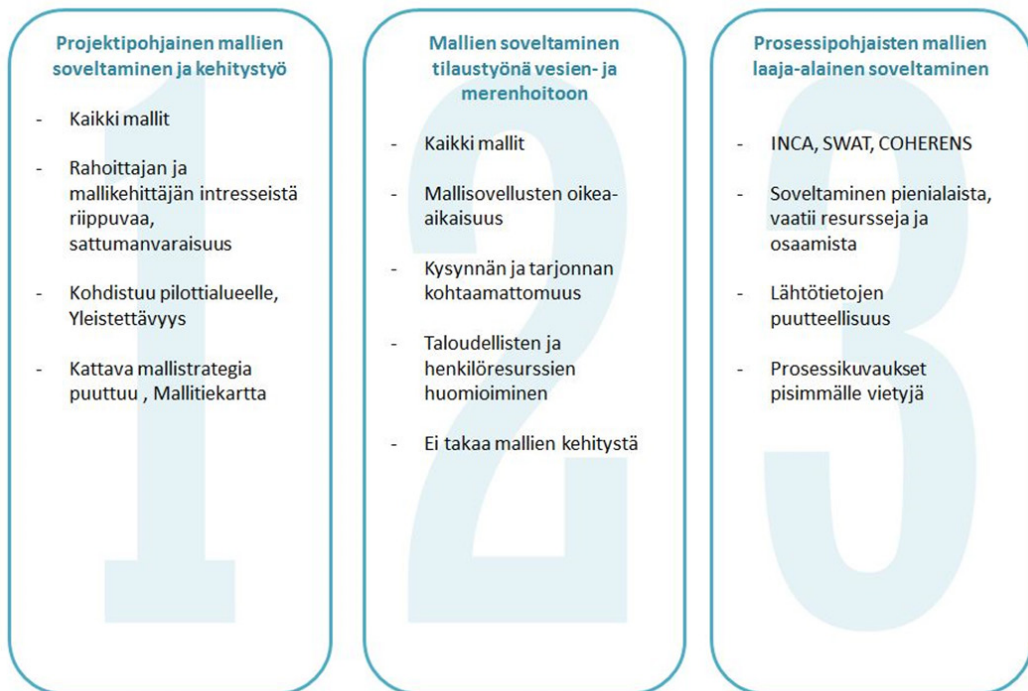
Vesistöjen ja meren tila-arvioinnit perustuvat nykyään pääosin seurantoihin ja asiantuntija-arvioihin. Toisella ohjelmakaudella VEMALA mallia käytettiin keskitetysti toimenpiteiden vaikutusten arviointiin, jota jo SOVA-laki (laki viranomaisten suunnitelmien ja ohjelmien ympäristövaikutusten arvioinnista) edellytti. Tarvittava toimenpidemäärä arvioitiin joko vesistökohtaisesti tai tätä suuremmille alueille vesienhoidonsuunnittelijoiden toimesta. Tila-arviot olisivat mahdollista tehdä myös mallien avulla. Sen todennäköinen välitön vaikutus olisi se, että vesien tila-arviot muuttuisivat aikaisempiin arvioihin verrattuna. Kuinka paljon, mihin suuntaan ja mitä se käytännössä merkitsisi, ei tiedetä.

Toimenpideohjelmien valmistelu perustui aiemmilla ohjelmakausilla lähinnä asiantuntija-arviointiin, mutta toimenpiteiden vaikutusten arviointi kannattaisi tehdä mallien avulla. Mikä strategia sitten valittaneenkaan, tulee sen perustua huolelliseen harkintaan. Tässä eräitä keskeisiä seikkoja, jotka tulee ottaa huomioon:

- nykyisten tila-arvioiden ”päälle” malleilla tehdyt voimassa olevat toimenpideohjelmat ovat lähtökohdiltaan erikantaisia
- malleilla tehdyt molemmat em. arviot perustuisivat samaan kantaan, mutta uudet vesien tila-arviot muuttuisivat aiempiin arvioihin verrattuna
- vesistöjen tila-arviot ja toimenpiteiden vaikutusarviot menetelmästä riippumatta pohjaututtava samaan tietopohjaan
- voiko malleihin ja samakantaisiin tietokantoihin (pallo 2) perustuvat vesistöjen tila-arviot ja hoito-ohjelmien vaikutukset (tulokset) siirtää suhteellisin tuloksina perinteisten tila-arvioiden päälle ja muuttaa konkreettisiksi luvuiksi.

Kuvassa 1 esitetään mallintamisen todennäköisiä kehityspolkuja. Polku 1 kuvaa pitkälti nykyistä käytäntöä eli malleja otetaan käyttöön ja kehitetään rahoittajan ja mallintajien intresseistä lähtien. Vesien- ja merenhoidon mallitiekartta (http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Vesi/Mallit_ja_tyokalut) suuntaa jossain määrin mallikehitystä ja käyttöä tiettyyn toivottuun suuntaan, mutta vain YM:n rahoituksen osalta. Polku 2 toteutettiin jo ns. keskitettyjen malliarviointien projektissa, jossa yhdessä vesienhoidon suunnittelijoiden kanssa tehtiin malliajot mm. VEMALA (tasekaaviot), ominaiskuormitusmallit, LLR, VIHMA ja KUTOVA -malleilla valituille valuma-alueille. Hankkeen tulosten hyödyntäminen jäi käytännössä vähäiseksi, koska malliajot toteutettiin toisen ohjelmakauden raportointivaiheessa ja vesienhoitosuunnittelijat eivät ehtineet perehtymään ja hyödyntämään tuloksia. Kehityspolku 3 vaatisi paljon lisäresursseja, koska prosessipohjaisia malleja on toistaiseksi sovitettu vain muutamille valuma-alueille. Poikkeuksena tästä on VEMALA malli, joka toimii operatiivisesti koko maassa. Nykyään mallien kehitys on edennyt siten, että prosessipohjaisten mallien osia/kuvauksia on siirretty VEMALAan.

Mallintamisen todennäköiset kehityspolut



Kuva 1. Mallikehityksen, malliversioiden ja mallien käytön vaihtoehtoisia kehityspolkuja

Yhdistämällä em. jo osin koeteltujen kehityspolkujen osia muodostuu edistyneempi, tulevaisuuden tarpeisiin paremmin vastaava ja monipuolisempi kehityspolku 4 (kuva 2). Esim. vuoropuhelua mallintajien ja loppukäyttäjien välillä on huomattavasti lisättävä. Mallitulosten visuaalisuuteen pitää panostaa, samoin mallien epävarmuus pitää tuoda paremmin esille. Tii-viimpää yhteistyötä tarvitaan valuma-alue- ja merimallintajien sekä taloustieteilijöiden kesken. Malliajojen oikea-aikaisuus on avainkysymys, sillä jos mallitulokset tuotetaan liian myöhään, niiden hyödyntäminen jää väistämättä vähäiseksi. Oikea-aikaisuus edellyttää myös aikatauluttamista valuma-aluemallinnuksen, ympäristötaloudellisen mallinnuksen ja merimallinnuksen välillä.

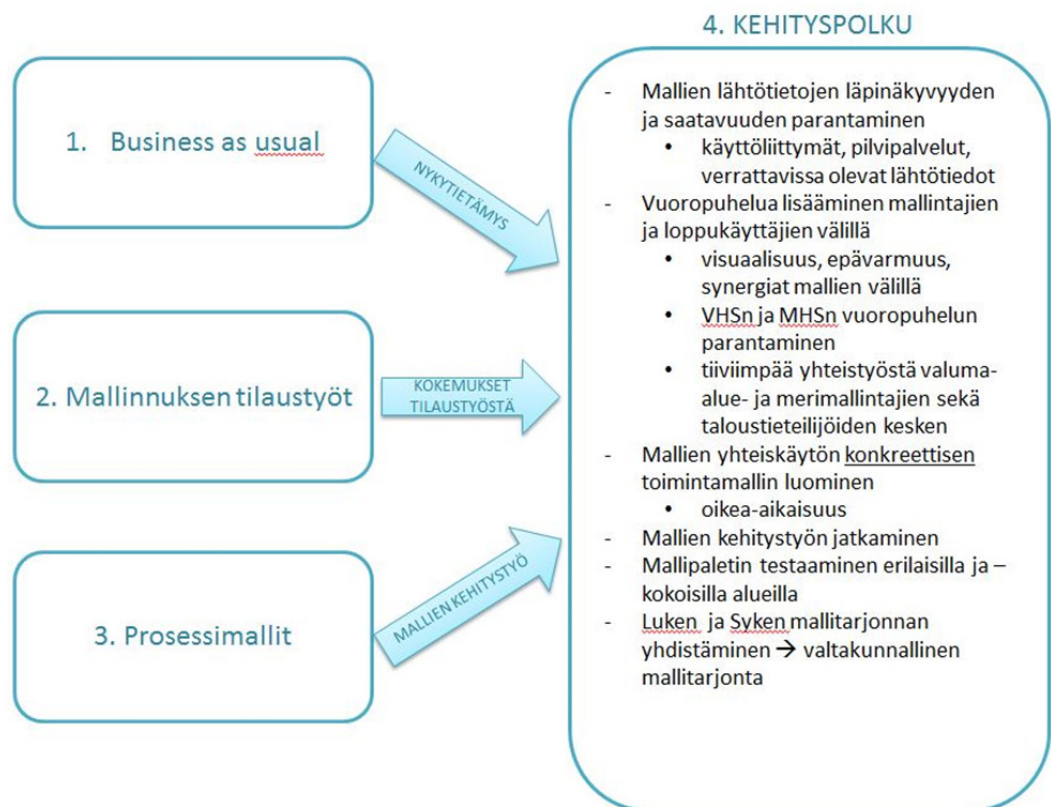
Mallien yhteiskäytölle pitää luoda konkreettinen, nykyistä parempi (ns. keskitetyt arvioinnit) toimintamalli, ja tätä mallipakettia pitää testata erilaisilla ja erikokoisilla alueilla. Kun vesien ja

merenhoidon toimenpideohjelmaa ryhdytään toteuttamaan, tarvitaan vahva tuki alueellisille vesistösuunnittelijoille. Tällaisessa hankkeessa voitaisiin pilotoida todellisten tarpeiden mukaan vesienhoitosuunnitelma, joka perustuisi vaihtoehtoisin toimenpidekombinaatioihin. Hankkeessa voisi olla mahdollista tuottaa esimerkkitapauksia ohjelmien vaihtoehtoisista sisällöistä ominaisuuksiltaan erilaisilla vesistöalueilla (esim. mallitaulukoita).

Nykyisellään Mallitiekartta sisältää vain SYKEN malleja. Jatkossa SYKEN ja LUKEn mallitarjonta tulee yhdistää ja myös muiden toimijoiden mallit pitää sisällyttää pitkällä tähtäyksellä mallitarjontaan.

Vesienhoitotyössä mallien käyttö jaetaan kolmeen osaan käyttötarkoituksensa mukaan:

- VHS toimenpiteiden tarkistaminen/yleissuunnittelu. Näköpiirissä on, että jatkossa suunnitteluprosessia kevennetään, eli tarve mallien laaja-alaiselle käytölle yleissuunnitteluvaiheessa vähenee.
- VHS alueellisen hankesuunnittelun tukeminen. Tässä osassa mallien käyttö on perusteltua, ja voidaan soveltaa kuhunkin tapaukseen sopivia malleja, jolloin laajempi mallikirjo on perusteltu. Tällaiset hankkeet eivät ole sidottu VHS aikajanaan.
- Maatalouspolitiikan arviointi ja tukeminen, joka linkittyy vahvasti vesienhoitoon, mutta se on edellä esitetyistä osiosta kuitenkin selkeä erillinen tehtäväpaketti.



Kuva 2. Suositus mallien kehityspolukuksi

Toimenpiteiden määrä

Maatalouden vesiensuojelua edistävien ympäristötoimenpiteiden vaikuttavuuden arvioinnissa ohjelmakausittain on syytä muistaa, että yksittäisten vuosien välillä toimenpidemäärien vaihtelut niiden kokonaismäärään verrattuna ovat vähäisiä ja toisaalta hydrologisen vuosivaihte-

lun vaikutus kuormitukseen on moninkertaista toimenpiteiden määrävaihtelun vaikutuksiin verrattuna. Voidaan perustellusti ajatella, että toteutettujen ympäristötoimenpiteiden keskimääräinen laaja-alaisuus kuvaa ja kattaa koko ohjelmakauden.

Edellisen lisäksi vesiensuojelutoimenpiteiden ja vesienhoito-ohjelmien toimenpiteiden vaikutustarkasteluissa on oleellista esittää toimenpiteiden vaikutukset sellaisenaan ilman muita vaikutuksia ja verrata sitä suunniteltujen toimenpideohjelmien tavoitetasoon. Tämän perusteella saadaan selville toimenpiteiden riittävyys. Tämän jälkeen voidaan arvioida lisätoimenpiteiden määrä jos tavoitetasosta on jääty jälkeen.

Referenssitaso

Keskeinen kysymys on referenssitaso, mihin ja miten toimenpiteiden vaikutuksia verrataan. Maataloudessa peltopinta-ala (viljelyksessä oleva ala sekä kesanto-ala yhteensä) ovat pysyneet vakaana 1990 alusta nykypäivään. Ohjelmakausien välillä keskimääräiset pintaalamuutokset ovat pieniä. Sama koskee peltojen viljelykäyttöä, muutokset ovat pieniä. Siten viljelyalan ja pellon käytön muutokset kuormitukseen ovat lyhyellä aikavälillä pieniä ja vesiensuojeluvaiikutuksia on odotettavissa vain ympäristötoimenpiteistä.

Keskeinen periaate on se, että peltoviljelyssä ympäristötoimenpiteet toistetaan vuosi toisensa jälkeen. Tällä ylläpidetään jo saavutettua ympäristön tilaa. Tämän vuoksi referenssitason tulisi pysyä aina samana. Tähän on kaksi mahdollisuutta:

- referenssitasoksi otetaan 1990-luvun alun keskimääräinen pelto-ala ja viljelytilanne tai
- vaihtoehtoisesti kunkin ohjelmakauden keskimääräinen pelto-ala ja pellon käyttö

Kummassakaan em. referenssitilanteessa ei siis olisi toteutettu yhtään ympäristötoimenpidettä. Tässä on huomattava 1990-luvun alun erityispiirre velvoitekesannointi. Keskimääräinen kesantoala oli tuolloin lähes 0,5 milj. ha ja tästä alasta kaksi kolmasosaa oli ns. viherkesantoa. Kesannointivelvoite purkautui vuonna 1995.

Ohjelmakausien vertailu

Käytännössä maataloudessa toteutettujen toimenpiteiden määrä pysyy melko vakaana. Lähtökohtaisesti peräkkäisten vuosien ja ohjelmakausien välillä ei siten pitäisi ollakaan suuria eroja kiintoaine- ja ravinnekuormituksessa. Peräkkäisten ohjelmakausien vaikuttavuuden vertailussa tavoitteena pitää siis olla toteutettujen toimenpiteiden laaja-alaisuuden ja riittävyyden arvioiminen sekä jo saavutetun ympäristön tilan pysyminen tai sen muutoksen suunta ja suuruus. Käytännössä tässä on siis kysymys eri ohjelmakausien muodostamasta jatkumosta. Vesistöt reagoivat pitkällä aikavälillä vain siihen kiintoaineen ja ravinteiden kuormituksen kokonaisuuteen, joka on saavutettu vähitellen eri ohjelmakausien vaikutuksesta. Saavutettu taso vain pitää saavuttaa vuosi toisensa jälkeen ja vaikutukset vertautuvat em. samantaiseen referenssitasoon.

Ympäristöohjelmien sisältö on muuttunut ohjelmakaudesta toiseen ja siten on tärkeää vielä selvittää se, että ohjelmien vaikuttavuus ei ole heikentynyt. Tällaista vertailua on mahdollista tehdä jälkikäteen MYTVAS aineistojen (2003-2014) ja rakennetutkimuksen (2010) perusteella ja verrata niitä nykyisen ympäristökorvausohjelman toteumaan (2016).

Rakennekehitys ja ilmastonmuutos

Toimenpiteiden vaikutusarvioiden jälkeen arvioidaan mahdollisten maatalorakenteiden muutosten vaikutuksia sekä ilmaston muutoksen vaikutuksia ja esitetään näille toimenpideläisäykset, molemmille erikseen.

Toimenpiteiden suunnittelussa ja tarkistamisessa ilmastonmuutoksen vaikutukset tulisi ottaa nykyistä paremmin huomioon. On selvää, että sekä toimenpiteiden että ilmastonmuutoksen vaikutuksen arviointi on käytännössä erittäin vaikeaa ilman mallinnusta. Tämä käy ilmi jo vesienhoitosuunnittelijoiden toisen ohjelmakauden palautteestakin, jossa yli 75 % palautteen antajista koki vaikutusten arvioinnin erittäin vaikeaksi tai jopa mahdottomaksi. Vaikka vaikutusarvioinnit tehtäisiinkin erillisissä hankkeissa eikä yleissuunnittelussa, tuloksia pitäisi ehdottomasti hyödyntää myös käytännön vesien- ja merenhoidon työssä.

Vesien- ja merenhoidon aikajana

Kuvassa 3 on esitetty aikajana kolmannen ohjelmakauden vesienhoitoon liittyvistä keskeisistä tehtävistä määräaikoineen. Vuosien 2017-18 aikana tehtävä maatalouden toimenpiteiden toteutumisen seurannan raportointi perustuu suurelta osin SYKEN ja LUKEN yhteiseen tietopyyntöön MAVille. Kun pyydetty tieto saadaan, pitää se levittää laajasti sekä vesienhoitosuunnittelijoiden että mallintajien käyttöön. Näin taataan läpinäkyvä ja yhtenäinen tietopohja sekä toimenpiteiden seurannan raportointiin että mallinnuksen käyttöön.

Pintavesien tila-arvio voitaisiin tehdä kahdella eri tavalla: joko nykyisellä käytännöllä (vaihtoehto 2) tai toimivan malliketjun avulla (vaihtoehto 1). Toimiva malliketju edellyttää kehitettävien mallien selkeää priorisointia ja erityisesti tuloksiin liittyvän epävarmuuden hallintaa ja myös sen esittämistä. Mallievaluoinnin perusteella käyttökelpoisimmat ja helpommin koko maahan sovellettavat mallit ovat VEMALA, LLR ja DREMFIA (rakennemuutos). Edellä mainitut mallit ovat sekä vahvasti sidoksissa toisiinsa että perustuvat myös osittain muiden mallien (mm. VIHMA) tuloksiin.

Jos vaikuttavuuden arviointi tehdään valituilla yllä mainituilla malleilla tuottaen tuloksia erilaisilla toimenpidekominaatioilla, edellyttää se käytännössä työn tilausta joko ELY:ltä tai YM:ltä. VEMALAN ylläpito ja jatkuva kehitystyö edellyttävät pysyvää resurssointia. Erilaisten skenaarioiden tuottaminen ja tulosten validointi tämänkaltaisilla malleilla voidaan tehdä vain keskitetysti mallituntevien asiantuntijoiden toimesta. Valmiita skenaarioita voidaan tuottaa määrittelemällä skenaarioiden reunaehdot yhdessä eri toimijoiden kanssa, näin saadaan vesien- ja merenhoitoa mahdollisimman hyvin palvelevia tuloksia.

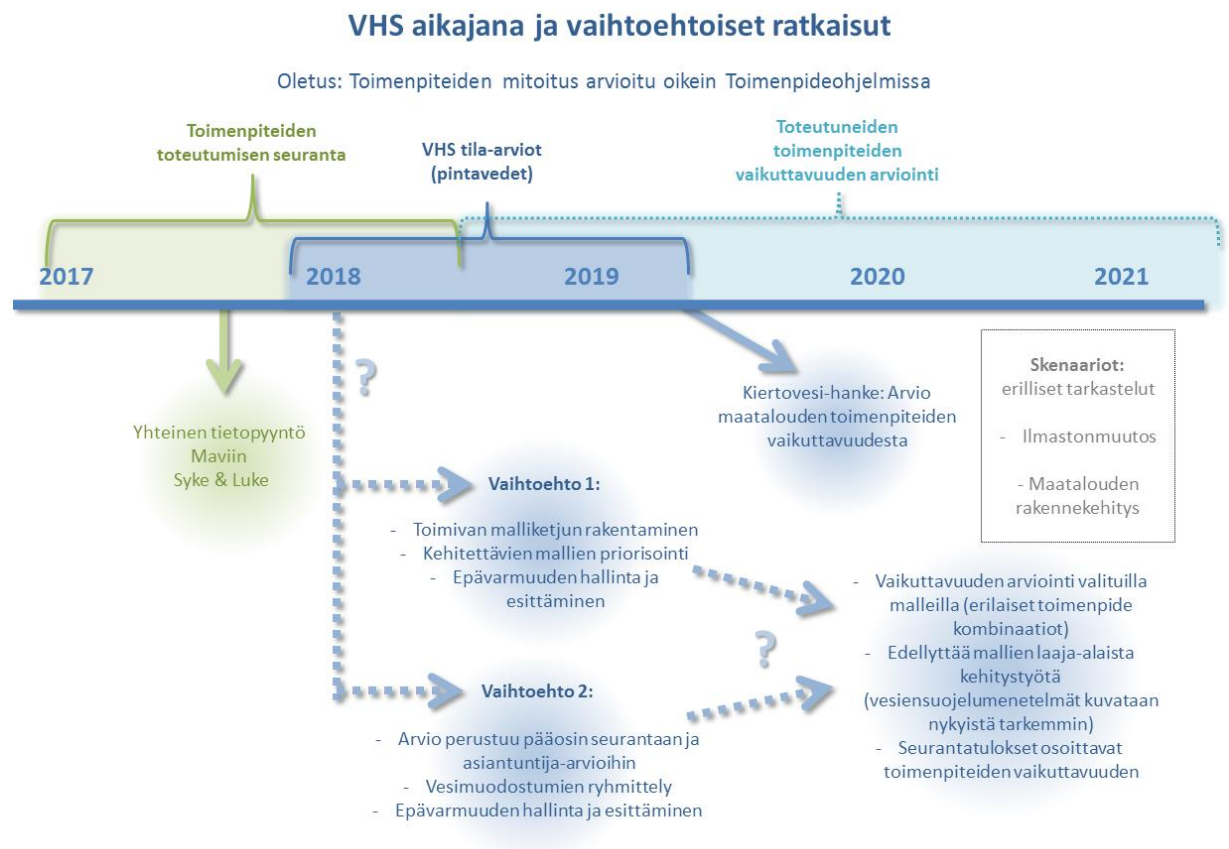
Jatkossa LLR:ään pitäisi saada a-klorofyllin (ja kokonaisravinteiden) lisäksi muitakin ekologisen tilan indikaattoreita. Kasviplanktonlautekijästä malliin voisi liittää haitallisten sinilevien prosenttiosuus ja TPI (koostumusindeksi). Näihin tekijöihin liittyen ravinteiden lisäksi ainakin lämpötilan vaikutus tulisi ottaa mallissa huomioon, jolloin myös ilmaston lämpenemisen vaikutusta järvien keskimääräisiin sinileväosuuksiin voidaan tarkastella. Tärkeää on myös saada mallin käyttöä entistä helpommaksi joko kehittämällä sen käyttöliittymää tai kehittämällä mallia entistä operatiivisempaan suuntaan.

Integroitu mallintaminen

Esimerkiksi Itävallassa on panostettu merkittävästi integroituun mallintamiseen. Heillä on yhdessä kehitetty laaja mallijärjestelmä, jossa maatalouden talous- ja vesistömallinnus tuottaa tuloksia eri ilmasto- ja politiikkaskenaarioissa sadoille valuma-alueille (Zessner ym. 2017). Samantapaista systemaattista mallinnusta voisi tehdä myös DREMFIA-VEMALA kombinaatiolla Suomessakin. Fokuksessa olisi perusmaatalouden ja pellonkäytön ohella maatalouden tukipolitiikka, maataloustuotteiden ulkomaankauppa, rakennekehitys päätuotantoalueilla (Etelä-Suomi, Sisä-Suomi, Pohjanmaa, Pohjois-Suomi) ja koko maassa, erityisesti lypsykarjasektorilla.

Aluejako pitäisi kytkeä vahvasti alueen maalajeihin ja alueen tyypillisten mautilojen kuvauksiin, joita päivitetäisiin DREMFIA malliin tilarakenteen muuttuessa. Kaikki alueet olisi edelleen kytkettävä hintavasteisiin markkinoilta, rajalliseen kotimaiseen kysyntään ja korkeisiin vientikustannuksiin. VEMALAn ylläpitoa ja kehitystyötä edistettäisiin parhaiten perustamalla laaja-alainen työryhmä (SYKE-LUKE), joka varmistaisi jatkuvan mallikehityksen ja mallitulos-ten oikeellisuuden mm. vesiensuojelumenetelmien tehokkuuden osalta.

Itävaltalaisten kaltainen mallisysteemin rakentaminen olisi Suomessa mahdollista esim. LY-NET-yhteistyön kautta. Strategisella panostuksella taattaisiin mallisysteemin perusylläpito ja ulkopuolisten rahoitushakemusten avulla tehtäisiin monenlaisia skenaarioajoja vesien- ja merenhoitotyön tueksi.



Kuva 3. Vaihtoehtoisia ratkaisuja vesienhoitotyöhön.

Vesien- ja merenhoidon kustannukset

Merenhoidon nykyisen toimenpideohjelman kustannusvaikuttavuusanalyysi pohjautuu asiantuntijatietoon. KUTOVA mallia käytettiin sisävesillä ns. keskitetyissä malliarvioinneissa. KUTOVAa tulisi jatkossa kehittää siten, että voidaan arvioida toimenpiteiden kustannustehokkuutta fosforin lisäksi myös typpikuormitukselle, jolloin typpirajoitteisen rannikko- ja merialueen rehevöitymävasteet voidaan sisällyttää ao. tarkasteluun. KUTOVA mallin sisällyttämistä VEMALAAan kannattaa myös harkita.

Kuinka sitten arvioidaan vesien ja merenhoidon kustannushyötyä ja/tai kustannustehokkuutta, jos merenhoidon rehevöitymistimenpiteiden kustannukset muodostuvat lähinnä valuma-alueilla tehtävistä toimenpiteistä ja hyödyt tulevat ensin vesistöille ja seuraavaksi meriin. On-

ko edellisten summa kokonaishyötyjä ja niiden toteutuksen kustannukset vain vesienhoitoon lukeutuvia kustannuksia? Voidaanko riittämättömän meren tilan arvioinnin perusteella edellyttää lisää vesistöalueilla tehtäviä vesienhoitotoimenpiteitä, jos vesistöt jo ovat hyvässä tilassa. Lisäksi tulee muita kysymyksiä eteen, esim., mitä ovat merenhoidossa mahdollisesti tehtävät lisätoimenpiteet ja missä ne toteutetaan. Pitkällä tähtäimellä vesien- ja merenhoidon hyötyarviot pitäisi yhdistää, jotta voidaan kuvata toimenpiteiden hyödyt läpi valuma-alue-meri-jatkumon.

Toimenpiteiden kustannusten määrittämisessä ja edelleen käyttämisessä analyyseissä ei ole vakiintunutta käytäntöä. Merenhoidon ja vesienhoidon toimenpideohjelmaa toteutettaessa voitaisiin kerätä aineistoa myös toimenpiteiden toteuttamisen kustannuksista, mikä palvelisi analyysejä tulevaisuudessa. Merialueella tapahtuvan rehevöitymisen vähentämisen taloudellisista hyödyistä on jo yhteiskunnalliseen kustannus-hyötyanalyysiin sopivia arvioita ja lisää tuloksia on tulossa, mutta vesienhoidon puolella tulisi toteuttaa lisää tutkimuksia.

Hyötyjen arvioimisen yhtenäistämiseksi lyhyellä tähtäimellä käytetään olemassa olevia tutkimuksia sekä vesien- että merenhoidossa, mutta syvennetään monialaista yhteistyötä eri alojen (luonnontiede, mallinnus, taloustiede jne.) kesken, ja lisäksi parannetaan tiedonvaihtoa vesien- ja merenhoidon välillä taloustieteellisten analyysien suhteen. Pitkällä tähtäimellä luodaan suunnitelma yhteensovittamisesta vesien- ja merenhoidon ja eri tutkimusalojen välillä ja toteutetaan yhteisiä tutkimuksia vesien- ja merenhoidossa.

3 VESIEN- JA MERENHOIDON SUUNNITTELUSSA TARVITTAVAT MAATALOUDEN TIETOLÄHTEET

TOIMI-hankkeen yhtenä tavoitteena oli kartoittaa vesien- ja merenhoidon sekä mallien maatalouteen liittyviä tietotarpeita ja parantaa näiden yhteiskäyttömahdollisuuksia. Tämä on koettu tarpeelliseksi, koska vesienhoidon ja mallintamisen eri työvaiheiden on todettu käsittävän useita tietokantoja ja -järjestelmiä, joita on kehitetty itsenäisesti, kukin omien ydintoimintojensa näkökulmasta. Maataloustiedon yhteiskäyttö voisi kuitenkin mahdollistaa monimuotoisempia malleja ja tarkempia vesienhoitotoimenpiteiden arvioita. Lisäksi maataloustiedon tehokkaammalla yhteiskäytöllä minimoitaisiin henkilöresurssien vähenemisestä koituvia ongelmia ja välttäisi eri tahojen päällekkäin tekemältä työltä esim. aineistojen hankinnan suhteen. Aineistojen yhteiskäyttö lisäisi myös aineistojen alueellista yhdenvertaisuutta ja siten lisäisi myös eri alueiden toimenpiteiden vertailtavuutta keskenään.

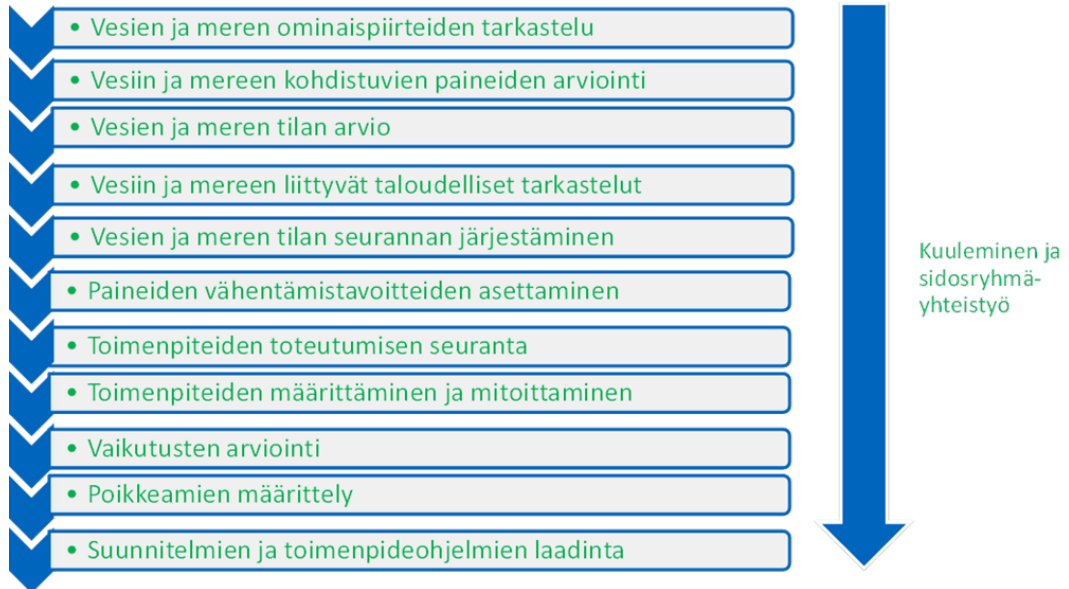
Maataloustietoa tarvitaan useissa vesien- ja merenhoidon suunnitteluvaiheissa, kuten vesien ominaispiirteiden tarkastelussa, vesiin ja mereen kohdistuvien paineiden arvioinnissa, vesien- ja merenkäytön taloudellisten analyysien tekemisessä, toimenpiteiden määrittämisessä ja mitoittamisessa, niiden vaikutusten arvioinnissa ja toimenpiteiden toteutumisen arvioimisessa. Tarvittavan tiedon mittakaava vaihtelee, koska tarkastelutasot vaihtelevat. Esimerkiksi vesistökuormitusmalleissa voi tarkastelutaso olla yksittäinen peltolohko, kun taas vesienhoidon- ja merenhoidon suunnittelussa tarkastelutasot vaihtelevat vesimuodostumakohtaisista arvioista aina vesienhoitoaluetasolle.

Tässä kappaleessa esitetään, mitä maataloustietoa vesien- ja merenhoidon suunnittelussa (sekä osittain malleissa) tarvitaan, millaista sen käytettävyys on ja millaisia kehitystarpeita tiedon hankintaan liittyy. Lisäksi maataloustiedon hankintaan esitetään toimintamallia siitä, miten prosessi kannattaa hoitaa aloittaen tietosisällön määrittelystä ja edeten siitä askel askeleelta jalostettuun valmiiseen aineistoon. Toimintamalli käydään lopuksi läpi ottamalla esimerkiksi maatalouden vesienhoidon toimenpiteiden toteutumisen arviointi ja siihen liittyvä maataloustiedon hankinta.

Koska maatalouden vesienhoidon toimenpidetietojen lähdeaineistot ovat suurimmaksi osaksi Mavin tuottamia, keskitytään tässä luvussa myös Maville tehtävään tietopyyntöön. Lisäksi sellaiset toimenpiteet, jotka eivät ole saatavilla Mavin rekistereistä tulee tunnistaa hyvissä ajoin ja välittää tieto koordinoiville ELY-keskuksille. Yhdenvertaisuuden varmistamiseksi pitää myös näiden aineistojen osalta tietosisältö määrittellä tarkasti.

3.1 Vesien- ja merenhoidon suunnittelussa tarvittavat maatalouden tietolähteet

Vuonna 2016 käynnistynyt vesien- ja merenhoidon kolmas suunnittelukausi sisältää edellisten suunnittelukausien tapaan useita eri työvaiheita, jotka on esitetty kuvassa 4 (lähde: Vesien- ja merenhoidon käsikirja). Päävastuu suunnittelusta on vuoden 2019 alkuun asti nykyisillä ELY-keskuksilla, jonka jälkeen kaikki vesienhoidon tehtävät ja merenhoidon alueelliset tehtävät siirtyvät maakuntiin.



Kuva 4. Vesien- ja merenhoidon keskeiset työvaiheet (Lähde: Vesien- ja merenhoidon käsikirja).

Maatalouden vesiensuojelutoimenpiteiden toteumatiedot saadaan suurelta osin Maaseutuvierastosta (Mavi), joka ylläpitää maatilarekisteriä ja jonka hallinnoimassa tietojärjestelmässä käsitellään viljelijätuet. SYKEllä on mahdollisuus koota nämä tiedot keskitetysti ja jakaa ELY-keskuksille toimenpideohjelman osa-alueittain. Edelleen on kuitenkin olemassa paljon sellaista maatalousmaata koskevaa tietoa, kuten peltojen muokkauskäytännöt, talviaikainen kasvi-peitteisyys, päivitetty P-lukutiedot ja lannoitusmäärät, joiden tarkentaminen ja saatavuuden helpottaminen edesauttaisivat tarkempien arviointien aikaansaamista.

Maataloustiedon saatavuutta, riittävyttä ja kehitystarpeita selvitettiin haastatteleamalla vesien- ja merenhoidon asiantuntijoita ja suunnittelijoita Suomen ympäristökeskuksesta (Janne Juonen ja Katri Siimes) ja Varsinais-Suomen ELY-keskuksesta (Sanna Kipinä-Salokannel ja Janne Suomela). Tulokset on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Maataloustiedon tarve vesien- ja merenhoidon suunnittelussa.

Tietotarve	Tiedon tuottaja	Avoin tieto ja sen riittävyys	Suunnittelussa käytetty tieto	Kommentit/kehitysideoita
Peltolohkot <ul style="list-style-type: none"> o peruslohkot o kasvulohkot 	Mavi	Avointa tietoa ei ole.	SYKEssä on käytössä peltolohkot paikkatietona. Aineistoa päivitetään muutaman vuoden välein.	Tiedon käyttö rajoittuu vesienhoitotyöhön. Tarvetta useilla muillakin vesienhoidon paikoilla toimijoilla, tutkijoilla ja mallintajilla
Peltojen maalajit ja P-luvut	Viljavuuspalvelu	Viljavuuspalvelun internetsivulla on kuntakohtaiset keskimääräiset yhteenvetotilastot. Ei riittävä.	Tilattu erikseen Viljavuuspalvelusta. Tieto on maksullista.	Suuri tutkimuksellinen tarve yhdistää maan P-lukutieto perus/kasvulohkoihin
Lannanlevitysmäärät	Mavi	Avointa tietoa ei ole.	SYKEssä on käytössä taulukkomuotoiset tiedot aikaväliltä 2009-2011.	Tilasto antaa ainoastaan tiedon kasvulohkosta, jolle lantaa on levitetty, eli määrää ei tiedetä. Lannan ravinnesisällön laske- miseksi tarvittaisiin yhteiset kertoimet.
Eläintilat ja -määrät	Luke	Lukun internetsivulla kuntakohtaiset vuositilastot. Ei riittävä.	SYKEssä on käytössä tilastot eläinmääristä 2010 ja 2013-2015.	Tilastoyhdistettävissä peltolohkokoreksteriin tilatunnuksen perusteella. Aineistosta ei selviä eläinsuojan sijainti. Tiedon käyttö rajoitettu VHS:uun, vaikka muillakin toimijoilla olisi tiedolle käyttöä.
Maatalouden ympäristökorvauksen toimenpiteet	Mavi	Avointa tietoa ei ole.	SYKEssä on käytössä taulukkomuotoiset erityistuki- ja lisätoimenpidetiedot 2008-2015.	Mavin tietokannoista tiedot keskitetyksi siten, että voidaan arvioida eri toimenpiteiden, talviaikaisten kasvipeitteisyyden, suojavyöhykkeiden jne. volyymit ja verrata muutoksia edeltävään ohjelmakauteen ja referenssitilanteeseen. Ympäristövaikutuksia saadaan vain muutosten kautta. Tilasto täytyy yhdistää polygoneihin, ei valmista paikkatietoaineistoa. Edellisellä ohjelmakaudella aineisto ja ohjeistus tuotettiin SYKEssä keskitetyksi ELYjen käyttöön (vuosien 2008 ja 2011 tiedoista). Tiedon käyttö rajoitettu vesienhoitotyöhön. Kehitetään tarkempi tietokannan seulontamenetelmä yksityiskohtaisemman tiedon saamiseksi
Eläinlääkkeiden käyttö	Fimea	Fimean internetsivulla eläinlääkkeiden myynnin valtakunnalliset yhteenvetotilastot. Ei riittävä.	Tehoainekohtaiset tiedot eivät avointa vaan täytyy tilata.	
Kasvinsuojeluaineiden käyttö	Luke	Avoin tilasto sisältää kasvinsuojeluaineiden käyttömäärän ja käsittelyn alan tärkeimpien viljelykasvien viljelyssä Suomessa viiden vuoden välein.	Haitallisten aineiden arviointia varten pitää erikseen pyytää tarkempi tehoainekohtainen yhteenvetotilasto (perustuu haastatteluihin), joka on salaista ja tieto on tuhoava määräaikaan mennessä.	Kehitysehdotus: Koska viljelijät ovat velvollisia keräämään tiedon kasvinsuojeluaineista, tarvittaisiin tietojärjestelmä, jonne viljelijät syöttäisivät tiedon. Tieto tulisi olla vesien- ja merenhoidon käytössä.
	Tukes	Ei avointa tietoa.	Erikseen tilattavissa valtakunnallinen vuotuinen tieto maahan- tuoduista ja tuotetuista aineista. Luottamuksellinen ja maksullinen.	

Selvityksessä todettiin, että vesien- ja merenhoidon suunnittelussa sekä erilaisten kuormitus- ja vaikutusmallien soveltamisessa käyttökelpoisinta olisi yksityiskohtainen paikkaan sidottu

tieto, koska sitä voi tarpeen mukaan yleistää koskemaan suurempia alueita. Eri organisaatioiden internetsivuilta avoimesti ladattavissa olevat aineistot, esimerkiksi kuntakohtaiset eläinmäärätilastot ja haitallisten aineiden arvioinnissa käytettävät tilastot (kuten kasvinsuojeluaineiden valtakunnalliset käyttötilastot), eivät ole riittävän tarkkoja vesimuodostumakohtaisten analyysien tekemiseen.

Maatalouden vesiensuojelutoimenpiteiden toteumatietojen lähteitä on selvitetty myös aiemmin Ympäristöministeriön hankkeessa, jossa oli mukana laaja joukko eri hallinnonalojen asiantuntijoita. Hankkeen aikana valmistui opasmateriaalia (mm. Vesienhoidon toimenpiteiden suunnittelu vuosille 2016-2021 <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BA5EE769B-40F3-4D56-9309-5390B4AEE69D%7D/78399>) tukemaan ELY-keskusten työtä, sekä eri tiimien valmistelevat sektorikohtaiset raportit. Maataloustiimin loppuraportissa ”Maatalous, turkistuotanto ja happamuuden torjunta” (päivitetty 31.1.2016) esitetään mm. seurannan tietolähteet toimenpiteittäin. Raportissa on lisäksi avattu vesienhoidon perustoimenpiteiden (perustuvat Valtioneuvoston asetukseen vesienhoidon järjestämisestä 30.11.2006/1040, päivitetynä lainsäädännössä asetuksen antamisen jälkeen tapahtuneilla muutoksilla) ja täydentävien toimenpiteiden (perustoimenpiteiden lisäksi tehtävät toimenpiteet, kuten myös kaikki ohjauskeinot) sanallista sisältöä tarkemmin. Lisäksi oppaassa on taulukoitu vesienhoidon maatalouden toimenpiteiden välinen yhteys 1. ja 2. suunnittelukauden välillä.

Em. opasmateriaalin ja TOIMI-hankkeen tekemän kyselyn perusteella (Taulukko 1) ilmeni, että Mavin tukisovelluksesta saadaan kerättyä suurin osa tarvittavista maatalouden vesiensuojelun toimenpidetiedoista. Kuitenkin esimerkiksi lannan jatkokäsittelyä, lantaloita ja jaloittelutarhoja koskeva tieto tulee kerätä useammasta eri lähteestä: Eviran rekistereistä, Tiken tulevista rakennetutkimuksista, kuntien rakennusvalvonnalta, maaseutuslaitteereiltä jne. Lisäksi kasvinsuojeluaineiden ja eläinlääkkeiden käytöstä on pitänyt tehdä erilliset aineistopyynnöt Fimealle, Lukeen ja Tukesiin.

Suomen ympäristökeskus hankkii ympäristöhallinnon käyttöön useita paikkatietoaineistoja, jotka ovat SYKE:n lisäksi ELYjen, AVI:n, YM:n ja ARAn käytössä. Maatalouden osalta vektorimuotoinen peltolohkoaineisto kuuluu näihin aineistoihin. Lisäksi SYKE:en on erillisellä sopimuksella hankittu Mavista vesien- ja merenhoidon suunnittelua varten taulukkomuotoisia maataloustukitietoja. Nämä tiedot eivät ole avoimesti käytössä ja käyttöoikeudet niihin saa SYKE:n paikkatietopuolelta. Selvityksessä korostui, että Maville menevät tietopyynnöt pitäisi hoitaa keskitetysti, ja SYKE:n pitäisi paremmin tiedottaa ELYjen asiantuntijoille mitä aineistoa SYKE:en on hankittu, ettei samoja tietoja kysytä useaan kertaan eri organisaatioista. Suppean selvityksen perusteella kävi ilmi, että esimerkiksi ELYjen asiantuntijat ovat pyytäneet suoraan dataa Mavista, vaikka se on ollut SYKE:n kautta vesien- ja merenhoidon asiantuntijoiden saatavilla.

Taulukkomuotoinen maataloustukitieto ei ole sellaisenaan käyttökelpoinen vesien- ja merenhoidon suunnittelussa. Tiedosta tulisi muodostaa keskitetysti erilaisia valmiita tietotuotteita suunnittelun tarpeisiin. Maataloustukitieto saadaan paikkatietomuotoon, kun taulukkotieto yhdistetään tiloihin tai peltolohkoihin tilatunnuksen tai peltolohkotunnuksen avulla. Tiedon yhdistäminen ei ole teknisesti niinkään vaikeaa vaan suurimmaksi ongelmaksi tiedon käytössä muodostuu tiedon tulkinta. Olemassa olevat aineistojen metatietokuvaukset eivät ole riittäviä, vaan tiedon tulkintaa varten tarvittaisiin erilliset ohjeet. Ohjeet pitäisi tehdä yhteistyössä tiedon tuottajien (mm. MTK, Mavi) ja käyttäjien (SYKE, ELYt, LUKE) kanssa. Näin varmistettaisiin, että tietoa käytetään samalla tavalla eri organisaatioissa ja tiedon tulkinta olisi virheetöntä.

Usein aineiston puutteet huomataan vasta, kun aineistoa aletaan soveltaa vesienhoidon suunnittelussa tai sitä tukevassa mallinnus- ja tutkimustyössä. Esimerkiksi nykyisessä ympäristökorvausjärjestelmässä talviaikainen kasvipeitteisyys- toimenpideluokka sisältää mm. pysyvää kasvipeitteisyyttä, syysviljan orasta ja eriasteista kevennettyä muokkausta koskevaa tietoa. Mavin tietokantoihin tieto on viety tarkkuudella aito kasvipeite (1) ja ei-aito kasvipeite (0) lohkotason tietoina. Tilatasolla talviaikainen kasvipeitteisyystieto on prosenttiosuutena tilan peltoalasta. Tarkkuutta eroosiota vähentävien toimenpiteiden määrästä saadaan seulomalla tietokantoja viljelyalatiетоjen, kasvilajien jne. erilaisilla aineistoryhmittelyillä. Tämä jatkotyö on valmisteilla ja toteutetaan KiertoVesi -hankkeessa.

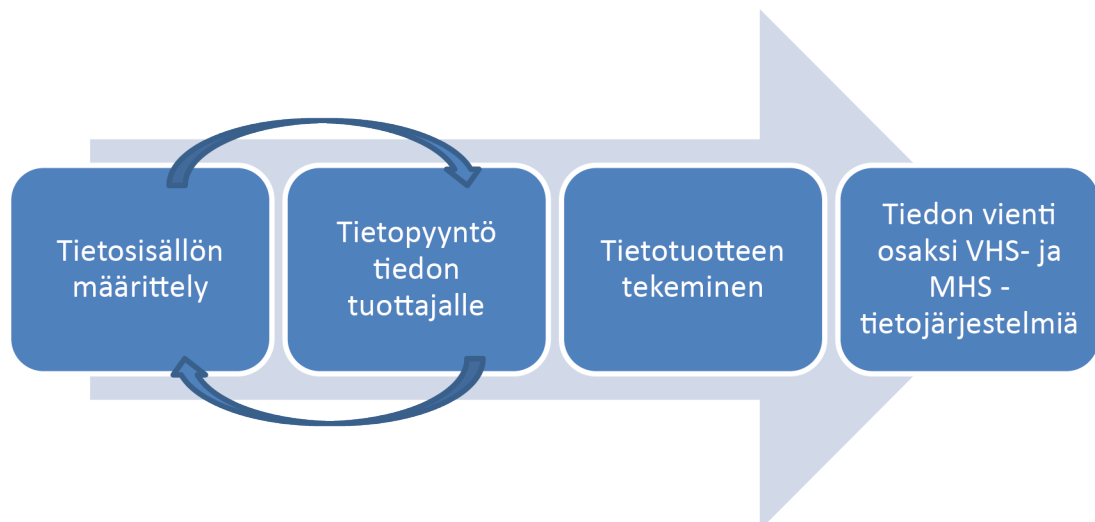
Tietopyynnöt pitäisikin tehdä yhteistyössä sitä käyttävien tahojen kanssa, ja niissä tulisi kuvata käyttäjälähtöisesti ja mahdollisimman selvästi, mihin tietoa on tarkoitus konkreettisesti käyttää ja millaisia tietotuotteita tarvittaisiin. Esimerkiksi toimenpiteiden toteutumisen seurannassa ELYjen vesien- ja merenhoidon suunnittelijat ovat keskeisessä asemassa, kun tietosisältöä määritetään ja tietopyyntöä tehdään. Jos tieto olisi Mavilta saataessa mahdollisimman käyttökelpoisessa muodossa vesien- ja merenhoidon suunnittelun sekä mallien kannalta, ei tarvittaisi suuria työpanoksia tiedon keskitettyyn jatkojalostamiseen, käytön ohjeistamiseen yms.

3.2 Toimintamalli tietolähteiden yhdenmukaistamiseksi vesien- ja merenhoidon tarpeisiin

Jotta vesienhoidon suunnittelu ja toteutus voidaan tehdä yhdenmukaisesti kaikilla vesienhoitoalueilla, tulee käytettävien aineistojen olla kaikille yhtäläisellä tarkkuudella saatavilla. Vesienhoidon suunnitteluun tarvittavan tiedon tuottamisessa voidaan tunnistaa eri vaiheita, minä avulla pystytään luomaan tehokkaampi toimintamalli tulevaa vesienhoitotyötä ja siihen liittyvää tiedonhankintaa ajatellen (kuva 5):

- Vesien- ja merenhoidon tietosisällön tarpeen määrittely
- Tietopyyntö tiedon tuottajalle
- Tiedon jatkojalostaminen ja tiedon käytön ohjeistus eli tietotuotteen tekeminen
- Tiedon vienti osaksi vesien- ja merenhoidon suunnittelujärjestelmää

Tässä hankkeessa tunnistetut maatalousaineistoja koskevat keskeiset kehitystarpeet liittyvät tietopyyntöjen sisällön laadintaan ja olemassa olevan tiedon käyttämisen ohjeistamiseen.



Kuva 5. Vesienhoidon suunnitteluun tarvittavan tiedon tuottamisen toimintamalli.

3.2.1 Toimintamalli vesienhoidon toimenpiteiden toteutumisen arviointiin

3.2.1.1 Tietosisällön määrittely

Vesien- ja merenhoidossa toisen suunnittelukauden toimenpiteiden toteutumisen arviointi tulee tehtäväksi vuoden 2018 aikana. ELY-keskukset ovat tehneet toimenpidesuunnitelmat, joissa on tunnistettu sektorikohtaisesti tarvittavat toimenpiteet ja määrät, jotka on suunniteltu toteuttaa kuluvan kauden 2016–2021 aikana. Taulukossa 2 on esitetty toisen suunnittelukauden maataloussektorin täydentävät toimenpiteet sekä yksiköt, millä tarkkuudella toimenpiteiden suunniteltuja toteutumismääriä tullaan arvioimaan. Vastuu varsinaisista käytännön toimenpiteistä on pääasiassa toiminnanharjoittajilla, erilaisilla yhteisöillä sekä kansalaisilla.

Taulukko 2. Tarvittavat maatalouden täydentävät toimenpiteet vesienhoidon toisella suunnittelukaudella.

Toimenpide	Yksikkö
Viherryttämistoimenpiteiden ekologinen ala	ha
Maatalouden suojavyöhykkeet	ha
Maatalouden kosteikot ja lasketusaltaat	kpl
Kasvinsuojeluaineiden käytön vähentäminen ja luonnonmukaisesti viljelty pelto	ha
Peltojen talviaikainen eroosion torjunta (edellyttää lisäanalyysiä)	ha
Säätösalaohjitus ja kastelu turvepelloilla	ha
Ravinteiden käytön hallinta	ha
Lannan ja orgaanisen aineksen ympäristöystävällinen käyttö	ha
Peltojen käyttötarkoituksen muutos	ha
Maatalouden tilakohtainen neuvonta	tilaneuvontakäyntiä vuodessa
Lannan prosessointi	kuutiota vuodessa

Vesien- ja merenhoidon toimenpiteiden seurantaan varten perustettiin ryhmä kesällä 2017. Yksi ryhmän tehtävistä on laatia ohjeistus ja organisoida työ toimenpiteiden toteutumisen seurantatiedon kokoamiseen. Tässä tulee toimia käyttäjälähtöisesti ja miettiä riittävän yksityiskohtaisesti tiedon sisältö, jotta maatalousaineistojen tietopyyntöä tehtäessä osattaisiin ottaa tarvittavat asiat huomioon. Keskeisiä kysymyksiä ovat muun muassa:

- Mitä tietoa tarvitaan, miten määriä halutaan arvioida ja mikä on tarkastelun aikajakso?
- Mikä on tarkastelun taso: suunnittelun osa-alue vai tarkempi?
- Missä muodossa tieto pitäisi olla käytössä?
- Mistä tieto on saatavilla ja missä muodossa?

Käytännössä vuonna 2018 tehtävät maataloustukitietoihin perustuvat vesienhoidon toimenpiteiden toteutumisen arvioinnit pitää tehdä vuosien 2016 - 2017 maataloustukiaineistojen perusteella. Tästä syystä jo vuoden 2017 SYKEstä Maville lähtevässä tietopyynnössä, joka käsittää v. 2016 tukitiedot, tulee tarkemmin miettiä aiemmin saatujen aineistojen heikkoudet ja kehittämistarpeet, jotta kokonaisvaltainen arviointi ehditään tehdä v. 2018 parhaalla mahdollisella aineistolla.

3.2.2 Tietopyynnöt tiedon tuottajalle

Vesien- ja merenhoidon suunnittelua varten aineisto tilataan SYKEen vuosittain Maville tehtävällä erillisellä tietopyynnöllä. Tietopyynnön sisältö on säilynyt vuosittain jokseenkin vakiona eikä aineistoa pyydetäessä ole kunnolla mietitty, tukeeko se vesien- ja merenhoidon suunnittelua ja mallityökaluja parhaalla mahdollisella tavalla, tai miten ympäristötukijärjestelmä on vuosien varrella muuttunut. Saadun tiedon tietosisältö, formaatti ja aikataulu on lisäksi voinut vaihdella vuosittain, vaikka tietopyynnön sisältö onkin pysynyt vakiona. Peltolohkoja lukuun ottamatta tieto on taulukkomuotoista, joka ei sellaisenaan ole helposti hyödynnettävissä vesien- ja merenhoidon suunnittelussa. Tieto voidaan yhdistää peltolohko- tai tilatunnusaineistoon, jolloin saadaan paikkaan sidottua tietoa. Silti tiedon käyttö ei ole ongelmantonta. Tulkin-taa hankaloittaa merkittävästi ympäristötukijärjestelmän muuttuminen vuonna 2015 ympäristökorvausjärjestelmäksi.

Vuoden 2016 tietopyyntöjä tehtäessä onkin ensisijaisen tärkeää selvittää miten nykyinen ympäristökorvausjärjestelmä ja siitä Mavin rekisteriin tallennetut tiedot kohtaavat vesienhoito-suunnitelmissa seurattaviksi sovitut vesienhoidon toimenpiteet. Lisäksi on hyvä pitää mielessä, että eri kausina tehtyjen toimenpiteiden vaikutusten ja muutosten selvittämiseksi pitäisi toimenpidemääriä pystyä vertaamaan ohjelmakausittain tai sovittuun referenssitason, vaikka tuetut toimenpidetyypit ovat muuttuneet. Tätä työtä helpottaa Maataloustiimin kokoama sektoriopas (<http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BE868F74C-39A6-4655-B23B-09AFAC0D3074%7D/116757>), jossa toimenpiteiden välisiä yhteyksiä 1. ja 2. suunnittelu-kauden välillä on taulukoitu. Kattavien aikasarjojen koostaminen esim. talviaikaisen kasvipeitteisyyden osalta on kuitenkin monimutkaista, koska tietoa ei pysty täysin koostamaan tukitietojen perusteella, ja vaatii siksi tarkempaa perehtymistä Mavin rekistereistä saataviin tietoihin.

3.2.3 Tiedon vienti osaksi vesien- ja merenhoidon tietojärjestelmiä

Vesien- ja merenhoidonsuunnittelun koordinaatioryhmä asetti kesällä 2017 toimenpiteiden seuranta-ryhmän lisäksi muitakin asiantuntijaryhmiä vuosille 2017-2018 VHS- ja MHS:n eri työvaiheiden edistämiseksi. Monet näistä ryhmistä työskentelevät osittain samojen aihealueiden parissa, ja toimivat siten vuorovaikutteisesti.

Maataloustiedon vienti osaksi tietojärjestelmiä tulee pitkälti olemaan VEME tiedonhallinta-asiantuntijaryhmän harteilla. Kyseinen ryhmä toimii keskustelu- ja yhteistyöfoorumina substanssi-asiantuntijoiden, suunnittelijoiden ja sovelluskehittäjien välillä, seuraa meneillään olevia tietojärjestelmien kehittämishankkeita ja tukee niiden testausta, sekä ennen kaikkea määrittelee suunnittelussa ja toteutumisen seurannassa tarvittavien keskitettyjen tietojen koostamisen teknisen toteutuksen. Ryhmä tekee myös esityksiä paikkatietoaineistojen ja –työkalujen sekä mallien hyödyntämiseksi vesienhoidon ja merenhoidon suunnittelussa.

Tavoitteena on viedä maatalousaineisto ainakin Mavin aineistojen osalta keskitetysti jakeluun. Aineisto pyritään jatkojalostamaan siten, että se palvelee suoraan VHS ja MHS suunnittelijoita. Lisäksi aineistolle tulee luoda selvä metadata tulkintavirheiden välttämiseksi.

3.2.4 Esimerkinä arvio Paimion-Aurajoen vesimuodostuman toimenpiteiden toteutumisesta SYKE:n aineistojen perusteella

Saaristomeren valuma-alueen pintavesien toimenpideohjelma vuosille 2016–2021 sisältää suunnitelman Paimion-Aurajoen vesimuodostuman maatalouden toimenpiteistä. Esimerkiksi suojavyöhykkeitä on suunniteltu toteutettavan 1550 hehtaarilla. Maatalousvirastolta (Mavi) saadun aineiston perusteella vuonna 2014 Paimion- ja Aurajoen alueella oli voimassa 252 suojavyöhykkeiden erityistukisopimusta, joiden yhteenlaskettu pinta-ala oli 899 ha (1,2 % kaikista ympäristötuen piiriin kuuluvista pelloista). Kosteikoita ja laskeutusaltaita on toimenpideohjelmassa suunniteltu toteutettavan yhteensä 366 kappaletta. Mavin erityistukisopimusa-ineiston perusteella vuonna 2014 ei alueella ollut yhtäkään kosteikon tai laskeutusaltaan hoito-sopimusta voimassa. Koko Saaristomeren valuma-aluetta tarkasteltaessa kosteikon hoito-sopimuksia löytyi vuonna 2014 15 kappaletta. Laskeutusaltaiden osalta v. 2014 tietokanta vaikuttaa virheelliseltä, sillä aineisto ei sisällä lainkaan ko. sopimuksia. Vuoden 2015 aineis-tossa on kuitenkin mukana useita laskeutusaltaita, jotka ovat olleet voimassa jo 1990-luvulta lähtien.

Ympäristötuen lisätoimenpiteet (kuten peltojen talviaikainen kasvipeitteisyys tai lannan levitys kasvukaudella) ovat tilakohtaisia sopimuksia, ja metadatan puuttuessa on epäselvää, tarkoit-taako aineistossa ilmoitettu pinta-ala toimenpiteeseen sitoutuneen tilan kokonaispinta-alaa vai varsinaista toteutunutta alaa.

Vuoden 2015 aineistoista vastaavat luvut pitää johtaa eri tavalla, sillä tukijärjestelmän muutut-tua sitoumuksiin myös aineistojen rakenne ja terminologia muuttui oleellisesti. Ilmeisesti SY-KE:n vuoden 2015 erityistuki-aineisto sisältää ne erityistukisopimukset, jotka jäivät voimaan ympäristökorvausjärjestelmään siirryttyä. Sen sijaan niistä toimenpiteistä, jotka muuttuivat erityistuista ympäristösopimuksiksi (kuten perinnebiotoopit ja kosteikkojen hoito) ei ole tullut SYKEen mitään aineistoa. Lisäksi ympäristösitoumuksista lasketut pinta-alat vaikuttavat vir-heellisiltä: esim. peltojen talviaikaisen kasvipeitteen ala jää reiluun 400 hehtaariin (jos pinta-alakenttä tulkittu oikein) Aura-Paimionjoen vesimuodostumalla.

Ympäristösitoumukset ovat lisäksi lohkokohtaisia toimenpiteitä, joten nämä tiedot pitäisi saa-da kohdistettua yksittäisiin peltolohkoihin (vuoden 2015 aineisto tullut SYKEen tilatasolla), jolloin pinta-alatiedonkin tulkinta olisi selvää. Lisäksi nykyisessä aineistossa on tilatunnukselle merkitty samalla pinta-alatiedolla erilaisia sitoumuksia: Esimerkiksi samalla tilatunnuksella voi olla sekä valumavesien hallinta, säätösalaajitus ja kuivatusvesien kierrätys mukana erillisinä riveinä, ja kaikissa on sama pinta-ala – nämä tarkoittanevat samoja peltoja, mikä on ymmär-rettävä summattaessa toimenpideoja yhteen. Taulukkoon 3 on koottu maatalouden vesien-hoidon suunnitellut toimenpiteet Paimionjoen-Aurajoen osa-alueelle ja SYKEssä tällä hetkellä käytössä olevien aineistojen perusteella arvioituja toteumatietoja.


Taulukko 3. Maatalouden vesienhoidon toimenpiteet ja niiden toteumatiedot SYKEN tämän hetkisten aineistojen perusteella kaudelle 2016-2021 Paimionjoen-Aurajoen osa-alueella.

Toimenpide	VHS Tavoite 2016-2021	Toteumatiedot v. 2014	Toteumatiedot v. 2015, kommentteja
Viherryttämistoimenpiteiden ekologinen ala (ha)	4000	-	Tiedot kootaan Viherryttämistuen kautta
Maatalouden suojavyöhykkeet (ha)	1550	899	Voimassa olevia suojavyöhykkeiden erityistukisopimuksia 134 ha, suojavyöhykenurmia (sitoumus) 423,52 ha (yht. = 557 ha) (luonnonhoitopeltonurmet, suojavyöhykenurmet, ympäristönhoitourmet ja monivuotiset ympäristönurmet ilmoitettu kaikki samalla alalla – virheellinen aineisto.
Maatalouden kosteikot ja laskeutusaltaat (kpl)	355	0	Voimassa olevia laskeutusallassopimuksia 7 kpl, kosteikkoinvestoinnit ei-tuotannollisen tuen piirissä ja niistä ei tietoa, samoin ei tietoa kosteikkojen hoito- ja ympäristösopimuksista. Lisäksi osa tiedoista kerättävä riistainhoitoyhdistyksiltä, WWF:ltä, ProAgriasta, paikallisilta yhdistyksiltä ja säätiöiltä sekä ELY-keskuksilta.
Kasvinsuojeluaineiden käytön vähentäminen ja luonnonmukaisesti viljelty pelto (ha)	10760	9243	Saneerauskasvit + puutarhakasvien vaihtoehtoinen kasvinsuojelu kerättävä erikseen, Luomutiedot saatatta vuodelta 2015 (siirtyi erityistuista luomukorvaukseen)
Peltojen talviaikainen eroosion torjunta (ha)	64800	-	Peltojen talviaikainen kasvipeitteisyys-toimenpideala: 443 ha. Aineisto koskien muita monivuotisia ympäristönurmia, monimuotoisuuspeltoja (riista/maisema), sänkipeltoja (ml. suorakylvö sänkeen ja syyssänki-muokkaus tietyillä kasveilla), syyskylvöisiä kasveja, kevääseen asti säilytettäviä kerääjäkasveja, luonnonhoitopeltojen nurmia ja turvepeltojen nurmia kokoamatta. Talviaikainen kasvipeite-toimenpidetiedoista mahdollista lisäksi erotella aidon ja kevytmuokatun kasvipeitteen ala.
Ravinteiden käytön hallinta (ha)	86200	76655	Ympäristökorvaukseen sitoutuneiden tilojen pellot.
Lannan ja orgaanisten aineiden ympäristöystävällinen käyttö (ha)	9100		Lietelannan sijoittaminen peltoon: 144 ha (vaikuttaa virheelliseltä). Tieto ravinteiden ja orgaanisten aineiden kierrättämisestä puuttuu.
Maatalouden tilakohtainen neuvonta (tilaa/vuosi)	270		Tietoa ei toistaiseksi SYKEssä
Lannan prosessointi (m ³)	430000		Tietoa ei toistaiseksi SYKEssä

3.3 Tietojärjestelmien yhteiskäytön kehittäminen: esimerkkinä Taloustohtori-tietojärjestelmä

Luonnonvarakeskuksessa on kehitetty Taloustohtori-tietojärjestelmä, joka on Internet-perusteinen aineisto-analyysi-raportointi -palvelu. Palvelun Internetosoite on: www.luke.fi/taloustohtori.

Palvelut perustuvat eri asiakkaiden ja Luonnonvarakeskuksen tietoihin ja niiden yhdistelmiin ja se käyttää hyödyksi järjestelmässä jo olevia tai sinne uusina kehitettäviä analyysiosioita. Järjestelmässä on mukana useita maatalousmuuttujia, mm. eläinyksiköt, viljelyalat, maalajeja kuvaavia aineistoja jne., jotka voisivat olla käyttökelpoisia vesien- ja merenhoidossa. Tällä hetkellä Taloustohtorijärjestelmässä on useita kymmeniä luokittelijoita. Hankkeen yhteydessä keskusteltiin mahdollisuudesta lisätä vesistöalueet yhdeksi järjestelmän luokittelijaksi, jolloin järjestelmästä saataisiin suoraan valuma-aluekohtaisia tilastoja. Koska SYKEssä käynnissä oleva vesistöjen perusyksiköiden ja valuma-alueiden uudistamistyö on kesken, päätettiin tässä vaiheessa lisätä Taloustohtorin kehitysversioon uusiksi luokittelijoiksi vesienhoito- ja päävesistöalueet. Kuvassa 6 on esimerkkitaulukko kehitysversiolla koostetusta taulukosta, jossa esitetään vuoden 2015 tilamäärät tuotantosunnittain kullakin vesienhoitoalueella.



Taloustohtori, Maatalouden rakennekehitys -palvelu (luke.fi/taloustohtori) Aineisto: Luke Maatalouden rakenne -aineisto (www.maataloustilastat.fi) 6.10.2017

Yritysmäära		Ahvenanmaa [WDA]	Teno Naatamo ja Paatsjoen kansainvälisen vesienhoitoalueen Suomen osuus [VHA7]	Torniojoen kansainvälisen vesienhoitoalueen Suomen osuus [VHA6]	Kemijoen vesienhoitoalue [VHA5]	Oulujoen Iijoen vesienhoitoalue [VHA4]	Kokemaanjoen Saaristomeren Selkämeren vesienhoitoalue [VHA3]	Kymijoen Suomenlahden vesienhoitoalue [VHA2]	Vuoksen vesienhoitoalue [VHA1]
2015	Sekamuotoinen	47	..	3	10	129	1.292	433	273
	Siiplikarjatalous	1	..	1	..	5	296	8	17
	Sikatalous	..	..	..	..	37	592	60	53
	Lammas ja vuohitilat	50	..	21	45	84	259	138	81
	Muu nautakarja	57	1	37	94	522	1.296	649	893
	Lypsykarja	34	9	83	211	1.444	2.640	1.309	1.938
	Avomaatilat	54	..	1	12	69	430	309	278
	Kasvihuonetilat	10	..	..	10	32	396	89	41
	Muu kasvinviljely	103	37	131	577	1.643	5.781	2.997	2.711
	Viljanviljely	62	..	3	11	1.154	11.875	4.522	1.464
	Yhteensä	418	47	280	970	5.119	24.857	10.514	7.749

Kuva 6. Kuvakaappaus Taloustohtorin kehitysversiosta, johon lisättiin hankkeen aikana uusiksi luokittelijoiksi vesienhoito- ja päävesistöalueet.

Taloustohtoria kehitetään jatkuvasti, ja se on merkittävässä roolissa muun muassa MTK:n vetämässä ja pääosin YM:n rahoittamassa LOHKO II –hankkeessa (https://www.mtk.fi/ymparisto/Vesiasiat/lohko/fi_FI/Lohko_II_hankekuvaus/), jossa on tavoitteena muun muassa kuvata eri viljelyvaihtoehtojen vaikutusta kuormitukseen sekä kuormitusta vähentävien toimenpiteiden kustannusvaikutusta tiloille. Koska hankkeella pyritään edistämään vesien- ja merenhoidon toimeenpanoa, tulisi yhdessä Taloustohtori-tiimin kanssa pohtia, millä tavalla aineistoja kannattaisi yhdistää palvelemaan edelleen suurempaa käyttäjäryhmää.

4 VESIEN- JA MERENHOIDON MALLITYÖKALUT

Vesien tilan parantamiseksi tarvitaan luotettavaa tietoa vallitsevasta vesistökuormituksesta, kuormituksen muutoksista ja kuormituksen vähentämiskeinoista. Erilaisten mallityökalujen avulla voidaan arvioida vesiensuojelutoimenpiteiden, ilmastonmuutosskenaarioiden tai maankäytön muutosten tai maatalouspolitiikan vaikutusta kuormitukseen. Joitakin nyt käytössä olevia malleja on kehitetty vuosikymmenien ajan ja toisia taas on tehty varta vasten vesienhoitotyöhön. Useampien mallien historia on joka tapauksessa pitkä ja niitä on kehitetty lähinnä erillisissä tutkimushankkeissa. Tästä johtuen mallien soveltuvuus vesienhoitotyöhön on haastavaa. Vesienhoitotyössä mallien käyttö jaetaan kolmeen osaan käyttötarkoituksen mukaan:

- VHS toimenpiteiden tarkistaminen/yleissuunnittelu. Näköpiirissä on, että jatkossa suunnitteluprosessia kevennetään, eli mallien laaja-alainen käyttö yleissuunnitteluvaiheessa ei olisikaan tarpeen.
- VHS alueellisen hankesuunnittelun tukeminen. Tässä osassa mallien käyttö on perusteltua, ja voidaan soveltaa kuhunkin tapaukseen sopivia malleja, jolloin laajempi mallikirjo on perusteltu. Tällaiset hankkeet eivät ole sidottu VHS aikajanaan.
- Maatalouspolitiikan arviointi ja tukeminen, joka linkittyy vahvasti vesienhoitoon, mutta se on edellä esitetyistä osiosta kuitenkin selkeä erillinen tehtäväpaketti.

Toisella ohjelmakaudella maataloutta koskeva sektorikohtainen vesienhoidon suunnittelijoille kohdennettu ohjeistus arvioitiin keskimäärin tyydyttäväksi. Yli 75 % kyselyyn vastaajista koki, että toimenpiteiden vaikutusten arviointi on ollut vaikeaa tai lähes mahdotonta. Sektorikohtaisessa oppaassa toimenpiteiden vaikutusta ja esim. ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia arvioitiin 5-portaisen asteikon (Erittäin myönteinen, Myönteinen, Neutraali, Haitallinen, Erittäin haitallinen) perusteella. Toisella ohjelmakaudella mallien käyttö toimenpiteiden arvioinnissa oli vähäistä. Vesienhoidon kuulemisessa saadussa palautteessa toivottiin, että

- Arviointimallit kehittyisivät ja arviot eri toimenpiteiden kustannustehokkuudesta paranisivat
- Toimenpiteiden toteutumisen vaikutuksista saataisiin kustannus-hyötyanalyysi
- Olemassa oleva tieto toimien vaikutuksista koottaisiin ja lisättäisiin tutkimusta toimien vaikuttavuudesta

Tässä luvussa kuvataan vesien- ja merenhoidon keskeiset mallityökalut, evaluoidaan niiden käytettävyyttä vesien- ja merenhoidossa sekä keskustellaan mallinnuksen epävarmuudesta sekä ilmastonmuutoksen ja ravinteiden kierrätyksen mallintamisen haasteista.

4.1 Arviointityökalut

VIHMA

Viljelyalueiden valumavesien hallintamalli (VIHMA) laskee valuma-alueella peltoviljelyn kiintoaine- ja ravinnekuormituksen määrän ja ympäristötoimenpiteiden vaikutuksen (Puustinen ym. 2010). Peltotoimenpiteiden (muokkauskäytännöt, talviaikainen kasvipeitteisyys) vaikutukset perustuvat koekenttien pitkäaikaisaineistoihin. Koekenttäaineistoista on muokattu VIHMAN peltoluokkiin (maalajiryhmät, kaltevuusluokat, P-lukuluokat) eri viljelykäytäntöjä vastaavia kuormitusparametreja ja niille erilaisia hydrologisia vuosia vastaavia keskimääräisiä minimi- ja maksimiarvoja. Työkalu sisältää myös suojavyöhykkeiden ja kosteikkojen vaikutuk-

set. Kokeelliseen aineistoon perustuva työkalu laskee ensimmäisessä vaiheessa kuormitusparametrien, valuma-alueiden peltojen ominaisuuksien ja viljelykäytäntöjen perusteella valuma-alueilta tulevan kiintoaine- ja ravinnekuormituksen ja kuormituksen keskimääräisen vuosivaihtelun. Toisessa laskentavaiheessa saadaan arvio vaihtoehtoisten toimenpidekombinaatioiden kokonaisvaikutuksista kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen. Malli on excel-pohjainen.

KUTOVA

KUTOVAlla voidaan arvioida yksittäisten vesiensuojelutoimenpiteiden kustannustehokkuutta ja niillä saavutettavissa olevaa fosforikuormitusvähennystä (ei typpeä!). Kustannustehokkuudella tarkoitetaan toimenpiteen kustannusten suhdetta toimenpiteen vaikutukseen eli fosforikuormituksen vähenemiseen. Lisäksi työkalun avulla on mahdollista muodostaa kustannustehokkaita toimenpideyhdistelmiä ja laskea niihin valittujen toimenpiteiden kustannukset sekä yhteisvaikutus kuormitukseen. KUTOVA työkalu sisältää toimenpiteitä maatalouden, metsätalouden, haja-asutuksen ja turvetuotannon sektoreilta. Kustannustehokkuus ilmaistaan kuormituksesta poistuvan fosforikilon hintana ja sen yksikkö on €/fosforikilo. Työkalulla voidaan saada tietoa, miten toimenpiteitä kannattaa suunnata ja mihin toimenpiteisiin kannattaa panostaa (Hjerpe ym. 2016; Väisänen (toim.) 2013). Malli on excel-pohjainen.

4.1 Empiiriset mallit

LLR

SYKEssä kehitetyllä, erityisesti vesienhoidon suunnitteluun räätälöidyllä Lake Load Response (LLR) –mallilla voidaan laskea järvesimuodostumaan kohdistuvan ulkoisen kuormituksen vaikutus ja hyvään tilaan tarvittava kuormituksen vähennystarve. LLR:llä lasketaan, miten ulkoinen kuormitus ja sen muutokset vaikuttavat vesimuodostuman kokonaisravinne- ja a-klorofyllipitoisuuksiin. LLR:ää on sovellettu erityisesti järville, mutta sen estuaariversio, Coastal Load Response (CLR), sopii myös jokivaikutteisille rannikon läheisille vesimuodostumille (Kauppila ym. 2012).

Laskennan syöttötietoina tarvitaan tarkasteltavan vesimuodostuman keskisyvyys, tilavuus ja pintavesityyppi sekä mahdollisimman pitkät havaitut aikasarjat tulevasta kuormituksesta, lähtövirtaamasta ja edustavimman syvänteen kokonaisravinnepitoisuuksista. Lisäksi tarvitaan arvio sisäisen kuormituksen suuruusluokasta. Mikäli ulkoisen kuormituksen tietoja ei ole saatavilla, voidaan niiden sijaan käyttää esim. VEMALA-mallin tuottamia ennusteita. LLR:n laskelmat perustuvat yksinkertaisiin yhteyksiin ravinnekuormituksen ja vedenlaadun välillä. Tunnettuihin ravinnetaseyhtälöihin perustuvan ravinteiden pidättymismallin avulla voidaan laskea kokonaisravinnepitoisuus, kun järven tai vesimuodostuman pinta-ala, kuormitus, virtaama ja sedimentaationopeus tunnetaan. LLR:n fosforimalliin on lisätty myös sisäisen kuormituksen aiheuttama vaikutus. Ravinnekuormitusten avulla laskettuja kokonaisravinnepitoisuuksia käytetään vesimuodostuman a-klorofyllipitoisuuden laskentaan. Ravinteiden ja a-klorofyllin pitoisuuksien suhteesta saadaan edelleen johdettua yhteys kuormituksen ja a-klorofyllipitoisuuden välille. (Kotamäki ym. 2015, esittelysivu). Vaikka LLR-työkalu on vapaasti käytettävissä internetin kautta (www.vesinetti.fi ja <http://lakestate.vyh.fi/>), käytännössä malliajot on tehty keskitetysti R:llä SYKEssä.

RUSLE

RUSLE2015 malli on nyt kehitetty myös eurooppalaisiin olosuhteisiin. RUSLE2015 perustuu kansainvälisesti tunnetuimpiin eroosiomalleihin Usleen (Wischmeier ja Smith, 1978) ja Rus-

leen (Renard ym. 1997). Paikkatietopohjainen malli on luotu Euroopan komission yhteistutkimuskeskuksessa (Joint Research Centre) Euroopassa kootun mittausaineiston pohjalta (Panagos ym. 2015c). Suomessa RUSLE2015-mallia on evaluoitu ja sovitettu maatalousmailla boreaalisiin olosuhteisiin (Lilja ym. 2017) ja pienessä määrin metsämailla. Mallissa eroosio lasketaan sadetekijän, maaperätekijän, pinnanmuototekijän, kasvipeitteisyys ja viljelytekniikkatekijän ja eroosion estämistekijän tulona.

Sadetekijä vaikuttaa eroosioon sadetapahtuman sadepisaroiden liike-energialla. Maaperätekijä taas kuvaa maan omaa taipumusta eroosioon. Se riippuu maan eloperäisen aineksen määrästä, pintarakenteesta, vedenjohtokyvystä ja profiilin rakenteesta. Pinnanmuototekijässä yhdistyy rinteiden pituus ja jyrkkyys. Rinteiden pituus alkaa pisteestä, missä vesi alkaa virrata rinnettä alaspäin ja loppuu veden kertymispisteeseen. Suomen oloissa pinnanmuoto on toiseksi merkittävin tekijä mallissa. Maanpeitetekijän lukuarvo kuvaa maanpinnan suhteellista eroosiota paljaan maan ja täysin kasvipeitteisen maan välillä. Se on mallin merkittävin tekijä. Siihen vaikuttavat viljelykasvi, muokkauskäytännöt, sadonkorjuun kasvijäänteet ja suojakasvit. Eroosiota estäviä toimenpiteitä ovat esim. korkeuskäyrien suuntainen muokkaus, suojavöhykkeet ja -kaistat sekä salaojitus. Mallin yksinkertaisuus mahdollistaa helpon ja tehokkaan eroosiokarttojen tuotannon ja käytön.

Malli lasketaan pääasiassa ArcGIS:ssä tehetyöasemalla Raster Calculator työkalulla. Jos lasketaan isompia alueita, niin käytetään ArcGIS:n Model Builderia. Jos laskenta sisältää myös virtailua (esim. LS-tekijä), niin silloin käytetään erillistä suurteholaskentasovellusta.

4.2 Prosessipohjaiset mallit

VEMALA

Vedenlaatumalli VEMALA (Huttunen ym. 2016) simuloi vesimääriä ja vedenlaatua kaikille Suomen järville ja joille. Malli simuloi vesitasetta, mm. valuntaa, virtaamia, järven vedenkorkeuksia ja tilavuuksia sekä kokonaisfosfori-, kokonaistyppi- ja kiintoainekuormaa ja pitoisuuksia. Malli laskee vuorokauden aika-askeleella

- ravinteiden kulkeutumista maa-alueelta
- jokaiseen yli hehtaarin kokoiseen järveen tulevaa kuormitusta
- kuormituksen etenemistä joissa ja järvissä
- mereen päätyvää kuormitusta.

Maatalouden ravinnekuormituksen laskentaan voidaan käyttää kahta erilaista malliversiota. Ensimmäisessä versiossa maatalouden fosforikuorma perustuu peltolohkokohtaisesti sovellettuun VIHMA mallin arvioon (Puustinen ym. 2010). Päivittäiset ravinnepitoisuudet lasketaan valunnan ja pitoisuuden välisen riippuvuuden avulla. Malli kalibroidaan joko manuaalisesti tai automaattisesti 1. tai 2. jakovaiheen valuma-alueen tasolla pitoisuusmittausten avulla. Laskennassa käytetään hyväksi asiantuntija-arviona annettuja korjauskertoimia joiden avulla kuormituksen suuruutta muutetaan vastaamaan havaittuja pitoisuuksia. Toisessa malliversiossa fosforikuormitus simuloidaan jokaiselle peltolohkolle ICECREAM mallilla (Tattari ym. 2001), jossa huomioidaan pellon, maalajin, kaltevuuden, lannoituksen ja kasvin vaikutus. Mallilla voidaan simuloida myös suojavöhykkeiden ja erilaisten muokkausmenetelmien vaikutuksia. ICECREAM mallin hyvyyttä testataan lohkotasolla koekenttähavaintojen avulla mutta muuten kalibrointi tehdään kuten edellä mainitussa versiossa.

Maatalouden typpikuormitus simuloidaan valuma-aluekohtaisella VEMALA-N mallilla. Malli huomioi valuma-alueen peltojen kasvillisuusjakauman ja lannoitusmäärän. Mallin parametrit määritellään automaattisella kalibroinnilla, joka minimoi mittausten ja mallitulosten välisten pitoisuuksien eron. Parametrien oikeellisuus varmistetaan antamalla typpi-prosessien kertomille raja-arvot, jotka perustuvat mittauksiin ja kirjallisuusarvioihin.

VEMALA mallia lasketaan keskitetysti vesistömallijärjestelmän laskentaympäristössä. VEMALA on matemaattinen prosessipohjainen malli, jonka käyttö vaatii varsin suurta laskentatehoa ja siksi sitä käytetään erillisessä laskentaympäristössä. VEMALA laskennat tehdään keskitetysti niin, että käyttäjät pääsevät käyttöliittymän kautta valmiisiin laskentatuloksiin, jotka sisältävät mm. tämänhetkisen kuormituksen vesimuodostumiin, jaettuna kuormituslähteisiin ja skenaarioita kuormituksen muuttumisesta.

COHERENS

COHERENS (COupled Hydrodynamical Ecological model for REgionAl Shelf seas) on Belgiassa kehitetty avoimen lähdekoodin mallinnustyökalu rannikkomeren, järvien ja muiden altainen kolmiulotteiseen matemaattiseen mallintamiseen. Mallissa laskenta tapahtuu osittain fyysikan laeista johdettujen yhtälöiden perusteella. Mallin syöttötietoina käytetään altainen syvyyskäyrästä, säätietoja ja altaaseen tulevien ja siitä lähtevien jokien virtaama- ja pitoisuustietoja. Vesialue jaetaan mallissa hilapisteisiin, jotka ovat kooltaan riittävän pieniä tutkittavan asian selvittämiseksi. Järvialueilla hilan tarkkuus on yleensä vaakasuunnassa 20 metristä 250 metriin ja syvyysuunnassa vesipatsas on jaettu viidestä kahteenkymmeneen kerrokseen. Jokaisen hilan sisällä lasketaan veden virtausnopeus ja lämpötila sekä tarvittaessa suolaisuus tai ravinnepitoisuus. Malli vaatii lähtötietoina jokien tuoman ravinnekuormituksen, joka voidaan antaa mittausten perusteella tai valuma-alueen tuloksista (mm. VEMALA, INCA, SWAT).

SYKE:ssä COHERENS-mallia kehitetään vastaamaan pohjoisen sijaintimme ja lukuisten järviemme erityispiirteitä, kuten talviaikaista jääpeitteisyyttä, rikkonaisuutta ja mataluutta. Mallia on mahdollista käyttää myös tulvimistarkasteluihin soveltuvilla jokiosuuksilla. COHERENS-mallilla ei ole yleensä varsinaista käyttöliittymää vaan sen käyttö tapahtuu määrittelemällä syöttöaineistot ja malliasetukset joko suoraan mallikoodiin tai erillisten syöttötiedostojen välityksellä. Mallin tuloksia voidaan toimittaa eri muodoissa, joka mahdollistaa mallin tulosten helpon näyttämisen erilaisilla graafisilla alustoilla. Mallin käyttö on vaativaa ja edellyttää hyvää mallinnusosaamista. COHERENS mallin kotisivuja ylläpidetään Belgiassa <http://odnature.naturalsciences.be/coherens/>

SWAT

SWAT on suurehkojen valuma-alueiden valunnan, eroosion ja ravinnehuuhtoumien, haitallisten aineiden ja taudinaiheuttajien arviointiin sekä valuma-alueella tehtävien toimenpiteiden vaikutusten vertailuun kehitetty malli. SWAT on dynaaminen, fysikaalinen malli, ts. sen toiminta perustuu sää- maaperä- ym. lähtötietoihin sekä fysikaaliskemiallisiin prosesseihin. Malli vaatii runsaasti lähtötietoa.

Mallilla voidaan laskea vuorokauden aika-askeleella

- hydrologia (esim. haihdunta ja valunta)
- maaperän fysikaaliset (esim. veden liike maassa) ja kemialliset prosessit (esim. ravinteiden liukeneminen)
- uomaproessit (esim. syöpyminen ja liettyminen).

Valuma-alueen sisäisen vaihtelun huomioimiseksi SWAT jakaa kohdealueen osavaluma-alueisiin digitaalisen korkeusmallin antamien rajojen mukaisesti. Näille osavaluma-alueille annetaan puolestaan kullekin syöttötiedot alueen säästä, HRU:ista (hydrologic response units), altaista ja kosteikoista, pohjavedestä sekä pääuomasta. Valuma-alueen hydrologian simuloinnin "maavaihe" kuvaa veden ja sen mukanaan kuljettaman aineksen liikkeitä kunkin osavaluma-alueen pääuomassa. "Vesivaihe" taas kuvaa veden virtausta ja aineiden kulkeutumista uomaverkostossa koko valuma-alueen purkupisteeseen. Mallilla voidaan tehdä ilmaston muutoksen, maankäytönmuutosten ja erilaisten vesiensuojelumenetelmien vaikutusarviointia. Malli on kehitetty (ja kehitys jatkuu) USA:ssa, mutta se on käytössä maailmanlaajuisesti. Koodi on vapaassa käytössä, mutta mallin käyttö vaatii ArcMap lisenssin. Mallin tulokset saadaan sekä tiedosto- että karttamuotoisena. Malli toimii ArcMap:in laajennusosana. <http://swat.tamu.edu/>

INCA

INCA (Integrated Nutrients from Catchments) on dynaaminen ja prosessipohjainen valuma-aluemalli. Alun perin INCAan sisältyi vain typpilaskenta, mutta myöhemmin mallia on kehitetty ja nykyisin malli sisältää typpilaskennan lisäksi fosforin, sedimenttien, kloridin, hiilen, elohopean ja taudinaiheuttajien laskentaa. Mallia käytettiin alun perin metsäisille alueille, mutta sittemmin käyttö on laajentunut myös muille maankäyttömuodoille. Malli laskee aineiden prosessit maaperässä ja jokivedessä sekä valunnan maan pinnasta, aktiivisesta maaperäkerroksesta ja pohjavesivarastosta. Prosessit voidaan simuloida kuudessa maankäyttöluokassa. Mallissa ei ole erillistä osiota järven laskentaan, mutta järvi voidaan kuvata yksinkertaistetusti omana maankäyttöluokkana. Mallin dynaamisuudesta johtuen sillä voidaan tutkia sateiden ja lämpötilan vaihtelua sekä tuotantopanosten muutoksia, kuten päästöjä eläinten lannasta. Mallilla voidaan arvioida ilmastomuutoksen, väestönkasvun, maankäytön muutoksen vaikutuksia ja taudinaiheuttajien pitoisuuksien ympäristövaikutuksia. INCA on suunniteltu helppokäyttöiseksi ja nopeaksi, siinä on hyvä tulostusgrafiikka ja käyttäjäystävällinen käyttöliittymä. <http://www.niva.no/inca>

4.4 Maatalouden sektorimalli ja maatilatason viljelykiertomalli

DREMFIA

Suomen maataloutta kuvaavaa alueellinen sektorimalli (DREMFIA) on Suomen maatalouden päätuotantosunnat, pellonkäytön, kotimaisen kysynnän ja ulkomaankaupan kattava taloudellinen osittaistasapainomalli (Lehtonen, 2001), jossa on 4 suuraluetta: Etelä-Suomi, Sisä-Suomi, Pohjanmaa ja Pohjois-Suomi. Suuralueet jakautuvat pienempiin tuotannollisiin alueisiin tukivyyhykejaon mukaisesti. Näin saavutetaan varsin tarkka tukipolitiikan kuvaus. DREMFIAssa on 18 eri tuotannollista aluetta. Malli on suunniteltu ja toteutettu siten, että sen avulla voidaan arvioida erityisesti EU:n CAP:n (pilarien 1 ja 2 mukaiset tuet tukiehtoineen) ja Suomen kansallisten maatalouspoliittisten toimenpiteiden vaikutuksia maataloustuotannon määrään, sijoittumiseen ja maataloustuloon Suomessa. DREMFIA-mallia on sovellettu myös arvioitaessa markkinamuutosten, ympäristötukijärjestelmän ja muuttuvan ilmaston vaikutuksia maatalouden tuotantoon, pellonkäyttöön ja tuloihin.

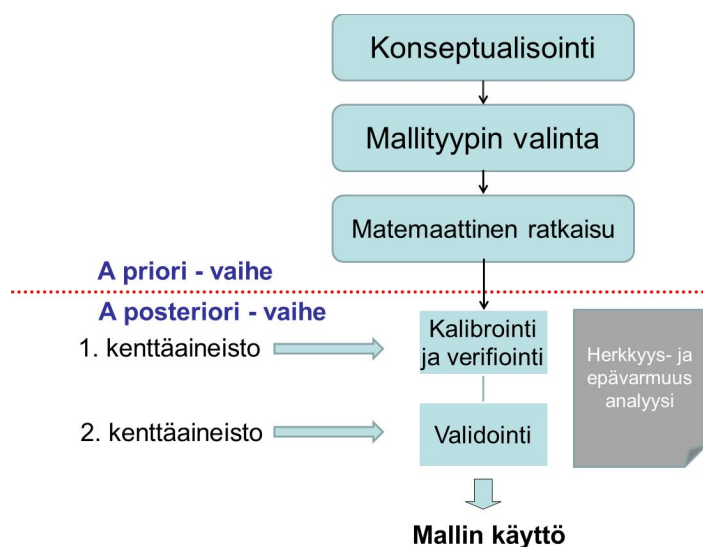
DEMCROP

DEMCROP on maatilatason viljelykiertomalli, joka laskee optimaalisen viljelykierron, pellonkäytön ja kalkituksen peltolohkoittain, sekä kasvikohtaiset lannoituksen ja fungisidien käytön määrät vuosittain 30 vuoden aikajaksolle. Lannoituksen, kalkituksen ja fungisidien käytön osalta huomioidaan satovaikutukset saatavilla olevien tietoaaineistojen pohjalta. Yksipuolisen viljelyn satoa alentava vaikutus huomioidaan asiantuntija-arvioihin perustuen. Oletuksena on voittoa maksimoiva ja riskiä karttava viljelijä, joka odotetun voiton lisäksi huomioi myös kate-tuoton vaihtelusta aiheutuvan tuloriskin. Mallissa otetaan huomioon logistiikkakustannukset eri peltolohkoille, jotka sijaitsevat eri etäisyyksillä tilakeskuksesta. Mallia on vuodesta 2015 alkaen sovellettu Varsinais-Suomen ja Pohjois-Savon viljatilojen ja muiden kasvitilojen keskimääräisiin tapauksiin. Malli soveltuu hyvin eri päätösvaihtoehtojen vertailuun, ml. peltolohkotason toimenpiteet (Liu ym. 2016).

4.5 Mallien epävarmuus

Prosessimallin yleinen kuvaus on esitetty kuvassa 7. Optimaalisessa tilanteessa mallin valinta pitäisi tehdä vasta sen jälkeen kun on ensin selvitetty mihin kysymykseen mallilla halutaan saada vastaus. Käytännössä uuden mallin käyttöönotto on kuitenkin pitkä prosessi, ja siksi valitaan tuttu malli, vaikka sen tuottama tulos ei olisikaan paras mahdollinen. Kaikki mallit tarvitsevat havaintoja ja mittauksia tuekseen. Havainnot voivat olla mallin tarvitsemia lähtötietoja tai esim. mallituloksen vertailuun tarvittavia virtaama- tai pitoisuustietoja. Havaintoja/mittauksia tarvitaan myös mallin prosessikuvausten kehittämiseen, mallin kalibroimiseen ja testaukseen (kuvat 7 ja 8). Havaintojen avulla voidaan laatia myös empiirisiä malleja (kuten LLR) tai arviointityökaluja (kuten VIHMA, KUTOVA). Mittauksia ei kuitenkaan ole kattavasti saatavilla ja tämä sekä mallin rakenteeseen liittyvät puutteellisuudet luovat epävarmuutta mallituloksiin.

Ympäristötoimenpiteiden vaikutuksista on Suomessa vähän mittauksia, joten niiden vaikutuksia ei tunneta riittävästi. Käytännössä yksittäisten vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutusta on vaikea erottaa mm. säätekijöiden ja hydrologian aiheuttamasta vaihtelusta. Toimenpiteiden vaikutusten erottamiseen on teoreettisella tasolla mahdollista päästä prosessimallien avulla, mutta mallikuvaukset ovat toimenpiteiden osalta pääosin testaamatta, koska mitattua tietoa on vähän saatavilla. Esimerkki malleihin sisällyvistä maatalouden vesiensuojelutoimenpiteistä on esitetty taulukossa 4.

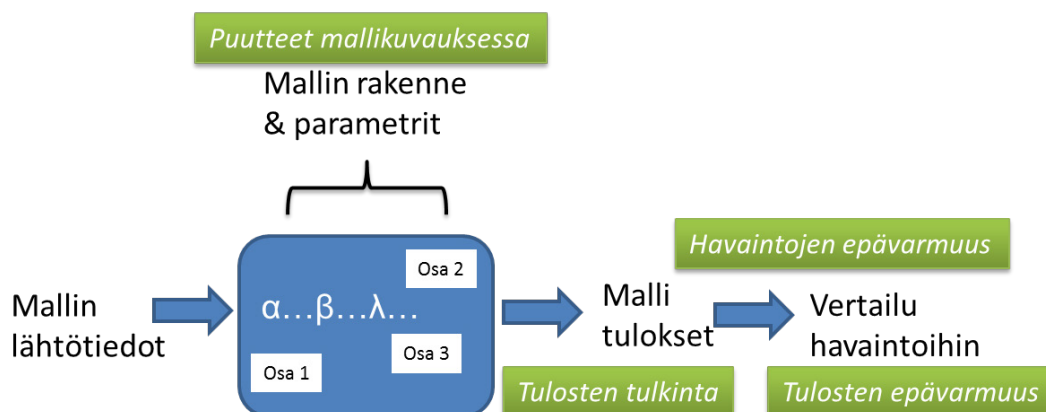


Kuva 7. Prosessipohjaisen mallinnuksen eri vaiheet.

Taulukko 4. Esimerkki malleihin sisältyvistä vesiensuojelutoimenpiteitä.

Toimenpide	VEMALA	SWAT	VIHMA	RUSLE (erosio)	LLR
<i>Typpi & Fosfori</i>				Ei	Toimenpiteiden vaikutus sisältyy mallin syöttötietoihin
Vähennetty lannoitus	Icecream versio	Kyllä	Ei	Ei	
Lannoituksen ajoitus	Icecream versio	Kyllä	Ei	Ei	
Suojavyöhykkeet	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	
Kosteikot	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei	
Kasvipeitteisyyden lisäys	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	
Kerääjäkasvit	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei	
Rakennekalkitus,	Ei	Ei	Ei	Kyllä	
Kipsin käyttö	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä	
Maan rakenteen parantaminen	Ei	Osittain	Ei	Ei	
P-ylilijäämän pienentäminen	Osittain	Osittain	Osittain	Ei	
Fe-suodattimet	Ei	Ei	Ei	Ei	
Peruskuivatusuomien luonnonmukaistaminen	Ei	Kyllä	Ei	Ei	

Prosessimallien ohella toinen lähestymistapa on hyödyntää olemassa olevaa vesiensuojelumenetelmien tehokkuutta koskevaa mitattua havaintotietoa ja yleistää tulokset koskemaan vallitsevia maaperä- ja kasvikombinaatioita. Tässäkin vähäinen mittaustieto aiheuttaa epävarmuutta mallituloksiin. Tätä lähestymistapaa on käytetty mm. VIHMA – ja KUTOVA malleissa. Toimenpiteiden vaikuttavuusarvioinnissa oleellisessa osassa ovat veden virtausreitit ja viipymä vesisuojelurakenteessa. Näiden mallintaminen on vaativaa ja se edellyttää hyvää lähtöaineistoa sovellusalueelta.



Kuva 8. Mallin kokonaisepävarmuuteen vaikuttavia tekijöitä.

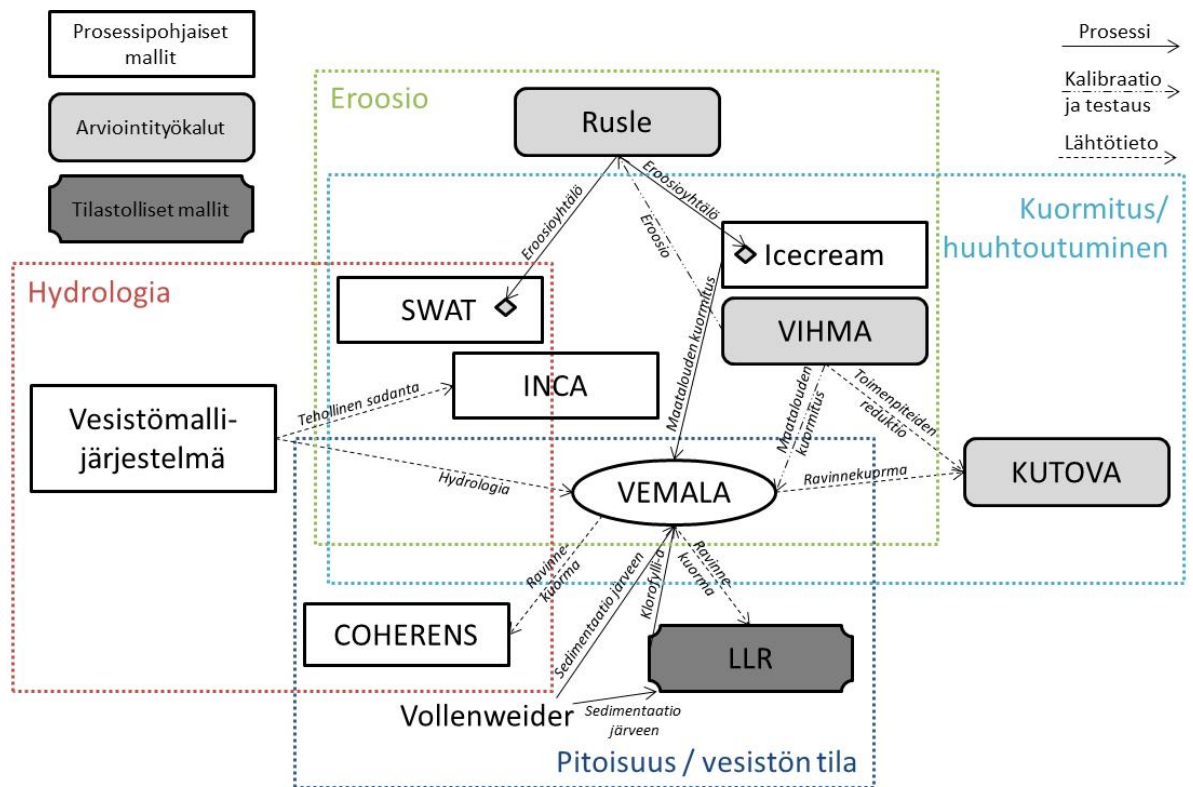
Mallitulosten luotettavuus kyseenalaistetaan joskus sidosryhmien, joskus myös muiden mallintajien taholta. Usein tietyillä mallityypeillä on omat kannattajajoukkonsa, mutta käytännössä kaikista mallityypeistä löytyy sekä hyvin että huonosti toimivia malleja. Lisäksi luotettavien lähtötietojen saatavuus, malliin sisältyvien kuvausten oikeellisuus, mallin kalibrointiin ja testaukseen tarvittavan tiedon saatavuus sekä myös mallintajan osaaminen vaikuttavat lopputulokseen. Lisäksi on tärkeää, että mallin luotettavuus on osoitettu asianmukaisesti hyvien mallinnuskäytäntöjen mukaisesti.

Mallien kirjo on tällä hetkellä melko suuri, mikä toisaalta antaa hyvän pohjan mallitulosten epävarmuuden tarkastelulle. Muun muassa kansainvälisen HarmoniCA-työn (<http://www.eugris.info/DisplayProject.asp?P=4469>) yhteydessä on korostettu usean mallin rinnakkaisen soveltamisen merkitystä tulosten luotettavuuden saavuttamiseksi.

4.6 Mallien ketjuttaminen

Mallien ketjuttamista tarvitaan, ei välttämättä niin, että mallit kytkettäisiin koodaamalla suoraan yhteen, vaan esimerkiksi siten että yhden mallin tulostiedot ovat lähtötietoja toiselle mallille. Ketjun pitäisi kuitenkin olla käyttäjäystävällinen ja mahdollisimman läpinäkyvä, jotta tiedetään mikä vaikuttaa mihin. Kuvassa 9 on esitetty SYKEN mallien (Vesistömallijärjestelmä, VEMALA, INCA, SWAT, VIHMA, COHERENS, KUTOVA, LLR) ja LUKEN RUSLE mallin yhteydet. Kuvasta havaitaan, että monet nyt käytössä olevat mallit ovat vahvasti sidoksissa toisiinsa.

Dynaamisista malleista ainoastaan VEMALAA sovelletaan Suomessa operatiivisesti koko maan alueella, joten sen käyttö on tällä hetkellä laajinta vesienhoitotyössä. Sitä vastoin muita prosessipohjaisia huuhtoumalleja (mm. SWAT, INCA) on sovellettu lähinnä yksittäisille valuma-alueille ja niiden tuloksia on raportoitu tieteellisissä artikkeleissa, mutta tulosten hyödyntäminen ja arvoevaluointi käytännön vesien- ja merenhoitotyöhön on jäänyt vähäiseksi. Mallien yhteensovittamista on Suomessa tehty mm. Saaristomerен mallijärjestelmän kehitystyössä, missä rannikon veden laadun ja kuormitusten muutosten arviointi edellytti usean mallien ”liittämistä” yhtenäiseksi mallijärjestelmäksi (Lignell ym. 2015).



Kuva 9. Mallien linkittyminen toisiinsa.

Prosessipohjaiset huuhoutumamallit ovat vaativia malleja jotka edellyttävät käyttäjiltään syvälistä ymmärrystä hydrologiasta, maaperäprosesseista sekä ravinteiden ja sedimentin kulkeutumisprosesseista. Näiden mallien onnistunut soveltaminen ja käyttö vaativat yleensä pitkäjänteisyyttä ja jatkuvaa kehitystyötä. Tästä syystä vaativat prosessipohjaiset mallit jäävät pääosin jatkossakin tutkijoiden ja asiantuntijoiden käyttöön. Prosessipohjaisia malleja voidaan käyttää vesienhoitotyössä siten, että malleista vastaavat asiantuntijat tuottavat ja validoivat mallien tulokset valmiiksi vesienhoitotyöhön, esimerkiksi VEMALAlla tuotetaan käyttäjille valmiiksi nykytilan ravinnekuormitustiedot ja valikoidut skenaariot.

Yksinkertaisemmat ja helppokäyttöiset mallit (Maatalouden valumavesien hallintamalli (VIHMA), Kustannustehokkaiden vesienpuhdistuslaitteiden valintatyökalu (KUTOVA) ja Vesimuodostumakohtaisen kuormituksen vaikutus ja vähennystarpeen arviointi (LLR) tulisi saattaa laajempaan hajautettuun käyttöön. Tämä kuitenkin edellyttää mallin käyttöoppaita, toimivia käyttöliittymiä ja neuvontaa. Mikäli malleja käytettäisiin enemmän esim. vesien ekologisen tilan arviointiin, mallinnus tulisi tunnetuksi ja todennäköisesti tämän myötä myös mallitulojen hyväksyttävyyden paransi.

4.7 Mallien evaluointikriteeristö

TOIMI-hankkeen yhtenä tavoitteena oli arvioida nykyisen tietopohjan, mallien ja arviointityökalujen käytettävyyttä vesien- ja merenhoidon tarpeisiin. Tieteen- ja politiikan rajapintojen tutkimuksessa on tunnistettu kolme tekijää, jotka vaikuttavat tutkimustiedon hyödyntämiseen päätöksen teossa. Nämä tekijät ovat uskottavuus, relevanssi ja legitimitetti (Cash ym. 2003). TOIMI-hankkeessa mallien käytettävyyttä arvioitiin systemaattisesti näiden tekijöiden suhteen.

Uskottavuudella tarkoitetaan tiedon (mallien) tieteellistä perustaa. Arvioinnissa huomioidaan mm. mallin tieteellinen perusta, tulosten epävarmuus ja mallin luotettavuus.

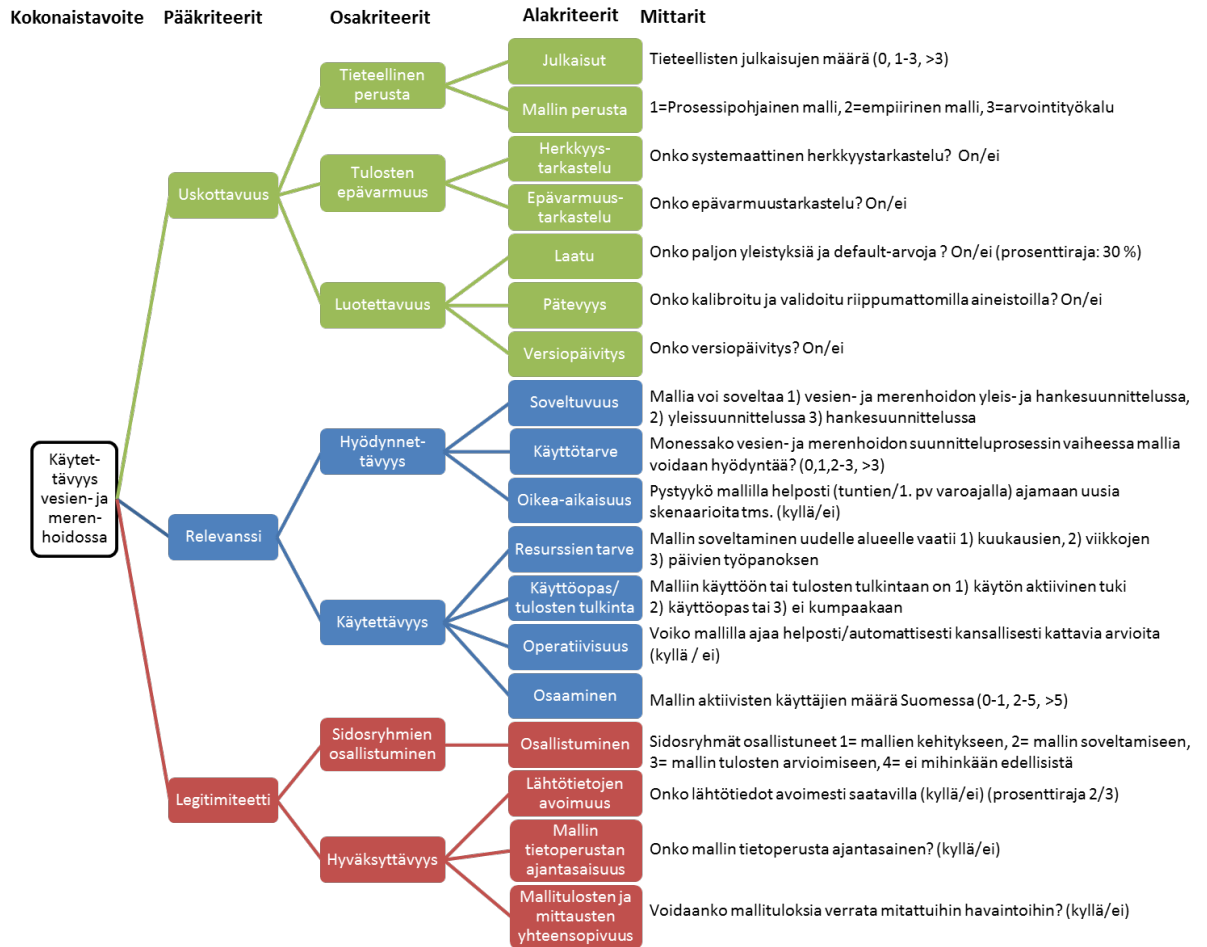
Relevanssilla tarkoitetaan tiedon (mallien) soveltuvuutta päätöksenteon tarpeisiin. Arvioinnissa huomioidaan mm. mallien käyttötarve, resurssien tarve, mallin operatiivisuus sekä oikea-aikaisuus.

Legitimiteetti tarkoittaa, että tiedon (mallien) tuottamisessa on huomioitu sidosryhmien eriävät arvot, tieto on tuotettu puolueettomasti, ja se käsittelee ristiriitaisia näkökohtia tasapuolisesti. Arvioinnissa huomioidaan sidosryhmien osallistuminen ja mallitulosten hyväksyttävyyys.

Nämä tekijät voivat olla keskenään ristiriitaisia (Sarkki ym. 2014), esimerkiksi mallien tai mallitulosten toivotaan toisaalta olevan yksinkertaisia ja ymmärrettäviä (relevanssi) ja toisaalta toivotaan, että mallit kuvaisivat ympäristöä mahdollisimman tarkasti ja epävarmuudet olisi tunnistettu, minimoitu ja esitetty (uskottavuus).

Mallien käytettävyyden systemaattiseen arviointiin kehitettiin monitavoitearviointipohjainen arviointikehikko (kuva 10), jonka arviointikriteerit jäsenneltiin näiden kolmen päätekijän alle (pääkriteerit). Alakriteerien tunnistamisessa hyödynnettiin mallintamisen hyviä käytäntöjä (van Waveren ym. 1999, Spatka 2005), mallintajien tarkistuslistaa mallin uskottavuuden, relevanssi ja legitimiteetin varmistamiseksi (van Voorn ym. 2016). Alustavaa arviointikehikkoa esiteltiin TOIMI-hankkeen sidosryhmille työpajassa, jossa sidosryhmillä oli myös mahdollisuus kommentoida arviointikehikon rakennetta ja arviointitekijöitä. Työpajassa pyydettiin myös osallistujia antamaan merkittävyysarviot arviointitekijöille kyselylomakkeen avulla. Työpajassa lomakkeen täytti yhteensä 17 henkilöä, jotka edustivat viranomaisia, sidosryhmiä tai mallintajia.

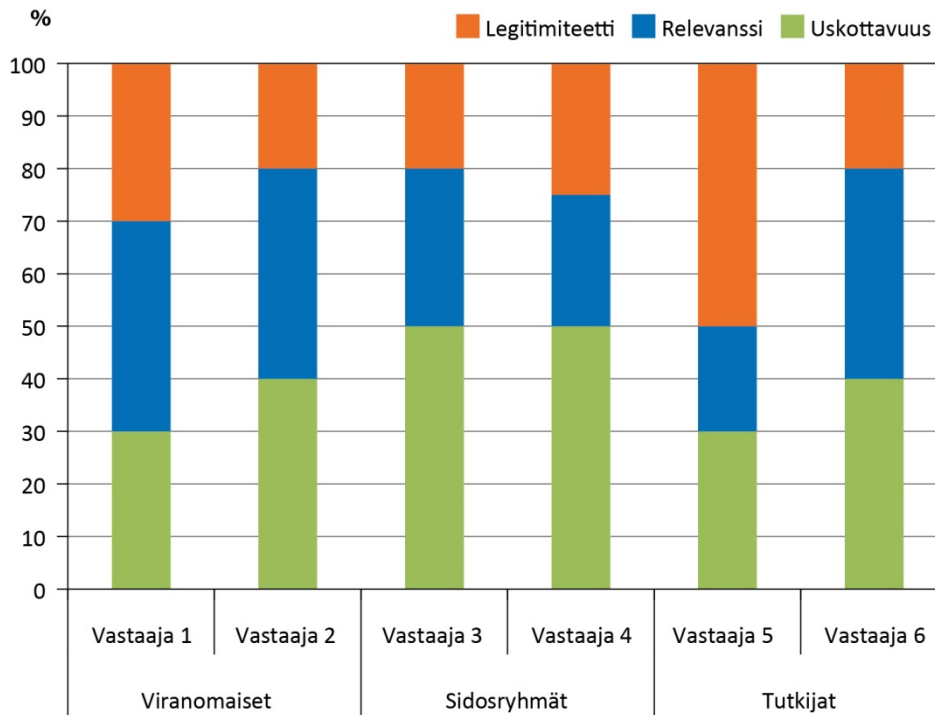
Arviointikehikkoa muokattiin työpajassa saadun palautteen perusteella. Lisäksi työpajassa kerättyä aineistoa mallien uskottavuudesta, relevanssista ja legitimiteetistä syvennettiin henkilökohtaisilla haastatteluilla. Haastatteluja tehtiin 6 kpl, haastateltavat edustivat viranomaisia (2 hlöä), sidosryhmiä (2 hlöä) ja mallintajia (2 hlöä). Myös haastatteluissa selvitettiin haastateltavien näkemystä valittujen arviointitekijöiden merkittävydestä arvioitaessa mallien käytettävyyttä vesien- ja merenhoidossa.



Kuva 10. Mallien arviointikriteerit

Arviointitekijöiden painoarvot

Haastateltujen painotukset uskottavuuden, relevanssin ja legitimiteetin suhteen eivät poikenneet kovin paljoa. Sidosryhmien edustajat painottivat muita enemmän uskottavuutta ja viranomaiset puolestaan relevanssia (kuva 11). Myös työpajassa saatujen alustavien merkittävyyssarvioiden tulokset olivat samansuuntaiset, joskin sen aineiston mukaan erot yksilöiden välillä olivat suurempia, kuin viiteryhmien välillä.



Kuva 11. Haastateltujen henkilöiden antamat painoarvot mallien käytettävyyden päätekijöille.

Alakriteereistä uskottavuuden osalta eniten painoa saivat epävarmuustarkastelu ja mallin pätevyys, eli se onko malli kalibroitu ja validoitu erillisillä aineistoilla. Seuraavaksi merkittävimpänä pidettiin tieteellisten julkaisuiden lukumäärää, herkkyydestarkastelua ja mallin laatua, eli sitä onko mallissa paljon yleistyksiä ja ns. default-arvoja. Vähiten painoarvoa saivat mallin perusta ja versiohallinta.

Relevanssin osalta arviointitekijöiden merkittävyys jakaantui kahteen joukkoon. Enemmän painoarvoa saivat käytön tuki, resurssien tarve, oikea-aikaisuus, soveltuvuus ja operatiivisuus. Vähemmän merkittävänä pidettiin sitä monessako vesien- ja merenhoidon suunnittelun osavaiheessa mallia voi hyödyntää (käyttötarve) ja sitä montako aktiivista käyttäjää mallilla on Suomessa (osaaminen).

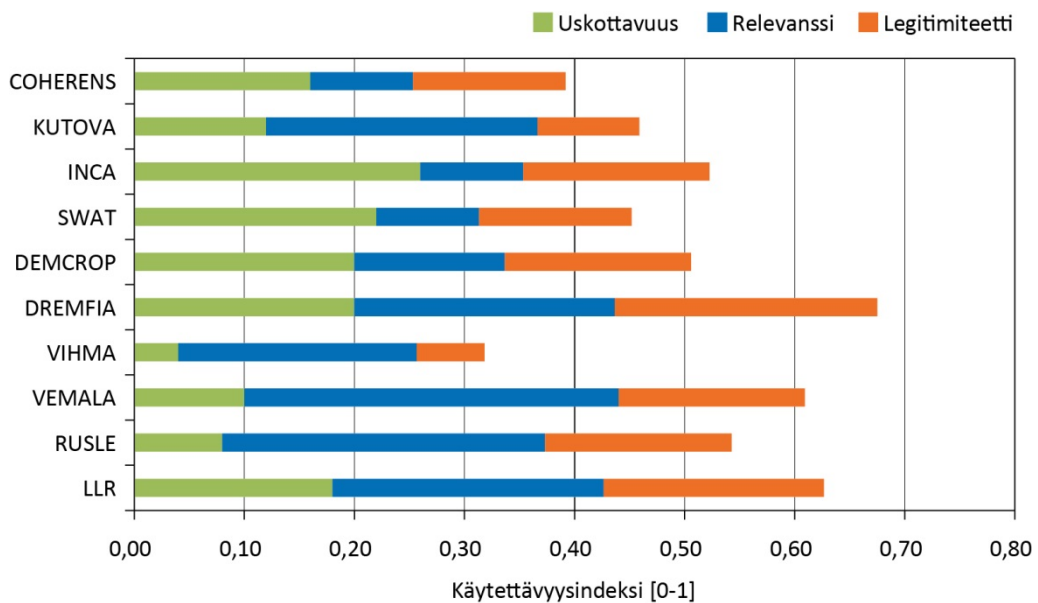
Legitimiteetin osalta suurimman painon saivat mallin tietoperustan ajantasaisuus, sidosryhmien osallistuminen sekä tulosten yhteensopivuus, eli voidaanko mallituloksia visuaalisesti verrata havaintoihin. Lähtötietojen avoimuus sai keskimäärin hieman vähemmän painoa.

Tulokset

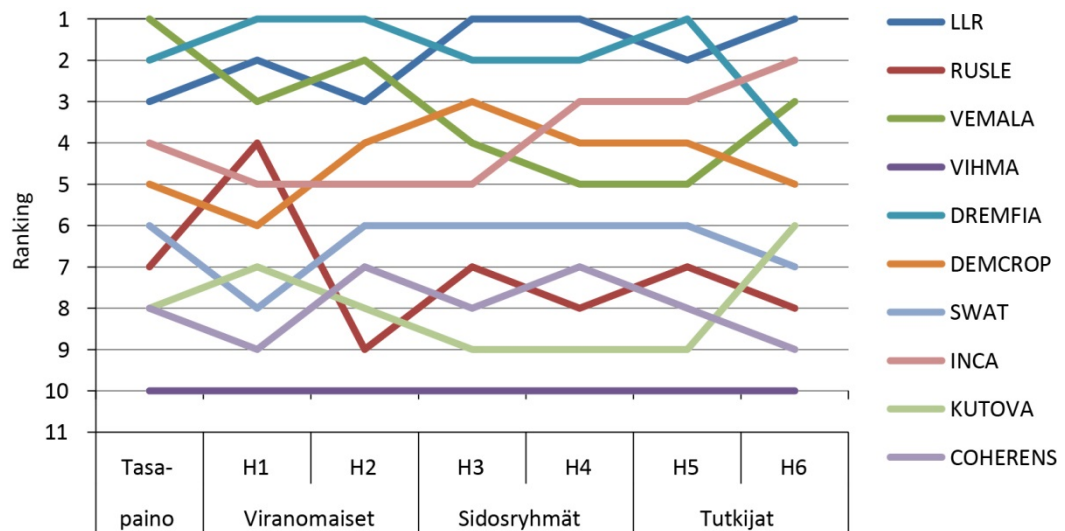
Arvioitavista malleista kerättiin tieto niiden suoriutumisesta valituilla mittareilla (kuva 10), ja tiedot tarkistettiin tarvittaessa mallintajien kanssa yhdessä (liite 1). Mittareiden arvot skaalattiin välille 0-1, pääosin lineaarisilla arvofunktioilla. Skaalatut vaikutusarvotiedot kerrottiin arviointitekijöiden painoarvoilla ja näin saatiin laskettua ”käytettävyyssindeksi” kullekin mallille. Indeksii voidaan esittää joko kokonaisuutena, yksittäisten arviointitekijöiden summana, tai pääkriteerien summana (kuva 12). Tällä tavalla voidaan helposti visualisoida miten eri mallien käytettävyyttä muodostuu, mitkä ovat niiden vahvuudet ja missä olisi eniten kehitettävää. Esimerkiksi kuvassa 12 on toisen viranomaistahoa edustavan haastatellun näkemyksen mukaan painotetut tulokset. Kuvasta voi nähdä, että esimerkiksi DREMFIAn käytettävyyttä muodostuu

melko tasaisesti kaikilta arvioinnin osa-alueilta, kun puolestaan VEMALA-mallin vahvuutena on nimenomaan relevanssi. Mikäli VEMALA-mallin käytettävyyttä haluaisi parantaa, kannattaisi panostaa mallin uskottavuuteen.

Evaluoinnin tarkoituksena ei kuitenkaan ole asettaa malleja paremmuus järjestykseen, vaikka yksi tapa havainnollistaa painoarvojen merkitystä arvioinnissa onkin verrata mallien käytettävyyden rankingia arviointitekijöiden erilaisilla painotuksilla (Kuva 13). Näin voidaan havainnollistaa arvioinnin herkkyyttä painoarvojen heilahtelulle. Esimerkiksi kuvassa 13 VEMALA, LLR ja DREMFIA –mallit ovat useimmissa painotusprofiileissa kärkikolmikossa ja vastaavasti arviointityökalut VIHMA, KUTOVA ja RUSLE ovat listan häntäpäässä käytetyistä painoista riippumatta.



Kuva 12. Mallien käytettävyys vesien- ja merenhoidossa Vastaaja 1 (kuvassa 11) painoarvoilla huomioituna.



Kuva 13. Painoarvojen vaikutus mallien käytettävyyteen

Tulosten perusteella voidaan havaita, että relevanssia painottavilla viranomaisilla monikäyttöiset VEMALA ja LLR saavat hyvät käytettävyysepisteet. Samoin arviointityökalut, kuten KUTOVA ja RUSLE, menestyvät paremmin. Sidosryhmät ja tutkijat painottivat enemmän uskottavuutta tai legitimitettä, jolloin myös prosessipohjaiset vaativammat mallit, kuten INCA, menestyvät käytettävyyssarviossa.

Johtopäätökset

Työn tarkoituksena oli systemaattisesti arvioida mallien uskottavuutta, relevanssia ja legitimitettä, jotta kehittämistarpeet mallien käytettävyyden parantamiseksi voitaisiin tunnistaa.

Mallien käytettävyys on tasapainoilua uskottavuuden ja relevanssin välillä. Useiden vesienhoidossa paljon käytettyjen mallien osalta, kuten VEMALA, KUTOVA ja VIHMA, erityisesti uskottavuuden parantaminen lisäisi mallien käytettävyyttä (kuva 4.2.3). Toisaalta osa malleista, kuten LLR ja DREMFA ovat vahvoja kaikilla osa-alueilla, nämä kuuluvatkin malleihin, jotka saivat arvioinnissa korkeimmat pisteet. Etenkin prosessipohjaisten mallien, kuten INCA, SWAT, COHERENS, käytettävyyssarvioon vaikuttaa huono menestys relevanssi osalta.

Haastatteluissa nousi toisaalta esiin myös tulosten visuaalisen esityksen parantaminen yhtenä keskeisenä kehityskohteenä, joka pätee useimpiin malleihin. Samoin looginen ja selkeä käyttöliittymä parantaisi mallien käytettävyyttä, etenkin niiden mallien osalta, joita olisi tarkoituksen mukaista käyttää alueella itsenäisesti. Erityisesti hankesuunnittelutasolla tarvetta mallien itsenäiseen käyttöön voisi olla, mutta edellytyksenä on riittävän yksinkertaiset mallit, joissa helppo käyttöliittymä ja selkeät tulosteet. Haastatteluissa nousi esiin, että ”mallintajien pitäisi paremmin perehtyä suunnittelujärjestelmän tarpeisiin ja siihen mihin mallia tarvitaan”. Toisaalta myös mallintajien puolelta korostettiin sitä, että tulosten visualisoinnilla on merkitystä, mutta ”visualisointi ei välttämättä mallintajan tehtävä, tarvitaan vuorovaikutusta”, viitaten siihen, että malli voi antaa useita erilaisia tuloksia, eikä mallintaja välttämättä tiedä, miten tietoa käytetään vesien- ja merenhoidossa. Tarvitaan siis parempaa vuorovaikutusta viranomaisten, sidosryhmien ja mallintajien välillä, jotta mallintajat ymmärtäisivät suunnittelujärjestelmää paremmin ja toisaalta, jotta suunnittelijat ja sidosryhmät ymmärtäisivät, mitä kaikkea malleilla voidaan kuvata.

Vesien- ja merenhoidossa toistaiseksi vieraammat maatalouden ympäristötaloudelliset mallit (DREMFA ja DEMCROP) menestyivät hyvin. DREMFA sopii hyvin esim. ohjauskeinojen tai maatalouspolitiikan ympäristövaikutusten arviointiin. Vesistövaikutusarvion tekemiseksi malli täytyy kuitenkin kytkeä huuhtoumamalliin, kuten VEMALAAan (kts. luku 8.3). DEMCROP puolestaan sopii hankesuunnittelutason toimenpiteiden kohdistamiseen ja optimointiin tila-/lohkotasolla.

Arviointikehikko ei täysin ota huomioon mallin tai sen tuottaman tuloksen merkitystä vesien- ja merenhoidossa

Tuloksia ei siis yksinään voi käyttää tehtäessä johtopäätöksiä mallien käyttökelpoisuudesta suunnittelussa, vaan tarvitaan erillinen arvio merkittävydestä. Esimerkiksi joihinkin suunnitteluprosessin osavaiheisiin ei välttämättä ole kuin yksi työkalu käytössä, tai toisaalta jokin malli voi vastata vain yhteen prosessin tietotarpeeseen, mutta olla silti merkittävässä osassa päätöksen teossa.

4.8 Ravinteiden kierrätyksen haasteet mallinnuksessa

Kokeellista tutkimustietoa lannan käytöstä aiheutuvista ravinnepestäistä on niukasti. Sitä on myös heikosti mallinnettu osin juuri em. syistä. DREMFA-mallissa sianlantaa ja siipikarjantantaa sijoitetaan (so. levitystekniikka) kevätiljoille sekä naudantantaa nurmelle ja osittain viljalle. Lannan levitystekniikoista ei kuitenkaan ole tarkkaa tilastotietoa. Yleisesti tiedetään, että esim. lietelannan sijoituslevitys nurmelle on tavanomainen käytäntö. Tätä vastaava oletus on tehty Dremfia-mallissa, mikä tarkoittaa että sijoituslevityksessä suurempi osa typestä jää kasvien käyttöön. Suljetumman ravinnekierron mallintamisen haasteet ravinnekuormituksen mallintamisessa tulivat esille hankkeen aikana mm. mietittäessä DREMFA-VEMALA – kytkentäistä sovellusta. Sen tekemisestä malliajoksi asti luovuttiin.

DREMFA-mallissa voidaan periaatteessa tehdä skenaarioita, joissa suurempi osa lannan ravinteista, erityisesti typestä, jäisi kasvien käyttöön eikä esim. haihtuisi ilmakehään. Tämä vähentäisi tarvittavaa epäorgaanisen (osto)lannoitteen määrää, mikä kompensoisi parannukseen liittyviä kustannuksia. Tämä saattaisi tuottaa myös taloudellista nettohyötyä, mikä riippuisi kuitenkin lannoitteiden ja kasvituoiteiden hinnoista. Kasvikohtainen typpilannoitus ei tällöin kokonaisuutena vähenisi, mutta siitä aiempaa suurempi osa olisi lannan tyyppiä. Kun VEMALA-mallissa tai muissakaan huuhtoumalleissa ei ole validoitua kuvausta lantatyypin, ml. liukoinen ja orgaaninen typpi, huuhtoutumisesta erilaisissa lannoitustilanteissa (lanta + mineraalitäydennys), luotettavaa tulosta ravinnekuormituksen muutoksesta ei saada.

Paljolti tästä syystä luovuttiin tekemästä DREMFA-VEMALA -mallitarkastelua ravinteiden tehokkaammasta käytöstä. Syynä oli myös se, että tarvittaisiin mieluiten paitsi koko valuma-aluetta koskevan tuoreimman lantamäärä ja niiden lannoituskäyttöä kuvaava aineisto (ei vain keskiarvo koko Etelä-Suomesta joka valmiina Dremfiassa). Paremman ravinnekierron kustannukset, liittyivät ne sitten lantaravinteisiin tai erilaisten sivujakeiden ravinteisiin yms. tulisi olla mukana tarkastelussa. Tähän ei ollut käytettävissä olevia viitteitä. Molempien mallien osalta tehostetun ravinnekierron vaikutukset vaativat lisää tutkimusta.

Lannan nykyistä tarkemman käytön vesistökuormitusvaikutuksen arviointia vaikeuttaa puutteellinen tieto lannan nykyisestä käytöstä. Eläinmäärien perusteella pystytään arvioimaan alueellisesti syntyvä lannan määrä, mutta ei ole kerättyä tietoa siitä miten tarkasti levitetyt lantamäärät vastaavat ravinteiden tarvetta loholla ja miten oikea-aikaisesti ja hyvällä levitystarkkuudella levitys pystytään suorittamaan.

4.9 Ilmaston muutoksen aiheuttamat paineet – katsaus

Ilmaston muutoksen seurauksena Suomen keskilämpötila on noussut yli 2 °C 1800-luvun puolivälistä lähtien. Ennusteiden mukaan vuotuiset sademäärät tulevat kasvamaan. Erityisesti talvikauden sadanta kasvaa ja rankkasateiden voimakkuus kasvaa. Etelä-Suomen lumipeite muuttuu oikukkaaksi ja lopulta ”kunnon talvi” katoaa kokonaan. Pitkin talvea kertyvä lumi sulaa pois lämpötilan pysyessä plussan puolella. Maataloudessa suurin muutos tapahtuu kasvukauden lämpötilasummassa, jonka kasvaminen voimistaa kasvien kasvua. Uusia viljelykasveja otetaan käyttöön ja syyskylvöisten kasvilajien viljely yleistyy. Lisääntyvät syys- ja talviaikaiset sateet lisäävät ravinnehuuhtoumien ja eroosion riskiä ja sään ääri-ilmiöiden aiheuttamat ongelmat peltoviljelylle lisääntyvät (kuva 14) (Ilmasto-opas: <https://ilmasto-opas.fi/fi/>).

Suomalainen ilmaston muutosten tutkimusohjelmassa vuosina 1990-95(SILMU) tavoitteena oli tutkia, miten ilmasto on muuttunut ja mitkä tekijät ovat muutoksiin vaikuttaneet, kuinka Suomen ilmasto muuttuu tulevaisuudessa ja mitkä ovat muutosten vaikutukset (Kuusisto ym. 1996). SILMU ohjelmassa arvioitiin ilmastomuutoksen vaikutuksia sekä hydrologisten että ravinnehuuhtoumamallien avulla. TOPMODELin mukaan valunta kasvaa, erityisesti tammi-helmikuun aikana ja myös haihdunta kasvaa 10 %. HBV mallin mukaan vuosittaiseen vesitaseeseen ei tulisi suurta muutosta, koska sadannan ja haihdunnan muutokset kumoavat toisensa. Talvisten alivirtaamien ennustettiin kuitenkin kasvavan jopa merkittävästi eli 30-300 %. SILMUssa CREAMS mallia käytettiin eroosioennusteiden laskentaan. Mallin mukaan muutokset eroosiossa olisivat pieniä, mutta liukoisen fosforin huuhtouma lisääntyisi jonkun verran. SOIL-N mallin mukaan nitraattitypen huuhtouma maatalousmaalta kasvaa tulevaisuudessa 20-40 %. Tämä johtuu pääasiassa kohonneessa lämpötilassa eloperäisen aineksen nopeammasta mineralisaatiosta (kuva 14).

MTT:n (nykyinen LUKE) vetämässä Ilmastonmuutokseen sopeutuminen maa- ja elintarviketaloudessa -hankkeessa (ILMASOPU) tutkittiin, kuinka nopeasti nykyisten viljelykasvien viljelyalueet voivat laajentua ja miten aivan uudet tai meillä vähän viljellyt kasvit yleistyvät. Lisäksi selvitettiin, paljonko eri viljelykasvien sadot muuttuvat, kun kasvukausi pitenee. ILMASOPU vahvisti edelleen jo SILMUssa saatuja tulokset talviaikaisen mineralisaation ja ravinnehuuhtouman kasvusta. ILMASOPUssa listattuja epävarmuuksia olivat uusien viljelylajikkeiden käyttövarmuus, kasvipeitteisyyden paikkakohtaisen ja alueellisen kohdentumisen merkitys ravinnehuuhtoumiin sekä talviaikaisen mineralisaation hallinta. Samoin pohdittiin sään ääri-ilmiöiden ja tulvapiikkien aiheuttaminen kuormituspiikkien hallintaa. ILMASOPU hanke nosti vahvemmin esille mahdollisen kesäkauden kuivumisen tuomat ongelmat sekä talven jääty-mis-sulamissykliä lisääntymisen, jota myös SILMUssa ennustettiin (kuva 14).

BALTIC COMPASS hankkeessa 2009-2013 selvitettiin huuhtoumamalleilla ilmaston muutoksen vaikutusta ravinnehuuhtoumiin Suomessa, Ruotsissa, Tanskassa ja Puolassa (Collentine ym. 2013). Suomessa laskelmat tehtiin VIHMA mallilla, jossa tulevaa ilmastoa simuloitiin ”märkinä” vuosina havaittujen hydrologisten tapahtumien perusteella. Ilmaston muutoksen lisäksi arvioitiin myös tehokkaimpien vesiensuojelumenetelmien vaikutuksia. Laskelmien mukaan kokonaisfosforin huuhtouma kasvoi Aurajoen vesistöalueella ilmaston muutoksen vaikutuksesta 14 %. Typen osalta kasvu oli pienempää, vain 3 %. Voimakkain skenaario sisälsi 333 kosteikkaa ja 377 ha enemmän suojavyöhykkeitä kuin nykytilanteessa (v. 2008). Maan P-luku oli alennettu minimiin ja vähentynyt maan muokkaus toteutettiin optimaalisesti. Näillä toimenpiteillä kokonaisfosforin huuhtouma väheni 38 % ja typpi vastaavasti 18 %. Näilläkin toimenpidemäärillä ei Aurajoelle asetettua vähennystavoitetta saavutettu. Kipsiskenaariossa kipsiä levitettiin 10 %:lle savipeltoja, muut toimenpiteet vastasivat vesienhoitoskenaarioiden toimenpiteitä. Tällä tavalla esim. liukoisen fosforin vähenemä vastasi tilannetta, jossa n. 6 % pelloista laitetaan nurmelle. Nyt käynnissä olevassa kipsihankkeessa (SAVE) kipsiä levitetään pienemmälle pinta-alalle kuin yllä mainitussa skenaariolaskelmassa (kuva 14).

MARISPLAN-konsortio (2011-2014) selvitti miten ilmasto vaikuttaa Itämeren ekosysteemiin ja sen käyttöön. Hankkeessa arvioitiin malleilla mm. Itämeren Suomen alueen ravinnekuormituksen muutosta ilmaston muuttuessa sekä ennustettiin maanviljelyn kehitystä pitkällä tähtäyksellä ja sen vaikutusta ravinnehuuhtoumaan (Huttunen ym. 2015). Ravinnekuormituksen muutoksiin vaikutti eniten valunta-määrien ennustettu nousu. Suurin kuormituksen kasvu saatiin ”märkäskenaariolla” kun taas ”kuivaskenaario” tuotti kuormituksen vähenemistä. Suurin kuormituksen kasvu havaittiin Saaristomeren valuma-alueella, jossa eri skenaarioilla saatiin kokonaistyyppikuormaan 0-30 % kasvu. Fosforikuorman osalta havaittiin sekä vähenemistä että kasvua, vaihteluvälin ollessa -9-34 %. Hankkeessa esitettiin myös toimia, jotka voivat auttaa ilmastomuutoksen kielteisten vaikutusten lieventämisessä.

Pienten tutkimusvaluma-alueiden 30 vuoden aineiston tarkastelut osoittivat (kuva 14), että maatalousvaltaisilla alueilla pitoisuudet eivät ole alentuneet (Tattari ym. 2017). Joillakin alueilla liukoisen fosforin osalta havaittiin tilastollisesti merkittävää kasvua. Onko syynä syyskyntöä korvaavan kevennetyn muokkausalan ja talviaikaisen kasviopeitteisyyden lisääntyminen vai joku muu valuma-alueella tapahtunut toiminta, ei voida tutkimuksen perusteella sanoa. Tarkkaa valuma-aluekohtaista tietoa eri toimenpiteistä ei ole saatavilla. Nitraattitypen pitoisuuksissa oli tilastollisesti merkittävää kasvua, joka voi johtua myös ilmastotekijöistä ja siihen liittyvästä voimakkaammasta maaperän mineralisaatiosta.

Metsäisillä alueilla sekä kokonais- että liukoisen fosforin havaittiin laskeva trendi, kun taas kokonaistypellä näkyi nouseva trendi. Fosforikuormituksen lasku liittyy todennäköisesti vanhojen turvemaiden siirtymävaiheeseen metsiksi sekä fosforilannoituksen vähenemiseen. Typen kuormituksen kasvu on orgaanista tyyppiä. Muutos voi liittyä ilmastotekijöihin ja myös lisääntyviin kunnostusojituksiin.

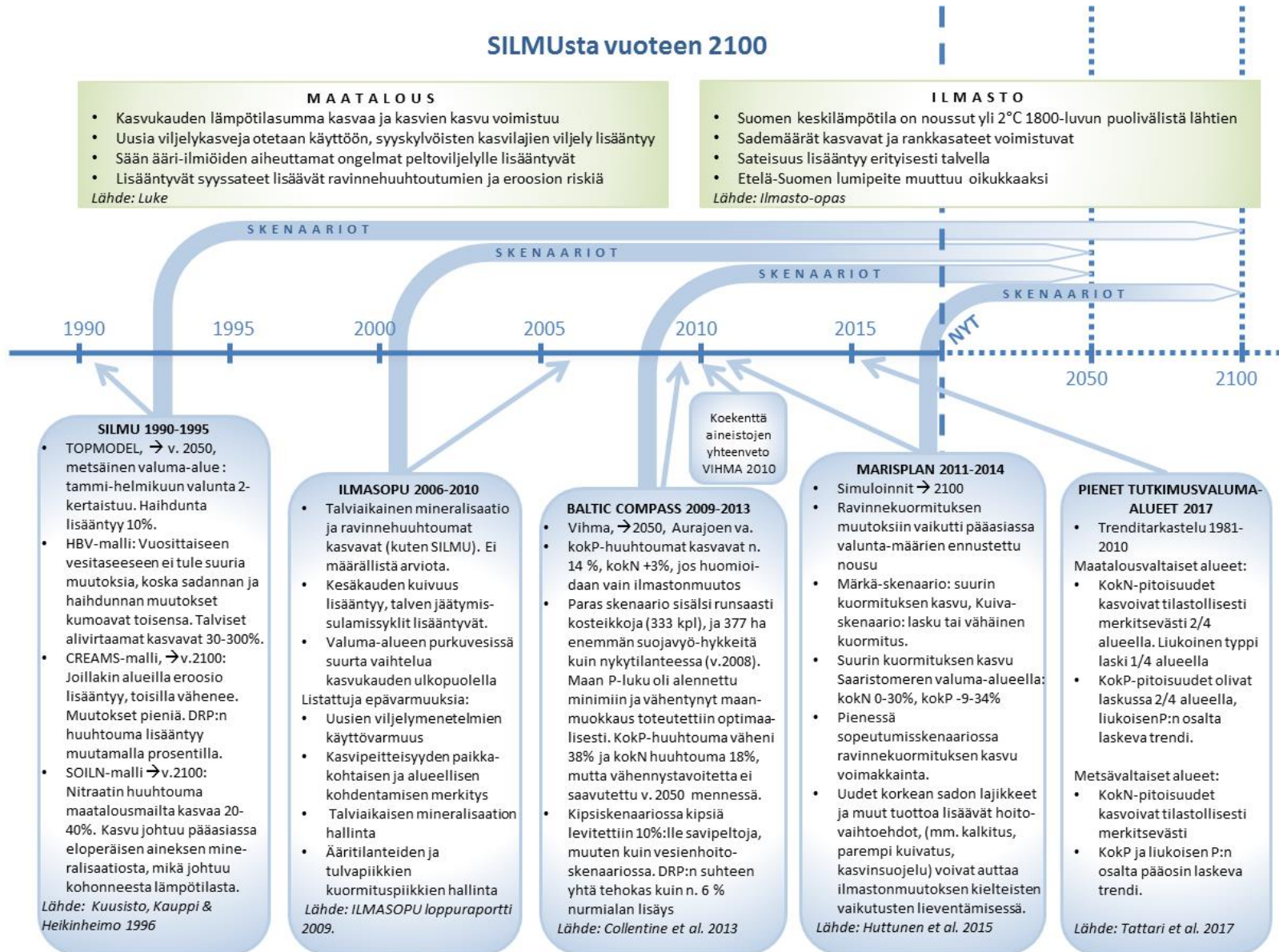
Yhteenveto

Skenaariotarkasteluja on tehty pääosin yksittäisissä hankkeissa eri malleilla. Tällöin sekä mallin rakenne että mallinnuksen lähtöoletukset vaihtelevat muun muassa perustason ajankohdan, toimenpiteiden määrän ja niiden kohdentaminen sekä mallissa käytetyn ilmastoskenaarion suhteen. Tämän seurauksena eri skenaariotulosten vertailukelpoisuus on käytännössä mahdotonta. Skenaariotulosten käytettävyyttä auttaisi paljon, jos otetaan käyttöön yhteiset menettelytavat.

- perustason ajankohta
- kukin skenaarioajo ajetaan erillisenä (esim. maatalouden rakennemuutos, toimenpiteiden vaikutus, ilmaston vaikutus)
- toimenpiteiden määrä ja kohdentaminen esitetään läpinäkyvästi
- arvioidaan mallin epävarmuutta mm. toimenpiteiden vaikutusten suhteen

Skenaariotarkasteluja on pääosin tehty vuosille 2050 tai 2100. Vesien- ja merenhoidotyön kannalta lähiajan, esim. v. 2027 skenaarioajat palvelisivat paremmin VHS-suunnittelijoiden työtä kuin pitkälle tulevaisuuteen ulottavat tarkastelut.

SILMUsta vuoteen 2100



Kuva 14. Aikajana suomalaisesta ilmastonmuutokseen liittyvistä ravinnehuuhtouma- ja vesitasemallinnuksista sekä mittauksista.

5 YMPÄRISTÖTALOUSTIETEELLISET TARKASTELUT VESIEN- JA MERENHOIDOSSA

Tässä luvussa tarkastellaan ympäristötaloudellisten mallien tarvetta ja käyttökelpoisuutta sekä esitetään yleinen kehikko ympäristötaloudellisille analyyseille keskittyen vesien- ja meren tilan parantumiseen tähtäävien toimenpiteiden ja toimenpideohjelmien analyyseihin. Kehikko noudattaa mm. kattavaa ja talousteorian mukaisesta Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluviraston opasta ympäristönsuojelun tarvitsemista taloudellisista analyysistä ja mallien periaatteista (U.S. EPA 2010). Lisäksi tarkastellaan tässä hankkeessa evaluoitujen ympäristöhallinnon mallien soveltuvuutta kyseisiin analyyseihin.

Yhdysvalloissa on sovellettu taloustieteellisiä analyysejä julkiseen ympäristöä koskevaan päätöksentekoon enemmän kuin missään muualla. Lukemattomat markkinattomiin hyötyihin pohjautuvat projektit (esim. vesivoimaloiden purkamiset) tai massiiviset ympäristövahingoista määrätyt korvaukset (Exxon Valdes; Meksikonlahden öljyonnettomuus) ovat kaikki perustuneet ympäristötaloustieteellisen analyysiin ja sen komponenttien huolelliseen toteuttamiseen.

5.1 Arvio mallitiekartassa kuvattujen mallien käyttökelpoisuudesta vesien- ja merenhoidon ympäristötaloustieteellisissä analyyseissä

Laki vesien- ja merenhoidon järjestämisestä edellyttää vesien käytön taloudellisia analyysejä. Vesienhoidossa Suomi on tässä rajautunut raportoimaan vain talousvesien eli juoma- ja jätevesien käytön. Vesiensuojelutoimenpiteiltä vaaditaan kustannustehokkuutta, mutta varsinaista kustannus-hyötyanalyysiä lainsäädäntö ei edellytä, kuten ei myöskään vesien tilan huononemisesta aiheutuvia kustannuksia edellytetä analysoitavan tai raportoitavan. Ympäristötaivoitteita asetettaessa sosiaaliset ja taloudelliset seikat tulee kuitenkin huomioida asianmukaisesti (ks. esim. Oinonen ym. 2016a).

Merenhoidossa edellytetään viiden erilaisen taloudellisen ja sosiaalisen tarkastelun toteuttamista.

- meren käytön taloudellista analyysiä ja
- meren tilan huononemisesta aiheutuvien kustannusten analyysiä
- sekä merenhoidon toimenpideohjelmassa uusien toimenpiteiden osalta
- kustannusvaikuttavuusanalyysi
- kustannustehokkuusanalyysiä
- kustannushyötyanalyysiä

Vesienhoidossa poikkeusta hyvän ekologisen tilan saavuttamiselle voidaan hakea ja perustella kohtuuttomilla kustannuksilla. Analyysin tulisi eurooppalaisen ohjeistuksen mukaisesti perustua kustannus-hyötyanalyysiin (WATECO 2003). Merenhoidossa vastaavia poikkeuksia ei voida hakea taloudellisin perustein.

Tässä luvussa esitetään yhteiskunnallisen kustannushyötyanalyysin kehikko sekä arvioidaan tässä hankkeessa arvioitujen mallien soveltuvuutta ympäristötaloustieteellisiin analyyseihin. Tarkastelusta rajautuu siten pois esimerkiksi MTT Taloustutkimuksen (nykyinen Luke), SYKE:n ja Helsingin yliopiston yhteistyössä kehittämä malli, jolla on arvioitu valuma-alueella

tapahtuvien rehevöitymistä vähentävien toimenpiteiden kustannustehokkuutta ja vaikutuksia Itämeren tilaan (Ahlvik ym. 2014).

Yhteiskunnallisen kustannushyötyanalyysin lähtökohtana on arvioida vaihtoehtoisten hankkeiden, ympäristön tilaa parantavien toimenpiteiden tai toimintaohjelmien yhteiskunnallisia kustannuksia ja hyötyjä ja verrata niitä keskenään. Yhteiskunnallinen kustannushyötyanalyysi on siis politiikka-arvioinnin työkalu, joka määrittelee toimen tai hankkeen rahamääräiset nettovaikutukset. Analyysin vaiheet on kuvattu pelkistetysti taulukossa 5.

Taulukko 5. Yhteiskunnallisen kustannushyötyanalyysin päävaiheet (Boardman ym. 2006)

1. Määrittele arvioitavat politiikkavaihtoehdot tai toimenpiteet
2. Päätä keiden kustannukset ja hyödyt huomioidaan
3. Tunnista politiikkavaihtoehtojen tai toimenpiteiden vaikutukset suhteessa (ympäristö)tavoitteeseen ja valitse niille indikaattori
4. Ennusta politiikkavaihtoehtojen tai toimenpiteiden vaikutukset määrällisesti koko hankkeen ajalta
5. Määritä vaikutusten rahallinen arvo
6. Laske rahamääräisten vaikutusten nykyarvo jokaiselle vaihtoehdolle
7. Arvioi tulosten vankkuus herkkyysanalyysissa
8. Anna suositus toteutettavasta hankkeesta

Kaikkiin analyysin osavaiheisiin (taulukko 5) ei kuulu taloudellista tarkastelua, mutta ovat välttämätön osa analyysiä. Arvio edellyttääkin monialaista yhteistyötä ja vaikuttaa myös tehtävien aikatauluttamiseen. Varsinaista taloudellista tarkastelua päästään toteuttamaan vasta sitten kun ympäristötavoite on määritelty mahdollisimman tarkasti (numeerisesti), siihen tähtäävät toimenpiteet ovat laadittu ja niiden vaikutukset suhteessa ympäristötavoitteeseen ovat (numeerisesti) arvioitu.

Kustannus-hyötyanalyysin vaiheet ovat samat sekä vesien- että merenhoidossa. Tarkastelun laajuus ja kohde vain eroavat. Vesienhoidossa tarkastelu tehdään vesimuodostumittain, toimenpideohjelma-alueittain tai vesienhoitoalueittain. Osa toimenpiteistä on valuma-alueella tapahtuvia kuormituksen vähentämiseen tähtääviä toimenpiteitä, jotka vaikuttavat useisiin vesimuodostumiin. Näitä suunnitellaan yleensä toimenpideohjelma-alueittain. Periaatteessa kohtuuttomien kustannusten poikkeamaa käytettäessä pitäisi arvioida toimenpiteiden kustannuksia ja hyötyjä vesimuodostumatasolla. Myös vesimuodostumien ryhmittely voisi tulla kyseeseen. Vesienhoidon kolmannella suunnittelukaudella on keskusteltu siitä, pitäisikö toimenpiteet kohdistaa vesimuodostumien tai alueiden sijaan tunnistettujen paineiden vähentämiseen. Tämä muuttaisi kohtuuttomien kustannusten tarkastelun asetelmaa.

Merenhoidon ensimmäisessä toimenpideohjelmassa tarkasteltiin koko Suomen merialuetta. Toimenpiteiden kustannuksia arvioitaessa keskityttiin välittömiin kustannuksiin ja hyötyarviossa arvioitiin toimenpideohjelmalla saavutettavan ympäristöntilan parantumisen taloudellisia hyötyjä.

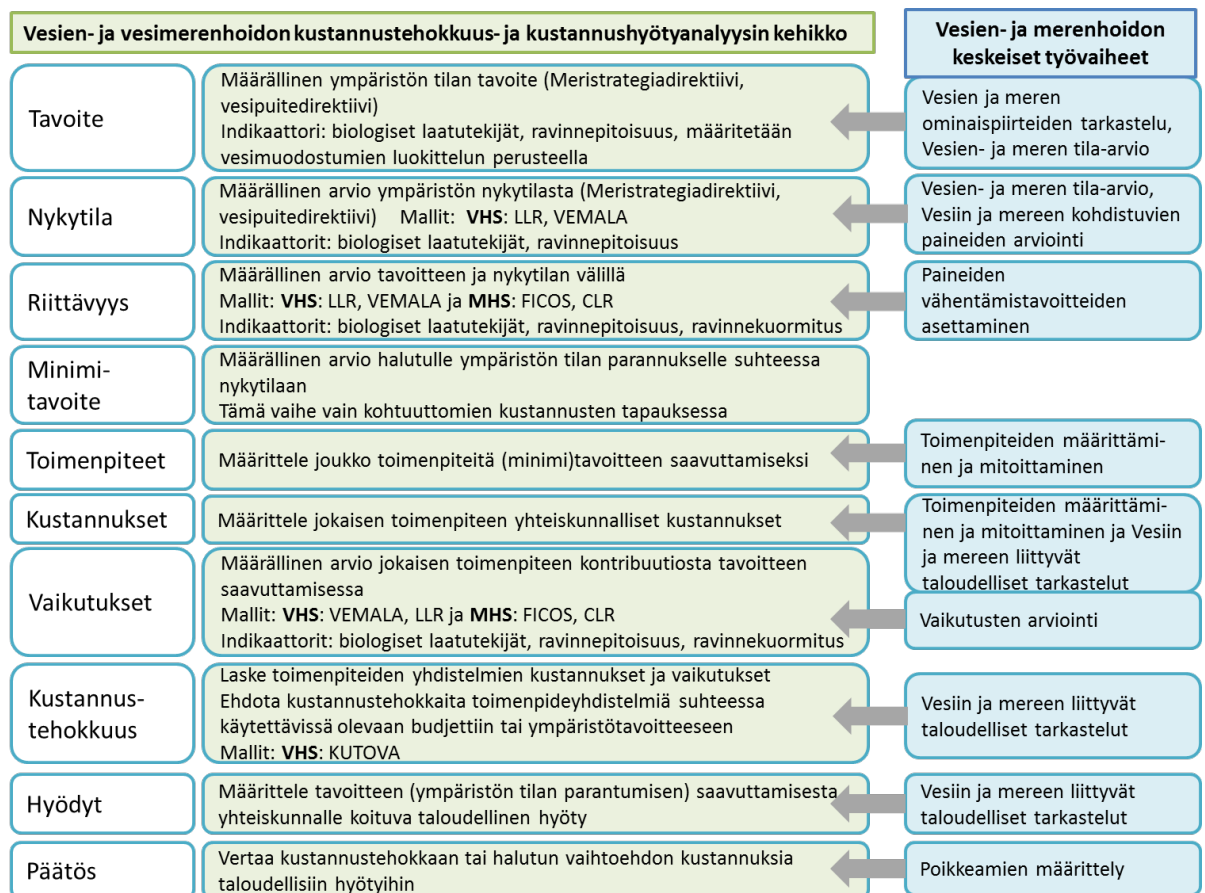
Vesien- ja merenhoidon mallitiekartassa mainittuja malleja voidaan pääasiassa käyttää arviomaan toimenpiteiden vaikutuksia suhteessa ympäristötavoitteeseen erityisesti vesienhoidon osalta. Esimerkiksi VEMALA ja LLR malleilla voidaan arvioida kuormituksen vaikutusta vesien nykytilaan, sekä VEMALAILLA, VIHMAILLA ja KUTOVALLA toimenpiteiden kuormitusvähennysvaikutusta. Merenhoidossa käytettävää FICOS-mallia voidaan käyttää rannikkoaluei-

den rehevöitymispaineiden tunnistamisessa, nykytilan arvioinnissa sekä kuormitusvähennys-tarpeen ja toimenpiteiden vaikutusten arvioinnissa (Lignell ym. 2015). FICOS-malli on kehitetty Saaristomerellä ja sitä on sittemmin laajennettu Suomenlahdelle ja Selkämerelle. FICOS-mallia ei kuitenkaan käytetty toimenpideohjelman taloudellisissa analyyseissä merenhoidon ensimmäisellä suunnittelukaudella.

Yksi keskeinen ongelma erityisesti vesienhoidon mallityössä on se, että kuormituksen ja ravinnepitoisuuden vasteita biologisiin laatutekijöihin ei ole riittävästi tutkittu tai mallinnettu. Ekologisen tilan arvio perustuu kuitenkin ensisijaisesti biologisiin laatutekijöihin, joita fyysikaalis-kemialliset muuttujat, kuten ravinnepitoisuudet, tukevat. Käytännössä suurelta osalta vesimuodostumista ei havaintoja biologisista laatutekijöistä ole riittävästi ja tarvittavien mallien ja tilastollisten kytkentöjen puuttuessa luokittelu perustuu ravinnepitoisuuksiin.

Toimenpiteiden kustannusten määrittäminen ja käyttäminen analyyseissä ei ole vakiintunutta käytäntöä. Merenhoidon ja vesienhoidon toimenpideohjelmaa toteuttaessa voitaisiin kerätä aineistoa myös toimenpiteiden toteuttamisen kustannuksista, mikä palvelisi analyysejä tulevaisuudessa.

Kuva 15 esittää vesien- ja merenhoidossa käytetyn kustannustehokkuus- ja kustannushyötyanalyysin kehikon (Börger ym. 2016, Oinonen ym. 2016), johon on liitetty vesien- ja merenhoidon keskeiset työvaiheet ja mallityökalut, joita eri vaiheessa voitaisiin hyödyntää.



Kuva 15. Vesien- ja merenhoidon kustannustehokkuus- ja kustannushyötyanalyysin kehikko ja keskeiset työvaiheet.

5.2 Tilannekatsaus vesien- ja merenhoidon taloudellisten hyötyarvioiden tietopohjasta ja arvio yhdistämismahdollisuuksista

Vesien ja meren tilan parantamisen taloudellisia hyötyjä voidaan arvioida ympäristötaloudellisilla arvottamismenetelmillä, joilla selvitetään ympäristön tilan muutosten vaikutusta ihmisten hyvinvointiin. Menetelmiin kuuluvat kyselyihin pohjautuvat ilmaistujen preferenssien menetelmät (ehdollinen arvottaminen, valintakoe), joilla saadaan selville sekä ympäristöhyödykkeen käyttöön liittyviä että sen käytöstä riippumattomia hyötyjä. Paljastettujen preferenssien menetelmillä (matkakustannusmenetelmä, hedoninen hinnoittelu) hyötyarviot pohjautuvat ihmisten käyttäytymiseen, ja kohteena ovat käyttöarvot. Lisäksi olemassa olevien tutkimusten tuloksia voidaan siirtää paikassa ja ajassa tulostensiirtomenetelmällä. Menetelmillä selvitetään kansalaisten maksuhalukkuutta ympäristön tilan parantumisesta, joka kuvaa muutoksen taloudellista arvoa.

Arvottamistutkimuksia on tehty sekä Suomessa että maailmalla useita. Kriittinen kysymys on, mitkä tutkimukset soveltuvat vesien- ja merenhoidon taloudellisten hyötyjen arviointiin. Näitä tutkimuksia on verrattain vähän, eivätkä nekään aina vastaa täysin vesien- ja merenhoidon tarpeita. Vaikka uusia tutkimuksia on työn alla, niitä myös tarvitaan, jotta tulevaisuuden tietopohja olisi parempi.

Hyötyjen arvioinnissa on hyvä pitää mielessä, että kyseessä ei ole perinteisellä tavalla ajateltu malli tai työkalu, vaan hyötyarvioiden käyttäminen päätöksenteon tukena vaatii tapauskohtaista asiantuntijatarkastelua, jotta voidaan varmistaa tutkimusten soveltuvuus kulloiseenkin tarpeeseen. Hyötyjen arviointiin on vaikea kehittää yleispätevää työkalua, jota voisi soveltaa tilanteessa kuin tilanteessa parametreja muuttamalla. Tällaisen työkalun ongelmaksi muodostuvat sen epätarkkuus ja suuretkin harhat tuloksissa.

Vesienhoito

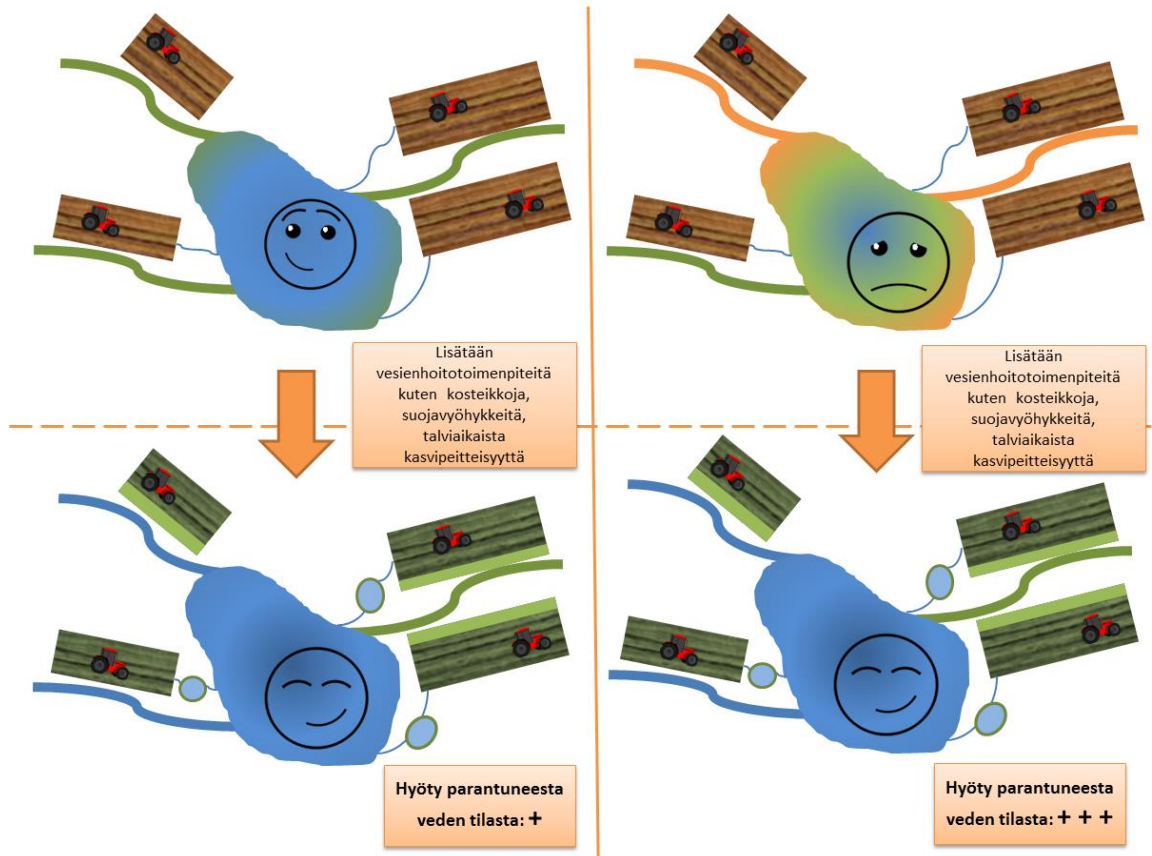
Vesienhoidon toisella suunnittelukierroksella hyötyjä arvioitiin rahamääräisesti vesienhoitoalueetasolla. Hyötyjä vesistön virkistyskäytölle arvioitiin hyödyntäen VIRVA-mallia (Hjerppe ym. 2016). Lisäksi arvioitiin maksuhalukkuustutkimuksella vesienhoidon tavoitteiden saavuttamisen taloudellisia hyötyjä Vuoksen vesistön alueen asukkaille ja siellä mökin omistaville, joiden asuinpaikka ei sijaitse Vuoksen vesistöalueella (Lehtoranta ym. 2016). Lisäksi erillisessä tutkimuksessa arvioitiin Lappeenrannan alueen asukkaiden maksuhalukkuutta pohjavesien tilan turvaamisesta.

Tutkimusten tulokset voidaan teknisesti siirtää muille vesienhoitoalueille. Vesienhoitosuunnitelmissa esitettiin pintavesien osalta karkeat hyötyarviot perustuen vesienhoitoalueen väestön lukumäärään olettaen, että maksuhalukkuus on kaikilla alueilla samanlainen kuin Vuoksen vesienhoitoalueella. Pohjavesien osalta sama tehtiin yleistäen tulokset Lappeenrannan väestön lukumäärään.

Tulosten siirtoa harkittaessa on kuitenkin aina varmistettava alueiden mahdollisimman suuri samankaltaisuus. Vuoksen vesienhoitoalueella on poikkeuksellisen paljon järviä muihin vesienhoitoalueisiin verrattuna, ja ne ovat myös ekologiselta tilaltaan lähinnä erinomaisesta tyydyttävään tilaan. Sen sijaan esimerkiksi Pohjanmaalla vesistöt ovat suurimmaksi osaksi jokivesistöjä ja usein myös ekologiselta tilaltaan tyydyttävästä huonoon. Taloudelliset hyödyt ovat todennäköisesti suuremmat, mikäli muutos vesistöjen tilassa on isompi (kuva 16). Täten Vuoksen vesienhoitoalueella saatujen tulosten siirto muille vesienhoitoalueille voi aliarvioida

hyötyjä näillä alueilla. Pohjavesien osalta on hyvä huomioida Lappeenrannan alueella käytössä olevan tekopohjaveden osuus talousvedestä. Nämä arvottamistutkimusten tulokset valmistuivat toisen suunnittelukauden loppupuolella, eikä tutkimuksia ehditty toistaa toisella alueella tai tehdä tilastollisiin malleihin perustuvaa tulosten siirtoa muille vesienhoitoalueille.

Kohtuuttomien kustannusten poikkeamaa ei ole vesienhoidossa käytetty, koska käytössä ei ole ollut riittävää aineistoa kustannushyötyanalyysiin vesimuodostumatasolla. Kuva 16 havainnollistaa valuma-alueen toimenpiteillä aikaan saatavan hyödyn määrä riippuvuutta toimenpiteiden vaikuttavuuden lisäksi vastaanottavan vesistön lähtötilanteesta



Kuva 16. Valuma-alueen toimenpiteillä aikaan saatavan hyödyn määrä riippuu toimenpiteiden vaikuttavuuden lisäksi vastaanottavan vesistön lähtötilanteesta. Alun perin huonommassa tilassa olevassa vesistössä samoilla toimenpiteillä voivat saavutettavat hyödyt olla suuremmat, kuin jos vesistön lähtötilanne on jo verraten hyvä.

Lisäksi vesienhoidon hyötyjä arvioitiin toisella suunnittelukierroksella ei-rahamääräisesti hyödyntäen hyötyjenarviointikehikkoa, jossa hyötytekijöinä huomioidaan mm. ammattikalastus ja kalankasvatus, matkailu, vedenotto, kiinteistön arvo, virkistyskäyttö, vesiympäristön monimuotoisuus, turvallisuus ja terveys, sekä vesimaisema ja asumisviihtyisyys. Arviointi tehtiin pääosin ELY-keskuksittain tai toimenpideohjelma-alueittain. Ainakin osalla alueista arviota tehtiin yhdessä alueellisen vesienhoidon yhteistyöryhmän kanssa.

Merenhoito

Merenhoidossa taloudelliset hyötyarviot ovat perustuneet kyselypohjaisilla menetelmillä Suomessa tehtyihin tutkimuksiin. Vuoden 2012 Meriympäristön nykytilan arvioissa meren tilan heikentymisestä aiheutuvat kustannukset arvioitiin ainoastaan rehevöitymisen osalta käyttäen ehdollisen arvottamisen menetelmällä tehtyä tutkimusta Itämeren rehevöitymisen vähentämisen hyödyistä (Ahtiainen ym. 2014; Meriympäristön nykytilan arvio 2012). Tätä tutkimusta ei ollut alun perin suunniteltu vastaamaan suoraan merenhoidon tarpeisiin. Merenhoidon toimenpideohjelmassa vuonna 2015 taloudellinen hyötyarvio perustui tulostensiirtoon olemassa olevista tieteellisistä julkaisuista (Börger ym. 2016, Oinonen ym. 2015). Tulostensiirto oli mahdollista rehevöitymisen ja monimuotoisuuden ja ravintoverkkojen osalta, mutta muiden hyvän tilan kuvaajien suhteen olemassa oleva tutkimuskirjallisuus arvioitiin tulostensiirtoon riittämättömäksi tai kirjallisuutta ei ollut lainkaan.

Rehevöitymisen osalta alkuperäinen tutkimus (Ahtiainen ym. 2014) tarkasteli taloudellisia hyötyjä, jotka koituisivat koko Itämeren rehevöitymisen tilan parantumisesta hyvään tilaan vuoteen 2050 mennessä. Suomessa nämä hyödyt olisivat kokonaisuudessaan 3580 M€, josta 1022 M€ kertyisi vuoteen 2021 mennessä. Toimenpiteiden toteuttaminen ja niiden vaikutusten havaitseminen meriympäristössä vie aikaa, joten on epätodennäköistä, että meren hyvä tila saavutetaan merenhoidon tavoitevuonna 2020. Toimenpideohjelman toimenpiteillä hyvä tila arvioitiin saavutettavan ainoastaan 2 % todennäköisyydellä rehevöitymisen osalta. Tämän perusteella rehevöitymiseen vaikuttavilla toimenpiteillä aikaansaatavan meren tilan parantumisen taloudellisen arvon arvioitiin olevan 20-72 M€ (nykyarvo vuonna 2014). (Börger ym. 2016, Oinonen ym. 2015).

Käynnissä olevassa BONUS BALTICAPP-hankkeessa (2015-2018) tarkastellaan Itämeren tuottamien ekosysteemipalveluiden tarjontaa ja kysyntää pitkällä aikavälillä yhdistämällä luonnon- ja taloustieteellistä tutkimusta. Hankkeessa tutkitaan, miten muutokset Itämeren tilassa ja ekosysteemipalveluissa vaikuttavat kansalaisten hyvinvointiin. Suomessa, Saksassa ja Latviassa tehtävillä kyselyillä kerätään tietoa Itämeren virkistyskäytön kannalta tärkeistä paikoista, virkistyskäytön taloudellisesta arvosta ja sen muutoksesta meren tilan muuttuessa. Lisäksi selvitetään kulttuuristen ekosysteemipalveluiden suhteellista tärkeyttä sekä kansalaisten kokemia taloudellisia hyötyjä meren hyvän tilan saavuttamisesta rehevöitymisen, ekosysteemin tilan ja monimuotoisuuden, tulokaslajien sekä roskaantumisen suhteen. Tulosten perusteella voidaan tarkastella laajasti meriensuojelun taloudellisia hyötyjä, ja tuloksia voidaan käyttää arvioitaessa niin meren tilan huononemisen aiheuttamia kustannuksia kuin merenhoidon toimenpiteiden hyötyjäkin. Tulokset mahdollistavat rehevöitymiseen vaikuttavien toimenpiteiden hyötyjen arvioimisen.

Vuoden 2018 meren tila-arvioita varten toteutetaan kokonaan uusi merenhoidon taloudellisia hyötyjä kuvaava tutkimus, jota voidaan käyttää sekä meren tilan huononemisen kustannusten arvioinnissa että toimenpideohjelman kustannus-hyötyanalyysissä tulevaisuudessa. Tutkimus käsittelee meren hyvän tilan kokonaisuutta kaikkien 11 meren hyvän tilan kuvaajan osalta ja hyvän tilan saavuttamisen taloudellista hyötyä kaikkien suomalaisten kannalta. Tutkimusmenetelmästä johtuen tuloksista ei pystytä erikseen arvioimaan pelkästään rehevöitymistä vähentävien toimenpiteiden meren tilan parantumisesta koituvaa taloudellista hyötyä. Tutkimuksen tulokset raportoidaan suomeksi osana Suomen meriympäristön tila 2018 –raporttia, ja niistä on tekeillä tieteellinen käsikirjoitus.

Vesien- ja merenhoidon taloudellisten hyötyarvioiden yhdistämismahdollisuudet

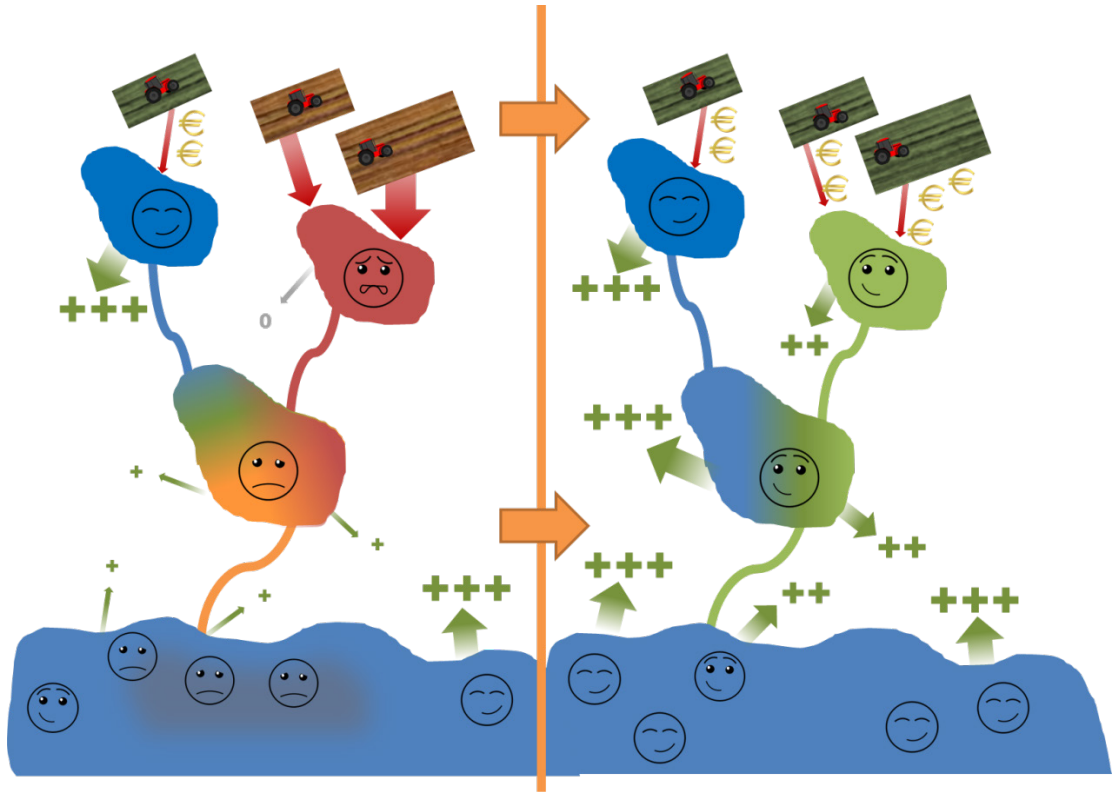
Valuma-alueilla tehtävät toimenpiteet vaikuttavat sekä vesien että meren tilaan. Vesien- ja merenhoitoa on periaatteessa mahdollista tarkastella yhtenä kokonaisuutena maatalouden ympäristötoimenpiteiden osalta. Tällöin kustannushyötyanalyysin periaatteita ja vaiheita noudattaen (Kuva 15) määritetään toimenpiteiden vaikutukset sekä sisävesistöissä että merialueella ja määritellään toimenpiteiden kustannukset ja hyödyt.

Toteutettujen tutkimusten avulla hyötyjen arviointi kokonaisuudessaan ei tällä hetkellä kuitenkaan ole mahdollista, sillä esimerkiksi merenhoidon hyötyarvioiden pohjana olevissa tutkimuksissa on tarkoituksellisesti jätetty sisävesissä tapahtuvat muutokset pois ja keskitytty vain merialueisiin. Näin siksi, että tavoitteena on nimenomaisesti ollut tarkastella toimenpiteiden vaikuttavuutta suhteessa merenhoitoon, tästä koituvia taloudellisia hyötyjä sekä näiden toimenpiteiden kustannuksia. Sisävesiä ja merialueita koskevia, erillisillä tutkimuksilla saatuja hyötyarvioita ei myöskään voi suoraviivaisesti laskea yhteen ja siten tuottaa kokonaisuutensa arvo, sillä tällöin saatetaan yliarvioida kokonaishyötyjen suuruus.

Merialueella tapahtuvan rehevöitymisen vähentämisen taloudellisista hyödyistä on jo yhteiskunnalliseen kustannus-hyötyanalyysiin sopivia arvioita ja lisää tuloksia on tulossa, mutta vesienhoidon puolella tulisi toteuttaa lisää tutkimuksia. Vaihtoehtona voisi olla Vuoksen vesistöalueelle toteutetun kyselyn toteuttaminen muutamilla muilla erilaisilla vesistöalueilla. Tämä ei kuitenkaan ratkaisisi ongelmia vesien- ja merenhoidon hyötyjen yhteensovittamisen osalta. Toisena vaihtoehtona olisikin toteuttaa arvottamistutkimus, jossa vesien- ja merenhoitoa tarkastellaan yhtenä kokonaisuutena ja sen tuottama ympäristönlaadun parannus kuvataan tutkimuksessa sekä vesistöjen että merialueiden suhteen.

Hyötyjen arvioimisen yhtenäistämiseksi lyhyellä tähtämellä käytetään olemassa olevia tutkimuksia sekä vesien- että merenhoidossa, mutta syvennetään monialaista yhteistyötä eri alojen (luonnontiede, mallinnus, taloustiede jne.) kesken, ja lisäksi parannetaan tiedonvaihtoa vesien- ja merenhoidon välillä taloustieteellisten analyysien suhteen. Pitkällä tähtämellä luodaan suunnitelma yhteensovittamisesta vesien- ja merenhoidon ja eri tutkimusalojen välillä ja toteutetaan yhteisiä tutkimuksia vesien- ja merenhoidossa.

Kuva 17 havainnollistaa valuma-alueella toteutettavien rehevöitymistä vähentävien toimenpiteiden vaikutusta vesistöissä ja meressä. Malleja, jotka voivat kuvata tällaista muutosta voitaisiin hyödyntää tällaisen kyselytutkimuksen suunnittelussa ja myöhemmin kustannus-hyötyanalyysissä. Tämä edellyttäisi entistä tiiviimpää yhteistyötä valuma-alue- ja merimallintajien sekä taloustieteilijöiden kesken.



Kuva 17. Kuormitus sisävesiin kulkeutuu ainakin osittain myös mereen. Valuma-alueella tehtävät toimenpiteet vähentävät kuormitusta sisävesiin ja siten myös mereen. Jos vesien- ja merienhoidon taloudellisia hyötyjä tarkasteltaisiin yhdessä, tulisi toimenpiteiden aiheuttama ympäristön tilan muutos kuvata sekä valuma- alueella että merialueella.

6 YMPÄRISTÖTALOUDELLISET SKENAARIOT

6.1 Eläintilojen rakennekehitys ja sen vaikutukset huuhtoumariskiin ja ympäristöohjauksen osuvuuteen

Eräs maatalouden ravinnekiertojen mallintamisen haaste on alati muuttuva toimintaympäristö. Maatalouden rakennemuutosten, hintakehityksen, ravinteiden kierrätyksen ja vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutukset tulisi pystyä ennakoimaan myös muuttuvassa ilmastossa. Nopeimmin maataloussektorin toiminnasta tehtyjä oletuksia voivat muuttaa muutokset hintasuhteissa tai politiikassa ja näiden muutosten seuraaminen tulisi olla olennainen osa mallien jatkuvaa validointia.

Maatalouden ympäristökorvausjärjestelmä uudistui vuonna 2014 ohjelmakauden vaihtumisen yhteydessä. Ohjelma sisältää tärkeimmät maatalouden vesiensuojelun toimenpiteet ja on perusteiltaan kustannuksia korvaava. Korvaustaso on kohdentamisalueita lukuun ottamatta yhtenäinen tilakoosta ja tyypistä riippumatta. Ohjelman toteuttamisesta tiloille käytännössä aiheutuvat kustannukset kuitenkin eroavat toisistaan.

Tässä hankkeessa toteutettiin analyysi, jossa tarkasteltiin kokonaisaineston perusteella tilojen kuulumista järjestelmään vuosina 2014 ja 2015. Tiloja tarkasteltiin tuotantosuunnittain ja alueittain, sekä eläinmäärän ja tyypillisten viljelykasvien suhteen ryhmiteltynä. Tavoitteena oli selvittää onko ympäristökorvausjärjestelmään kuulumisessa tapahtunut muutoksia, joilla voisi olla merkittävää vaikutusta ravinnehuuhtoumiin. Lisäksi tietoa voidaan käyttää arvioitaessa muutoksia suhteessa muun toimintaympäristön, kuten maatalouden rakennekehityksen aiheuttamiin muutoksiin.

Edellisen ohjelmakauden viimeisenä vuonna ympäristötukijärjestelmään oli sitoutunut 93 % maatiloista ja 98 % peltopinta-alasta. Uuden ohjelmakauden ensimmäisenä vuonna maatilojen sitoutumisaste ympäristökorvausjärjestelmään oli 87 % ja 94 % peltopinta-alasta. Kokonaisuutena järjestelmä ohjaa edelleen vahvasti maatalouden ravinnekäyttöä, vaikka pieni muutos onkin havaittavissa myös kokonaistasolla.

Yhteenvetona ympäristökorvausjärjestelmän uudistuksesta ohjelmakaudelle 2014–2020 voidaan todeta, ettei laajamittaista tilojen irtautumista tapahtunut. Tulosten perusteella voidaan kuitenkin tunnistaa, että

1. Pinta-alaltaan kaikkein pienimmät tilat eivät ole motivoituneet sitoutumaan järjestelmään.
2. Sika- ja siipikarjataloudessa eläinmäärältään suurimmissa luokissa sitoutumisaste on ollut keskimääräistä alhaisempi. Korkean eläinmäärän tiloilta osa lannasta kuitenkin päätyy luovutettavaksi tilan ulkopuolelle, joten näidenkin tilojen lanta levitetään ainakin osittain ympäristökorvaukseen sitoutuneiden tilojen pelloille.
3. Alueittain tarkasteltuna ei ole havaittavissa merkittäviä keskittymiä sitoutumattomuudessa suhteessa kokonaispinta-alaan. Niin sanottujen kohdistamisalueiden korkeampi tukitaso oli todennäköisesti yhteydessä hieman korkeampaan sitoutumisasteeseen näillä alueilla.

6.2 Ravinteiden kierrätyksen mahdollisuudet – politiikka-toimet ja vaikuttavuus

Varsinaisia mallityökaluja ravinteiden kierrätyksen mahdollisuuksiin, politiikkatoimiin ja vaikuttavuuteen on niukasti. Kierrätysravinteiden määriä ja syntyalueita voidaan määritellä, ja on määriteltykin. 2017 keväällä julkaistu RAKI-hankkeen raportti ” Kohti ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa” [http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/540214/luke-luobio_45_2017.pdf?sequence=10] antaa kattavan kuvan fosforin ja typen kierrätyksen nykytilasta sekä ravinteita sisältävien biomassojen määristä ja alueellisista sijainneista.

Ravinteiden kierrätyksen haasteina on:

- Lantafosfori muodostuu ongelmaksi alueilla, joilla sitä ei kyetä hyödyntämään kasvi-tuotannossa
- Lanta pitäisi saada hyödynnettyä alueilla, jolla sitä ei synny.
- Keinolannoitteita käyttävien viljelijöiden tulisi korvata keinolannoitteitaan enemmän lannalla ja sen ravinteilla. Poliittikkatoimien suunnittelua varten meidän tulee ymmärtää, miten mikäkin toimi vaikuttaa lannan syntyyn, käyttötarpeeseen ja kysyntään kasvintuotantoalueilla
- Vaikuttavuuden arviointiin tarvitaan ymmärrys ravinteiden kertymisen ja vesistöhuuhtoumien välillä.

Mallityökalujen olemassaoloa ja käyttökelpoisuutta voidaan tarkastella näiden neljän kohdan avulla.

1) Kierrätysravinteiden määrien arviointiin on olemassa työkaluja. Tämä koskee sekä lannan ravinteita että muita ravinteita sisältäviä biomassoja. Luonnonvarakeskuksen verkkosivuilla on avattu käyttäjille avoin Biomassa-atlas (<https://www.luke.fi/biomassa-atlas/>), joka sisältää tiedot massojen määristä ja sijainneista. Vielä kehitysvaiheessa olevasta atlaksesta löytyy ja tulee löytymään alueellista tietoa maankäytöstä, metsävaroista, hakkuiden sivuvirroista, peltokasvien tuotannosta ja sivuvirroista, lannoista sekä teollisuuden ja yhdyskuntien ravinteita sisältävistä biomassoista.

2) Kasvintuotantoalueilla ravinteiden kokonaiskysyntä perustuu tuotantokasvien tarpeisiin ja viljelyn pinta-aloihin, yksityisten viljelijöiden päätöksiin tuotantokasvien lannoituksesta, politiikkaohjauksesta (joka saattaa pienentää ravinteiden käyttöä viljelijän muuten valitsemasta tasosta) sekä lopputuotteiden arvioiduista hinnoista (tämä vaikuttaa sekä tuotantokasvien pinta-aloihin, että jonkin verran lannoitemääriin). Pääosin kierrätysravinteiden alueellinen käyttöpotentiaali voidaan selvittää melko tarkasti (katso esim. fosforimääristä Ylivainio ym 2014).

3) Tämä ravinnekierrätyksen ytimessä oleva kohta sivuutetaan usein triviaalina. Se on kuitenkin kaikkien politiikkatoimien vaikuttavuuden perusta: mitkä asiat ohjaavat viljelijöitä käyttämään keinolannoitteita, mitkä näiden substituutteja, eli biomassapohjaisia ravinteita. Tähän asiaan ei ole olemassa malleja, eikä ole odotettavissa, että tällaisia kehitetäänkään. Aiheesta löytyy tutkimuksia, joissa selvitetään viljelijöiden halukkuutta esimerkiksi lannan käyttöön. Mallia sana varsinaisessa merkityksessä ei kuitenkaan ole. Ihmisvalintoja tarkastellaan taloustieteessä tiettyjen lainalaisuuksien avulla, ennusteita valinnoista ei tehdä. Mikä eteen? Tästä kohdasta eteenpäin politiikkatoimien valmistelun täytyy perustua tieteellisen tutkimuskentän tuntemiseen ja asiantuntijoiden osaamisen hyödyntämiseen. Poliittikan valmistelussa

eteen tulevat kysymykset ovat kuitenkin aina jollain lailla erityisiä, ja näitä voidaan arvioida erilaisiin malleihin tukeutuen. Esimerkiksi kysymykseen: miten lannan kuljetuksen tuki vaikuttaisi lannan käytön tehostumiseen, voidaan vastata analyysin avulla. Mutta näköpiirissä ei ole mallia, johon syötettynä kuljetustuen eri tasot kertoisivat, miten lannan käyttö muuttuu.

4) Lannan käytön muutosten ympäristövaikutusten arviointi on niin ikään erittäin vaikeaa. Lanta sisältää ravinteita erilaisia määriä tietyssä suhteessa riippuen lantalajista. Tähän vaikuttavat vielä lannan varastointi, levitystekniikka ja mahdolliset muut tekijät. Ympäristövaikutusten (huuhtoumat) merkittäväksi taustatekijäksi voidaan ajatella ravinnetase, joka on yhtä kuin lannan ravinteet miinus kasvien käyttämät ravinteet. Tämä yhteys ei kuitenkaan ole selvää eikä kysymykseen ole olemassa vielä valmista mallia. Keskeinen ongelma on juuri ravinnetaseiden ja vesistövaikutusten määrittämisen epävarmuudessa (Turtola ym. 2017).

Politiikkatoimien vaikutusten arviointiin ei siis ehkä voikaan olla valmiita malleja. Asiantuntijoiden kyky käyttää tietojaan ja erilaisia malleja yksittäisten kysymysten ratkaisemisessa tulee olemaan valmistelun keskiössä jatkossakin.

6.3 Ohjauskeinojen vaikuttavuudesta ja koherenssista

Ohjauskeinojen koherenssitarkastelussa voi erottaa kaksi tasoa. Maatalouden ympäristönsuojelutoimenpiteiden ympäristövaikutuksilla on ensinnäkin keskinäisiä, teknisluonteisia riippuvuussuhteita. Nämä voivat olla suojelun kokonaiskoherenssin kannalta erittäin tärkeitä tekijöitä. Toisaalta eri hallinnonaloilta ja eri tavoitteista lähtevä poliittinen ohjaus saattaa kannustaa ympäristönsuojelutoimiin, jotka ovat kokonaisuudessaan haitallisia toisten ympäristötavoitteiden saavuttamisen kannalta. Perinteinen politiikkatoimien koherenssi tarkoittaa vain jälkimmäistä tasoa, mutta etenkin maatalouden ympäristönsuojelutoimien ei-toivotut teknisluonnontieteelliset ristikkäisvaikutukset aiheuttavat samanlaisia ilmiöitä kuin ei-koherentti politiikan valmistelu.

Teknisluonteisiin riippuvuussuhteisiin on mahdollista päästä käsiksi mallinnustyöllä. Vesistöjen kannalta keskeisin lienee fosforin ja typen ja etenkin fosforin eri jakeiden erilainen reagointi vesiensuojelutoimenpiteisiin. Erityisesti Pohjois-Amerikassa vesiensuojelun perustana on hiukkasmaisen fosforin huuhtouman vähentäminen. Sadetapahtumat ovat siellä erittäin intensiivisiä ja eroosio on näin ollen merkittävä ongelma. Lisäksi maatalouden ympäristönsuojelun historia lähti pitkälti liikkeelle 30-luvun Oklahoman, Texasin ja Kansasin alueen valtavista pölymyrskyistä, jotka kuljettivat miljoonia kuutiota maa-aineista tuulten mukana mereen. Syynä ilmiöön oli yleistynyt maan kyntäminen, joka yhdessä kuivuuden ja myrskyjen kanssa sai eroosion liikkeelle. Hiukkasmaisen aineksen erodoitumisen estäminen on siis aivan ymmärrettävästi suojelun keskiössä.

Pääasiallinen suojelukeino tähän on pysyvän kasvipeitteisyyden suosiminen. Viime vuosina on kuitenkin noussut esille pysyvän kasvipeitteisyyden sivuvaikutuksen, eli liuenneen fosforin huuhtouman kasvaminen. Tämä ilmiö on sinällään tunnettu jo kauan, mutta valuma-aluekohtaisia arvioita vaikutuksen suuruudesta on esitetty vasta viime vuosina (katso esim Dodd ja Sharpley, 2016 ja Jarvie ym. 2017).

Vastaavia ilmiöitä löytyy esimerkiksi typpihuuhtouman ja kasvihuonekaasupäästöjen väliltä (Aillery ym. 2005). Kaiken kaikkiaan, maatalous ja sen ympäristönsuojelukeinot tapaavat vaikuttaa yhtäaikaaisesti moneen eri asiaan, vaikka päähuomio olisikin kerrallaan vain yhdessä. Kokonaisvaikutusten arvioimisen kannalta olisi tärkeää ottaa sivuvaikutuksia mahdollisimman hyvin huomioon.

Poliittista koherenssia ei voi tarkastella valmiilla malleilla. Poliittikan tutkimuksen ja poliittisen taloustieteen piirissä koherenssia tarkastellaan kiinnostuksen kohteena olevan kysymyksen ympärillä. Esimerkiksi Yhdysvalloissa Office of Information and Regulatory Affairs [OIRA, <https://www.reginfo.gov/public/>] on perustettu nimenomaan käymään tapauskohtaisesti säätelymuutoksia ja edistämään eri hallinnon tasojen säätelytyön koordinoitua.

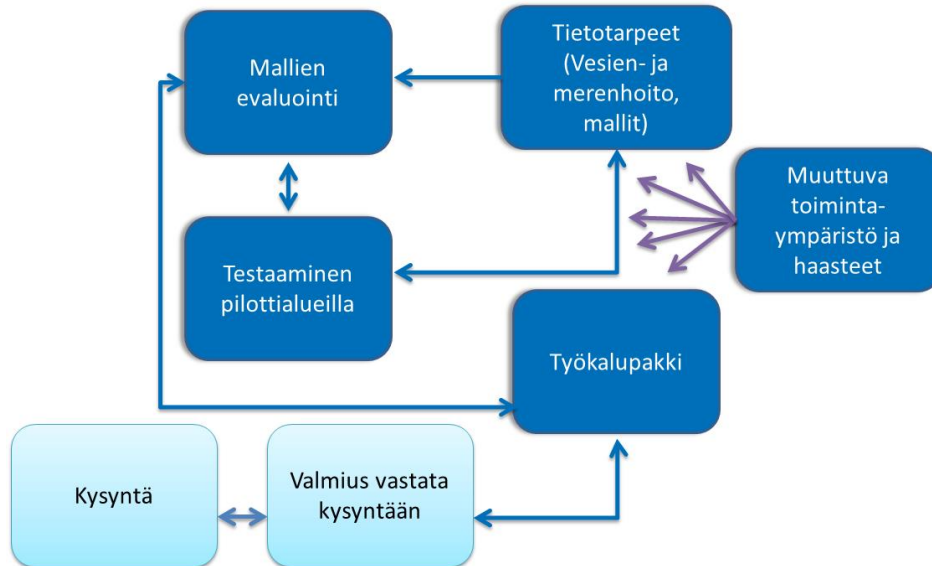
Voisi olla paikallaan selvittää valtionhallinnon säätelyn koordinoitua ja koherenssin edistämisen institutionaalisia rakenteita. Hallituksen normipurkutalkoot ja yritysten kohtaaman säätelyn keventämissuunnitelmat [<http://www.normipurku.fi/>] saattavat toimia koherenssia edistävästi, mutta eivät automaattisesti. Sama koskee säätelyn yritysvaikutusten arviointia [<http://tem.fi/lainsaadannon-yritysvaikutusten-arviointi>]. Ympäristöpolitiikan koherenssia edistämässä saattaisi olla paikallaan edistää erillisten tutkimushankkeiden (katso esim. Go4Baltic [<http://projects.au.dk/go4baltic/>]) rinnalla tai sijaan kiinteää yksikköä, joka selvittäisi ympäristöpolitiikan uusien säännösten vaikutusta hallinnollisten sektorien yli, hieman Yhdysvaltojen OIRAn tapaan.

7 LOPPUKÄYTTÄJIEN NÄKEMYKSET MALLIEN KÄYTÖSTÄ

7.1 Mallien kysyntä ja tarjonta

Mallien tehokas käyttö vesien- ja merenhoidon suunnittelussa on ollut vuosien ajan melko kehittämätöntä. Toisaalta ei mallien kehittämiselläkään ole vielä pitkiä perinteitä. Niinpä on melko luonnollista että vesistö- ja kuormitusmallien pääasialliset käyttäjät ovat itse olleet mallien kehittäjiä. Toisaalta mallien käyttöä koskevat vaatavuustasot monimutkaisempien mallien kohdalla on rajannut potentiaalisia mallien tarvisijoita pois niiden käytön ulkopuolelle. Sen vuoksi aiemmalla vesien- ja merenhoidon suunnittelukierroksella tarjottiin ns. keskitettyjä mallipalveluita suunnittelijoiden avuksi.

Toimi-hankkeessa järjestettiin kolme työpajaa, joissa käytiin perusteellisia keskusteluita mallitarjonnan ja kysynnän välisistä esteistä. Työpajoihin osallistui paikallisia ja alueellisen vesien- ja merenhoidon suunnittelijoita, neuvoja ja maataloustuottajajärjestön toimijoita sekä korkeakoulujen ja tutkimuslaitosten henkilöstöä. Työpajatyöskentely keskittyi paljolti kuvassa 18 esitetyn mallityökalujen tarjonnan ja kysynnän kohtaamiseen.



Kuva 18. Mallityökalupakin kehittäminen sekä tarjonnan ja käyttötarpeen kohtaaminen

Minkä vesiensuojelumenetelmien vaikutuksia olisi tarpeen mallintaa?

Tavanomaisimpia vesiensuojelutoimenpiteitä maa- ja metsätaloudessa on mallinnettu vain joillakin harvoilla kohdealueilla, mutta ei kattavasti koko maatalousmaalla. Syväisemmin haluttaisiin tarkastella lannan käyttöä, sen alueellisen keskittymisen merkitystä, ilmastonmuutoksen vaikutusta ravinnehuutoumiin, maan kasvukunnon parantamisen vaikutusta sekä

orgaanisen aineksen lisäyksen vaikutuksia ravinnehuuhtoumiin sekä biologista typen sidontaa.

Erityisen tavoitteellisena pidettiin ajattelutavan muutosta elintarvikeketjusta elintarvikesykliin. Ravinteiden kierron kannalta tämä olisi mallinnettavissa, mutta erityisenä ongelmana on tarkastelun laajuus, tarvittavan tiedon heikko tai vaikea saatavuus sekä työläs vaihtoehtoisten ympäristötoimenpiteiden soveltuvuuden tapauskohtainen tarkastelu. Uutena ajatuksena tavanomaisten ympäristötoimenpiteiden täydentäjänä tai integroijana tuotannon ja vesistöjen väliin esitettiin tuotannollisen infran uudistamista. Käytännössä tämä tarkoittaa kasvavaa säätösalaajitusta, mutta ennen kaikkea peruskuivatusuomien muuttamista perkaustarpeen tahdissa ns. luonnonmukaisiksi, poikkileikkaukseltaan 2-taso uomiksi. Uutta tutkimustietoa tämän kaltaisten kuivatusalueiden/valuma-alueiden merkityksestä tarvittaisiin joko mallien avulla tai kokeellisena tutkimuksena. Uutta näkökulmaa toisi edellä kuvattu uudistettu toimintatapa malli viljelijöiden välillä sekä vesistökuivatusuomien vaikutusten mallintaminen yhteismitallisesti valuma-alueiden kanssa. Hyvin tarpeellisena nähtiin tutkimuslaitosten välinen yhteistyö näiden kysymysten ratkaisemiseksi.

7.2 Mallityökalujen käyttöpotentiaali loppukäyttäjän näkökulmasta

Mitä mallien tuloksilta odotetaan ja mitä niiltä voi odottaa?

Mallisovelluksilta odotetaan konkreettisia vastauksia toimenpiteiden soveltuvuudesta, toimivuudesta ja tehokkuudesta, ts. miten ravinnekuormitusta erityisesti fosforin kuormitusta voidaan alentaa ja tuloksista saada tukea vesiensuojelun edistämiseen ja toimenpiteiden suunnitteluun. Toisaalta tietoa halutaan myös vaihtoehtoisista ratkaisuista sekä erilaisten toimenpidekokonaisuuksien vaikutuksista. Yhden ratkaisun tai mallituloksen sijaan halutaan saada monipuolisempi käsitys tarkasteltavalla valuma-alueella tehtävien toimenpiteiden vaikutuksista, käytännössä siis enemmän vertailuja erilaisten ratkaisujen välille. Tämä edellyttäisi käytännössä useiden erilaisten vaihtoehtoisten toimenpideskenaarioiden tarkastelua. Keskeinen osa tulosten siirtämisessä käytännön toimenpiteiksi on tulosten tulkinta, mikä tai mitkä toimenpiteet lopulta kussakin tapauksessa leikkaavat merkittäväällä tavalla ravinnekuormitusta ja mitkä toimenpiteet voidaan katsoa lisäarvoa tuottaviksi täydentäviksi toimenpiteiksi (taulukko 6).

Mallitulosten tulkinnassa keskeistä on tulosten tarkkuus ja luotettavuus. Esitettiin käsitys, että mallitulokset lähenisivät mitattua tulosta mallien kehittyessä. Kuitenkin koko ajan on pidettävä mielessä, että mallitulos ei ole mitattu tulos ja yksittäisessä tapauksessa ei edes pystyttäisi sanomaan kuinka lähellä mallitulos on todellista tulosta ilman kokeellista havaintoa. Niinpä useimmiten mallituloksia arvioitaessa puhutaankin suuruusluokista ja toimenpiteiden vaikutusten suunnasta, jossa tarkastelussa epävarmuuden suuruus on keskeinen tarkastelun osa. Toisaalta esitettiin myös näkemys, että käytännön vesiensuojelutyössä esim. vesiensuojeluyhdistyksissä olisi tarvetta pienemmän mittakaavan (valuma-alueitaso) tarkasteluille. Tarvitaan halpoja malleja, joita voitaisiin helposti käyttää valuma-alueitasolla. Tällöin hyväksytään mallitulos, joka ei ole niin tarkka, eli keskimääräinen tieto olisi riittävää.

Taulukko 6. Työpajassa käsitellyjä kysymyksiä ja tärkeimpiä kehittämissuhteita

Kysymykset	Malleille asetettuja vaatimuksia	Mihin tarkoitukseen ja miten
Mitä malleilta odotetaan ja mikä on malleissa tarpeellista	<ul style="list-style-type: none"> - tarkkuutta ja luotettavuutta - monipuolisuutta ja laaja-alaisuutta - ennakoitavuutta 	<ul style="list-style-type: none"> - P-kuormituksen laskentaan - skenaarioiden laskentaan - tulisi olla helppokäyttöisiä
Miten mallien käyttöä tulisi edistää	<ul style="list-style-type: none"> - lisäämällä luotettavuutta - soveltamalla laajasti käytäntöön - ketjuttamalla malleja 	<ul style="list-style-type: none"> - lisäämällä avoimuutta ja läpinäkyvyyttä - ottamalla loppukäyttäjät mukaan mallityöhön
Miten mallien tuloksia kannattaisi hyödyntää	<ul style="list-style-type: none"> - yhdistämällä tila ja valuma-alueen tarkasteluita - parantamalla tulosten tulkintaa käytännön toimiksi 	<ul style="list-style-type: none"> - vesienhoidon suunnitteluun - vaikutusarvioihin - enemmän tilatasolla ja valuma-alueella
Miten kiertotaloutta edistettäisiin	<ul style="list-style-type: none"> - lannan arvostuksen lisääminen - lantateknologian kehittäminen - lannan ympäristövaikutusten laskennan kehittäminen 	<ul style="list-style-type: none"> - lantaurakointi - neuvonnan lisääminen - lannan kytkeminen malleihin
Kumpaa suositaan, mallien keskittettyä vai hajautettua käyttöä	<ul style="list-style-type: none"> - molempia tarvitaan - vaihtoehtoisia palveluita 	<ul style="list-style-type: none"> - yhteistyö loppukäyttäjien kanssa - laskenta ja tulkinta

Mallitulosten tulkinta ja luotettavuusvaatimus korostuvat maataloudessa kun arvioidaan pelto-lohkoilla tai peltojen läheisyydessä tehtävien toimenpiteiden kumulatiivisia vaikutuksia laajemmalla valuma-alueella. Tässä mittakaava muuttuu lohko- ja valuma-alueeksi ja siten erilaisista virhelähteistä tulevien epävarmuustekijöiden vaikutukset kumuloituvat, jotka eivät välttämättä sisälly malleihin. Juuri eri skaaloissa tapahtuvien tarkasteluiden kannalta epävarmuuksien hahmottaminen on keskeistä. Mallien avulla on kuitenkin mahdollista yhdistää lohko- ja valuma-alueella tapahtuvat kuormitusilmiöt aina vesistöalueelle ja vesistövaikutuksiin saakka. Ilmastonmuutos tuo omat epävarmuustekijät niin kuormitusarvioiden luotettavuuteen kuin mallitulosten tulkintaan tulevien sääilmiöiden perustuessa ilmastomalleihin. Tästä huolimatta tai siitä johtuen esitettiin suurta tarvetta kuormitusmallien ennakoivalle käytölle.

Eri mittakaavoissa toimivien mallien ja prosessien ymmärtämistä tulisi kehittää. Pelkästään lopputulosten tarkastelu ei riitä vesien- ja merenhoidon suunnittelun perusteeksi. Toisaalta mallien käyttö keskittynyt tai hajautettuna täytyy ajoittaa ja mitoittaa oikein vesien- ja merenhoidon suunnittelun tarpeisiin. Nyt käytetään vain muutamia malleja. Lukuisampien mallien käytön edistämiseksi tarvitaan selkeät käyttöohjeet ja lisätukea mallityöhön.

7.3 Miten mallien käyttöä tulisi edistää

Työpajan keskeinen johtopäätös oli, että vaativat mallit tulisi jättää keskittettyyn käyttöön ja yksinkertaisemmat mallit tulisi ottaa laajaan hajautettuun käyttöön. Mallien dokumentointi on

tärkeää ja tulosten tulkintaa edellyttää ohjeistamista. Tarvitaan HELPDESK laajaan käyttöön. Keskitettyjä arviointeja tarvitaan vesien- ja merenhoidon intensiivisessä suunnitteluvaiheessa.

Tärkeiksi kiertotaloutta edistäviksi toimiksi työpajassa nostettiin lannan käytön hyötyjä ja arvoa korostava neuvonta, lanta logistiikan tehostaminen, ts. mitä viljelijän kannattaa tehdä itse ja mitä hankkia urakoitsijalta. Keskeisin lannankäytön este on lannan prosessointitekniikan puutteet. Tavoitteena tulee olla täydellinen prosessointi eri jakeisiin: kiintoaine, ravinteet, vesi. Tärkeänä nähtiin alueellisten win-win ratkaisujen löytäminen, jossa alueelliset toimijat (esim. lannan ja biomassan tuottajat ja käyttäjät) saadaan yhteen.

Jo aiemmin esitetty mallitulosten luotettavuuden parantaminen kehittämällä mm. tulosanalyysiä ja esittämällä todennäköisyyksiä tulosten vaikutuksista edistäisi mallien käyttöä. Erityisesti käytännön sovellukset malleista esim. viljelijöille, vesiensuojeluyhdistyksille ja valuma-alueetasolla lisäisi mallityökalujen käyttöä. Tämä edellyttäisi mallien helppokäyttöisyyttä, käytännöllistä käyttöliittymää ja asiakaslähtöisyyttä.

Erityisesti mallien yhdistäminen toisiinsa siten, että ravinnevirtoja ja niiden vaikutuksia voisi seurata lähteistään aina vesistöihin saakka, lisäisi mielenkiintoa mallien mahdollisuuksiin. Loppukäyttäjien mukana olo mallien kehitystyössä lisäisi heidän valmiuttaan mallien käyttöön. Toisaalta mallityökalujen tulisi olla hyvin ajoin käytettävissä mm. vesien- ja merenhoidon tarpeisiin. Malleja ja mallituloksia pitäisi tuoda suunniteluun porrastetusti prosessin vaiheiden mukaan, jolloin aikaa malleihin perehtymiseen ja niiden tulosten hyödyntämiseen olisi enemmän.

7.4 Mallipalvelujen saatavuus

TOIMI-hankkeen työpajojen tulosten, mallievaluointien, vesien- ja merenhoidon tarpeiden ja hankkeen ohjausryhmän kokousten sekä tämän hankkeen alkuperäisten tavoitteiden pohjalta päädyttiin siihen, että sopivimmat mallit eri tarpeisiin ja kohteisiin on saatavissa vain perustamalla tästä tarpeesta huolehtivan ja mallien kehityksestä vastaavan pysyväluontoisen ryhmän. Tämä on edelleen perusteltavissa sitä tärkeämmäksi, mitä enemmän malleja tulevaisuudessa integroidaan keskinäiseen käyttöön (esim. keskitetyt arvoinnit) vesien- ja merenhoidon suunnittelussa.

Ryhmän keskeiset tehtävät olisivat allokoida mallityötä useammille henkilöille, kehittää malleja valitun strategian pohjalta, läpivalaista mallien käyttömahdollisuuksia ja tuloksia, esittää tulosten epävarmuutta ja sen merkitystä, osallistua vesien ja merenhoidon eri vaiheiden toteutukseen, ohjeistaa ja tuottaa käsikirja helpoimpien mallien käyttäjille, ohjeistaa mallitulosten tulkintaa ja kehittää malleja valitun strategian pohjalta pitkällä aikavälillä. Tämän toteutumisen edellyttää riittäviä henkilöresursseja ryhmälle.

8 SAARISTOMEREN VALUMA-ALUEEN UUDET MALLISOVELLUKSET

8.1 Empiirinen eroosiomalli

Mallikuvaus

Tunnetuimmista eroosiomalleista Usle (Wischmeier ja Smith, 1978) ja Rusle (Renard ym. 1997) ovat luotu USA:ssa. Niiden pohjana ovat yli 10 000 koeruutuvuoden aineistojen tilastolliset analyysit. RUSLE2015 on Euroopan komission yhteistutkimuskeskuksessa (Joint Research Centre) Euroopan olosuhteisiin luotu paikkatietopohjainen malli. Malli perustuu Euroopassa koottuun mittausaineistoon (Panagos ym. 2015c) ja arvioi mallinnettavalta alueelta teoriassa poislähtevän kiintoaineen maksimimäärää (nettoeroosio). Suomessa RUSLE2015-mallia on evaluoitu ja sovitettu maatalousmailla boreaaliin olosuhteisiin (Lilja ym. 2017) ja pienessä määrin metsämailla.

Em. malliversioissa eroosio lasketaan viiden tekijän (parametrin) eli sadetekijän (R), maaperätekijän (K), pinnanmuototekijän (LS), kasvipeitteisyys ja viljelytekniikkatekijän (C) ja eroosion estämistekijän (P) tulona.

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

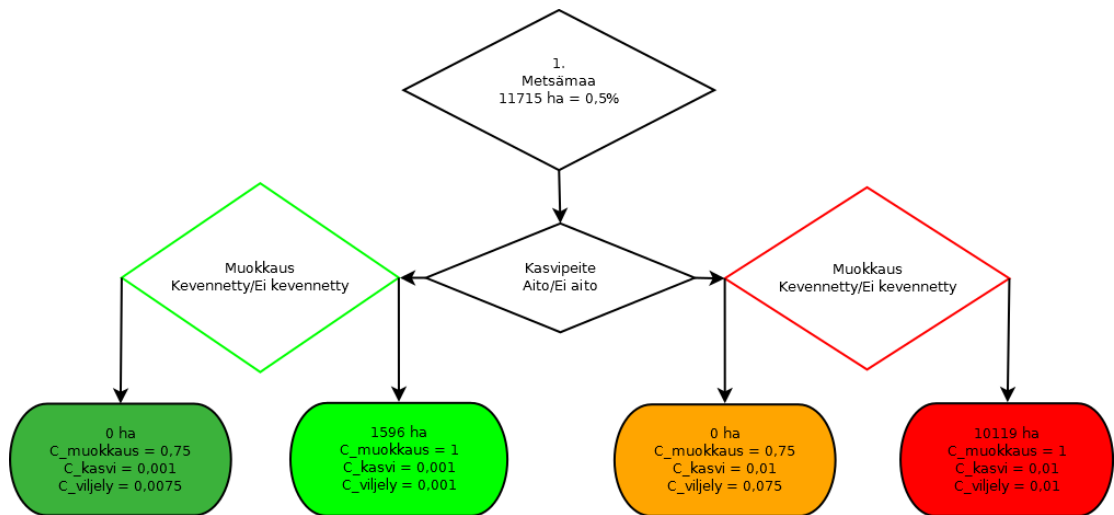
Sadetekijä R saadaan summaamalla yksittäisen sadetapahtuman sadepisaroiden liike-energian arvot pitkälle aikavälille ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ t}^{-1} \text{ v}^{-1}$). Eroosiota synnyttävän sateen vähimmäisintensiteetin tulisi olla Hudsonin (1971) mukaan 25 mm h^{-1} , mitä esim. Helsingissä on aiemmin esiintynyt vain viiden vuoden toistumisajalla (Kuusisto 1980). Ulénin ym. (2012) mukaan Pohjoismaisissa olosuhteissa sateiden pienen intensiteetin vuoksi eroosio jääkin melko vähäiseksi. Tutkimuksessa käytettiin JRC:n laskemaa 500 m:n hila-aineistoa Panagos ym. (2015a). Aineiston perusteella sadetekijä on Suomessa keskimäärin $273 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ t}^{-1} \text{ v}^{-1}$ vuosisadannan ollessa 660 mm.

Maaperätekijä K kuvaa maan omaa taipumusta eroosioon ($\text{t ha MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). Suure on paikallinen ja riippuu maan eloperäisen aineksen määrästä, pintarakenteesta, vedenjohtokyvystä ja profiilin rakenteesta. Arvot vaihtelevat välillä 0.09 - 0.001 $\text{t ha MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ (Renard ym. 1997). Mallissa K:n arvon ei oleteta riippuvan viljelytekniikasta eikä vuodenaikaisvaihtelua (kastus-kuivumis- tai jäätymis-sulamis-ilmiöitä) oteta huomioon. Tässä tutkimuksessa aineistona käytettiin Suomen maannostietokantaa (Lilja ym. 2007). K-arvot määritettiin maannostietokannan kautta soveltaen Icecream mallin Usle K-arvoja (Rekolainen ym. 1993) savimaita lukuun ottamatta. Savimailla (Stagnosols) käytettiin referenssinä puolalasta kenttäkoetta (Świąchowicz ym. 2012).

Pinnanmuototekijässä LS yhdistyy rinteen pituus ja jyrkkyys. Rinteen pituus alkaa pisteestä, missä vesi alkaa virrata rinnettä alaspäin ja loppuu kertymispisteeseen (deposition point). Veden kerääntymisalueen (contributing area) määrittäminen korkeusmallista (DEM) on olennainen monille hydrologisille malleille. Suomessa sovelletussa versiossa käytettiin 2m:n korkeusmallia ja monisuuntaista virtailgoritmia FD8 (Quinn ym. 1991). Algoritmin valinta näkyy eroosio karttojen ulkoasussa, jossa norojen välinen alue korostuu noroja enemmän. Virtai-

lualgoritmin lisäksi LS-tekijän laskemisessa voidaan huomioida rinteiden koveruus ja kupuruus (Mitasova ym. 1996). Muokkaussuunnan vaikutus virtailuun voidaan laskea anisotrooppisen virtailualgoritmin avulla (Hyväluoma ym. 2013). Suomen oloissa LS on toiseksi merkittävin tekijä mallissa.

Maanpeitetekijän C lukuarvo kuvaa maanpinnan suhteellista eroosiota paljaan maan ja täysin kasvipeitteisen maan välillä. Se on mallin merkittävin tekijä. Siihen vaikuttavat viljelykasvi, muokkauskäytännöt, sadonkorjuun kasvijäänteet ja suojakasvit. Mavin aineistoja voidaan hyödyntää C-tekijän arvioimisessa aiempaa paremmin. Vuodesta 2016 lähtien on saatavissa kasvulohkokuvat, joissa on kasvilajin ja lajikkeen lisäksi tietoa muokkaustavasta ja talviaikaisesta kasvipeitteestä (kuva 19). C-tekijän arvioimista varten koko maan kattava aineisto jaettiin 8-luokkaan (taulukko 7). C_maksimissa on oletettu, että jos kasvusto ei ole luokiteltu aito-kasvityypiksi, se on päätetty kyntämiseen verrattavalla menetelmällä. Päätäminen on voitu tehdä myös pelkästään kemiallisesti, mutta sitä ei voida nykyisestä aineistosta selvittää. Metsämaan tyyppisillä lohkoilla käytettiin Freshabit projektissa RUSLE2015:lle määritettyjä C-arvoja.



Kuva 19. Kasvipeitteen luokittelu C-tekijäksi Mavin 2016 aineiston perusteella.

Taulukko 7. Esimerkkejä C-tekijän arvioinnista Mavin kasvulohkoaineistosta.

Kasvipeite	C_minimi (kevennetty muokkaus)	C_vallitseva (kaikki muokkaustyytit)	C_maksimi (oletuskyntö)
1) Metsämaan tyyppiset	0,0075	0,01	0,01
2) Monivuotiset nurmet	0,0287	0,0382	0,20
3) 1v-nurmet	0,0287	0,20	0,20
4) Syysviljat	0,055	0,055	0,055
5) Sänget (kevätkylvöiset)	0,065	0,065	0,065
6) Kevätviljat (syysmuokkaus)	0,15	0,20	0,20
7) Vihannekset ja juurekset	0,1105	0,34	0,34
8) Avokesanto		0,50	

P-tekijällä tarkoitetaan eroosiota estäviä toimenpiteitä. Näitä ovat esim. korkeuskäyrien suunnainen muokkaus, suojavyöhykkeet ja -kaistat sekä salaojitus. Jos mitään toimenpiteitä ei ole tehty tai tietoa niistä ei ole, käytetään oletusarvoa 1. Panagos ym. (2015b) mallinsivat P-tekijän vaikutuksia Euroopan tasolla. Heidän tutkimuksessaan keskimääräinen P-tekijä Suomessa maatalousmailla oli 0.9702. Näin suojelutoimenpiteiden vaikutus koko maan tasolla olisi varsin vähäinen, vajaa 3%. Matalimpia P-arvoja puolestaan saivat metsälaitumet (0.5). Tässä tutkimuksessa P-arvoja ei otettu huomioon, koska esim. suojavyöhykkeiden tehon määrittäminen lohkotasolla on vielä epäluotettavaa.

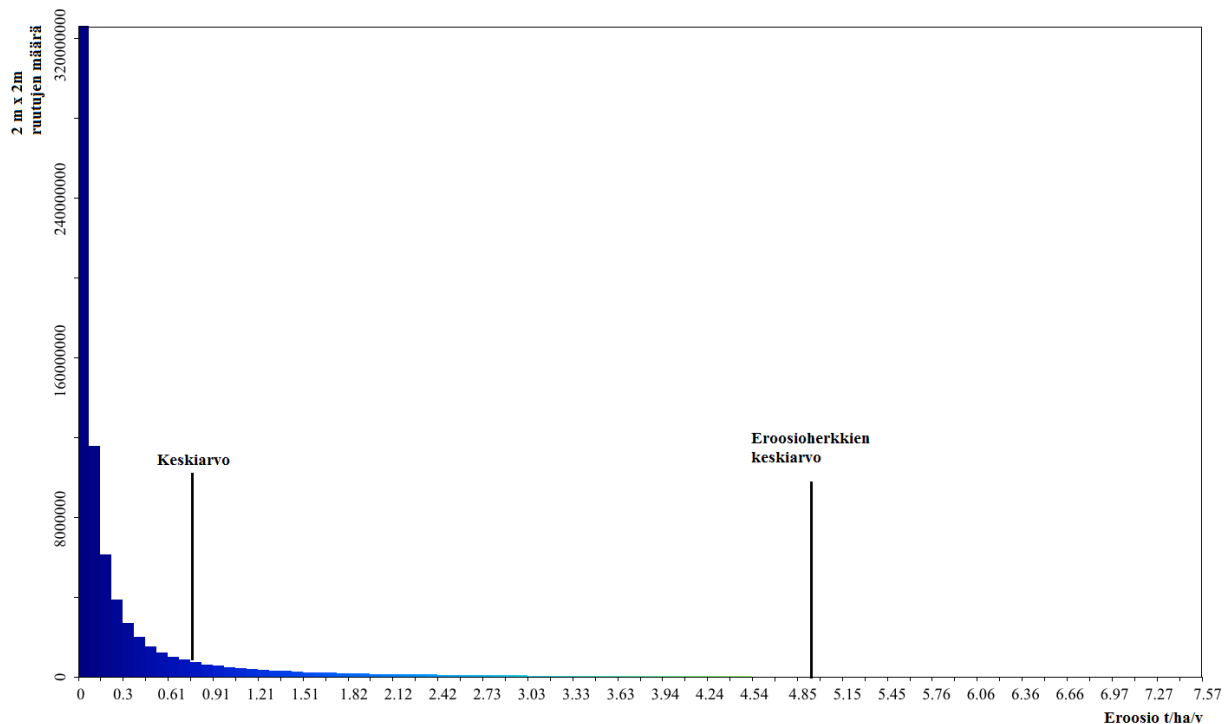
Mallin tuottama arvio Suomen koko peltoalalla tapahtuvasta keskimääräisestä eroosiosta vuoden 2010 toteutuneilla ympäristötoimenpiteillä oli $0,46 \text{ t ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ ja metsämailla ($0,006 \text{ tn ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$.) VIHMA-työkalun (Puustinen ym. 2010) mukaan peltomaiden keskimääräinen eroosio vastaavassa tilanteessa (samat viljelykäyttötiedot ja ympäristötoimenpiteet) oli $0,485 \text{ t ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ (julkaisematon tieto). Mansikkaniemi (1982) arvioi eroosion olevan lohkotasolla jopa $7 \text{ t ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$. Kansainvälisesti kriittisenä rajana maaperän tuottavuuden kannalta pidetään $1 \text{ t ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$, mikä vastaa noin yhtä senttimetriä hehtaarilla vuosisadassa (Montgomery, 2007).

Tulokset Aura- ja Paimionjoen valuma-alueilla

Aurajoen ja Paimionjoen valuma-alueilla RUSLE2015-mallia testattiin 24 499 kasvulohkolla ja yhteensä 74 123 ha:n alalla vuoden 2016 viljelytilanteessa. Aurajoella lohkojen keskimääräinen eroosio oli $0,753 \text{ t ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ ja Paimionjoella $0,735 \text{ t ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$. Yleisin kasvi oli kevätvehnä. Ns. aitokasvillisuuden (kevääseen asti säilytettävä nurmi, kerääjäkasvit ja ruokohelppi, monivuotiset puutarhakasvit ja kumina, viljan, öljykasvien, tattarin, siemenmausteiden ja kuitupellavan sekä härkäpavun, herneen ja lupiinin sänki ja suorakylvö sänkeen, syyskylvöiset kasvit, keväällä korjattava pellava ja hamppu, sänki- ja viherkesanto, saneerauskasvusto, öljyretikka, valkosinappi) peitossa oli 49% koko alasta. Eroosioherkillä lohkoilla aitokasvillisuutta oli selvästi vähemmän eli 20%. Eroosioherkällä tarkoitetaan lohkoa, jolla eroosion määrä on yli $1 \text{ t ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$. Absoluuttisesti eroosioherkällä alueella tarkoitetaan sellaista $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ (4 m^2) ruutua, jossa eroosion määrä on yli $1 \text{ t ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$. Kun tarkastellaan absoluuttisesti eroosioherkkien lohkojen osuutta eroosiosta, niin havaitaan n. 13% alan tuottavan 81% kokonaiseroosiosta. Absoluuttisesti eroosioherkillä alueilla eroosion keskiarvo oli $4,76 \text{ t ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ (taulukko 8). Kuvassa 19 on esitetty tällainen vinoutunut jakauma Aurajoelta.

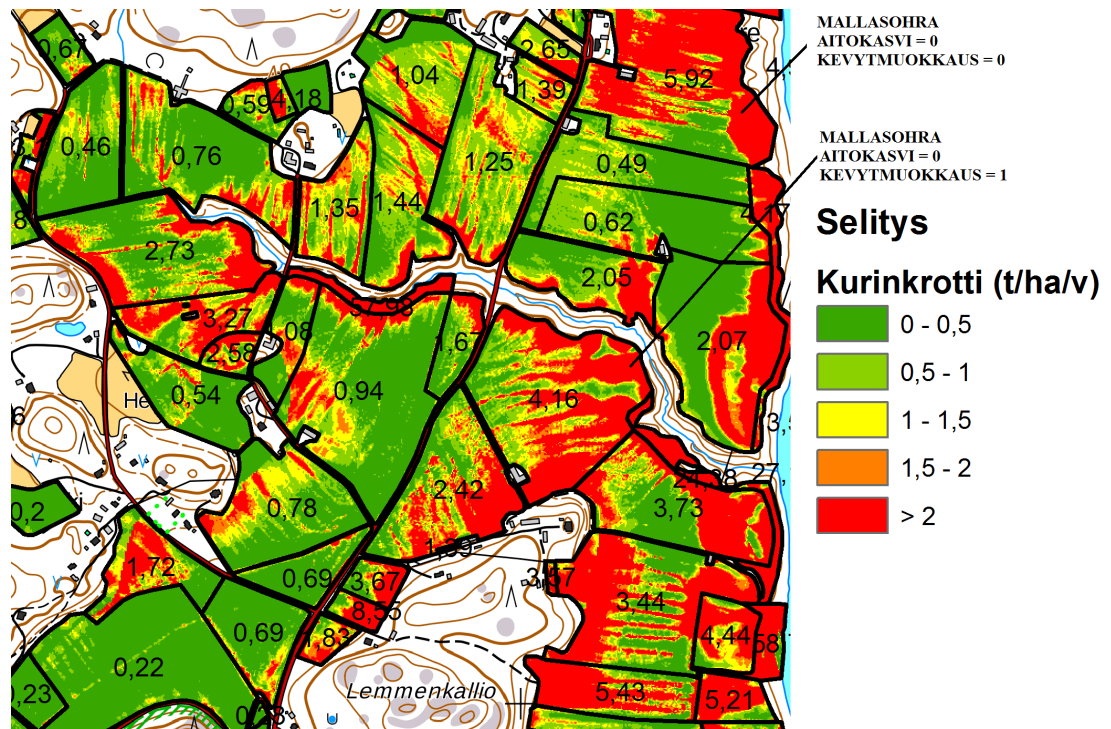
Taulukko 8. RUSLE-mallin tuloksia Aurajoen ja Paimionjoen alueelta.

Aurajoki		Paimionjoki		Yhteensä/ keskiarvo
Kasvulochoja (kpl)	11 107	Kasvulochoja kpl	13 392	24 499
Eroosio (t/ha/v)	0,753	Eroosio (t/ha/v)	0,735	744
Pinta-ala (ha)	30 003	Pinta-ala (ha)	44 120	74 123
Lohkon keskikoko (ha)	2,7	Lohkon keskikoko (ha)	3,2	3,0
Yleisin kasvilaji	Kevätvehnä	Yleisin kasvilaji	Kevätvehnä	Kevätvehnä
Aitokasvien pinta-ala (ha)	13 769	Aitokasvien pa (ha)	22 408	36 177
Abs.Eroosioherkät pa.(ha)	3 709	Abs.Eroosioherkät pa.(ha)	5 673	9 381
Abs.Eroosioherkät (t/ha/v)	4,92	Abs.Eroosioherkät (t/ha/v)	4,60	4,76
%-aitokasveja	46%	%-aitokasveja	51%	49%
%-aitokasveja abs.eroosioherkät	20%	%-aitokasveja	20%	20%
%- abs.eroosioherkkiä (ala)	12%	%- abs.eroosioherkkiä (ala)	13%	13%
%-abs.eroosioherkät eroosiomäärästä	81%	%-abs.eroosioherkät eroosiomäärästä	81%	81%



Kuva 20. Tyypillinen voimakkaasti oikealle vino ns. Pareto-jakauma Aurajoen lohkojen eroosiosta.

Tarkasteltaessa tarkemmin Mansikkaniemen 1983 tutkimaa Kurinkrotin aluetta Paimionjoella, havaitaan hänen tutkimuksessaan ilmoittamien eroosioarvojen ($n. 4 \text{ t ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$) olevan mallin mukaan mahdollisia esim. tavanomaisesti viljellyillä mallasohrapelloilla (kuva 21).



Kuva 21. Yksityiskohtaisia eroosiotuloksia tuloksia Kurinkrotin alueelta.

Johtopäätökset

Eurooppalainen RUSLE2015 malli käyttää RUSLE:n periaatteita, mutta sen kehitys on perustunut kaukokartoitusaineistoon kenttämittausten sijaan. Alkuperäinen USLE ja sen seuraaja RUSLE taas kehitettiin laajojen kenttäkokeiden perusteella. Suomalaisia koekenttiä on vain muutamia ja aikasarjatkin ovat melko lyhyitä. Mansikkaniemen (1982) mukaan kiintoaineskuormat vaihtelevat Suomessa samallakin alueella vuodesta toiseen suuresti. Sateisena vuonna saattaa Lounais-Suomen savipitoisilta peltoalueilta erodoitua jopa $6,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$, kun samalla alueella kuivempana vuonna kiintoaineskuorma voi jäädä alle $1,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$.

RUSLE2015-malli yhdistettynä parhaaseen saatavilla olevaan kansalliseen tietoon voi tuottaa realistisia arvioita eroosiosta boreaalisissa olosuhteissa maatalousmailta koeruu- tutasolle. Suurteholaskentatekniikan avulla mallin tulosten päivittäminen käy nopeasti. Tuloksissa jakaumat ovat selvästi oikealle vinoja. Tämä johtuu ennen kaikkea pinnanmuoto- tekijästä LS. Eroosioaineksen lähtiessä kulkeutumaan alas rinnettä (eroosion spatiaalinen mallintaminen) jakauma vinoutuu positiivisesti kaikilla skaaloilla (koekentän ruudusta valta- kunnan tasolle). Saman ilmiön havaitsivat Euroopan tasolla (Bosco ym. 2015). Tällainen ja- kauma merkitsee sitä, että jakauman ”hännän” leikkaaminen (keskittymällä eroosioherkempiin lohkoihin/kuvioihin ja jopa niiden osiin) kohdennetuilla toimenpiteillä olisi vesiensuojelun kan- nalta erityisen hyödyllistä.

RUSLE2015-mallin eroosioarvioita voidaan ensin selittää sadetekijällä R. Kun se on kunnos- sa, suurta yli ja aliarviointia ei yleensä tule. Suomessa sadepisaroiden aiheuttama maahiuk- kasten irtoaminen on melko vähäistä ja R-tekijä ei näin täysin voi selittää hiukkasten irtoamis- ta erityisesti savimaalla. RUSLE2015:n R-arvot vaikuttavat kuitenkin olevan oikeansuuntaisia. Oletamme, että maaperätekijä K voi vaihdella suuresti paikallisesti. Kuitenkin maaperätekijäl- lä on vähemmän vaikutusta tuloksiin kuin C, LS ja R-tekijöillä.

Laserkeilauspohjaiset korkeusmallit voivat esittää ihmisen tekemiä maanmuotoja (esim. oja), joiden kaltevuudet ovat 1:3 - 1:2 (36 % - 100 %) ja siten ylittävät mallin LS-tekijälle määrittelyn maksimin. Kaikki korkeusmallista laskettavat johdannaiset ovat sen erotuskyvystä riippuvaisia ja ongelma korostuu toisen asteen johdannaisessa (LS).

C-tekijällä on herkkyyksanalyysien mukaan suurin vaikutus lopputulokseen ja muokkaus/kasvipeitteisyys on käytännössä tärkein eroosion hallintaa koskeva tekijä. C-tekijä määrittämisessä Mavin tietojen oikeellisuus ja kattavuus ovat avainasemassa. Silti joudutaan tekemään paljon oletuksia, esim. kasvipeitteen spatiaalista vaihtelua ei voida huomioida ja nyt käytetty luokittelu on vasta alustava. Luokittelussa on huomioitu tulokset, joiden mukaan pohjoisissa olosuhteissa nurmella ja suorakylvöllä olisi jonkin verran vähemmän eroosiolta suojaavaa vaikutusta kuin RUSLE2015:ssa oletetaan. Nykyiset RUSLE2015:n C-arvot näyttävät pääosin oikeansuuntaisilta, mutta lisätutkimuksia tarvitaan paljaammilla mailla.

P-tekijä on kaikkein epävarmin RUSLE tyyppisissä malleissa ja tietämys esim. suojakaistojen ja vyöhykkeiden vaikutuksesta eroosioon on rajallinen.

Mallin yksinkertaisuus mahdollistaa helpon ja tehokkaan eroosiokarttojen tuotannon ja käytön. Vaikka sen antamat laadulliset arviot voivat usein olla vain suuntaa antavia, ilman määrällisiä arvioita esim. ohjauspolitiikan vaikutuksia ei voida arvioida.

8.2 LLR ja ominaiskuormitusmalli

SYKEssä kehitetyllä, erityisesti vesienhoidon suunnitteluun räätälöidyllä Lake Load Response (LLR) –mallilla voidaan laskea järvivesimuodostumaan kohdistuvan ulkoisen kuormituksen vaikutus ja hyvään tilaan tarvittava kuormituksen vähennystarve (Kotamäki ym. 2015). Ulkoisen kuormituksen ja sen muutoksen vaikutus arvioidaan vesimuodostuman kokonaisravinnepitoisuuden ja a-klorofyllipitoisuuksien perusteella. LLR tuottaa kunkin tilaluokan todennäköisyyden annetuilla kuormituksilla ja todennäköisyyksien muuttumisen kuormituksen muuttuessa.

LLR-mallia on käytetty vesienhoidon toimenpideohjelmien suunnittelun tukena aikaisemmillä luokittelukierroksilla yli 40 vesimuodostumalle (järvet+estuaarit) 11 ELY-keskuksessa. Lisäksi LLR:ää on käytetty vesiensuojeluyhdistysten kunnostushankkeissa (esim. Kymijoen vesi- ja ympäristö ry, 10 alueen järveä) ja vesistövaikutusten arviointiin ja erilaisten päästöskenarioiden testaamiseen (Vihdin jätevesihuollon YVA, 3 järveä, Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry).

Mallin käytettävyys

Käyttäjiltä saadun palautteen mukaan tällaiselle mallityökalulle on tarvetta ja LLR:n tuottamia tuloksia voidaan hyödyntää järvien hoitosuunnittelun pohjana. Lisäksi LLR toimii hyvin erityyppisille muodostumille (sisäkuormitteisia, lyhytviipymäisiä, H/T-rajalla olevia jne.). Mallin vaatimat syöttötiedot ovat melko helposti kerättävissä eikä LLR-mallin ajaminen ole laskennallisesti raskasta. Näin ollen tuloksia saadaan nopeasti useille vesimuodostumille.

LLR-työkalu on vapaasti käytettävissä internetin kautta (www.vesinetti.fi ja <http://lakestate.vyh.fi/>). Käytännössä malliajot on tehty edelleen keskitetysti SYKEssä. LLR on pyritty tekemään mahdollisimman helpoksi ja käyttäjäystävälliseksi, mutta sen käyttö ei ilman tukea välttämättä onnistu. Lisäksi Vesinetti-versiossa on havaittu teknisiä ongelmia ja sen päivittäminen on työlästä.

LLR:ää on kritisoitu siitä, että mallinnustuloksissa näkyy usein suurta epävarmuutta. Epävarmuus kuitenkin johtuu yleensä epäedustavasta syöttödatasta ja luonnonilmiöihin liittyvästä luonnollisesta vaihtelusta ja satunnaisuudesta. Itse asiassa LLR:n etu on se, että epävarmuuden suuruus pystytään arvioimaan, ja näin ollen siihen voidaan vaikuttaa ja se voidaan ottaa huomioon päätöksenteossa.

Kehitystarve

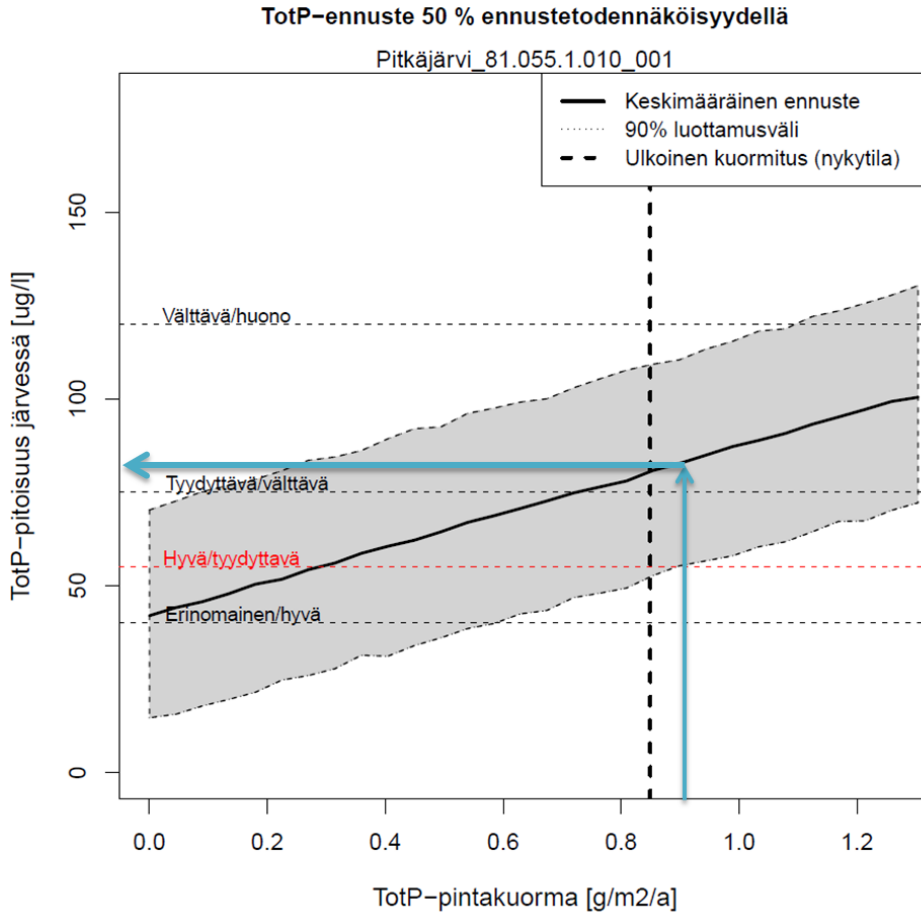
Jatkossa LLR:ään tullaan lisäämään a-klorofyllin (ja kokonaisravinteiden) lisäksi muitakin ekologisen tilan indikaattoreita. Kasviplanktonlaatu- ja kasvillisuusmalliin liitetään haitallisten sinilevien prosenttiosuus ja TPI (koostumusindeksi). Näihin tekijöihin liittyvien ravinteiden lisäksi ainakin lämpötilan vaikutus tulisi ottaa mallissa huomioon, jolloin myös ilmaston lämpenemisen vaikutusta järvien keskimääräisiin sinileväosuuksiin voidaan tarkastella. Tärkeä kehityskohde on myös saada mallin käyttö entistä helpommaksi joko kehittämällä sen käyttöliittymää tai kehittämällä mallia entistä operatiivisempaan suuntaan.

LLR :n toimivuus eri kuormitus- ja pitoisuus lähtötiedolla

LLR:n tulosten hyvyys riippuu hyvin paljon luotettavasta kuormituksen arvioinnista. Paras vaihtoehto olisi, jos vesimuodostumat ainetaseet olisi luotettavasti mitattu ja kuormitusarvot perustuisivat riittäviin havaintoihin. Käytännössä kuormitustietoa on kuitenkin riittävästi vain kourallisesta vesimuodostumista. Näin ollen LLR:n syöttötietoina käytetään tyypillisesti VEMALA-mallin ennusteita vesimuodostumaan tulevasta kuormituksesta ja lähtevästä virtaamasta.

TOIMI-hankkeessa pyrittiin tarkastelemaan, voisiko myös ominaiskuormitus- ja pitoisuus mallien (Röman ym. 2017; Rantakari ym. 2004 & ryhmittely) tuottamia tietoja käyttää syöttötietona, kun LLR:llä arvioidaan vesimuodostuman kuormitusvaikutuksia ja tilaluokkaa. Tarkastelua varten kerättiin LLR-mallin tuottamat tulokset 27 erityyppiselle järvivesimuodostumalle. Tuloksista poimittiin LLR:ssä syöttötietona käytetty VEMALASTA saatu keskimääräinen kuormitus (vuosien 1990-2014 keskiarvo) ja LLR-mallin ennustama pitoisuus tällä kuormituksella. VEMALAN kuormitusta ja LLR:n ennustamaa pitoisuutta verrattiin ominaiskuormitusmallilla saatuihin vastaaviin lukuihin.

Tarkastellaan esimerkkinä Pitkäjärven kokonaisfosforin kuormitus- ja pitoisuusvertailuja. Alla olevassa kuvassa (kuva 22) on esitetty Keskitetyt arvoinnit –hankkeessa aikaisemmin tehty LLR-tulos Pitkäjärvelle. Syöttötietona käytettiin VEMALA-mallin vuosittaisia kuormituksia ja lähtövirtaamia vuosilta 1990-2014. Pystysuora katkoviiva kuvaa koko jakson keskimääräistä kuormitusta, jonka malli olettaa kuvaavan vesimuodostuman yleistä pitkän ajan kuormitustasoa ($0,85 \text{ g m}^{-2} \text{ v}^{-1}$). Tällä kuormitustasolla Pitkäjärven fosforin tilaluokka on LLR-mallin mukaan välttävä (pitoisuusennuste 81 ug l^{-1}), joka vastaa myös järvestä tehtyä virallista luokitusta 2. luokittelujaksolla. Sinisillä nuolilla kuvaan on merkitty kuormitusyhtälöillä saatu kuormitusarvio ($0,87 \text{ g m}^{-2} \text{ v}^{-1}$) ja pitoisuusennuste ($87,5 \text{ ug l}^{-1}$). Tilaluokka on edelleen välttävä. Pitkäjärven kuormitus- ja pitoisuusennuste vastaavat siis hyvin toisiaan riippumatta siitä, onko arvio tehty VEMALA-mallilla vai kuormitusyhtälöillä.



Kuva 22. Esimerkkikuva mallien vertailusta. Pystysuora katkoviiva on LLR-mallin syöttötietona käytetty VEMALAn tuottama keskimääräinen fosforikuormitus ja sininen pystysuora nuoli kuvaa vastaavaa kuormitusta ominaiskuormitusmallilla laskettuna. LLR:n keskimääräinen pitoisuusennuste katsotaan VEMALA-kuormituksen ja ennustekäyrän leikkauskohdasta (y-akselilta). Sininen vaakanuoli kuvaa vastaavaa yhtälöllä laskettu pitoisuutta.

Tarkastelussa pyrittiin lisäksi löytämään mahdollisia selittäviä tekijöitä sekä sellaisille tapauksille, joissa mallien tulokset vastaavat hyvin toisiaan että sellaisille, joissa tulokset ovat hyvin kaukana toisistaan. Taustatietona käytettiin vesimuodostuman tyyppiä, sekä erikseen tyyppiominaisuuksia, kuten järven koko (pinta-ala, keskisyvyys), väriluku ja sähkönjohtavuus. Kuormien vertailussa taustatietona käytettiin myös valuma-alueen pelto- ja järviprosenttia.

Vertailut

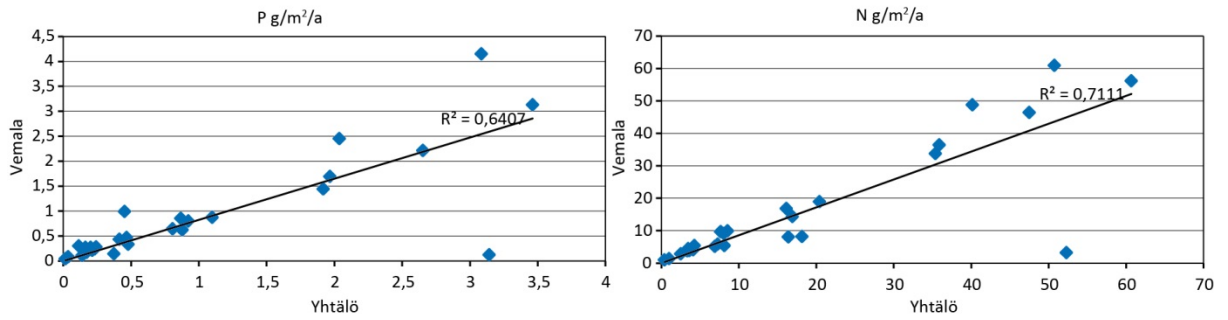
Kaikille tarkastelussa mukana olleille vesimuodostumille taulukoitiin sekä VEMALAn että kuormitusyhtälöiden tuottama keskimääräinen fosfori- ja typpikuormitus sekä LLR-mallin ja yhtälöiden tuottama pitoisuusennuste (Taulukko 9).

Taulukko 9. Kuormitusyhtälöiden ja VEMALA-mallin tuottamat fosfori- ja typpikuormat ($\text{g m}^{-2} \text{v}^{-1}$) sekä LLR-mallin ja yhtälöiden tuottamat fosfori- ja typpiennusteet (ug l^{-1}) eri vesimuodostumille.

Vesi- muodostuma	P-kuorma yhtälö $\text{g m}^{-2} \text{v}^{-1}$	P-kuorma Vemala $\text{g m}^{-2} \text{v}^{-1}$	N-kuorma yhtälö $\text{g m}^{-2} \text{v}^{-1}$	N-kuorma Vemala $\text{g m}^{-2} \text{v}^{-1}$	P-pit. yhtälö ug l^{-1}	P-pit. LLR ug l^{-1}	N-pit. yhtälö ug l^{-1}	N-pit. LLR ug l^{-1}
Kiljanjärvi	0,92	0,80	16,94	14,36	38,66	58	763,52	766
Ahmasjärvi	0,16	0,27	3,35	3,79	52,88	81	1110,11	1071
Tyräjärvi	0,04	0,08	1,00	1,34	31,37	22	560,88	478
Haapajärvi	1,97	1,69	35,40	33,78	67,03	77	1106,82	1017
Onkivesi	1,10	0,87	20,45	18,96	63,23	53	1112,32	923
Kiuruvesi	2,65	2,21	47,52	46,43	41,74	90	803,85	1050
Pitkajärvi	0,87	0,85	16,42	8,04	87,50	81	1124,63	708
Karhujärvi	3,46	3,13	60,70	56,16	73,49	75	1177,04	1021
Enäjärvi	0,20	0,27	3,46	4,49	71,33	105	1216,99	1190
Valvatus	0,88	0,62	16,16	16,8	39,77	42	861,58	954
Simpelejärvi, Lahdenpohja	3,14	0,12	52,32	3,23	76,99	15	859,87	392
Iso-Herttu	0,14	0,11	2,50	2,88	58,46	44	1183,28	927
Palokkajärvi	1,92	1,44	40,18	48,78	38,91	33	703,49	713
Kyyjärvi	0,41	0,43	8,56	9,95	40,66	57	722,38	810
Suuri-Onkamo	0,01	0,04	0,40	0,98	13,65	19	412,74	465
Ätäskö	0,21	0,21	4,12	4,1	24,77	27	712,72	647
Kiteenjärvi	0,37	0,14	6,93	5,15	37,09	27	741,76	791
Lappajärvi	0,23	0,24	4,27	5,42	23,81	25	645,46	661
Ullavanjärvi	0,17	0,17	3,52	4,24	59,27	56	1102,52	962
Ranuanjärvi	0,11	0,3	3,63	3,88	37,20	53	635,89	734
Lampsijärvi	0,24	0,28	7,28	5,86	49,21	64	642,12	959
Ratasjärvi	0,81	0,64	18,19	8,17	43,53	50	717,72	428
Hirsijärvi	0,47	0,47	8,07	9,14	70,83	40	1186,98	733
Kirkkojärvi	2,04	2,45	35,90	36,45	68,79	94	1180,92	1111
Ylisjärvi	3,08	4,15	50,77	60,97	82,31	150	1182,23	1115
Painio	0,45	0,99	7,68	9,7	67,38	72	1191,62	1081
Simpelejärvi itäosa	0,48	0,33	8,15	5,39	13,84	18	592,12	481

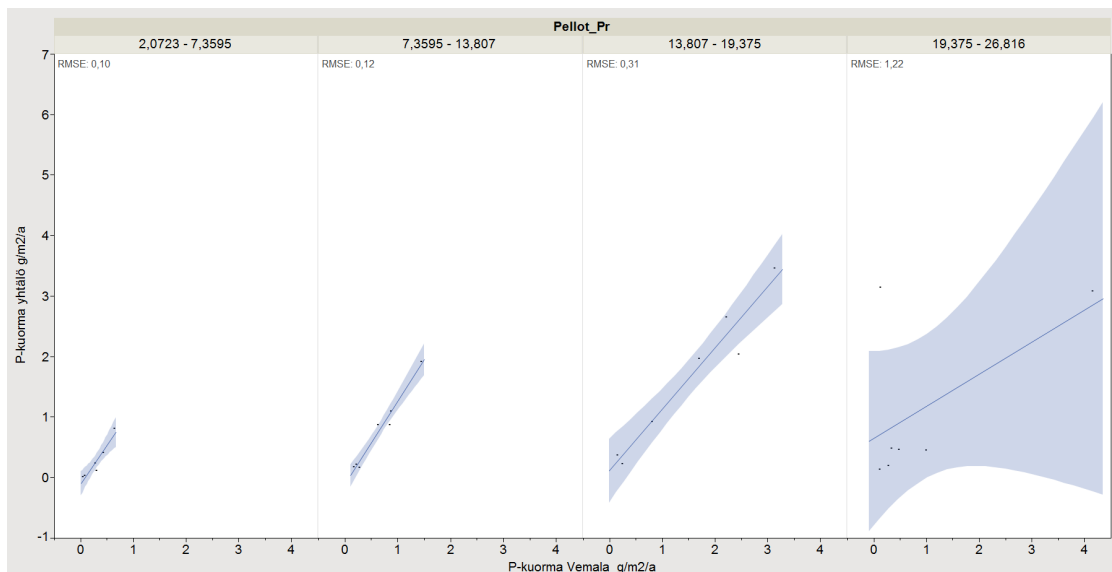
Kuormitusvertailu

Pintakuormitusarviot sekä VEMALAla että ominaiskuormitusmalleilla laskettuna vastaavat melko hyvin toisiaan (kuva 23). Mitä suuremmista kuormituksista on kyse, sitä suurempaa vaihtelu on.

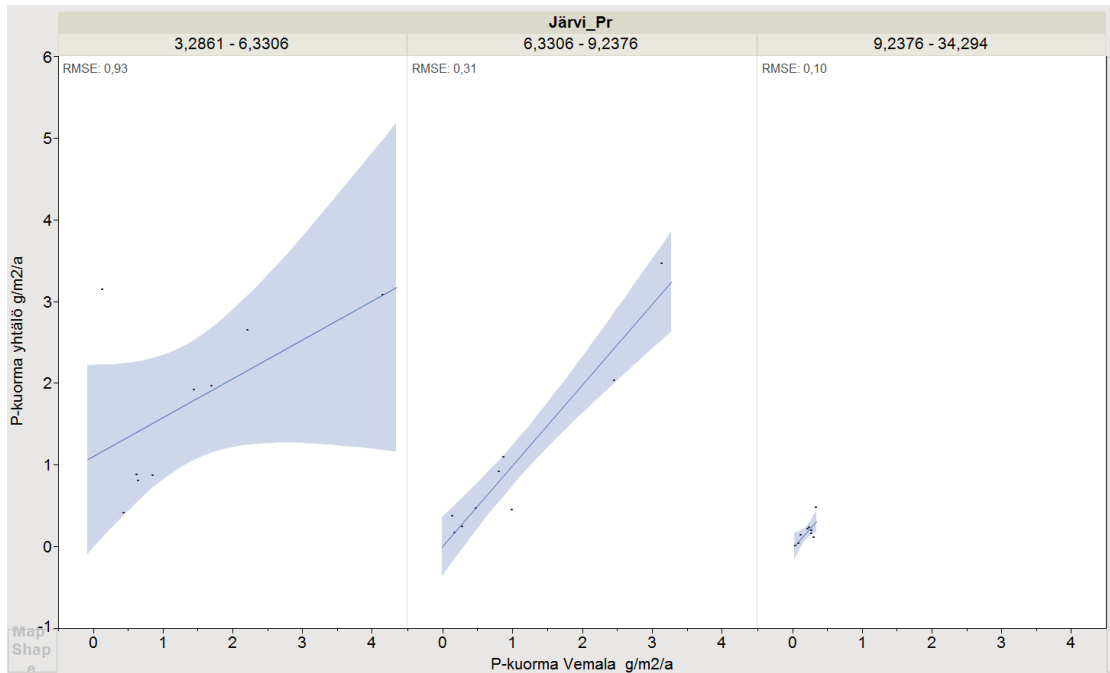


Kuva 13. VEMALA-mallin ja kuormitusyhtälöiden tuottamien yksittäisten vesimuodostumien fosforikuormien (vasemmalla) ja typpikuormien (oikealla) vastaavuus.

Tulosten mukaan näyttäisi siltä, että peltoprosentin kasvaessa sekä kokonaisfosfori- että kokonaistyppikuormitusten vastaavuus heikkenee. Hajonta ja virhe (RMSE) kasvavat, kun peltoprosentti kasvaa (Kuva 24, kuvissa esitetty vain P-tulokset). Aineisto (n=27) on jaettu peltoprosentin mukaan neljään yhtä suureen luokkaan. Vastaavasti valuma-alueen järvien suhteellisen osuuden kasvaessa, kuormitustasot pienenevät ja mallien tuottamat kuormitusrviot ovat lähempänä toisiaan (Kuva 25).



Kuva 24. VEMALA-mallin ja kuormitusyhtälöiden tuottamien yksittäisten vesimuodostumien fosforikuormien vastaavuus erilaisissa peltoprosenttiluokissa.

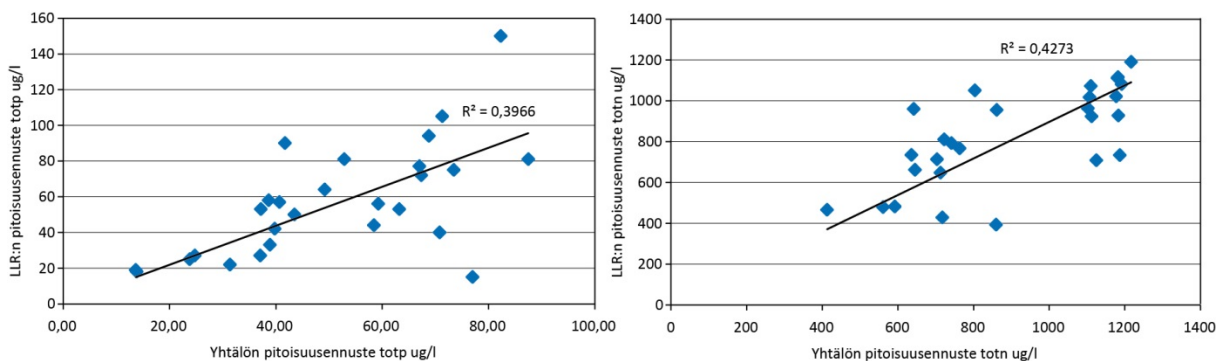


Kuva 25. VEMALA-mallin ja kuormitusyhtälöiden tuottamien yksittäisten vesimuodostumien fosforikuormien vastaavuus erilaisissa järvi prosenttiluokissa.

Järven pinta-alan kasvaessa kuormitusarviot vastaavat paremmin toisiaan. Pienillä järvillä on paljon hajontaa. Vastaavasti vesimuodostumilla, joiden valuma-alueen pinta-ala on suuri, kuormitusennusteet vastaavat paremmin toisiaan. Vastaavasti pienillä valuma-alueilla kuormitusarviot poikkeavat enemmän toisistaan.

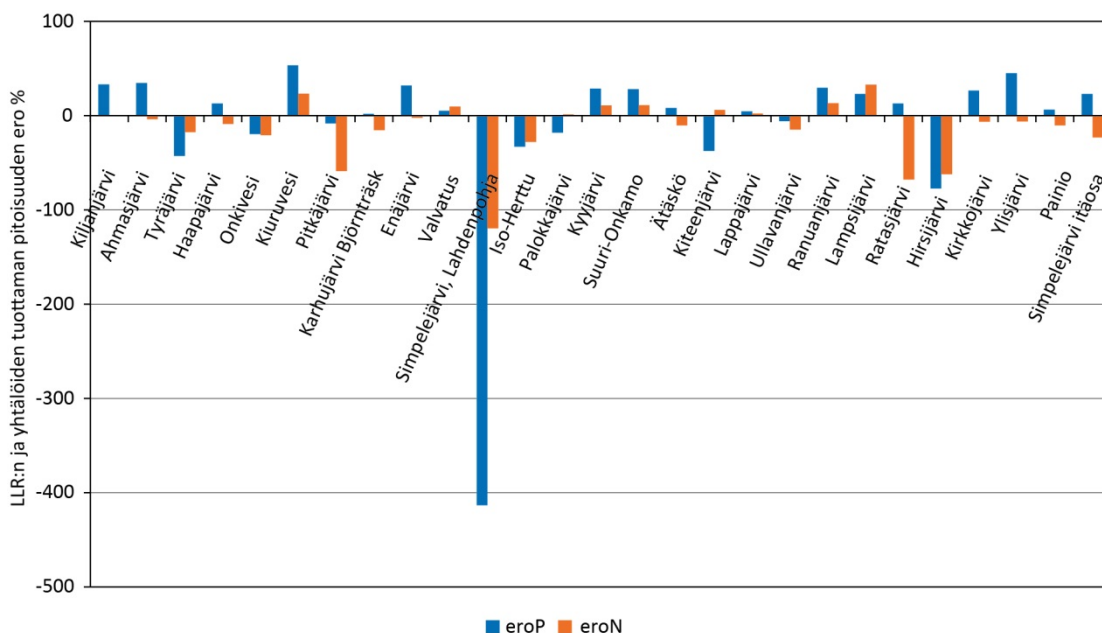
Pitoisuusvertailu

Vastaava tarkastelu pitoisuuksien osalta osoittaa, että kahden mallin tuottamissa pitoisuusennusteissa on enemmän eroa ja vaihtelua (Kuva 26). Kokonaistypen ennusteet vastaavat hieman paremmin toisiaan kuin kokonaisfosforin.



Kuva 26. LLRmallin ja pitoisuusyhtälöiden tuottamien yksittäisten vesimuodostumien fosforipitoisuuksien (vasemmalla) ja typpipitoisuuksien (oikealla) vastaavuus.

Erot pitoisuusarvioissa eri vesimuodostumien välillä vaihtelevat melko paljon (Kuva 27).



Kuva 27. LLR:n ja ominaiskuormitusyhtälöiden pitoisuusennusteiden suhteellinen ero (%) vesimuodostumittain. Positiivinen ero indikoi sitä, että LLR-mallin ennuste on suurempi.

Syyt hyvälle ja huonolle pitoisuusarvioiden vastaavuudelle näyttäisivät olevan samoja kuin kuormituksilla: valuma-alueen pieni peltoprosentti ja suuri järviprosentti sekä vesimuodostuman suuri koko (pinta-ala ja keskisyvyys) tarkoittavat yleensä hyvää vastaavuutta. Lisäksi vesimuodostuman vedenlaatu näyttäisi vaikuttavan tuloksiin. Kun väriluku on pieni, hajontaa on selvästi enemmän.

Vesienhoidon luokittelua varten tehtiin vielä tiivis tarkastelu siitä, minkä fosforitilaluokan LLR-malli ja yhtälöt tuottavat. LLR:n ja yhtälön tuottamien luokkien vastaavuudessa oli eroa jonkin verran. 11 vesimuodostuman osalta luokitus tulos oli molemmilla malleilla sama. LLR:n luokittelu vastasi useammin virallista luokittelua (taulukko 10).

Taulukko 10. LLR-mallilla ja pitoisuusyhtälöillä arvioidut kokonaisfosforin tilaluokat sekä virallisen luokituksen tulos (VEMU). Eri värit kuvaavat luokituksen tasoa. Lila väri kuvastaa sitä, että LLR:illä ja yhtälöllä arvioitu luokka on sama.

Vnimi	P-LUOKKA LLR	P-LUOKKA YHTÄLÖ	P-VEMU
Kiljanjärvi	Tyydyttävä	Tyydyttävä	Hyvä (44,8 ug/l eli H/T rajalla)
Ahmasjärvi	Välttävä	Tyydyttävä	Huono
Tyräjärvi	Hyvä	Tyydyttävä	Hyvä
Haapajärvi	Huono	Huono	Huono
Onkivesi	Hyvä	Tyydyttävä	Tyydyttävä
Kiuruvesi	Välttävä	Hyvä	Välttävä
Pitkäjärvi	Välttävä	Välttävä	Välttävä
Karhujärvi Björnträsk	Välttävä	Tyydyttävä	Välttävä
Enäjärvi	Välttävä	Tyydyttävä	Huono
Valvatus	Tyydyttävä	Tyydyttävä	Tyydyttävä
Simpelejärvi, Lahdenpohja	Hyvä	Huono	Hyvä
Iso-Herttu	Tyydyttävä	Välttävä	Tyydyttävä
Palokkajärvi	Tyydyttävä	Tyydyttävä	Tyydyttävä
Kyyjärvi	Tyydyttävä	Hyvä	Tyydyttävä
Suuri-Onkamo	Tyydyttävä	Hyvä	Tyydyttävä
Ätäskö	Hyvä	Hyvä	Hyvä
Kiteenjärvi	Hyvä	Hyvä	Hyvä
Lappajärvi	Hyvä	Hyvä	Hyvä
Ullavanjärvi	Tyydyttävä	Tyydyttävä	Tyydyttävä
Ranuanjärvi	Tyydyttävä	Hyvä	Tyydyttävä
Lampsijärvi	Välttävä	Tyydyttävä	Tyydyttävä
Ratasjärvi	Tyydyttävä	Hyvä	Tyydyttävä
Hirsijärvi	Tyydyttävä	Välttävä	Tyydyttävä
Kirkkojärvi	Välttävä	Välttävä	Välttävä
Ylisjärvi	Huono	Välttävä	Huono
Painio	Tyydyttävä	Tyydyttävä	Tyydyttävä
Simpelejärvi itäosa	Tyydyttävä	Hyvä	Hyvä

Johtopäätökset ja pohdinta

VEMALA-mallilla ja kuormitusyhtälöillä saadut keskimääräiset fosfori- ja typpikuormitukset vastasivat kohtalaisen hyvin toisiaan tarkasteltujen 27 vesimuodostuman osalta. Vaihtelua ja epävarmuutta oli eniten suurilla kuormitusarvioilla. Vesimuodostuman ja valuma-alueen ominaisuudet vaikuttivat myös vastaavuuteen. Näyttäisi siltä, että pienillä valuma-alueilla ennusteet eri mallien välillä vaihtelevat enemmän. Suurten järvien keskimääräiset ennusteet vastasivat paremmin toisiaan kuin pienten järvien ennusteet. Varmasti myös mallinnukseen käytetyllä havaintomäärällä on merkitystä, mutta havaintomäärän vaikutusta ei tässä tarkastelussa pystytty erottelamaan.

Vertailujen perusteella voidaan sanoa, että sekä VEMALAn että kuormitusyhtälöiden tuottamia kuormitusennusteita voidaan käyttää LLR-mallin syöttötietona. Käytön luotettavuutta lisääisi se, että kuormitusennusteisiin saataisiin myös ennusteen epävarmuus mukaan. VEMALA-tulosten vuosi-arvoista saadaan kuormitusvaihtelua esiin, mutta ominaiskuormitusyhtälöiden tuloksissa ei ole tällä hetkellä lainkaan epävarmuusarviota. Jatkossa yhtälön tuottaman keskimääräisen ennusteen vaihteluväli (tai varianssi) olisi helppoa ja hyödyllistä lisätä mallin tuottamaan tulokseen.

Useammalla mallilla tehtyjen kuormitusarvioiden käyttö antaa viitteitä kuormituslaskennoissa esiintyvistä epävarmuudesta. Mikäli nämä kaksi mallia antavat hyvin samankaltaisen kuormitusarvion, voidaan ajatella, että epävarmuus on melko pientä. Jos taas kuormitusarviot poikkeavat hyvin paljon toisistaan, tiedetään, että epävarmuus on suurta. Epävarmuus voi johtua jommankumman mallin rakenteesta tai käytetystä datasta ja varsinkin siitä, minkälaisesta vesimuodostumasta on kyse. Tietoa suuresta epävarmuudesta voidaan käyttää mallien kehittämiseen.

8.3 Maatalouden talousmallinnus ja vesistömallinnus

8.3.1 Maataloutta kuvaavaa alueellinen sektorimalli (DREMFA)

Ravinnekuormitukseen maataloudesta ovat vaikuttamassa maatalouden muutokset (viljelykasvien alat, lannoitusmäärät ja satotasot), muuttuva ilmasto ja kuormitusta vähentävien toimenpiteiden käyttöönotto. Maatalouden muutoksia ohjaavat tuotteiden ja tuotantopanosten hintojen muutokset, muuttuvan ilmaston tuomat uudet viljelymahdollisuudet ja ohjauskeinot, joilla tuetaan tai rajoitetaan viljelykäytäntöjä. Viljelijä tekee päätökset tilatasolla mitä ja miten hän viljelee ja mitä tuettuja kuormitusta vähentäviä toimenpiteitä hän ottaa käyttöön. Päätökset perustuvat tietoon olemassa olevista vaihtoehtoista ja viljelijän arvioon siitä mikä on taloudellisesti kannattavinta. Maataloustuotteiden ja tuotantopanosten globaaleihin hintoihin ja ilmaston muuttumiseen ei voida vesienhoidossa vaikuttaa, mutta ohjauskeinoilla voidaan vaikuttaa viljelijän päätöksentekoon viljelykäytännöistä ja mitä tuettuja kuormitusta vähentäviä toimenpiteitä hän ottaa käyttöön.

Vesien- ja merenhoidon kannalta päämääränä on arvioida, mitä odotettavissa olevat muutokset ovat vaikuttamassa ravinnekuormitukseen ja vesien- ja meren tilaan. Seuraava askel on arvioida millaisilla viljelykäytännöillä ja muilla toimenpiteillä vesistöjen ja meren kuormitus voidaan saada niiden hyvää tilaa vastaavalle tasolle. Tämän jälkeen on arvioitava, millaisilla ohjauskeinoilla nämä viljelykäytännöt ja muut toimenpiteet saataisiin käyttöön siinä laajuudessa, että vesien ja meren tilan tavoitteet saavutetaan.

Ketjuttamalla maatalouden taloudellisia malleja esim. DREMFA ja DEMCROP valuma-alue malliin kuten VEMALA (Huttunen ym. 2015), voidaan luoda taloudellisesti realistisia tulevaisuuskenaarioita maataloudelle. Skenaarioissa arvioidaan erilaisten maatalouden hintaskenaarioiden ja ohjauskeinojen vaikutusta tilatason päätöksentekoon (mm. viljelykasvi- ja lannoitusmäärävalinnat) ja missä määrin kuormitusta vähentäviä toimenpiteitä otetaan käyttöön. Valuma-alueille lasketaan em. muutosten vaikutuksia ravinnekuormitukseen ja ekologisiin vaikutuksiin vesistöissä ja meressä yhdessä ilmastonmuutoksen vaikutusten kanssa. Näin voidaan tuottaa esimerkkejä mitkä olisivat kannattavimpia vaihtoehtoja maatalouden toimiksi vesistöjen ja meren hyvän tilan rajoissa.

Tässä työssä tarkasteltiin maatalouden skenaarioita vuosille 2026-35, joissa viljojen satotaso nousee +20% ja öljykasvien +40%. Oletuksena on, että parannus on mahdollinen ottaen huomioon muuttuvan ilmaston ja uusien lajikkeiden potentiaalin. Tämä edellyttää mahdollisesti myös peltojen kasvukunnon nykyistä parempaa ylläpitoa: ojitus, maan rakenne, kalkitus, kasvinsuojelu. Skenaariossa sama sato tuotetaan pienemmällä peltoalalla, joita viljellään mahdollisimman hyvin ja lähes nykyisellä lannoitusmäärällä. Näin keskimääräinen ravinnetase on parempi kuin nykyään. Peltoala, jota ei tarvita viljoille ja öljykasveille jää kesannolle. Tässä esimerkissä ei oteta kantaa siihen, millaisilla ohjauskeinoilla tällainen viljelykäytäntö saataisiin toteutettua.

Vemala-mallia varten tuotettiin pellonkäytön ja kasvikohtaisen lannoituksen perusurat DREMFA-mallilla, jonka tässä hankkeessa käytetty versio simuloi koko Suomen maataloustuotanto vuosi kerrallaan 1995-2035. Suomi on jaettu 4 suuralueeseen: Etelä-Suomi, Sisä-Suomi, Pohjanmaa ja Pohjois-Suomi. Etelä-Suomi on jaettu pääosin A- ja B-tukialueisiin, mutta erikseen mallissa ei ole mukana Saaristomeren valuma-aluetta, joka olisi validoitu suuralueiden tapaan tuotannon ja maankäytön osalta viimeisen 10 vuoden (miehellään 1995-2015) kehitysuriaan.

Saaristomeren valuma-alueen tarkka sisällyttäminen DREMFA:an omana alueenaan osoittautui yrityksistä huolimatta liian työlääksi tämän hankkeen puitteissa, koska se olisi vaatinut perusteellisen data- ja validointityön eri kasvien lannoituksen, eläinten ruokinnan ja lukumäärän, sekä pellonkäytön kokonaisuuden osalta. Myös tuotantokustannusten osalta olisi ollut tarpeen hankkia aineistoa Saaristomeren alueelta, jotta malli voisi optimointiin perustuvana mallina tuottaa perusteltavissa olevia, riittävän robusteja tuloksia tuotannon ja maankäytön kehityksestä alueella 2015. Esimerkiksi pienet erot satoisuudessa voivat optimointimallissa johtaa merkittäviinkin muutoksiin tuotannon kehityksessä eri alueiden kesken vuoteen 2030 mennessä – ainakin joidenkin kasvien osalta – ellei malliin onnistuta sisällyttämään esim. maalajikohtaisia lannoitusvastefunktioita, tai sakkofunktioita sadoille silloin kun viljelyala ylittää selvästi tilastoissa havaitut suurimmat viljelyalat vuodesta 1995.

Pienistä tuotto- tai kustannuseroista ei voida odottaa merkittäviä muutoksia tuotantoon ja pellonkäyttöön, vaan taustalle pitää saada kustannusrakenne kokonaisuutena, jotta erisuuntaiset kehitykset alueiden välillä voidaan selittää. Tässä on onnistuttu DREMFA-mallissa varsin hyvin 4 suuralueen kesken, mutta pienempien tehtyjen valuma-alueellinnusten, kuten Yläneenjoen, Taipaleenjoen (Itä-Suomi) ja Simojoen (Pohjois-Suomi) osalta on jouduttu turvautumaan osin keinotekoisiiin sakkofunktioihin, jotta yksittäisten kasvien viljelyalat pysyisivät historiallisesti havaituissa puitteissa. Uusia valuma-alueita ei DREMFA –malliin olekaan perustettu yli 10 vuoteen.

Tämän hankkeen kannalta osoittautui merkitykselliseksi se, että Saaristomeren valuma-alueen pellonkäyttö näyttää vastaavan pääpiirteissään varsin tarkoin koko Etelä-Suomen AB-alueen keskimääräistä pellonkäyttöä (taulukko 11). Jos ei ole syytä olettaa merkittäviä eroja eri kasvien satoisuudessa tai tuotantokustannuksissa, ei ole myöskään loogisesti vahvaa pohjaa väittää että kehityssuunta olisi AB-alueiden keskiarvosta poikkeava elleivät sitten erot maalajeissa tai kotieläintalouden toimintatavoissa ja kilpailukyvyssä ole merkittäviä alueiden välillä. Tämä ei kuitenkaan ole todennäköistä.

Taulukko 11. Saaristomeren valuma-alueen todelliset ja DREMFA peltoalaosuudet vuonna 2015. Noin 3 % oletettu muille kuin DREMFA-mallissa mukana oleville kasveille (esim. kumina ja härkäpapu eivät mukana), siksi luvut eivät summaudu kuin tasolle 0,97.

	kevätiljat	syysviljat	nurmet	muut kasvit	kesanto
Todellinen maankäyttö	0,648	0,049	0,121	0,085	0,097
Dremfia maankäyttö	0,601	0,063	0,094	0,096	0,088

Jos lähdetään siitä, että sadot ja tuotantokustannukset ovat hyvin lähellä toisiaan Saaristomeren valuma-alueen ja koko AB-alueen välillä, ei ole loogista pohjaa myöskään laskea Saaristomerelle AB-alueesta poikkeavia tuloksia DREMFA-mallin avulla. Satojen, tuotantokustannusten ja maalajisuhteiden tarkempi selvittäminen ei hankkeessa ollut mahdollista. Niinpä saadut tulokset ovat suhteellisia muutoksina identtiset, katsottiinpa sitten ”Saaristomeren valuma-alueen” tai koko AB-alueen simulaatiotuloksia.

DREMFA-mallilla tehtiin malliajot seuraaville skenaarioille 2020-2030: Perusura1 (matala maataloustuotteiden hintakehitys), Perusura 2 (parempi hintakehitys). Molempien perusurien tapauksissa ajettiin seuraava toimenpideskenaario: Viljojen sadot +20 % (öljykasvien +40%) ja samanaikainen vastaavansuuruinen samojen kasvien viljelyalan vähentäminen vuonna 2020.

Nyt näissä skenaarioissa *ei ole* oletettu, että lannoitteiden hinnat nousisivat (kuten esim. Energia- ja ilmastostrategiassa oletetaan nopea energian hintojen nousun alkaminen 2020 paikkeilla ja jo vähän ennen). Näin lannoitus ja sadot saadaan 2015 alentuneilta tasoilta DREMFIAssa korjattua lähemmäs 10 vuoden keskiarvoja jo vuoteen 2019 mennessä. Ravinnetaseet kuitenkin lievästi kasvavat 2015 tasolta. Toimenpideskenaario johti tulosten mukaan selvään kesantoalan kasvuun samalla kun viljellyn alan ravinnetaseet, sekä N että P, alenivat selvästi. VEMALA-mallilla voidaan tutkia, kuinka suureen ravinnekuormituksen laskuun tällöin päädytään.

Satotason nousu 20 % viljoilla ja öljykasveilla jopa 40 % voi olla mahdollinen kun siirrytään satoisampiin lajikkeisiin 2020-luvulla, ja samalla pidetään aiempaa parempi huoli kriittisten ravinteiden riittävydestä (DREMFIAssa lisättiin öljykasvien ja hyvin vähän myös eräiden viljojen lannoitusta) ja kasvinsuojelusta. Tulosten mukaan kevätiljojen alat, joita viljeltiin yli 60 %:lla peltoalasta alueella 2015, laskevat jo perusurassa ilman toimenpiteitä jos hintakehitys on heikko. Sen sijaan kevätiljojen alat säilyvät korkeina jos hintakehitys on heikko.

Toimenpideskenaariolla on molemmissa tapauksissa suuri vaikutus pellonkäyttöön, ja saavutetaan suhteellisesti suuri kevätilja-alan väheneminen (Taulukko 12). Oletuksena on kuitenkin, että 2014-2020 tukipolitiikka säilyy sellaisenaan vuoteen 2030. Tätä oletusta, joka osaltaan ohjaa viljelemättömän alan kesannolle (tuilla ei sadonkorjuuvelvoitetta) voidaan muuttaa DREMFA-mallissa, ja arvioida, missä määrin tulevan ohjelmakauden 2021-2027 politiikka muuttaisi tilannetta. Joka tapauksessa on syytä tiedostaa, että niin kasvituotteiden hinnat kuin myös politiikka vaikuttavat perusskenaarion pellonkäyttöön, mikä ei välttämättä pysy samana kuin lähtötilanne 2015. Tällä voi jo sinällään olla vaikutusta ravinnehuhtoumiin.

Taulukko 12. Osuus peltoalasta eri skenaarioissa DREMFA-mallin tulosten mukaan.

	kevätiljat	syysviljat	nurmet	muut kasvit	kesanto
Baseline 1	0,518	0,025	0,145	0,043	0,238
Sadon lisäys 20 %	0,435	0,031	0,159	0,047	0,296
Baseline 2	0,596	0,044	0,117	0,050	0,161
Sadon lisäys 20 %	0,475	0,038	0,151	0,058	0,247

DREMFA-tuloksista käy ilmi myös toimenpideskenaarion lievästi myönteiset vaikutukset maataloustuloon. Satotason viidenneksen nousua seuraisi noin 10-20 % nousu viljelijöiden tuloissa, riippuen markkinahintojen kehityksestä. Suurempi sato pienemmältä alalta tuo kustannussäästöjä, vaikka tuotanto ei kasvaisikaan viljelyalan vähentyessä satotason nousua vastaavasti. Tämä vaikuttaa myös kotieläintalouden kilpailukykyyn. Kotieläintalouden kokonaismäärä kasvaa kuitenkin vain lievästi alueella suhteessa perusuraan, koska satotason nousu lisää suhteessa enemmän viljan tuotannon (viime vuosina heikentynyttä) kannattavuutta. Kotieläintalouden kehitykseen on enemmän merkitystä perusskenaarion valinnalla, eli hintakehityksellä. Perusskenaariossa 2 oletettiin paitsi kasvituohteiden, myös pieni kotieläintuotteiden hinnannousu, koska viljan hinnan nousu yksinään olisi tappioksi kotieläintaloudelle.

Kaiken kaikkiaan voidaan todeta, että DREMFA-malliin ei ole helppo lisätä uusia valuma-alueita. Saaristomeren tapauksessa oli mielekästä yleistää koko AB-aluetta vastaavia tuloksia Saaristomeren valuma-alueelle, koska erot pellonkäytössä ja satotasoissa olivat pieniä. Uusien valuma-alueiden perustaminen DREMFA:an ja tulosten tuottaminen valuma-alueillein vaatisi aikasarjan maatalouden pellonkäytöstä, kotieläintuotannosta, eläinten ruokinnasta vähintään 10 vuoden ajalta, ja lisäksi mielellään lisätietoja myös maalajijakaumasta sekä tuotantokustannuksista (tilakoon kehitys tuotantosuunnittain). Näin ollen DREMFA-mallin huolellinen ja luotettava soveltaminen vaatisi vähintään 3 kuukauden työpanoksen validointineen ja herkkyysanalyysineen, ennen kuin luotettavia tuloksia voitaisiin tuottaa huuhtoumavalmien käyttöön. Tämä puolestaan vaatisi tutkimusprojektin, jossa vähintään 3 kk työpanosta pelkäävät DREMFA-tulosten tuottamiseen uusille valuma-alueille, sekä 1-3 kuukautta lisää vaihtoehtoisten skenaarioiden ja tutkimusraporttien tuottamiseen.

8.3.2 Vesistömallinnus VEMALA

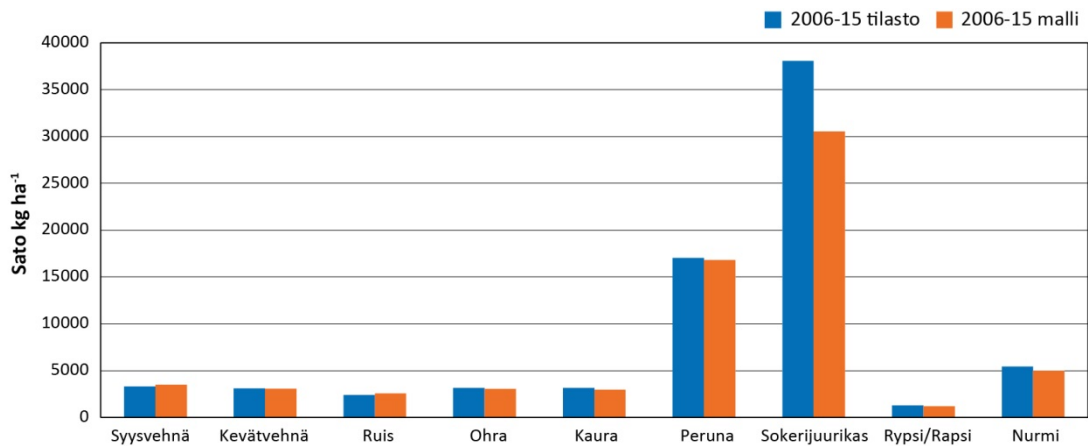
Skenaarioiden ravinnekuormitusta arvioitaessa käytettiin VEMALA kuormitusmallia (Huttunen ym. 2016) ja siihen liitettyä ICECREAM lohkotason peltomallia (Tattari ym. 2001). ICECREAM mallin lähtötiedoiksi luodaan lohkotason kuvaus tulevaisuuden viljelytoimenpiteistä, mikä sisältää viljelykierron lohkoilla, lannoitusmäärät ja lannan käytön. Viljelytietojen, pelto-ohkojen ominaispiirteiden ja sääsyötteen perusteella ICECREAM malli laskee vuorokausitasolla maaperän ravinnevarastoja, kasvien kasvua ja ravinteiden ottoa ja huuhtoutuvia ravinneitä. Malli pystyy huomioimaan ilmastonmuutoksen ja sään normaalin vaihtelun vaikutukset mm. hydrologiaan, eroosioon ja kasvukauden pituuteen.

Tässä lasketuissa skenaarioissa lannan käyttö pysyy samana kuin 2015 tilanteessa. Viherkesannon ala kasvaa viljoilta ja öljykasveilta pois jäävän alan verran. Viherkesannoilla kasvaava sato korjataan pois ja viherkesannot ovat osana viljelykiertoa, eli peltoa ei jää pysyvästi pois viljelystä. Erikseen voitaisiin tarkastella tilanteita, joissa viherkesantojen satoa ei korjata tai osa pelloista jätetään pois viljelystä.

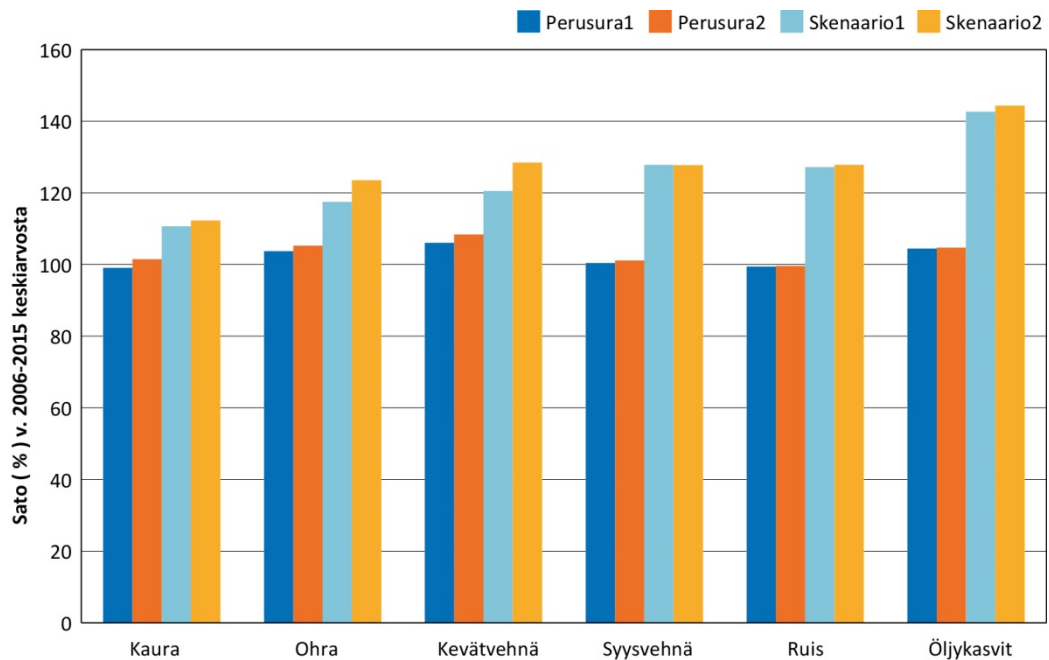
Ilmaperäisessä laskeumassa, denitrifikaatiossa ja mineralisaatiossa ei mallin mukaan ollut merkittäviä muutoksia nykytilaan verrattuna. Skenaarioissa tarkasteltiin peltojen kokonaistypipikuormituksen muutoksia. Saaristomeren valuma-alueella pidätyminen vesistöihin on vä-

häistä ja siksi peltokuorman muutokset kuvaavat suoraan mereen päätyvän kuormituksen muutoksia. Vesistöillä, joissa pidättyminen on merkittävää, täytyy laskea myös kuormituksen kulkeutuminen tarkasteltaviin vesimuodostumiin ja mereen VEMALA mallilla.

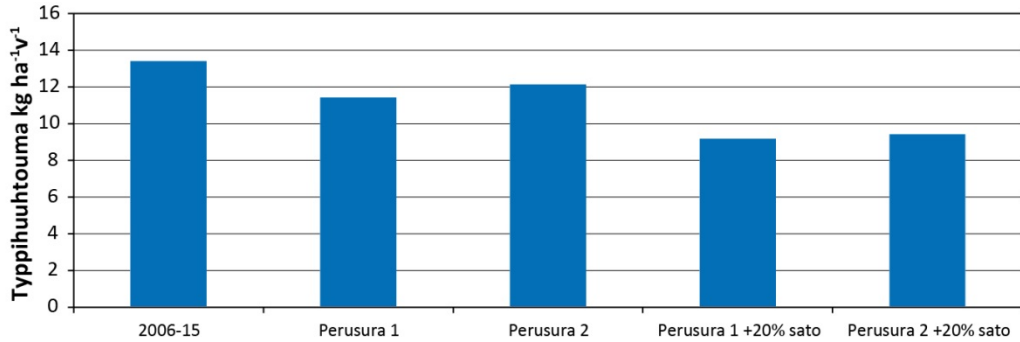
Kuvassa 28 on esitetty ICECREAM mallilla simuloitut satomäärät jaksolla 2006-2015, jotka vastaavat hyvin tilastoituja satoja. Sokerijuurikkaan sadoissa on eroa, mutta se ei tämän tarkastelun kannalta ole merkityksellinen. Kuvassa 29 on esitetty satojen muutokset perusrurissa ja skenaarioissa 2026-2035 tilanteessa verrattuna 2006-2015 tilanteeseen. ICECREAM malli laskee kasvien satoja lohko kohtaisesti huomioiden kasvuolosuhteet. Skenaarioissa oletettiin viljojen satotason kasvu +20 % ja öljykasvien +40 %. Kuvan 29 tuloksissa muutos ei ole täsmällisesti tämä, mutta se voitaisiin saada lähemmäksi haluttua prosenttilukua säätämällä lajikkeiden ominaisuudet skenaariotilanteessa tarkemmin.



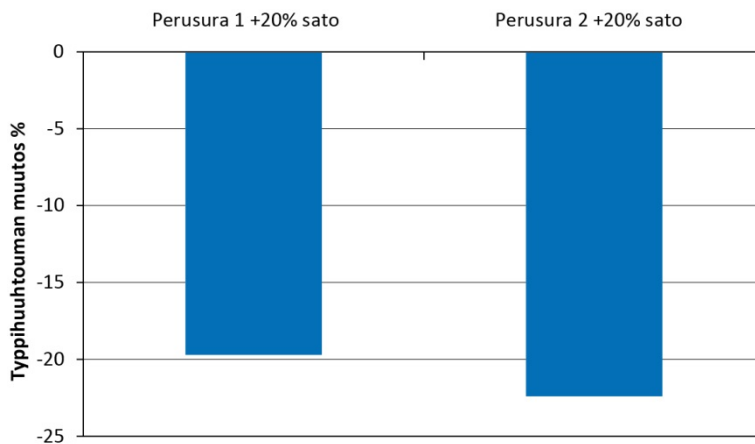
Kuva 28. Simuloitu sato verrattuna vuosien 2006-2015 keskimääräiseen satotilastoon.



Kuva 29. Sato jaksolla 2026-2035 verrattuna nykytilaan.



Kuva 30. Keskimääräinen typpihuuhtouma vuosina 2006-2015, perusurissa 1 ja 2 sekä 20 % sadon lisäyksessä.



Kuva 31. Muutos typpihuuhtoumassa perusura 1 & 2 sekä sadon lisäys 20 %.

Viidenneksen nousu satotasossa johtaisi tulosten mukaan likimain samansuuruiseen typpihuuhtouman vähenemiseen, jos kasvien tuotantopinta-alaa vähennettäisiin vastaavasti (kuvat 30 ja 31). Tämä tarkoittaa sitä, että satotason kasvattamisella ja ravinnetaseiden pienentämisellä voidaan vähentää typpihuuhtoumaa, ainakin jos maatalouden tuotantomäärät eivät kokonaisuutena kasva. Tämä taas ei ole ainakaan lähivuosina todennäköistä, koska maatalouden ja erityisesti viljantuotannon kannattavuus on selvästi heikentynyt viimeisen 10 vuoden aikana. Heikko maataloustuotteiden hintakehitys ja maltillinen lannoitus voi tulosten mukaan jatkossa johtaa jo sinällään usean prosentin typpihuuhtouman laskuun 2006-2015 keskiarvosta, ilman muita toimenpiteitä. Sen sijaan maataloustuotteiden markkinahintojen voimakas nousu voisi lisätä tuotantoa, sen intensiteettiä ja typpihuuhtoumia.

Tässä mallinnuksessa peltojen lähtötietoina käytettiin arvioituja nykyisiä muokkausmenetelmiä, lannoitusmääriä, lannan käyttöä ja satotasoja. Vesistömittausten perusteella arvioitu todellinen typpikuormitus on 15-20 % suurempi kuin tässä mallinnettu peltojen kuormitus (kuva 30-31). On mahdollista, että ICECREAM laskennassa oletukset mm. lannan käytön tarkkuudelle voivat olla optimistisempia kuin todellisuus, mikä vaikuttaisi typpikuormitukseen. Nykyisellään ei kuitenkaan ole lähtötietoja, joista pystyisimme arvioimaan mm. miten ravinnetaseet vaihtelevat lohkoilla. Todellisia viljelytietoja voitaisiin käyttää suoraan mallinnuksen lähtötietoina jos niitä olisi saatavilla. Viljelytietojen saannissa on monia esteitä, eikä niitä edes tallenneta sähköisesti kaikilta lohkoilta. Pidemmällä aikavälillä tätä tulisi kuitenkin edistää. Oikeammilla lähtötiedoilla pystyittäisiin arvioimaan tarkemmin ravinnekuormitusta nykytilassa ja millä toimenpiteillä ja millä lohkoilla siihen voitaisiin vaikuttaa tehokkaimmin.

Tässä tarkastellut skenaariot, joissa ravinnetase paranee nykyisestä, ovat vain yksi mahdollinen toimenpide typpikuormituksen vähentämiseen. Muita mahdollisia toimenpiteitä typpi- ja fosforikuormituksen vähentämiseen ovat mm. jaetun lannoituksen käyttöönotto kevätiljoilla, kerääjäkasvien käyttö, talviaikainen kasvipeite, suojakaistat ja kosteikot. Näitä kaikkia voidaan tarkastella skenaarioissa samanaikaisesti etsien toimenpidemääriä ja sijoittamista lohkoille niiden ominaispiirteiden mukaisesti, niin että tietyssä maatalousskenaariossa saavutetaan haluttu kuormitustaso.

Nämä skenaariot ovat lähinnä esimerkki, millaisia tuloksia taloudellisia ja ravinnekuormitus- ja kulkeutumismalleja ketjuttamalla voidaan saada. Tällaisia tarkasteluja voidaan tehdä muille alueille ja myös koko Suomen tasolla. Tarkempiin tarkasteluihin tulisi ottaa mukaan vaikutus myös fosforikuormitukseen, eri kuormitusta vähentävät toimenpiteet ja ohjauskeinot, kuten millainen tuki toimenpiteillä tulisi olla että ne otetaan käyttöön. Skenaarioiden tuottaminen ja tulosten validointi tämänkaltaisilla malleilla voidaan tehdä vain keskitetysti mallituntevien asiantuntijoiden toimesta. Valmiita skenaarioita voidaan tuottaa määrittelemällä skenaarioiden reunaehdot yhdessä eri toimijoiden kanssa, näin saadaan vesien- ja merenhoitoa mahdollisimman hyvin palvelevia tuloksia.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Toimihankkeen päätavoitteena oli tuottaa arviota, yhteenvetoja, vertailuja ja tilannekatsauksia kolmestatoista vesien – ja merenhoitoon liittyvästä eri malleja, tuotantoympäristön muutoksia, toimenpideohjelmien kustannuksia ja kustannustehokkuutta sekä vesiensuojelun ohjauskeinoja koskevasta osatavoitteesta ja teemasta.

Keskeisimpänä johtopäätöksenä voidaan pitää sitä, että vaikka vesistöjen tilaseuranta lisää tietämystä vesiympäristön tilasta ja se auttaa mallien kehitystä, sen perusteella ei yksinomaan saada riittävää kuvaa vesientilan todellisuudesta. Tätä täydentävät malliarviot. Toisaalta mallien oma kehittymättömyys tuo arvioihin lisää epävarmuutta. Arvioiden luotettavuudessa päästään askel eteenpäin, kun huolehditaan siitä, että vesien ja merenhoidon eri vaiheissa tehtävät arviot ja suunnitelmat ovat lähtötiedoiltaan (tietokannat) menetelmästä riippumatta mahdollisimman samakantaisia. On huolehdittava siitä, että tietokannat ovat helposti saatavissa ja ne sisältävät riittävät lähtötiedot monilta osin aivan lohkokatasolle saakka (paikka-koordinaatit).

Tämän työn tulosten pohjalta laaditut suositukset on esitetty raportin alussa.

KIRJALLISUUSVIITTEET

- Aakkula, J., Leppänen, J. (Eds.) 2014. Maatalouden ympäristötuen vaikuttavuuden seuranta tutkimus (MYTVAS 3) : loppuraportti. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 3: 265 p. Maa- ja metsätalousministeriö.
- Ahlvik, L., Ekholm, P., Hyytiäinen, K., Pitkänen, H. 2014. An economic–ecological model to evaluate impacts of nutrient abatement in the Baltic Sea. *Environmental Modelling & Software* 55, 164-175.
- Ahtiainen, H. 2014. Benefits of meeting nutrient reduction targets for the Baltic Sea – a contingent valuation study in the nine coastal states. *Journal of Environmental Economics and Policy* 3(3):278-305.
- Boardman, A., D. Greenberg, A. R. Vining and D. Weimer (2006). *Cost-benefit analysis. Concepts and Practice*. Upper Saddle River, New Jersey, Pearson.
- Börger, T., S. Broszeit, H. Ahtiainen, J. P. Atkins, D. Burdon, T. Luisetti, A. Murillas, S. Oinonen, L. Paltriguera, L. Roberts, M. C. Uyarra and M. C. Austen (2016). "Assessing Costs and Benefits of Measures to Achieve Good Environmental Status in European Regional Seas: Challenges, Opportunities, and Lessons Learnt." *Frontiers in Marine Science* 3: 192.
- Cash, D.W., Clark, W.C., Alcock, F., Dickson, N.M. et al. 2003. Knowledge systems for sustainable development. *PNAS* 100/14: 8086–91.
- Collentine, D., Eckersten, H., Norman Haldén, A., Ryd Ottoson, J., Salomon, E., Sundin, S., Tattari, S., Braun, J., Kuussaari, M. 2013. Consequences of future nutrient load scenarios on multiple benefits of agricultural production. Swedish University of Agricultural Sciences, 2013. Report from the Department of Crop Production Ecology (VPE); 17, ISBN 978-91-576-9178-1, 65 p.
- Dodd, R.J., Sharpley, A.N. 2016. Conservation practice effectiveness and adoption: unintended consequences and implications for sustainable phosphorus management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 104: 373-392. <https://doi.org/10.1007/s10705-015-9748-8>
- Hjerpe, T., Seppälä, E., Väisänen, S. & Marttunen, M. 2016. Monetary assessment of the recreational benefits of improved water quality – description of a new model and a case study, *Journal of Environmental Planning and Management*, DOI: 10.1080/09640568.2016.1268108
- Hudson, N.W. 1971. *Crop management for cover*. Soil Conservation. Ithaca, New York: Cornell University Press.
- Huttunen I., Lehtonen H., Huttunen M., Piirainen V., Korppoo M., Veijalainen N., Viitasalo M. & Vehviläinen B. 2015. Effects of climate change and agricultural adaptation on nutrient loading from Finnish catchments to the Baltic Sea. *Science of the Total Environment* 529:168-181. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.05.055.
- Huttunen, I., Huttunen, M., Piirainen, V., Korppoo, M., Lepistö, A., Räike, A., Tattari, S., Vehviläinen, B. 2016. A national-scale nutrient loading model for Finnish watersheds-VEMALA. *Environmental Modelling and Assessment* 21 (1): 83-109.
- Hyväluoma, J., Lilja, H., Turtola, E. 2013. An anisotropic flow-routing algorithm for digital elevation models, *Computers & Geosciences*, Volume 60, 2013, Pages 81-87, ISSN 0098-3004, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2013.07.012>.
- Jarvie, H.P., Johnson, L.T., Sharpley, A.N., Smith, D.R., Baker, D.B., Bruulsema, T.W., Confesor, R. 2017. Increased Soluble Phosphorus Loads to Lake Erie: Unintended Consequences of Conservation Practices? *Journal of Environmental Quality*. Technical Report, Surface Water Quality. Published January 12, 2017: 123-132.
- Kaupilla, P., Chifflet, M., Liukko, N., Gonzalez, M., Malve, O., Rasmus, K., Kotamäki, N., Borja, A., Huttula, T. 2012. Comparison of mechanistic and statistical approaches for catchment management in coastal waters. WISER deliverable 5.3.3.

Kotamäki N, Pätynen A, Taskinen A, Huttula T and Malve O. 2015. Statistical dimensioning of nutrient loading reduction—LLR assessment tool for lake managers. *Environmental Management* 56: 480, DOI 10.1007/s00267-015-0514-0

Kuusisto, E. 1980. On the Intensity of Rainfall in Finland. *Aqua Fennica* 10, s. 3-11.

Kuusisto, E., Kauppi, L., Heikinheimo, P. (toim.) 1996. Ilmastomuutos ja Suomi. Yliopistopaino, Helsinki University Press, 265 s. ISBN 951-570-296-8.

Lehtonen, H. 2001. Principles, structure and application of dynamic regional sector model of Finnish agriculture. Academic dissertation. Systems Analysis Laboratory, Helsinki University of Technology. Publisher: Agrifood Research Finland, Economic Research (MTTL). Publications 98. Helsinki. 265 pages. <http://lib.tkk.fi/Diss/2001/isbn9512256894/>

Lehtoranta, V., Hjerpe, T., Kotanen, J., Manninen, P., Mäenpää, M. Väisänen S. 2016. "Halukkuus osallistua pintavesien tilan parantamiseen Vuoksen vesienhoitoalueella." Suomen ympäristökeskuksen raportteja 33/2016.

Lignell, R., Miettunen, E., Ropponen, J., Huttunen, M., Korppoo, M., Kuosa, H., Lehtoranta, J., Lukkari, K., Peltonen, H., Piiparinen, J., Attila, J., Tikka, K., Tuomi, L., Puttonen, I. 2015. Saaristomeren valuma-alueen kokonaiskuormitusmallin kehittäminen. Raportti. Suomen ympäristökeskus. www.syke.fi/download/noname/%7B042BDB02-D6F2-4954-AC70-BA7DDCFA7B64%7D/121616

Lilja, H., Nevalainen, R. 2007. Developing a digital soil map for Finland in *Developments in soil science Elsevier* 31, 67-74.

Lilja, H., Hyväluoma, J., Puustinen, M., Uusi-Kämppe, J., Turtola, E. 2017. Evaluation of RUSLE2015 erosion model for boreal conditions, *Geoderma Regional*, Vol. 10, September 2017, pp 77-84, <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.05.003>.

Liu, X., Lehtonen, H., Purola, T., Pavlova, Y., Rötter, R. & Palosuo, T. 2016. Dynamic economic modeling of crop rotations with farm management practices under future pest pressure. *Agricultural Systems*, pp. 65-76 DOI: 10.1016/j.agsy.2015.12.003

Mansikkaniemi, H. 1982. Soil erosion in areas of intensive cultivation in southwestern Finland. *Fennia* 160 (2), s. 225-276.

Marcel Aillery, M., Gollehon, N., Johansson, R., Kaplan, J., Key, K., Ribaldo M. 2005. Managing Manure To Improve Air and Water Quality. United States Department of Agriculture USDA, Economic Research Report 9, 61 p.

Meriympäristön nykytilan arvio 2012. Osa F: Sosioekonominen analyysi. <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BCEBD52F4-09F3-41F6-9054-1BE241976DC4%7D/34447>

Mitasova H., Hofierka J., Zlocha M., Iverson L.R. 1996. Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *International Journal of Geographical Information Systems* 10 (5), 629-641.

Montgomery, D. R. 2007. *Dirt: the erosion of civilizations*. Berkeley, University of California Press

Oinonen, S., Börger T, Hynes S, Buchs AK, Heiskanen A-S, Hyytiäinen K, Luisetti T, van der Veeren R. 2016a. The Role of Economics in Ecosystem Based Management: The case of the EU Marine Strategy Framework Directive; first lessons learnt and way forward. *Journal of Ocean and Coastal Economics* 2, Article 3.

Oinonen, S., Hyytiäinen K, Ahlvik L, Laamanen M, Lehtoranta V, Salojärvi J, Virtanen J (2016b). Cost-effective marine protection - a pragmatic approach. *PLoS ONE* 11. doi: 10.1371/journal.pone.0147085.

Oinonen, S., Hyytiäinen K., Ahlvik, L., Salojärvi, J., Ahtiainen, H., Lehtoranta, V., Väisänen, S., Virtanen, J., Valve, H. 2015. Merenhoitosuunnitelman toimenpideohjelman taustaraportti. Merenhoitosuunnitelman toimenpideohjelman valmistelun tueksi laaditut taloustieteelliset analyysit. <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B9DCCEE21-43EC-4B55-9765-1854B7CF9140%7D/113764>

Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., Tadic, M.P., Michaelides, S., Hrabalíková, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymaszewicz, A., Dumitrescu, A., Beguería, S., Alewell, C. 2015a. Rainfall erosivity in Europe. *Sci Total Environ.* 511, pp. 801-814. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.01.008

Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., van der Zanden, E.H., Poesen, J., Alewell, C. 2015b. Modeling the effect of support practices (P-factor) on the reduction of soil erosion by water at European Scale. *Environ.Sci.Pol.*, 51: 23-34. doi:10.1016/j.envsci.2015.03.012

Panagos,P., Borrelli,P., Poesen,J., Ballabio,C., Lugato,E., Meusburger,K., Montanarella,L., Alewell,C. 2015c. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environ. Sci. Pol.*, 54 (2015), pp. 438–447, doi:10.1016/j.envsci.2015.08.012

Puustinen, M., Turtola, E., Kukkonen, M., Koskiahho, J., Linjama, J., Niinioja, R., Tattari, S. 2010. VIHMA - A tool for allocation of measures to control erosion and nutrient loading from Finnish agricultural catchments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 138(3–4): 306–317.

Quinn, P.F., K.J. Beven, P. Chevallier, Planchon O. 1991. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models. *Hydrological Processes* 5(1):59-79.

Rantakari, M., Kortelainen, P., Vuorenmaa, J., Mannio, J., Forsius, M. 2004. Finnish lake survey: the role of catchment attributes in determining nitrogen, phosphorus, and organic carbon concentrations. *Water, Air, and Soil Pollution* 4:683-699.

Renard K.G., Foster G.R., Weessies G.A., McCool D.K., Yoder D.C. (eds.) 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook, pp.703.

Röman, E., Ekholm, P., Tattari, S., Koskiahho, J., Kotamäki, N. 2017. Catchment characteristics predicting nitrogen and phosphorus losses in Finland. Submitted to *River Research and Applications*.

Sarkki, S., Niemela, J., Tinch, R., van den Hove, S., Watt, A., and Young, J. 2014. Balancing credibility, relevance and legitimacy: A critical assessment of trade-offs in science–policy interfaces. *Science and Public Policy* 41: 194–206.

Spatka, J. 2005. Harmonising quality assurance in model based catchment and river basin management. *WIT Transactions on Ecology and the Environment* 83: 183-192.

Świąchowicz J. 2012. Water erosion on agricultural foothill slopes (Carpathian Foothills, Poland), *Zeitschrift für Geomorphologie* 56 (Suppl.) 3: 21-35. doi: 10.1127/0372-8854/2012/S-00102

Tattari, S., Bärlund, I., Rekolainen S., Posch, M., Siimes, K., Tuhkanen, H-R. & Yli-Halla, M., 2001. Modeling sediment yield and phosphorus transport in Finnish clayey soils. *Transactions of ASAE* 44: 297–307.

Tattari, S., Koskiahho, J., Kosunen, M., Lepistö, A., Linjama, J., Puustinen, M. 2017. Nutrient loads from agricultural and forested areas in Finland from 1981 up to 2010—can the efficiency of undertaken water protection measures seen? *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(3), 1-25.

Turtola, E., Salo, T., Miettinen, A., Iho, A., Valkama, E., Rankinen, K., Virkajärvi, P., Tuomisto, J., Sipilä, A., Muurinen, S., Turakainen, M., Lemola, R., Jauhiainen, L., Uusitalo, R., Grönroos, J., Mylly, M., Heikkinen, J., Merilaita, S. Cano Bernal, J., Savela, P., Kartio, M., Salopelto, J., Finér, A., Jaakkola, M. 2017. Hyötyä taseista - Ravinnetaseiden tulkinta ympäristön ja viljelyn hyödyksi. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 15/2017, 70 s.

Ulén, B., Bechmann, M., Øygarden, L., Kyllmar, K. 2012. Soil erosion in Nordic countries – future challenges and research needs. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science* DOI: 10.1080/09064710.2012.712862

U.S. EPA 2010. Guidelines for Preparing Economic Analyses. U.S. Environmental Protection Agency. <[https://yosemite.epa.gov/ee/epa/eerm.nsf/vwAN/EE-0568-50.pdf/\\$file/EE-0568-50.pdf](https://yosemite.epa.gov/ee/epa/eerm.nsf/vwAN/EE-0568-50.pdf/$file/EE-0568-50.pdf)> Luettu: 18.10.2017

van Voorn, G.A.K., Verburg, R.W., Kunsele, E.-M., Vader, J. and Janssen, P.H.M. 2016. A checklist for model credibility, salience, and legitimacy to improve information transfer in environmental policy assessments. *Environmental Modelling & Software* 83: 224-236

van Waveren, R. H., S. Groot, H. Scholten, F. Van Geer, H. Wösten, R., Koeze, and J. Noort. 1999. *Good Modelling Practice Handbook*. STOWA/RWS-RIZA, Utrecht/Lelystad.
<http://harmoniqua.wur.nl/public/Reports/Existing%20Guidelines/GMP111.pdf>

Vuorenmaa, J., Rekolainen, S., Lepistö, A., Kenttämies, K., Kauppila, P. 2002. Losses of nitrogen and phosphorus from agricultural and forest areas in Finland during the 1980s and 1990s. *Environmental Monitoring and Assessment* 76: 213–248.

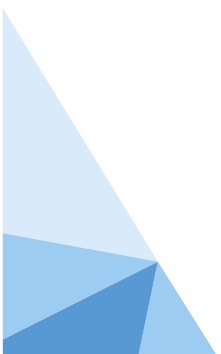
Väisänen S. (toim.) 2013. *Mallit avuksi vesienhoidonsuunnitteluun GisBloom-hankkeen pilottialueilla. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 29*. Helsinki, Suomen ympäristökeskus, 188 s. ISSN 1796-1726, ISBN 978-952-11-4226-0.

Zessner, M., Schönhart, M., Parajka, J., Trautvetter, H., Mitter, H., Kirchner, M., Hepp, G., Blaschke, A.P., Strenn, B., Schmid, E., 2017. A novel integrated modelling framework to assess the impacts of climate and socio-economic drivers on land use and water quality water quality. *Sci. Total. Environ.* 579, 1137–1151.

WATECO, 2003. *Economics and the Environment: The Implementation of Challenge of the Water Framework Directive* [online]. EU Working Group guideline for WFD implementation. 270 p. Available from:
<http://www.waterframeworkdirective.wdd.moa.gov.cy/docs/GuidanceDocuments/Guidancedoc1WATECO.pdf>

Wischmeier, W.H. Smith, D.D. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning*. Agriculture Handbook No. 537. USDA/Science and Education Administration, US. Govt. Printing Office, Washington, DC. 58 pp.

Ylivainio, K., Sarvi, M., Lemola, R., Uusitalo, R., Turtola, E. 2014. Regional P stocks in soil and in animal manure as compared to P requirement of plants in Finland. *MTT report 124*, 35 s.

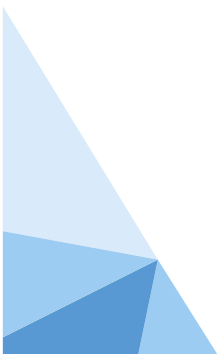


LIITE 1. MALLIEN EVALUOINNIN VAIKUTUSARVIOT MALLEISTA USKOTTAVUUDEN, RELEVANSSIN JA LEGITIMITEETIN OSALTA

Uskottavuus							
Malli	Tieteelliset julkaisut (lkm)	Mallin perusta	Herkkyys-tarkastelu	Epävarmuus-tarkastelu	Laatu (paljon yleistyksiä)	Pätevyys (kalibroitu ja validoitus)	Versio-hallinta
	0 = 1 1-3 = 2 >3 = 3	Prosessi-pohjainen = 1 Empiirinen = 2 Arviointityökalu = 3 Ei mikään = 4	Kyllä = 1 Ei = 0	Kyllä = 1 Ei = 0	Kyllä = 1 Ei = 0	Kyllä = 1 Ei = 0	Kyllä = 1 Ei = 0
LLR	2	2	0	1	0	1	0
RUSLE	3	2	0	0	1	0	0
VEMALA	2	1	0	0	1	1	1
VIHMA	2	3	0	0	1	0	0
DREMFIA	3	3	0	1	0	0	1
DEMCROP	2	3	0	1	0	1	1
SWAT	3	1	1	1	1	0	1
INCA	3	1	1	1	1	1	1
KUTOVA	2	3	0	1	1	0	1
COHERENS	3	1	0	1	1	0	1

Relevanssi							
Malli	Soveltuvuus	Käyttötarve	Oikea-aikaisuus	Resurssien tarve	Käyttöopas	Operatiivisuus	Osaaminen
	Yleis- ja hankesuunnittelussa = 1 Yleissuunnittelussa = 2 Hankesuunnittelussa = 3 Ei kumpikaan = 4	Monessako suunnittelu-prosessin osavaiheessa 0 = 0 1 = 1 2-3 = 2 >3 = 3	Pystyykö ajamaan uusia skenaarioita tuntien/1 pv. Varoitusaikala? 1 = Kyllä 0 = Ei	Mallin soveltaminen uudelle alueelle vaatii työpanoksen kuukausien = 1 viikkojen = 2 päivien = 3	käytön aktiivinen tuki = 1 käyttöopas = 2 ei kumpaakaan = 3	Mallilla voi ajaa helposti kansallisesti kattavia arvioita Kyllä = 1 Ei = 0	Mallin aktiivisten käyttäjien lkm Suomessa 0-1 = 1 2-5 = 2 >5 = 3
LLR	1	2	1	3	3	0	2
RUSLE	1	1	1	3	3	1	1
VEMALA	1	3	1	3	3	1	2
VIHMA	1	2	1	2	3	0	2
DREMFIA	2	1	1	2	3	1	1
DEMCROP	3	0	1	2	3	0	2
SWAT	3	2	0	1	2	0	2
INCA	3	2	0	1	2	0	2
KUTOVA	1	2	1	3	2	0	1
COHERENS	3	2	0	1	2	0	2

Legitimiteetti				
	Osallistuminen	Lähtötietojen avoimuus	Tietoperustan ajantasaisuus	Mallin ja mittausten yhteensopivuus
Malli	Sidosryhmät osallistuneet mallin kehitykseen = 1 mallin sovellukseen = 2 tulosten arviointiin = 3 ai mihinkään = 4	Onko lähtötiedot avoimesti saatavilla Kyllä = 1 Ei = 0	Onko tietoperusta ajantasainen Kyllä = 1 Ei = 0	Voidaanko mallituloksia verrata mitattuihin havaintoihin Kyllä = 1 Ei = 0
LLR	2	1	0	1
RUSLE	3	1	1	0
VEMALA	3	0	1	1
VIHMA	2	0	0	0
DREMFIA	3	1	1	1
DEMCROP	3	0	1	1
SWAT	4	0	1	1
INCA	3	0	1	1
KUTOVA	1	0	0	0
COHERENS	4	0	1	1





VALTIONEUVOSTON
SELVITYS- JA TUTKIMUSTOIMINTA

tietokayttoon.fi

ISSN 2342-6799 (pdf)
ISBN 978-952-287-464-1 (pdf)

