

# Vesien ja merenhoidon mallityön tiekartta

Osa A: Mallien kehittämisen tiekartta

Osa B: Mallien soveltamisen toimintasuunnitelma

24.10.2017



Ympäristöministeriö  
Miljöministeriet  
Ministry of the Environment

Vesien ja merenhoidon mallityön tiekartta .....	3
Tiivistelmä.....	3
Osa A: Mallien kehittämisen tiekartta .....	3
1. Tiivistelmä .....	3
2. Johdanto.....	5
3. Vesien- ja merenhoidon mallijärjestelmän visio .....	6
4. Mallijärjestelmän nykytilanteen kuvaus .....	6
5. Mallijärjestelmän kokonaisarkkitehtuuri ja mallijärjestelmän kehitystarpeet vuoteen 2030 .....	11
5.1. Taustaa.....	11
5.2. Mallien kehitystarpeet pitkällä aikavälillä .....	12
5.2.1. Tutkimustarpeet .....	12
5.2.2. Mallintamista palveleva seuranta .....	14
5.2.3. Mallien käytettävyyden parantaminen.....	16
6. Vuosina 2015-2017 käynnistynyt ja toteutunut mallikehitystyö .....	16
7. Teemojen priorisointi ja mallikehitystyö vuosina 2018-2020 .....	18
7.1. Rehevöityminen.....	18
7.1.1. Ihmisen toiminta .....	19
7.1.2. Paineet.....	20
7.1.3. Tila ja vaikutukset.....	21
7.1.4. Toimenpiteet .....	22
7.1.5. Vesienhoidon ja merenhoidon rehevöitysmallityön painopisteet v. 2018-2020 .....	24
7.2. Haitalliset aineet .....	25
7.2.1. Ihmisen toiminta .....	25
7.2.2. Paineet.....	26
7.2.3. Tila ja vaikutukset.....	27
7.2.4. Toimenpiteet .....	27
7.2.5. Vesienhoidon ja merenhoidon haitallisten aineiden mallintamisen painopisteet v. 2018-2020.....	28
7.3. Luonnon monimuotoisuus .....	28
7.3.1. Ihmisen toiminta .....	29
7.3.2. Paineet.....	29
7.3.3. Tila ja vaikutukset.....	30
7.3.4. Toimenpiteet .....	31
7.3.5. Biodiversiteetin mallintamisen painopisteet v. 2018-2020 .....	31
8. Mallinnusympäristö .....	33
Osa B: mallien soveltamisen toimintasuunnitelma vuosille 2016-2021 .....	34
Tiivistelmä .....	34
1. Johdanto .....	35
2. Vesienhoidon ja merenhoidon prosessi .....	35
3. Vesien ja meren ominaispiirteiden tarkastelu .....	36

4.	Vesiin ja mereen kohdistuvien paineiden arviointi .....	37
5.	Vesien ja meren tilan arvio .....	39
6.	Vesiin ja mereen liittyvät taloudelliset tarkastelut.....	40
7.	Vesien ja meren tilan seurannan järjestäminen .....	41
8.	Paineiden vähentämistavoitteiden asettaminen (Gap-to-GES).....	41
9.	Toimenpiteiden toteutumisen seuranta .....	42
10.	Toimenpiteiden määrittäminen ja mitoittaminen .....	42
11.	Vaikutusten arviointi.....	43
12.	Poikkeamien määrittely.....	44
13.	Suunnitelmien ja toimenpideohjelmien laadinta.....	44
14.	Sidosryhmäyhteistyö ja kuuleminen .....	44
	Liitteet .....	46

## Vesien ja merenhoidon mallityön tiekartta

### Tiivistelmä

YM:n ja SYKEN tulossopimusneuvotteluissa vuodelle 2015 sovittiin, että vesien ja merenhoidon tarpeita varten laaditaan erityinen mallityön tiekartta, joka kattaa SYKEN mallinnuksen nykytilanteen sekä linjaa SYKEN mallinnus- ja resurssitarpeita ja tavoitteita lyhyellä (2015-2017; 2018-2020) ja pitkällä aikavälillä (2015-2030). Tätä varten perustettiin työryhmä, jossa oli edustajat Ympäristöministeriön Luontoympäristöosastolta, SYKEN Vesi- ja Merikeskuksista sekä Uudenmaan ELY-keskuksesta. Työryhmän puheenjohtajana toimi Maria Laamanen.

Tiekartta koostuu kahdesta osasta: Osa A Mallien kehittämisen tiekartta sekä Osa B Mallien soveltamisen toimintasuunnitelma. Työryhmä valmisteli Osa A:n vuoden 2015 aikana ja luonnosteli Osa B:n rungon. Osa B on valmisteltu kevään ja kesän 2016 aikana ja on lisätty osaksi tätä mallitiekarttaa 6.9.2016.

### Osa A: Mallien kehittämisen tiekartta

#### 1. Tiivistelmä

Mallien kehittäminen SYKEssä on tapahtunut ja tulee jatkossakin tapahtumaan useiden eri rahoituslähteiden turvin, joista YM:n rahoitus muodostaa vain osan. Muita rahoittajia ovat mm. MMM, voimayhtiöt, Suomen Akatemia, TEKES, EUn rahoitusinstrumentit ja Itämeren BONUS-ohjelma. Nyt kyseessä olevan vesien ja merenhoitoa palvelevan Mallien kehittämisen tiekartan laatimisessa hyödynnettiin SYKEN Vesikeskuksen mallistrategiaa v. 2013 sekä SYKEN Vesikeskuksen ja Merikeskuksen yhteistä muistiota merimallijärjestelmän kehitystarpeista (18.9.2014).

Työryhmä asetti keskipitkän aikavälin vision: ”Ympäristöviranomaisilla on 2030 mennessä käytettävissä vesien- ja merenhoidon keskeisiin tarpeisiin vastaava, sujuvasti toimiva mallijärjestelmä, joka on tieteellisesti relevantti (biologis-kemiallisten ja hydrodynaamisten prosessien kuvaukset ym.) ja testattu. Se sisältää myös epävarmuustarkastelut. Järjestelmä tukee kustannustehokkaiden toimenpiteiden suunnittelua ja niiden toteutuksen vaikuttavuuden arviointia sekä eri vesiympäristöjen hyvän tilan saavuttamiseen tähtäävää päätöksentekoa riskianalyseineen.” Sen saavuttamista tukee tieto- ja mittaustekniikan edistyminen sekä mallien ja avoimien tietolähteiden yhteiskäyttö, joka mahdollistaa nopeiden modulaaristen ja geneeristen sovellusten teon. Karttapohjaiset käyttöliittymät sekä animaatiot ja virtuaalitodellisuuden sovellukset tulevat antamaan paljon mahdollisuuksia havainnollistaa vesiympäristön ilmiöitä ja mallituloksia viranomaisille ja suurelle yleisölle.

Työryhmän mielestä YM:n ja SYKEN tulee voida tukeutua vesi- ja meriympäristön tila-arvioinneissa sekä toimenpiteiden vaikutusarvioinneissa useitten erilaisten mallien käyttöön ja säilyttää tarvittava mallikirjo. Laadukkaat havaintoaineistot ovat jatkossakin erittäin tärkeitä mallien kehittämisessä, kalibroinnissa ja validoinnissa. Tämä tulee ottaa huomioon seurantaan kohdennettaessa. Erilaisten kiinteiden (mittauspoijut ja automaattiasemat) ja liikkuvien (laivat ja satelliitit) havaintoalustojen avulla saadaan tarvittava reaaliaikainen mittausaineisto mallinnettavien ilmiöiden ajallisen ja paikallisen vaihtelun kuvaamista varten.

Erityisiä mallien kehittämiseen liittyviä tutkimustarpeita ovat ihmistoiminnan paineiden vaikutusten kvantifiointi ekologiseen tilaan, vesienhoidon toimenpiteiden kuvaukset, katveisten vesialueiden tuulikentät sekä planktonin funktionaalisten ryhmien toiminta ja vuorovaikutukset. Haitta-aineiden osalta tarvitaan tietoa uusien haitta-aineiden ominaisuuksista ja käyttäytymisestä suomalaisessa ympäristössä. Hajoamisen, sitoutumisen ja metabolisten prosessien tuntemus parantavat mallien tarkkuutta. Haitta-aineiden yhteisvaikutusten arvioimiseen on panostettava kehittämällä summavastemuuttuja, jota voidaan käyttää ennustettaessa haitta-aineiden vaikutusten leviämistä. Biodiversiteettimallinnuksessa on keskeistä kehittää

mallijärjestelmä jonka avulla voidaan arvioida vesi- ja meriympäristön eri luontotyyppien tilaa ja arvioida merensuojelualueiden tehokkuutta biodiversiteetin ja ekosysteemin toimintojen turvaajana.

Työryhmän ehdotukset YM-rahoituksella tehtävästä kehitystyöstä vuosina 2018-20 luokiteltiin kahteen prioriteettiryhmään, joiden sisällä olevia tehtäviä ei asetettu prioriteettijärjestykseen. Alla on esitelty ensimmäisen prioriteettiryhmän tehtävät (päivitetty syksyllä 2017).

**Rehevöitymiseen** liittyvien mallien kehityksessä vuosina 2018-2020 ensisijaista on:

#### **Ihmistoiminnan vaikutusten arviointi**

- VEMALAn prosessienkuvausten (mm. maa- ja metsätalous) parantaminen (SISÄVEDET) (Osin Lohko-hankkeet ja Freshabit-hanke) (Liittyy FICOS- mallin laajentamiseen, VEMALAn laskema ravinnefraktioiden jokikuormien syöte FICOSiin)
- VEMALAn orgaanisen aineen ja kiintoaineen laskennan parantaminen (SISÄVEDET, RANNIKKO)

#### **Luokittelu/Tilan arviointi**

- FICOS -mallin laajentaminen kattamaan Suomen kaikki rannikkoalueet (RANNIKKO) (Perämeri 2018-2019)
- LLR/CLR-malli: hierarkiapäivitys ryhmittelyn perusteella (LLR) ja sisäisen kuormituksen mallintamisen tarkentaminen (SISÄVEDET, RANNIKKO) (Rannikkomuodostumien ryhmittely CLR:ssä valmistui syksyllä 2016)
- Vesimuodostumien ekologisen tilan mallinnus luokitteluun ja vaikutusten arviointiin biologisten aineistojen perusteella (SISÄVESI)
  - LLR mallin trofiaindeksin (TPI) ja sinilevien mallinnus laskennallisen luokittelun parantamiseksi ja toimenpiteiden vaikutusten arvioimiseksi
  - Monilajimallinnuksen soveltaminen ekologisen tilan mallinnuksessa ja riskiarvioinnissa
- Ekologisen tilan keskitetyn indeksilaskennan kehittäminen (SISÄVEDET, EKOLAS-hanke 2017-)
- Todennäköisyystarkastelujen implementointi FICOS-Saaristomerimalliin (RANNIKKO, AVOMERI)

#### **Toimenpiteiden suunnittelu**

- KUTOVA-mallin tyypiversion kehittäminen, jolloin soveltuu myös merenhoidon tarpeisiin (SISÄVEDET, RANNIKKO)
- KUTOVA- mallien linkitys VEMALA- ja rannikomerimalliin (RANNIKKO)

**Haitallisten aineiden** osalta vastaava luettelo YM-rahoituksella tehtävästä mallien kehitystyöstä vuosina 2018-20 on:

- Tuntilaskennan liittäminen VEMALAAan haitallisten aineiden päästöjen nopeiden tilanteiden simulointia varten. Nykyisin malli toimii päivän pituisella aika-askeleella, joka ei ole riittävä nopeissa päästötilanteissa (SISÄVEDET)
- Prioriteettiaineiden (orgaanisten sekä metallien) kuormituksen ja leviämisen mallintaminen (SISÄVEDET, RANNIKKO, AVOMERI)
- Mallien kehitys seurannan ja vesien kemiallisen tilan luokittelun avuksi (SISÄVEDET, RANNIKKO, AVOMERI)
- BLM-mallien (metallit) testaaminen ja kehittäminen sisävesissä (SISÄVEDET) (Mineview-hanke (SA), Uupri-hanke 2017->2018)

Sisävesien ja meriympäristön **monimuotoisuuden** mallintamiseen liittyen työryhmä ehdottaa, että vuosina 2018-20 YM:n rahoitus painottuu seuraaviin asioihin:

SISÄVEDET:

- Olemassa olevien laajojen biodiversiteettiaineistojen koostaminen, harmonisointi ja käyttäminen sisävesien luonnontilaisuusindeksien kehittämisessä
- Biodiversiteettiaineistojen jatkoanalysointi ja sellaisten indeksien kehittäminen, joita voidaan käyttää korvikemuuttujina ekosysteemipalveluiden kuvaamisessa
- Pienvesien ekologisen tilan arvioinnin kehittäminen ennustavan mallinnuksen avulla (Käynnissä, SISÄVESI, Freshabit-hanke, 2016-2022)
- Vesienhoidon tila-arvioiden hyödyntäminen monimuotoisuuden mallintamisessa (Käynnissä, SISÄVESI, LuTU-arviointityö 2016-2018, Freshabit-hanke 2016-2022)

#### RANNIKKO:

- Vertaillaan lajimallinnusmenetelmiä; testataan ja validoidaan jatkokehitykseen valittuja malleja ja mallinnusmenetelmiä (mm. VELMU)
- Jatketään ympäristömuuttujia ja ihmispaineita koskevien tietojen täydentämistä mallintamalla
- Kehitetään koko maan merialueet kattavia habitaattimalleja huomioiden sekä luonto-direktiivin raportoinnin että HUB:in (HELCOM Underwater Biotope and Habitat Classification) soveltamisen vaatimukset (yhteistyö mm. Metsähallitus LP)
- Kehitetään yhteisö- ja biodiversiteettimallinnusta
- Kehitetään mallisovelluksia, joissa laji- ja habitaattitietoa yhdistetään ihmispainetietoon ja siten tunnistetaan sekä monimuotoisuuden hotspot-alueita että eniten suojelun tarpeessa olevia alueita (esim. Zonation-ohjelma).
- Kehitetään monimuotoisuusmalleja vastaamaan merialuesuunnittelun tarpeita.

Meren- ja vesienhoidon mallijärjestelmän sujuva hyödyntäminen YM:ssä ja ELY-keskuksissa edellyttää ao. mallinnusympäristön luomista SYKEen. Laaja-alaisia ekosysteemimalleja on kehitettävä avoimella, kaikkien saatavilla olevalla koodilla yhteistyössä kansallisen (etenkin Ilmatieteen laitos ja yliopistot) ja kansainvälisen mallintajayhteisön kanssa. SYKEen tulee kehittää myös moderneja, realistisia (mekanistisia) malleja epävarmuustarkasteluineen. Tässä työssä on syytä hyödyntää SYKEen eri laboratorioiden (Merikeskuksen ekologinen tutkimuslaboratorio ja Laboratoriokeskus) tuloksia.

Tutkimusta on suunnattava keskeisiin tiedon lisätarpeisiin (kokeellinen tutkimus, seurannat, teorian kehitys).

Tätä kehittämisen tiekarttaa tullaan jatkossa päivittämään vuoden välein aina elokuun loppuun mennessä. Kehittämisen tiekartan jatko-osana on laadittu mallien soveltamisen toimintasuunnitelma (tiekartan osa B). Siinä esitetään miten malleja käytetään vesienhoidon 3. kauden ja merenhoidon 2. kauden suunnitteluprosessissa ja mitä tavoitteen saavuttaminen edellyttää mallien kehitystyön kannalta. Työ tehdään YM:n, SYKEen vesikeskuksen ja merikeskuksen yhteistyönä yhdessä ELY-keskusten kanssa.

## 2. Johdanto

YM:n ja SYKEen tulossopimusneuvotteluissa vuodelle 2015 sovittiin, että laaditaan erityinen mallityöntiekartta, joka kattaa SYKEen mallinnuksen nykytilanteen sekä linjaa SYKEen mallinnus- ja resurssitarpeita ja -tavoitteita vesien- ja merenhoidon tarpeita lyhyellä (2015-2017; 2018-2020) ja pitkällä aikavälillä (2015-2030). SYKEen puolelta mallityöntiekarttaa ovat olleet kokoamassa Timo Huttula, Anna-Stiina Heiskanen, Risto Lignell, Turo Hjerppe, Matti Leppänen, Samu Mäntyniemi, Soile Oinonen, Markku Viitasalo, Jani Heino ja Jukka Aroviita. YM:n puolelta työtä ovat ohjanneet Maria Laamanen, Hannele Nyroos ja Saara Bäck. Mauri Karonen Uudenmaan ELY-keskuksesta on edustanut loppukäyttäjien näkökulmaa.

Vesien ja merenhoidon suunnittelu ja toimenpideohjelmien laatiminen edellyttää sisä- ja rannikkovesien sekä merialueiden tilan ja muutosten mekanismien ymmärtämistä, samoin kuin systeemiä säätelevien

paineiden muutosten ja toimenpiteiden vaikutusten arviointia sekä niihin kytkeytyviä sosio-ekonomisia analyysejä. Vesi- ja meristrategiapuitedirektiivien vaatimat analyysit edellyttävät sekä ympäristötavoitteen että ehdotettujen toimenpiteiden ympäristövaikutuksen määrällistä arviointia ja ennusteita. Ennusteen laatiminen puolestaan edellyttää riittävän realistisia matemaattisia malleja. Toimenpiteiden suunnittelussa mallien käyttö on jatkossa keskeisellä sijalla.

SYKE on keskeinen akvaattisten mallien soveltaja ja kehittäjä Suomessa. Sen mallit kattavat jo nykyisellään useimpia tietotarpeita vesialalla. Ilmatieteen laitos on toinen merkittävä toimija mallien soveltamisen ja kehittämisen alalla. Sen kanssa SYKE on laatinut yhteisen mallien kehittämissuunnitelman v. 2015 ja laitoksilla on aktiivista sekä operatiivista että tutkimuksellista yhteistyötä. SYKE tekee läheistä malliyhteistyötä myös useiden yliopistojen kanssa, joista merkittävintä ovat yhteiset hankkeet Aalto yliopiston (prof. Koivusalo), Turun yliopiston (prof. Alho) ja Lappeenrannan teknisen yliopiston (prof. Haario) kanssa. Luonnonvarakeskuksen kanssa SYKellä on aktiivista yhteistyötä mm. metsien ja peltojen ravinnehuhtoutumien mallinnuksessa ja tätä yhteistyötä on syytä syventää, jotta LUKEn peltojen ja metsien mallinnustyön tulokset tulisivat nykyistä paremmin käyttöön ravinnekuormien arvioinnissa. Tässä työssä keskitytään kuitenkin ympäristöministeriön hallinnon alan mallien kehittämisen ja käytön tarpeisiin eikä luoda laajempaa katsausta mallien kehittämisen kentästä Suomessa, mikä sinällään olisi tarpeen jossain vaiheessa.

Tiekartan kehittämisessä on hyödynnetty SYKEN Vesikeskuksen mallistrategiaa v. 2013 sekä SYKEN Vesikeskuksen ja Merikeskuksen yhteistä muistiota merimallijärjestelmän kehitystarpeista. Lisäksi taustatietona on käytetty EU DEVOTES hankkeen koostamaa raporttia, joka sisältää laajan katsauksen malleista EU:n meristrategiadirektiivin mukaisenmeriympäristön hyvän tilan arvioimiseksi.

### **3. Vesien- ja merenhoidon mallijärjestelmän visio**

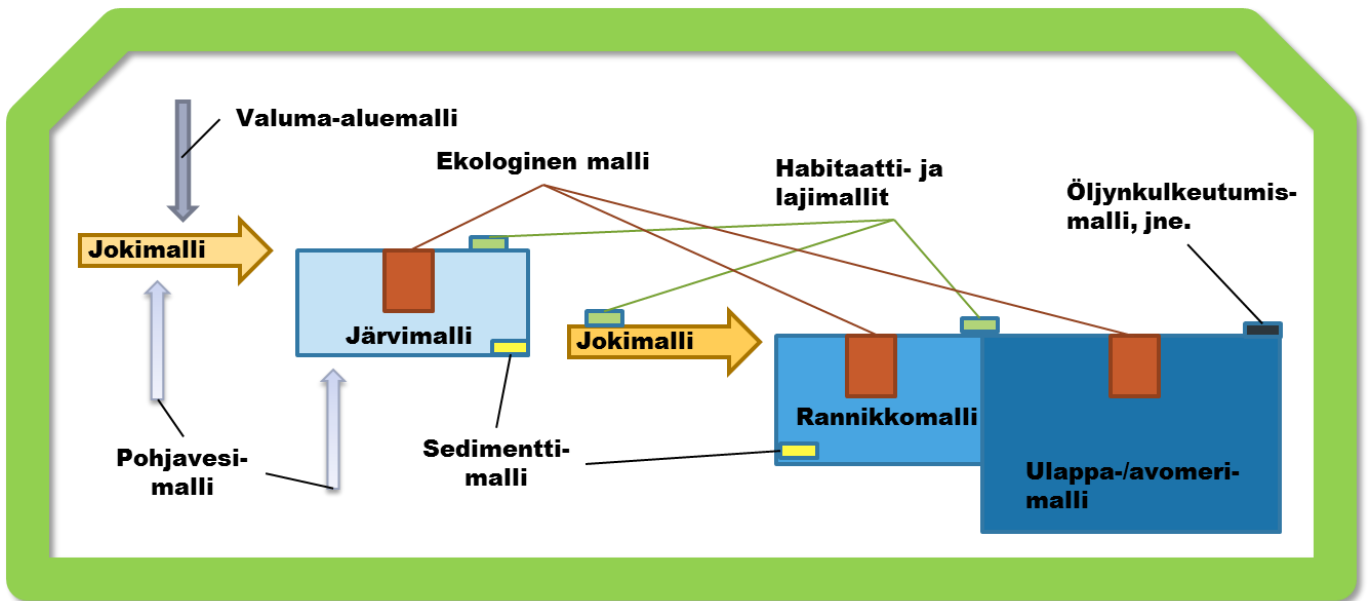
Työryhmän työn keskeisenä tavoitteena oli asettaa vesien- ja merenhoidolle pitkän tähtäimen visio, joka osaltaan ohjaa strategiatyötä. Visioksi saatiin: ”Ympäristöviranomaisilla on 2030 mennessä käytettävissä vesien- ja merenhoidon keskeisiin tarpeisiin vastaava, sujuvasti toimiva mallijärjestelmä, joka on tieteellisesti relevantti (biologis-kemiallisten ja hydrodynaamisten prosessien kuvaukset ym.) ja testattu. Se sisältää myös epävarmuustarkastelut. Järjestelmä tukee kustannustehokkaiden toimenpiteiden suunnittelua ja niiden toteutuksen vaikuttavuuden arviointia sekä eri vesiympäristöjen hyvän tilan saavuttamiseen tähtäävää päätöksentekoa riskianalyyseineen.”

### **4. Mallijärjestelmän nykytilanteen kuvaus**

Tällä hetkellä SYKE kehittää malleja tulvasuojelun ja erityisesti meren- ja vesienhoidon suunnittelutarpeita varten. Malleja voidaan käyttää ketjutetusti (Kuva 1). Näin voidaan arvioida ravinteiden kulkeutumista ja vesistöalueiden ja vesimuodostumien rehevöitymisvasteita, sekä analysoida toimenpiteiden kustannus-hyöty-suhteita. Mallikirjo on laaja ulottuen tilastollisista malleista aina monimutkaisiin dataintensiivisiin mekanistisiin malleihin, jotka tähtäävät realistisiin keskeisten vuorovaikutusten ja ainevirtojen kuvauksiin (Liitteet 1-2).

Vaikka mekanistiset mallit ovat usein laskennallisesti raskaita, on niiden realismi puolestaan edellytys luotettaville ennusteille ihmistoimintojen muutosten ja muuttuvan ilmaston vaikutuksista. Nämä mallit vaativat runsaasti lähtötietoja, joita on kuitenkin niukasti saatavilla. Toisaalta, kaikkea vesientilan vaihtelua ei pystytä mallintamaan eikä se ole aina edes tarpeen. Riittää, kun keskeisten painetekijöiden ja toimenpiteiden vaikutukset saadaan mallinnettua vesien- ja merenhoidon kannalta sopivassa tila-aikaskaalassa. Näiden mallien prosessien kuvausten kehittämisessä on syytä myös hyödyntää SYKEN eri

laboratorioiden (Merikeskuksen ekologinen tutkimuslaboratorio ja Laboratoriokeskus) tuloksia. Laboratoriotutkimusten tuloksilla mallien tarkkuutta ja täsmällisyyttä voidaan parantaa.



Kuva 1. Kaavio mallikehikosta, joka kattaa valuma-alueen, sisävesien ja rannikon vesimuodostumat sekä merialueet. Habitaattimalleja tarvitaan merenhoidossa ja merialuesuunnittelussa sekä EU:n biodiversiteettistrategian arviointeja varten.

Tilastollisia malleja käytetään esimerkiksi, kun

- estimoidaan tilaluokka ja sen vaihtelu
- arvioidaan paineiden vaikutukset sekä niihin liittyvä epävarmuus ja riskit
- optimoidaan VHO/MHO toimenpiteiden kustannukset ja hyödyt
- minimoidaan riskit
- yhdistetään (datafuusio ja –assimilaatio) ja analysoida eri lähteistä peräisin olevia suuria tietomääriä (Big Data)
- optimoidaan seurantaan liittyvä otanta

LLR-malli yhdistää mekanistisen ja tilastollisen mallinnuksen parhaat puolet Bayes-päätelyyn ja MCMC-simuloinnin avulla. Mekanistiseen osamalliin on valittu päätöksenteon kannalta keskeiset ja seuranta-aineiston avulla identifioitavissa olevat tekijät. Muut haitta- tai satunnaistekijät on sisällytetty tilastollisen osamalliin, jonka avulla ennusteen hajonta ja luottamusväli on määritettävissä. Aiheeseen liittyen on julkaistu kaksi väitöskirjaa (Malve 2007 ja Pätynen 2015) ja valmisteilla yksi väitöskirja (Niina Kotamäki, 2018).

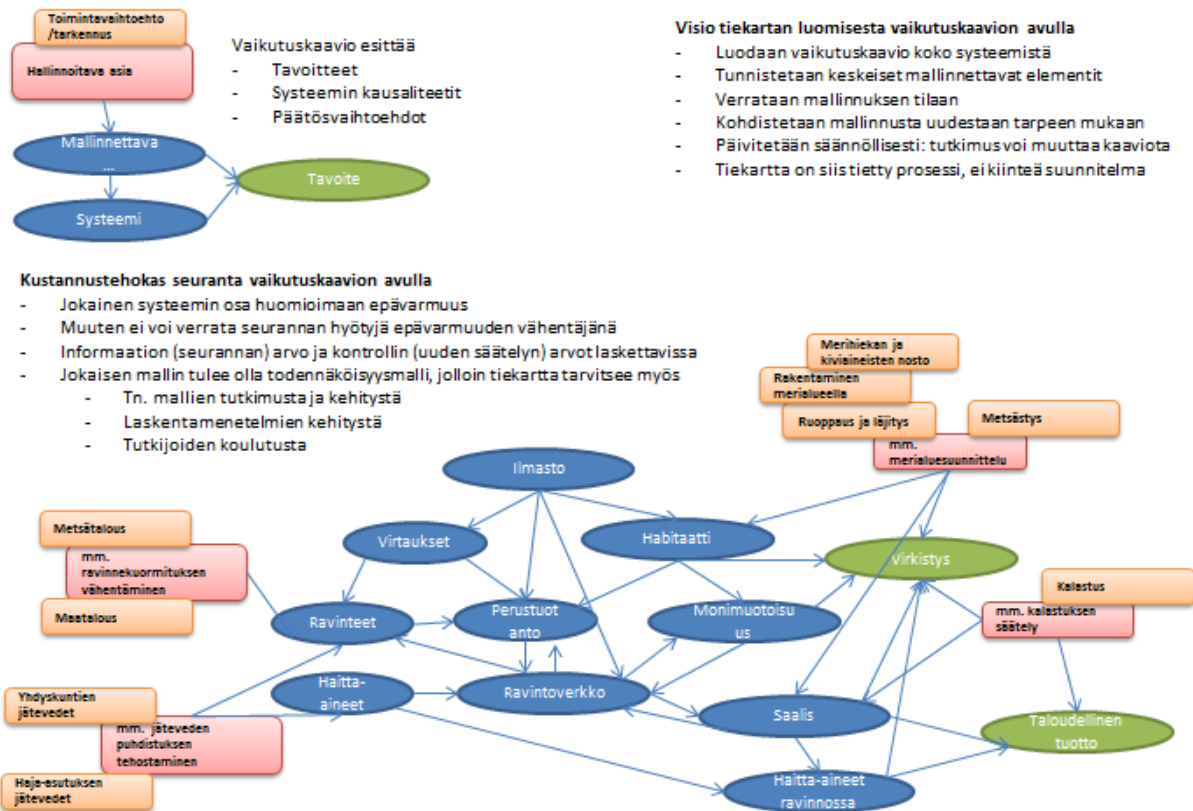
Mallit eivät ole täydellisiä ja myös havainnoissa on epävarmuutta (liittyen näytteenoton edustavuuteen, mittausten tarkkuuteen ja tulkintaan). Malliennusteiden todennäköisyys- eli epävarmuustarkastelu onkin tärkeää ja lisää mallitulosten hyödynnettävyyttä pelkkiin keskiarvoennusteisiin verrattuna. Näin on esimerkiksi vesienhoidollisten toimenpidevaihtoehtojen kustannustehokkuutta vertailtaessa. Nykyisin SYKE käyttää tässä kahta lähestymistapaa. WSFS-Vemala mallissa ennuste saadaan parviennusteena, joka perustuu suuren meteorologisen mallijoukon antamiin pakotteisiin. LLR-mallissa lasketaan mallin parametrien, mallivirheen ja ennusteen tilastolliset jakaumat ja luottamusvälit käyttäen Bayes-päätelyä ja MCMC-simulointia. Mallin parametrit ja ennusteet on helppo päivittää kun saadaan uutta havaintoaineistoa. Jatkossa mallitulosten ja -ennusteiden epävarmuustarkastelut on syytä liittää kaikkiin SYKEN keskeisiin malleihin, mukaan lukien meneillään oleva rannikkomallinnuksen kehitys. SYKEN mallityökalut eivät nykyisellään vastaa kaikkiin laajan aihepiirin tarpeisiin (Kuva 2).





Kuva 2. Vesien ja merenhoidon kustannustehokkaiden toimenpiteiden, hyvän tilan ja seurannan suhde ihmisen toiminnasta aiheutuviin paineisiin ja vaikutuksiin sekä kysymyksiä, joihin malleilla haetaan vastauksia.

Viime aikoina Bayes-verkkojen käyttö on osoittautunut tässä suhteessa lupaavaksi täydentäväksi lähestymistavaksi. Bayes-verkkoihin voidaan liittää myös asiantuntija-arvioita ja ne auttavat hahmottamaan laajojen ympäristökysymysten vuorovaikutussuhteita tukien päätöksentekoa ja siihen liittyviä riskianalyysejä (Kuva 3).



Kuva 3. Bayes-verkot ja mallit toisiaan tukevana arviointivälineinä vesien- ja merenhoidon suunnittelussa sekä päätöksenteko- ja riskianalyysissä.

Ilmastonmuutos tulee vaikuttamaan vesistöjen ravinnekuormitukseen ja vesistöjen tilaan näkyvästi jo vuoteen 2030 mennessä ja pidemmällä jaksolla vielä voimakkaammin. Ilmastonmuutoksen odotetaan kasvattavan luonnonhuuhtoutumaa, se yhdessä maatalouden muutosten kanssa voi vaikuttaa merkittävästi vesistöjen ravinnekuormitukseen. Maatalouden tulevaisuuteen vaikuttavat ilmastonmuutos uusien tuotanto-olosuhteiden kautta ja vaihtelut maatalouden tuotteiden sekä tuotantopanosten hinnoissa sekä tukipolitiikan vaihtelut. Näihin tulevaisuusskenaarioihin liittyy merkittävä epävarmuus, jonka vaikutus ravinnekuormitukseen ja toimenpiteiden suunnitteluun mallijärjestelmillä pitää pystyä kuvaamaan.

Ilmastonmuutos vaikuttaa myös virtaamien vuodenaikaiseen vaihteluun, kuten kesäkauden matalan virtaaman jakson pidentymiseen ja veden lämpötilaan. Näiden yhteisvaikutus ravinnekuormituksen muutosten kanssa vesistöjen tilaan tulee pystyä huomioimaan tarkasteluissa.

Mallijärjestelmillä täytyy pystyä luomaan ja simuloimaan erilaisia tulevaisuuskuvia, esimerkiksi siitä miten peltoviljely voidaan tulevaisuudessa järjestää vesistöjen hyvän tilan kuormitusrajojen puitteissa ja miten ravinteiden tehokkaammalla kierrätyksellä ja huuhtoutumisen estämisellä voidaan päästä suurempaan tuotannon volyymiin vesistöjen ja meren hyvän tilan puitteissa.

Lisäksi mallijärjestelmillä pitäisi pystyä arvioimaan erilaisia hintaskenaarioita soveltaen, miten kustannustehokkaita erilaiset ravinteita kierrättävät ja säästävät toimenpiteet olisivat. Realistiset tulevaisuuskuvat ovat tärkeitä vesien- ja merenhoidon suunnittelun lisäksi myös eri toimijoille, erityisesti maataloudessa. Hyvä käsitys mahdollisista ja odotettavissa olevista muutoksista auttaisi toimialan suunnittelua, esimerkiksi siinä, miten vesien tilatavoitteet heijastuvat tuotannon alueelliseen jakaumaan ja siinä, mitä hyötyjä ravinteita kierrättävillä ja säästävillä toimenpiteillä voidaan saavuttaa. Tämän kokonaisuuden hallinta mallijärjestelmillä edellyttää yhteistyötä eri laitosten, ainakin SYKEN ja LUKEN välillä.

Metsätalouden osalta tilanne on samankaltainen kuin maataloudessa. Mallijärjestelmillä täytyy pystyä arvioimaan erilaisten muuttuvan ilmaston huomioivien metsänkäytön skenaarioiden vaikutuksia vesistöjen ja meren ravinnekuormitukseen koko maan tasolla.

Sisävesialueille laaditut mallit eivät ole sellaisenaan sovellettavissa merialueille johtuen näiden alueiden erilaisista biogeokemiallisista ja hydrodynaamisista ominaisuuksista. Tästä syystä on tarve kehittää sekä vesien- että merenhoidon malleja edelleen kattamaan rannikko- ja merialueet sekä niiden paineet ja vas-teet ympäristötekijöiden osalta. Näille alueille ollaankin laatimassa matemaattisia malleja ravinnekuormituksen sekä virtausten ja kulkeutumisen (ravinteet, toksiinit, levämassa ym.) vaikutusten arviointia varten.

Lisäksi tarvitaan laskentamalleja muiden paineiden kuin ravinnekuormituksen aiheuttamien vaikutusten arviointiin. Esimerkiksi määritettäessä haitallisten aineiden (raskasmetallit, mikrobit, teollisuus- ja kulut-tajakemikaalit, lääkeaineet) vaikutuksia vesiekosysteemeihin ja ihmisiin tarvitaan malleja, joilla voidaan simuloida haitallisten aineiden kulkeutumista ja kertymistä ravintoverkkoon sekä näin arvioida ao. vaikutusten synnyttämiä riskejä ja eri toimenpiteiden vaikutuksia. Tällaisia malleja SYKE kehittää parhaillaan eri hankkeissa.

Monet vesien- ja merenhoidon toimenpiteistä toteutetaan maalla, mutta toimenpiteiden vaikutukset to-dennetaan vesistöissä, rannikolla ja avomerellä, mikä edellyttää koko jatkumon mallintamista. Lisäksi merenhoidon suunnittelussa on arvioitava merialueilla tapahtuvien ihmistoimintojen ja siellä toteutettavi-en toimenpiteiden kuten kalastuksen, kalanviljelyn, ja merenkulun vaikutuksia ekosysteemiin, habitaat-teihin ja eliöryhmien monimuotoisuuden muutoksiin. Merenhoitoon sisällytetään myös uusia paineita, kuten roskaantuminen, vedenalainen melu sekä merenpohjaan kohdistuvat toimet kuten rakentaminen, merihiekan nosto, ruoppaus ja läjitys. Näiden paineiden vaikutusten arviointiin merenhoidon toimenpi-teiden suunnittelussa edellyttää useiden mallien hyödyntämistä, mahdollisesti uusien mallien ja kokoavien suunnittelutyökalujen kehittämistä malleilla saatavien tulosten synteetin tuottamiseksi ja eri ratkaisuvaihtoetohtojen puntaroimiseksi (esimerkiksi Bayes-verkot, kuva 3).

Mallikokonaisuuden tulisi siis kuvata toimenpiteen vaikutus valuma-alueelta rannikkovyöhykkeen kautta ulapalle (Kuva 1). Analysoimalla toimenpiteiden kustannusvaikutukset ja epävarmuudet, voidaan tunnis-taa optimaaliset toimenpideyhdistelmät (paras ympäristövaikutus–kustannus -suhde).

Mallikehityksessä painotetaan yhteistyötä eri mallien ja mallintajien kesken. Esimerkiksi kuormitus- ja ekosysteemimalleja tulee kehittää siten, että niistä saatavat tulokset ovat kelpollisia toimenpiteiden vaikutusarviointeihin ja kustannus-hyötytarkasteluun. Tämä edellyttää vuoropuhelua eri tieteenalojen välillä ja mallijärjestelmän kehittämistä kokonaisuutena.

Lisäksi mallityökaluja kehitettäessä vesien- ja merenhoidon tarpeisiin on huomioitava, että mallien sovel-tuvuus direktiivien tarpeisiin on selvästi osoitettava. Uusien mallityökalujen sisällyttäminen suunnittelu-prosesseihin voi tarkoittaa sitä, että niiden käyttö ja tulokset, joudutaan osoittamaan vertailukelpoisena menetelmänä (justification/new method IC) EU:lle.

Nykyisin käytössä olevat ja kehityksen kohteena SYKEssä olevat mallit on esitelty liitteiden 1-3 taulu-koissa 2-3. Mallien kehittäminen on tapahtunut ja tulee jatkossakin tapahtumaan useiden eri rahoitusläh-teiden turvin (mm. YM, MMM, voimayhtiöt, Suomen Akatemia, TEKES, EU:n rahoitusinstrumentit ja Itämeren BONUS-ohjelma).

## 5. Mallijärjestelmän kokonaisarkkitehtuuri ja mallijärjestelmän kehitystarpeet vuoteen 2030

### 5.1. Taustaa

Tieto- ja mittaustekniikan kehittyminen antaa laajoja mahdollisuuksia parantaa malleja ja niihin liittyviä palveluita. Tietokoneiden laskentatehon paraneminen nopeuttaa laskentaa ja mahdollistaa mallien paikka- ja aikaresoluution tihentämisen moninkertaiseksi nykyisestä. Samoin mallien prosessikuvauksia voidaan parantaa ja eri malleja voidaan ketjuttaa tai linkittää merkittävästi nykyistä tehokkaammin. Samanaikaisesti, vesistöseurannan supistaminen heikentää merkittävästi mallinnukseen tarvittavaa tietopohjaa. Mallien ja avoimien tietolähteiden yhteiskäyttö mahdollistaa jatkossa nopeiden modulaaristen ja geneeristen sovellusten teon niin, että niiden tekemiseen ei tarvita entisen kaltaista korkeaa tieto- tai mallitekniistä osaamista. Tämä ei kuitenkaan korvaa mallisovellutusten laatimisessa tarvittavaa substanssiosaamista (kuten vesiekosysteemin toiminnan ekologista ja hydrodynaamista asiantuntemusta).

Karttapohjaisten käyttöliittymien kehittäminen on aktiivisen työn kohteena useiden mallien kohdalla ja ne tulevat kehittymään edelleen. Tulosten esittämisessä erilaiset animaatiot ja virtuaalitodellisuuden esitystavat tulevat lisääntymään ja antavat paljon mahdollisuuksia havainnollistaa vesiympäristön ilmiöitä ja mallituloksia viranomaisille ja suurelle yleisölle. Myös vesien- ja merenhoidon palvelevat mallit on syytä koota yhtenäisen portaaliin, jossa on laadukkaat ja toimivat yhteydet tarvittaviin tietolähteisiin, joka on käyttäjäystävällinen ja jossa tulosten visualisointi on selkeää sekä helposti ymmärrettävää.

Vesi- ja meriympäristön tila- ja vaikutusarvioinnissa on tukeuduttava useitten erilaisten mallien käyttöön, jotta paineiden moninaisia vaikutuksia vesi- ja meriluontoon voidaan arvioida. Erilaisten mallien jatkuvaa kehittämistä ja käyttöä tarvitaan myös SYKEN tutkimuksessa. Esimerkiksi useiden erilaisten huuhtoutumamallien käyttö antaa mahdollisuuden arvioida kriittisesti operatiivisessa päivittäiskäytössä olevien mallien, kuten WSFS-Vemala, tuloksia ja kehittää niitä tarpeen mukaan. Merenhoidossa rannikko ja avomerialueet tarvitsevat erilaisia malliratkaisuja. Lisäksi merenhoidossa käytetty ekosysteemilähestymistapa edellyttää myös luonnon monimuotoisuuden tila-arviota sekä arviota paineiden muutosten ja toimenpiteiden vaikutuksista luonnon monimuotoisuuteen, jolloin tarvitaan erityyppisiä malleja. Rehevoitymisen arvioinneissa korostuvat ulapan prosessi- ja 3D-mallit, monimuotoisuuden tilan arvioinnissa tarvitaan habitaattien esiintymisen tuntemusta ja sitä kautta 2D-spatiaalimalleja.

Laadukkaat havaintoaineistot ovat jatkossakin erittäin tärkeitä myös mallien kehittämisessä, kalibroineissa ja validoinnissa. Tämä tulee ottaa huomioon seuranta kohdennettaessa. Kaukokartoitus on lupaava uusi ajallisesti ja paikallisesti kattava seurantamenetelmä, mutta sen tueksi tarvitaan toisaalta intensiivisen mittaustoiminnan kohdealueita (ympäristöobservatoriot) ja toisaalta riittävän kattava mittaustarve koko Suomen sisävesi- ja merialueilla. Lisäksi jo aloitettua datafuusio- ja assimilaatiomenetelmiä tulisi kehittää ekologisen luokittelun ja ennustamisen näkökulmasta, jotta eri lähteistä peräisin oleva havaintoaineistot saadaan laskennallisesti yhdistettyä ottaen huomioon havaintojen alueellinen ja ajallinen edustavuus sekä mittaustarkkuus.

Ravinnekuormituksen mallintamisessa havaintoaineistojen kanssa yhtä tärkeitä ovat oikeat, kattavat ja alueellisesti tarkat tiedot ihmistoiminnoista. WSFS-Vemala järjestelmässä ravinnekuormitus kuvataan näiden lähtötietojen perusteella. Tarkoillakaan vesistöhavainnoilla ei voida korvata lähtötietojen puutteita. Havainnoista voidaan arvioida ravinnekuorma havaintopisteessä ja ravinnekuorman vaihtelua voidaan kuvata sovittamalla havaintoihin tilastollinen tai osittain mekanistinen malli, mutta näin ei saada luotettavaa tietoa kuormituksen alkuperästä. Edellytys oikeille toimenpiteille on kuormituksen alkuperän tunteminen. Hyvä esimerkki lähtötietojen parantumisesta on tulossa oleva metsätietolaki, jonka avulla saadaan käyttöön alueelliset tarkat tiedot metsätaloustoimenpiteistä kuormituslaskentaan. Haja-asutuksen ja erityisesti maatalouden osalta lähtötietojen saatavuutta tulisi edistää. WSFA-Vemala järjestelmässä nähdään, että nykyisillä lähtötiedoilla arvioitu ravinnekuormitus voi poiketa huomattavasti vesistöissä havaitusta

kuormasta ja tällöin lähtötietoja joudutaan korjaamaan asiantuntija-arvion perusteella. Malli sisältää luonnollisesti itsessäänkin epävarmuutta, mutta lähtötietojen tarkentaminen on kuitenkin avainasemassa. Malleissa pystyttäisiin maatalouden osalta käyttämään lähtötietoina jopa lohkotason viljelytoimenpide, lannoitus- ja satotietoja ja yhdistämään nämä lohkon ominaispiirteisiin, kuten LOHKO ja RAVINNE-RENKI hankkeissa. Yksityiskohtaisempien lähtötietojen saanti tulee pitää pidemmän aikavälin tavoitteena.

Merentutkimuksen FINMARI<sup>1</sup> -infrastruktuurihanke tukee mahdollisuuksia kehittää reaaliaikaisia havaintoaineistoja merenhoidon mallikehitystarpeita tukevaksi. SYKEN reaaliaikaisesti kauppalaivoilla kerättävä Alg@line<sup>1</sup> -havaintoaineisto, kattaa Itämeren kaikki pääaltaat (Suomenlahdella vain Suomen ja Viron aluevesien osalta) ja se palvelee myös ekologisten ja hydrodynamisten mallien tulosten sekä kaukokartoitustuotteiden varmennuksessa.

## 5.2. Mallien kehitystarpeet pitkällä aikavälillä

SYKEN mallipalvelun kehittämiseen pitkällä aikavälillä (2015-2030) liittyy tutkimustarpeita ja seuranta-tiedon kokoamiseen liittyviä tarpeita. Näitä tarpeita käsitellään alla eri osakokonaisuuksien näkökulmasta.

### 5.2.1. Tutkimustarpeet

Mallien fysikaalisen osan kehittämistä varten tarvitaan tutkimusta erityisesti sedimentin läheisen hydrodynamiikan ja kemiallisten prosessien mallintamiseksi (erityisesti sisäisen kuormituksen prosessien, resuspension ja sedimentin ravinnevuon sekoittumisen mallintamiseksi) sekä rannikkoalueilla jokivesien sekoittumisen ja kumpuamisen hydrodynamiikan mallintamiseksi. Katveisilla vesialueilla tarvitaan tuulikentän käyttäytymistä koskevaa tutkimusta. Toinen kehitystehtävä on aaltokuvauksen kehittäminen; nykyisin käytössä olevat aaltokuvaukset on kehitetty merialueille.

Sisäinen kuormitus voi nykytietämyksen mukaan selittyä paitsi resuspensiolla myös mikrobiologisilla hengitysreaktioilla, jotka vaikuttavat orgaanisen fosforin mineralisaatioon ja raudan hapetus-pelkistysreaktioihin. Näihin reaktioihin osallistuvien aineiden (happi, nitraatti, mangaani, rauta, sulfaatti) taseista ja varastojen muutoksista tarvitaan lisätietoa sisäisen kuormituksen mallintamiseksi ja suuruuden arvioimista varten.

Ravintoverkko- ja yleisemmin ravinteiden kierron kuvauksen osalta tarvitaan sekä laboratorio- että kenttäkokeita, jotta keskeisten planktonin funktionaalisten ryhmien (eläin- ja kasviplankton sekä bakteerit) mallikuvauksia voidaan realistisesti toteuttaa. Ravintoverkon toiminnallinen mallintaminen (ns. trait-mallinnus) on tässä olennaista. Toisaalta riittävän realistisilla malleilla pystytään identifioimaan ja fokusoidaan lisätutkimuksen tarve (esimerkiksi Merikeskuksen ekologisessa laboratoriossa).

Pohjavesistä saattaa paikoin purkautua vesistöihin ravinteikasta vettä tai haitta-aineita, jotka vaikuttavat suoraan vesimuodostumien tyypittelyyn, luokitteluun ja painearvioihin. Pohjavesimallien kytkeminen osaksi pintavesimalleja on keskeinen kehitystarve, joka tulevaisuudessa parantaa kuormitusarvioita.

Vesienhoidon ja merenhoidon tavoitteiden saavuttamista varten tulee toimenpiteiden ympäristövaikutus kuvata kaikkien niiden tekijöiden suhteen, joihin toimenpiteellä on vaikutusta. Ei siis vain rehevöitymisen suhteen. Pitkällä tähtäimellä mallijärjestelmän tulisi pystyä linkittämään useita erilaisia malleja, joiden avulla voitaisiin arvioida ihmistoiminnasta johtuvien paineiden vaikutusta esim. ekologiseen tilaan, bio-

---

<sup>1</sup> <http://www.finmari-infrastructure.fi/ferrybox/>

diversiteetin muutosten ja merenpohjan habitaattien tilaan, ravintoverkon toiminnan sekä hydrodynaamisten muutosten vaikutusta ekosysteemien toimintaan.

Haitta-aineiden ominaisuudet ovat ratkaisevassa osassa niiden ympäristökohtalossa. Tarvitsemme tietoa uusien haitta-aineiden ominaisuuksista ja käyttäytymisestä suomalaisessa ympäristössä. Hajoamisen, sitoutumisen ja metabolisten prosessien tuntemus parantavat mallien tarkkuutta. Toisaalta tarvitsemme tietoa vaikuttavista pitoisuuksista paikallisissa olosuhteissa. Ravintoverkoissa esim. kaloihin kertyvien orgaanisten ympäristömyrkyjen mallinnus liittyy ympäristöpitoisuudet ihmisaltistukseen ja on siten oleellisia kohteita haitta-ainemallituksessa. Makean veden bioligandimallit ovat vieneet metallien ympäristöriskinarviointia eteenpäin mutta mallien laajentaminen useampiin raskasmetalleihin auttaisi monimuotoisten päästöjen riskinarviointia. Erityinen ongelma on edelleen bioligandimallien puute murtovedessä. Sedimenttien ympäristölaatonormien kehittämisen lisäksi on syytä ottaa käyttöön aineiden jakautumista ja siten biosaataavuutta sedimenteissä selittävät mallit. Yhteisvaikutusten arvioimiseen on panostettava kehittämällä summavastemuuttuja, jonka leviämistä voidaan ennustaa vesistömallien avulla. Tämä ei kuitenkaan riitä laajempien kokonaisuuksien eli ekosysteemien toiminnan arvioimiseen ja suojelemiseen. Haitta-aineiden merkitystä ekosysteemeissä on tutkittava menetelmillä, joilla voidaan arvioida vaikutuksia populaatioissa ja yhteisön rakenteessa ja siten sen toiminnassa. Tarvitsemme uusia mittareita perinteisten vasteiden sijaan ja niitä voisi löytyä ravinne- ja biodiversiteettimallinnuksesta. Kokonaisuuksien hahmotaminen ja mallintaminen on tärkeää, sillä eliöiden kokema ympäristöstressi on eri osien summa

Biodiversiteettimallinnuksessa on keskeistä kehittää mallijärjestelmä, jonka avulla voidaan arvioida vesi- ja meriympäristön eri luontotyyppien tilaa esim. pohjan koskemattomuuden ja eri habitaattien tilan arvioinnissa. Monimuotoisuuden mallintamisessa tulisi mahdollisimman tehokkaasti hyödyntää vesienhoidon tuottamia ekologisen tilan seuranta-aineistoja (esim. RIVPACS-monilajimallien kehitystyö) sekä VELMU-ohjelman lajien ja habitaattien esiintymistä kuvaavia paikkatietoaineistoja. Rannikkovesissä tässä olennaista on ulappaekosysteemin toiminnan ja habitaattien tilan ja esiintymisen mallintamisen lisäksi kehittää malleja, joilla voidaan arvioida eri paineitten vaikutuksia ravintoverkon huippupetojen (kalat, hylkeet, linnut) populaatioihin. Tällaiset mallijärjestelmät ovat tarpeen mm. vesien- ja erityisesti merenhoidon (kuvaajat 1: biologinen monimuotoisuus, 4: ravintoverkot ja 6: pohjan koskemattomuus) ja merialuesuunnittelun sekä EU:n monimuotoisuusstrategian 2020 arviointeja varten. Biodiversiteetin arvioinnin mallijärjestelmän kehityksessä keskeisiä yhteistyötahoja ovat mm. LUKE, ÅA, GTK, Metsähallituksen luontopalvelut ja LUOMU.

Dynaamisten biogeokemiallisten mallien (ravinnekiertojen ja 3D-hydrodynamiikan kytkennät), VELMUn ja muiden habitaattimallien ja lajikohtaisen biodiversiteettimallien linkittäminen toisiinsa vesien- ja merenhoitoa palvelevaksi kokonaisuudeksi on keskeinen, vaativa haaste tutkimukselle. Suunnittelun tarpeisiin tarvitaan mallityökalupakki, josta on valittavissa DPSIR-ketjujen arviointitarpeisiin sopivat työkalut (Kuvat 1, 2 ja 3).

Vesistöjen hydrologis-morfologinen (HyMo) tila kertoo vesimuodostuman vesiolosta, vaelluskelpoisuudesta sekä uoman rakenteesta. Yksittäisinä tekijöinä voidaan mainita esimerkiksi virtaama, vedenkorkeus, putouskorkeus sekä pohjan ja rannan rakenne. Näillä tekijöillä on vaikutuksia niin vesieliöiden fyysiseen elinympäristöön kuin koko elinkiertoonkin, ja siten vesimuodostumien ekologiseen tilaan. HyMo-tilan muutoksien mallintamisen tarve kasvaa erityisesti ilmaston muutoksen myötä. Suomessa valunnan vuodeaikaisjakauma muuttuu talvivalunnat lisääntyvät ja syntyy tarpeita tarkastella esim. isojen altain säännöstelyjä uudelleen. Valunnan, ilman lämpötilan ja jääpeiteajan muutokset tuottavat tulvia muulloinkin kuin kesällä ja hyydepatoja syntyy myös Etelä-Suomeen. Kalatietarpeiden arvioinnin sekä suunnittelun ja toteutuksen tukena voisi hyvinkin ajatella käytettäväksi mallinnusta. Luken kehittämä elinkierto-malli saattaisi olla käytettävissä tai sovellettavissa ainakin suurissa suunnittelukohteissa. Siitä saisi jonkinlaisia reunaehtoja ja edellytyksiä kalan kulun toteuttamiselle.



Myös aineiden huuhtoutuminen muuttuu ilmaston muutoksen myötä. Tämä heijastuu maa- ja metsätalouden kuormitusten arviointitarpeisiin. Yksinkertaiset prosessikuvaukset eivät pysty tuottamaan tietoa kaikista niistä tekijöistä, joihin muuttuva ilmasto vaikuttaa. Haitta-aineiden kannalta sedimentin resuspensio, liikkuminen ja sedimentoituminen uusille alueille, kuten jokisuistot, tai kokonaan uusille altaille, kuten Itämeri, voi tulla jatkossa vastaan suurenakin arviointitarpeena. Kiintoaineeseen sitoutuneiden haitta-aineiden kulkeutuessa voi tapahtua myös desorptiota partikkeleista eli vesifaasiin siirtymistä kun olosuhteet muuttuvat. Toisaalta erilaisten vesirakenteiden läheisyyteen voi tulla HyMo- muutoksia (tierummut, pienet ja suuret padot, penkereet ja sillat). Myös säiden ääri-ilmiöt lisääntyvät ja tuovat muutoksia esim. aallokkoisuuteen ja sitä kautta rantoihin ja vesimuodostumien pohjiin kohdistuviin paineisiin. Ilmastoltaan äärevinä vuosina vesimuodostumien tila-arviot saattavatkin olla poikkeavia. Nykyisellään järvien ja jokien hydrologis-morfologisten tekijöiden yhteisvaikutusten arviointi toteutetaan vesienhoidossa pisteytyksellä, jossa muutospisteet lasketaan yhteen ja pintavesi luokitellaan hydrologis-morfologisen muuttuneisuuden perusteella viiteen ryhmään. Tätä ja muita puolittain manuaalisia menettelyjä tulisi kehittää edelleen, mutta on ilmeistä että HyMo-tekijöiden mallinnus nousee jatkossa erittäin tärkeäksi mallien soveltamisalueeksi ja osaksi nyt suunnitteilla olevaa mallien kokonaisjärjestelmää.

Valuma-aluejakoa ollaan tarkentamassa, mikä auttaa tarkentamaan hydrologista laskentaa yhä pienemmille vesimuodostumille. Näin saadaan arvioitua mm. virtaaman vaihtelu nykytilanteessa ja muuttuvassa ilmastossa pienissäkin uomissa. Tämä yhdistyy edelleen kuormituksen ja kulkeutumisen mallinnukseen, mikä tuottaa perustietoa pienten virtavesien tilan arviointiin.

Mallien epätarkkuuksien ja virheiden arvioimiseen sekä seurannan mallipohjaiseen optimointiin tulisi soveltaa tilastollisia laskenta- ja estimointimenetelmiä kuten Bayes-päätelymenetelmiä ja MCMC -simulointia. Lisäksi tulisi soveltaa laajemmin Bayes-verkkoja ja rakenneyhtälömallinnusta havaintoaineistojen ja päätösvaihtoehtojen analysointiin. Vähälle huomiolle on jäänyt keskimääräisten aine- ja vesitaseiden ja ekologisten laatutekijöiden vasteiden tilastollinen mallinnus sekä niihin liittyvä vesimuodostumien ryhmittely. Niihin pohjautuen vesikeskuksessa kehitetään tilastollinen vesientilamalli, joka mahdollistaa minkä tahansa vesimuodostuman ekologisen tilan luokittelun sekä hoitotoimenpiteiden ja paineiden vaikutusten arvioinnin keskimääräisten paine-, maankäyttö- ja toimenpidetietojen perusteella. Menetelmät ovat jo käytössä LLR/CLR- mallissa, mutta laajempi käyttöönotto vesientilan arvioinnissa vaatii resursointia ja suunnitelmallisuutta.

Julkishallinnon aineistojen vapautuessa maksuttomasti käytettäviksi vaaditaan paitsi data-assimilaatio- ja datafuusiomenetelmiä niiden yhdistämisessä myös tiedonlouhintamenetelmien hyödyntämistä, jotta oleellinen tieto löydetään suurista tietomassoista ja eri suureet ymmärretään kokonaisvaltaisesti. Tällaisten menetelmien osaamiselle on tulevaisuudessa lisääntyvää tarvetta ja niiden soveltamiseen ja kehittämiseen tulisi panostaa.

### 5.2.2. Mallintamista palveleva seuranta

Mallien kehittämisen, verifiointin ja operatiivisen käytön kannalta vesiympäristön tilan seuranta on keskeisessä roolissa. Ilman havaintoja ei malleja voida kehittää eikä käyttää. Toisaalta mallinnuksen avulla voi seurantaa kehittää kustannustehokkaaksi. Hydrometeorologinen havaintoverkko Suomessa on varsin harva ja erityisesti Pohjois-Suomen osalta sitä olisi syytä tihentää. Merialueilla havaintoverkko on perustunut rannikkovesien havaintoasemiin ja Arandan COMBINE matkojen seurantaan, ja on alueellisesti kohtalaisen kattava (myös Alg@line havaintojen osalta), mutta se vaatii ajallisesta täydennystä jatkuvatoimisen mittausverkoston avulla. Muutostrendien estimoimiseksi tarvitaan jatkossakin pitkiä aikasarjoja vesikemian ja vesibiologian osalta, joten niiden seurantaverkon ylläpito on syytä varmistaa maanlaajuisesti. Erityisillä ympäristöobservatorioilla voidaan tehdä intensiivistä mittaustoimintaa mallien prosessikehitystä varten. Rannikko- ja merialueilla kehitetään infrastruktuuria jatkuvatoimisten havaintoasemien perustamiseksi FINMARI-verkoston puitteissa.

Kaukokartoituksessa uudet Sentinel-sarjan satelliitit tarjoavat mahdollisuuden entistä merkittävästi tarkemman paikkaresoluution hyödyntämiseen. Samoin erilaiset pienoislennokkiratkaisut antavat mahdollisuuden seurata eri muuttujien vaihteluita vesialueilla (aalokko, pintalämpötila, klorofylli-a, sameus, CDOM ym.). Kaukokartoitusmenetelmien soveltuvuutta rajoittaa havainnoinnin ulottuminen vain pinta-kerrokseen (5-7 m eli näkösyvyyteen) ja pilvisten päivien mittausongelmat. Kaukokartoitusaineistojen hyödyllisyyttä tulisi selvittää myös järvien ja jokisuvantojen vesikasvillisuuden määrän arvioinnissa. Automatisoitujen, jatkuvatoimisten meri- ja järviasemien määrää onkin syytä harkitusti lisätä, jolloin saadaan tietoa myös syvästä vedestä. Tämä tarve korostuu, kun perinteisiä seurantaohjelmia karsitaan voimakkaasti. Asemien tulisi kerätä havaintoja paikallisista meteorologisista, hydrologisista ja vedenlaatu-muuttujista. Jatkuvatoimisten asemien kehittäminen vaatii myös panostusta tutkimukseen sekä havainto-aineistojen tiedonsiirto- ja tietojärjestelmien kehittämiseen. Nämä tulee huomioida niiden käyttöönoton kustannuksia arvioidessa. Perinteinen seuranta ei tuota ajallisesti riittävää dataa esim. malleissa olevien prosessikuvausten testaamiseen. Jatkuvatoimisten mittareiden data auttaa ymmärtämään puutteet mallien kuvauksissa.

Laskennallisia data fuusio menetelmiä on kehitetty ja demonstroitu MK:n ja VK:n yhteistyössä (Helsinki-Porkkala, 2015-2016) satelliitti- ja In Situ havaintojen yhdistämiseksi ekologista luokittelun sekä mallinuksen tietotarpeisiin. Menetelmät pitää vielä saada tuotantokäyttöön ja laajentaa sisävesiin.

Nk. data-assimilaatioissa mallien ennustetta tarkennetaan reaaliaikaisten havaintojen avulla, ja nämä numeeriset menetelmät ovat nykyään voimakkaan kehityksen kohteena. SYKEssä niitä on kokeiltu WSFS-järjestelmän valuma-aluemallinnuksessa ja aineiden kulkeutumisen 3D-mallintamisessa. Assimilaatioalgoritmien kehittyessä em. laajojen havaintoaineistojen keräystapoja voidaan hyödyntää yhä tehokkaammin ja näin parantaa mallien kuvaus- ja ennustetarkkuutta sekä niiden soveltuvuutta operatiiviseen seurantaan ja ennustamiseen. Data-assimilaation vaatimukset tulisi ottaa huomioon mallien kehittämisessä esim. muuttujien suhteen niin, että kuvattavat muuttujat malleissa vastaisivat mahdollisimman hyvin kaukokartoituksella määritettäviä muuttujia. Tämä palvelee mm. indikaattorityötä, perustuotantotutkimuksia ja laji/habitaattimallinnusta.

On myös tarpeen kehittää haitta-aineiden jatkuvatoimista seuranta, etenkin potentiaalisesti ongelmallisilla alueilla (nk. hot spots, kuten Kokemäenjoen suisto). Haitallisten aineiden kulkeutumisen, prosessoinnin ja vaikutusten mallintamisessa suurimpana haasteena on pitoisuusaineiston vähyys. Mallit tarvitsevat empiiristä dataa validointiin ja toisaalta perusseurantatietoa, jotta tiedämme kuormituksen määrän ja tunnistamme kohteet, joihin malleja pitää soveltaa. Seurannan tarpeen lisäys on todettu myös uuden ympäristölaatonormidirektiivin asetusmuistiossa.

Yksi keskeinen tekijä on seuranta-aineistojen hyödyn maksimointi tulevaisuudessa. Tämä edellyttää yhteistyötä muiden aineistoista vastaavien tahojen kanssa. Esimerkiksi LUKEssa on maatalouden koekenttäaineistoa 10 vuoden ajalta, samoin Salaojayhdistyksessä. Lisäksi esimerkiksi TIKEssä on paljon lohko-kohtaista aineistoa, joka ei ole mallintajien käytössä. Samoin tieto käytössä olevista vesiensuojelutoimenpiteistä pitää saada avoimeen käyttöön. Tulisi suunnitella, miten nämä linkitetään malleihin ja otetaan mallikehitystyöhön mukaan.

Seurantoja ja erityisesti niihin liittyvää otantaa tulisi optimoida mallien sekä vesien- ja merenhoidon tietotarpeista lähtien. Optimointiin ja mallinnukseen liittyvät tilastolliset ja mallipohjaiset menetelmät tulisi saattaa operationaaliseen käyttöön. Työ etenisi vaihteittain siten, että nykyisen seurantaverkon arviointi pitäisi toteuttaa systemaattisesti. Seurantaverkon tuottaman tiedon luotettavuus pitäisi arvioida tarkemmin vesienhoidon tavoitteisiin nähden. Tätä työtä on osittain tehty OPTIMI-hankkeessa. Jatkossa eri tietolähteistä ja seurantajärjestelmistä vesimuodostumakohtaisesti yhdistetyn seurantatiedon tarkkuus ja edustavuus sekä seurantajärjestelmien tuottaman tiedon informaatioarvo (vaikutus yhdistetyn tiedon tarkkuuteen) arvioidaan Datafuusio-mallin avulla. Se antaa vahvan perustan seurantajärjestelmien eri osien otannan optimoinnille.



Karttapohjaiset mallityökalut kehittyvät nopeasti, ja SYKEN Karpalo-palvelu on hyvä lähtökohta näihin tarpeisiin. Merialueitten lajien ja luontotyyppien kartoitustyön ensimmäinen vaihe saatiin päätökseen vuonna 2016 VELMU ohjelmassa, josta saadaan tietopohjaa lajien ja luontotyyppien levinneisyyskarttoihin monimuotoisuuden tila-arviointeja varten. Spatiaalimalleja on VELMUssa laadittu jo yli sadalle lajille; suuri osa niistä löytyy tai viedään vuonna 2016 avautuneeseen VELMUn karttapalveluun (<http://paikkatieto.ymparisto.fi/velmu/map.htm>). VELMU:n kautta saadaan tietoa sekä monimuotoisuuden hotspot-alueista, että merenpohjan avainelinympäristöistä (ekosysteemien toiminnallisuuden ja ekosysteemipalveluiden kannalta keskeisiä avainelinympäristöjä ovat mm. kalojen lisääntymisalueet, rakkolevä- ja punaleväyhteisöt tai meriajokasniityt). Avainelinympäristöjen tilan heikentymisellä on muita elinympäristöjä suurempia heijastevaikutuksia muualle ekosysteemiin ja ekosysteemipalveluihin. Mallien kehitystyön yhteydessä tulee miettiä, miten näiden avainelinympäristöjen kuvaukset voitaisiin liittää osaksi merenhoidon mallijärjestelmää.

### 5.2.3. Mallien käytettävyyden parantaminen

SYKEssä mallien käytettävyyteen ja tulosten esittämiseen on panostettu erityisen paljon viime vuosina. Tavoitteena on, että jatkossakin tuotetaan valmiita mallitulosteita ja lisäksi malleja annetaan avoimeen käyttöön. Esimerkiksi WSFS-Vemala-järjestelmä tuottaa automaattisia tulosteita useita kertoja vuorokaudessa. Tulosteet sisältävät sekä aikasarjamoituisia eri muuttujille laadittuja käyriä sekä alueellisia karttoja. Paitsi mallin tuloksia on niihin liitetty myös mittauksia. Karttapohjaisista vesien- ja merenhoitoon liittyvistä järjestelmistä hyvä esimerkki on selainpohjainen seurannan, mallinnuksen ja vesien- ja merenhoidon yhteinen karttapalvelu [www.vesinetti.fi](http://www.vesinetti.fi), jonka kautta kansalaiset ja viranomaiset voivat jakaa ja hakea vesimuodostumakohtaista tietoa ja arvioida mm. järveen kohdistuvan kuormituksen tilavaikutuksia. Vesinettiin liittyvät toiminnot ja palvelut on siirrettävissä ympäristöhallinnon tietoteknisille alustoille esim. osaksi VEMU järjestelmää, jos siihen sekä sen kehittämiseen ja ylläpitoon varataan resursseja. Kehitteillä olevat verkkopalvelut tulisi koota yhteisen sateenvarjon alle palvellakseen paremmin seurannan, mallintamisen ja vesien/merenhoidon tarpeita. YM:n rahoittamaan Saaristomerimalliin (FICOS) liitetään karttakäyttöliittymä, jonka avulla käyttäjä voi laskea eri paineiden vaikutuksia meren tilaan ja visualisoida tulokset eri tavoin (mm. aluekartat ja aikasarjat). Järjestelmä on helposti laajennettavissa erilaisilla tulos-tustavoilla.

Jatkossa onkin eri kehityshankkeiden koordinointi ja mallien käytettävyyden kehittäminen nousemassa yhä tärkeämmäksi teemaksi ja siihen on syytä panostaa myös YM:n rahoitusta. Jatkossa on ilmeistä, että valtionhallinto tarvitsee yhtenäisen visualisointiympäristön kuten Maanmittauslaitoksen OSKARI, johon SYKEkin osallistuu. Tällaiseen yhteistyöhön on myös mallien tulosten esittämisen kannalta syytä panostaa ja hyödyntää tuloksia monipuolisesti. Tämä saattaa tuottaa myös merkittäviä lisenssimaksusäästöjä.

Mallien kehittäjien kannalta itse mallien laatimisessa on myös mahdollisuuksia kehittää työtä tehokkaammaksi hyödyntämällä avoimia tietolähteitä erilaisten rajapintojen läpi sekä ottamalla käyttöön avoimia lähdekoodeja, joita eri mallintajayhteisöt laativat. SYKEN pitäisi omalta osaltaan kehittää näitä menetelmiä ja rajapintoja sekä osallistua niiden kehittämisen koordinointiin koko valtion tasolla.

Mallitulosten hyväksyttävyyden on keskeinen haaste myös mallien kehittäjille. Tätä varten tarvitaan jatkossakin aktiivista vuorovaikutusta mallien kehittäjien ja käyttäjien välillä. Malleihin liitettävä epävarmuus-tarkastelu mahdollistaa mallitulosten luotettavuuden tulkinnan. Mallien hyväksyttävyyttä parantaa myös, jos kukin malli on kuvattu tieteellisessä vertaisarvioidussa julkaisussa.

## 6. Vuosina 2015-2017 käynnistynyt ja toteutunut mallikehitystyö

Rehevytyminen	Status
KUTOVA-mallin tyypiversion kehittäminen, jolloin malli soveltuisi myös merenhoidon tarpeisiin (SISÄVEDET, RANNIKKO)	
FICOS -mallin laajentaminen kattamaan Suomen kaikki rannikkoalueet (RANNIKKO) Käynnissä, 2016-2017 Suomenlahti ja Selkämeri	
FICOS mallin ravintoverkko- ja sisäisen kuormituksen kuvauksen kehittäminen (AVOMERI, RANNIKKO), Käynnissä, 2016-2017	
VEMALAn prosessienkuvauksen parantaminen (Osin Lohko-hankkeet ja Freshabit-hanke, liittyy myös FICOS-mallin laajentamiseen, VEMALAn laskema ravinnefraktioiden jokikuormien syöte FICOSiin)	
KUTOVA-mallin linkitys VEMALAan ja rannikkomerimalleihin (RANNIKKO)	
LLR-malli:n hierarkiapäivitys ja sisäisen kuormituksen huomioiminen (Käynnissä syksyllä 2016, Rannikomuodostumien ryhmittely CLR:ssä valmistui syksyllä 2016)	
Vesimuodostumien ryhmittely ekologiseen luokitteluun ja vaikutusten arviointiin (SISÄVEDET, RANNIKKO) (Käynnissä syksyllä 2016, Valmistui syksyllä 2017)	
Todennäköisyystarkastelujen implementoinnin aloittaminen. Ensimmäisinä sovelluksina FICOS-Saaristomerimalli (SISÄVESI, RANNIKKO, AVOMERI)	?
Ekologisen tilan keskitetyn indeksilaskennan kehittäminen (SISÄVEDET, EKOLAS-hanke 2017-)	
Vesien tilan arviointijärjestelmän (VITA) konseptualisointi osana tiedonhallintaa: osamallit ja input data rajapintojen kautta datafuusio-mallin avulla karttapohjaiselle web-liittymälle (SISÄVESI, RANNIKKO)	
<b>Haitalliset aineet</b>	
Tuntilaskennan liittäminen VEMALAan haitallisten aineiden päästöjen nopeiden tilanteiden simulointia varten. Nykyisin malli toimii päivän pituisella aika-askeleella, joka ei ole riittävä nopeissa päästötilanteissa (SISÄVEDET)	
Prioriteettiaineiden (orgaanisten sekä metallien) kuormituksen ja leviämisen mallintaminen; Mallien kehitys seurannan ja vesien kemiallisen tilan luokittelun avuksi (SISÄVEDET, RANNIKKO, AVOMERI)	
BLM-mallien (metallit) testaaminen ja kehittäminen sisävesissä (SISÄVEDET) (Uupri-hanke 2017->2018)	
<b>Luonnon monimuotoisuus</b>	
Laajojen ja yhdenmukaisesti kerättyjen biologisten aineistojen kerääminen sisävesistä mahdollistamaan laji- ja habitaattimallinnuskehityksen paljolti vastaavasti kuin VELMUssa on tehty. Työtä on suunniteltava yhdessä muiden toimijoiden, kuten Metsähallituksen luontopalveluiden, LUKEn ja GTKn kanssa (mm. Freshabit käynnistynyt).	?
Ympäristö- ja biodiversiteettimuutosten ajallisen seurantaverkoston perustaminen on edellytys monimuotoisuuden mallikehityksen tueksi sisävesissä.	
Sisävesien ekologisen tilan keskitetyn indeksilaskennan kehittäminen (EKOLAS-hanke 2017-)	
Vertaillaan lajimallinnusmenetelmiä; testataan ja validoidaan jatkokehitykseen valittuja malleja ja mallinnusmenetelmiä	
Jatketaan ympäristömuuttujia ja ihmispaineita koskevien tietojen täydentämistä mallintamalla	
Kehitetään koko maan merialueet kattavia habitaattimalleja huomioiden sekä luonto-direktiivin raportoinnin että HUB:in (HELCOM Underwater Biotope and Habitat Classification) soveltamisen vaatimukset (yhteistyö mm. Metsähallitus LP)	

Vuosina 2015-2017 mallitiekartassa priorisoiduista kehityshankkeista suuri osa on käynnistynyt joko YM:n rahoituksella tai muiden hankkeiden puitteissa. Mm. FICOS-mallin laajentaminen n Suomenlahdelle ja selkämerelle on käynnissä, samoin VEMALAn prosessikuvausta kehittämistä metsätalouden kuormi-

tuksen osalta tapahtuu Freshabit-hankkeen puitteissa. Myös vesimuodostumien rymittelyhanke ja LLR/CLR-mallin kehittäminen ovat toteutuneet. Myös luonnonmonimuotoisuuden osalta monet hankkeet ovat edenneet VELMU:n puitteissa hyvin.

## 7. Teemojen priorisointi ja mallikehitystyö vuosina 2018-2020

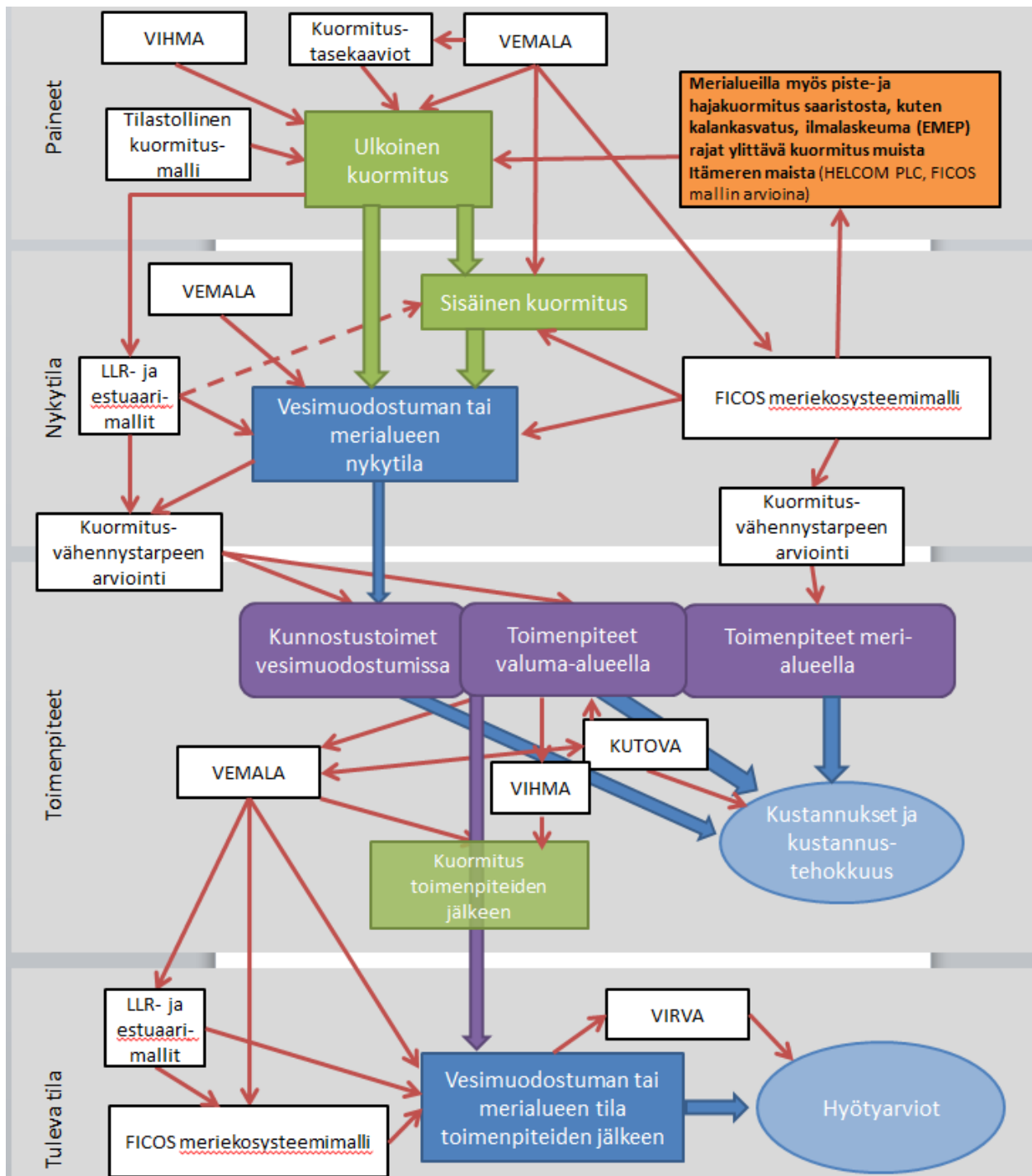
Tässä kuvataan konkreettisesti mallipalvelujen kehitystarpeet lähivuosina niin, että ne palvelevat pitkän aikavälin tavoitteita. Mallit on jaettu kolmeen kategoriaan niiden ensisijaisen käyttökohteen perusteella. Kategoriat ovat rehevöityminen, haitalliset aineet ja luonnon monimuotoisuus.

### 7.1. Rehevöityminen

Rehevöityminen on ongelma merialueella, rannikoilla sekä osassa sisävesiä. Se on myös haaste, joka kytkee valuma-alueen ja vesialueen mallinnuksen tiukasti toisiinsa (Kuva 4). Rehevöitymistä vähentämällä on mahdollista parantaa myös luonnon monimuotoisuuden tilaa.

Liitteessä 1 on esitelty Vesien- ja merenhoidon suunnittelun tueksi sopivat mallit, joita on nyt SYKEN käytössä, ja Kuvassa 4 on havainnollistettu valuma-alue – rannikko – ulappa -jatkumon mallinnuskehikko. Liitteen 1 Taulukko 1 on aputaulukko, jonka avulla kunkin mallin soveltuvuus vesimuodostumiin kohdistuviin paineiden, niiden vaikutusten ja toimenpiteiden vaikutusten arviointiin esitetään taulukossa 3. Mallien yleisesittely on taulukossa 2.

Seuraavassa kuvataan rehevöitymiseen liittyvien mallien nykytila ja kehitystarpeet tiivistettynä Liitteen 1 taulukoissa olevasta informaatiosta. Kuvassa ei ole mukana pohjavesimalleja, joita SYKEssä käytetään. Tunnistettu kehittämiskohde olisi pohjavesien linkittäminen pintavesiä kuvaaviin malleihin. Samalla näihin malleihin voitaisiin liittää myös kasviensuojeluaineiden huuhtoutumisen kuvaus. Lisäksi vesitietojärjestelmää pitäisi lisäksi kehittää siihen suuntaan, että se laskee automaattisesti tai puoliautomaattisesti laskevat ja nousevat pitoisuudet analyysitiedoista.



Kuva 4. Vesien ja merenhoidon malliketju ja sen hyödyntäminen rehevöitymisen vähentämistoimenpiteiden suunnittelussa ja optimoinnissa.

### 7.1.1. Ihmisen toiminta

Ihmisen toiminnan suuruutta vesistöjen rehevöitymiskehityksen kannalta voidaan varsin kattavasti nykyään arvioida useilla eri malleilla. Ravinne- ja kiintoainekuormituksen arviointiin ja eri lähteiden kvantifiointiin voidaan käyttää mm. VEMALA-, INCA-, SWAT- ja COHERENS-malleja sekä tilastollisia ominaiskuormitusyhtälöitä. Viljelyalueiden valumavesien hallintamallilla (VIHMA) arvioidaan lohko-kohtaista kuormitusta ominaisuuksiltaan ja viljelykäytännöiltään erilaisilla peltolohkoilla.

Keskeisiä lähivuosien kehityskohteita on sektorikohtaisen kuormituksen tarkempi arvioiminen erityisesti maa- ja metsätalouden sekä haja-asutuksen osalta (VEMALA-mallin kehittäminen LUKEn FEMMA mallin ja prosessipohjaisten huuhtoumamallien avulla) sekä muiden rehevöitymiseen vaikuttavien muuttujien, kuten orgaanisen aineksen ja piin huuhtoutumisen ja kulkeutumisen mallinnuksen kehittäminen. Myös hulevesien mukana vesistöihin päätyvän kuormituksen arvioita pitäisi tarkentaa. Merialueilla kalankasvatuksen ja muiden paikallisesti kuormittavien päästöjen leviämisen laskenta on keskeinen kehityskohde. Myös ilmalaskeumana suoraan merialueille tulevan typpi- ja fosforikuormituksen arviointi on tarpeellista, ja mm. ilman fosforilaskeuman arviot tarkentuvat IL:n Utön mittausasemalla tehtävän fosforilaskeuman mittauskampanjan ansiosta. Tässä toimitaan yhteistyössä IL:n kanssa ja typen kaukokulkeuman osalta HELCOM ja EMEP ovat keskeisiä kumppaneita.

Lisäksi on kyettävä arvioimaan meriliikenteen typpipäästöjen muutosten vaikutus (NEC-direktiivin toimeenpano ja NECA<sup>2</sup>-alueen ratifiointi). Alusten käymäläjätevesien osalta Itämeren mailla on valmius aloittaa niiden vastaanottaminen satamissa ja käytännön toimeenpano etenee Itämeren EU-maiden osalta. Näiden paineitten arvioinnissa keskeinen yhteistyötaho on Tukholman yliopiston Baltic Nest Institute (BNI). BNI:n BALTSEM mallilla on tehty Itämeren toimintaohjelman maakohtaisten kuormitusvähennysten laskenta, mikä puolestaan linkittyy HELCOMin PLC -kuormitustietokannan kehittämiseen sekä HELCOM / EMEB -yhteistyöhön ilmalaskeuman kaukokulkeuman ja sen alueellisen jakaantumisen arvioimiseksi.

### 7.1.2. Paineet

Eri lähteistä peräisin olevan kuormituksen kulkeutuminen ja pidättyminen vesistöissä sekä lopulta kohdevesistöön päätyvän ravinnekuormituksen arviointiin voidaan käyttää mm. VEMALA-, INCA-, SWAT- ja COHERENS-malleja sekä tilastollisia ominaiskuormitusyhtälöitä. Järvien sisäisen kuormituksen suuruutta voidaan arvioida COHERENS, LLR/CLR ja VEMALA-malleilla. KiertoVesi-hankkeessa VIHMA malliin lisätään lannoitus ja karjalannan levitystekniikat. Lisäksi VIHMA-työkalun P-lukujen luokittelua tarkennetaan sekä ominaiskuormitusluvut päivitetään.

Tavoitteena on, että jatkossa Suomi pystyy tekemään tarkoituksenmukaisimmilla laskentamenetelmillä ja datoilla toteutetun oman arvion kansallisista kuormituksen vähennystarpeista ja –vaikutuksista rannikkoalueilla. Arviot suhteessa rajat ylittäviin vaikutuksiin voidaan tulevaisuudessa tehdä kytkemällä rannikon kuormitusmalli (FICOS, Finnish COaStal nutrient load model) asianmukaiseen koko Itämeren ravinnekiertomalliin. FICOS -mallilla voidaan esimerkiksi arvioida, miten Venäjän, Viron ja Ruotsin ravinnekuormitusten lyhyen ja pitkän aikavälin muutokset vaikuttavat Suomen rannikkoalueiden tilaan kytkemällä FICOS BNI:n BALTSEM -mallilla tehtyihin koko Itämeren allaskohtaisiin ennusteisiin<sup>3</sup>. Lisäksi on tarpeen pystyä arvioimaan, miten varsinaisen Itämeren päältäan ravinnetaseen muutokset ja luontaiset hydrodynamiikan vaihtelut (ja niiden säätelemät syväveden ravinnesyötteen) vaikuttavat Suomen rannikkoalueilla. Tätä tarkoitusta varten FICOS voidaan kytkeä Euroopan Meripalvelun (Copernicus CMEMS) ylläpitämiin koko Itämeren ravinnekiertomalleihin (esimerkiksi HBM-ERGOM; marine.copernicus.eu), jotka ovat vapaasti käytettävissä ja nimenomaan laadittu tukemaan korkean resoluution alueellista mallinnusta. FICOS -mallin alueellisilla sovelluksilla on ulappamalleja tarkempi paikkaresoluutio, mutta sen käyttöä rajoittaa kuitenkin rannikon läheisyydessä, etenkin osin suljetuilla, ahtailla ja matalilla vesialueilla mallin hilakoko ja se, ettei kaikkia pieniä alueita voida käydä läpi (vaatii osin käsityötä) nykyisillä resursseilla.

<sup>2</sup> Nitrogen Oxide Emission Control Area (NECA) under the MARPOL Convention of the International Maritime Organisation (IMO)

<sup>3</sup> Itämeren toimintaohjelman (Baltic Sea Action Plan, BSAP) mukainen ravinnekuormituksen vähentämisen maakohtaiset tavoitearviot tehdään Tukholman yliopiston (BNI:n) toimesta (BALTSEM malli). Tavoitteena on pystyä tekemään oma riippumaton arvio BNI:n koko Itämeren kattavien, allaskohtaisten mallitulosten (taustakuormitus) ja Suomen omien vähentämistoimenpiteiden rehevöitymismääristä rannikkoalueillamme, joihin omien toimenpiteidemme primäärivaikutukset pääosin kohdistuvat.

Lisäksi Itämeren ravinnekuormitus- ym. vasteita tullaan jatkossa (n. 3 v tähtämellä) mallintamaan SYKEN BFM (Biogeochemical Flux Model) mallilla, joka kattaa keskeiset tunnetut ravinnekiertoja säätelevät prosessit ja varannot (mm. liukoiset orgaaniset ravinteet sekä planktonin organismien joustavat ravinne (C:N:P) -suhteet). BFM kytketään IL:n 3D-hydrodynamiseen NEMO -malliin, ja ao. kytkentä tuottaa informatiivisen mutta laskennallisesti raskaan työkalun. Tämä merimallinnusyhteistyö IL:n kanssa on keskeistä, jotta SYKEN ravinnevarantojen ja -kiertojen tuntemus voidaan kiinnittää laajempaan Itämeren fysikaalisten prosessien tutkimukseen ja 3D-hydrodynamisten mallien ajantasaiseen kehitykseen.

Keskeisiä mallien kehityskohteita ovat sisäisen kuormituksen arvioiden tarkentaminen (LLR/CLR, FICOS, VEMALA), ravintoverkon kuvauksen kehittäminen (FICOS), orgaanisen aineen ja piin kulkeutumisen sekä hapenkulutuksen mallintaminen (FICOS, COHERENS, VEMALA). Kiintoaineen leviämistä voidaan kuvata FICOSilla (vaatii SYKEN hydrodynamikkojen erillisen panostuksen) ja sitä tullaan tekemään meneillään olevassa FICOS -hankkeessa (yhteistyö Jenni Attila, VK). Myös ravinteiden pidättymisen kuvaukseen rannikkovyöhykkeellä ja estuaareissa on syytä panostaa. Tätä mallikehitystä tehdään yhteistyössä IL:n, BNI:n, SMHI:n sekä Århusin yliopiston kanssa (mm. BONUS COCOA -hankkeessa). Lisäksi LLR-mallin soveltaminen nykyisin valituille yksittäisille kohteille on työlästä ja vaatii paljon resursseja. Resursseja kannattaisikin suunnata LLR-mallin kehittämiseksi operatiiviseen suuntaan.

Turkistuotannon kuormitusarvioita olisi syytä tarkentaa ja viedä osaksi VEMALA-laskentaa, mutta tämä edellyttää hankkeistamista, koska turkistuotannon nahkalukujen muuttaminen eläinyksiköiksi edellyttää keskustelua turkistuottajien kanssa. Tämä sopisi hyvin esimerkiksi OHKE-hankkeeksi.

### 7.1.3. Tila ja vaikutukset

Vesikeskuksessa kehitetään vesien tilan arviointijärjestelmä (VITA), jonka avulla minkä tahansa vesimuodostuman (järvi, joki tai estuaari) tila ja vaikutukset joihinkin ekologisiin laatu- ja vaikutusindikaattoreihin voidaan laskea painetekijöiden, toimenpiteiden ja ympäristöolosuhteiden perusteella. Arviointijärjestelmä koostuu olemassa olevista ja kehitteillä olevista malleista kuten VEMALA, VIHMA, Ominaiskuormitusmallit, LLR/CLR, RIVPACS, KUTOVA ja VIRVA. Mallien ennusteet kytketään vesien- ja merenhoidon tietojärjestelmään ja karttapalveluihin.

**Rannikkoalueidemme** ravinnekuormituksen vasteita tullaan arvioimaan Saaristomerimallilla ja sen pohjalta kehitettävällä FICOS-mallilla sekä pienten ja rikkonaisten rannikkomuodostumien osalta CLR-mallilla. Nämä mallit tähtäävät mm. ravinne- ja klorofyllipitoisuuksien alueellisen ja ajallisen vaihtelun kuvaamiseen ja ennustamiseen tarkentamiseen, mikä on tärkeää vesistöjen tilaluokittelun kannalta.

**Merialueilla** merenhoidon rehevöitymiskuvaajan (K5) ja sen indikaattorien raja-arvoista sovitaan HELCOMin EUTRO-OPER hankkeen puitteissa. HELCOM yhteistyössä sovitut rehevöitymisen tilaa kuvaavat indikaattoriraja-arvot perustuvat tilastolliseen mallintamiseen sekä asiantuntija-arvioihin. FICOS mallin avulla voidaan jatkossa arvioida rannikkoalueitten tavoitetilan saavuttamiseen tarvittavaa kuormitusvähennyksiä (kytkentä BNI:n allastason BALTSEM -mallinnusteisiin) ja verrata näitä tuloksia HELCOMin BSAP:n arvioihin. Rannikon läheisellä vyöhykkeellä tila-arviointi vaatii FICOS-, CLR- ja VEMALA-mallien linkittämisen ravinnekuormituksen vaikutusten arviointia varten. Pohjan tilan ja sen paranemisen arvioiminen (ml. pohjan potentiaalisesti mobiilien ravinnevarantojen pieneneminen) edellyttää puolestaan pelkistetyn mutta riittävän realistisen sedimentaation (ravinteiden ja orgaanisen aineksen syöte) ja sisäisen kuormituksen välisen dynamiikan kuvauksen kehittämistä ja kytkemistä FICOS -mallin dynaamiseksi osaksi

Järvien ravinnekuormituksen vähennystarpeen arviointia hyvän ekologisen tilan saavuttamiseksi tehdään LLR tai VEMALA-malleilla.



**Ravintoverkkojen** rakenteen ja keskeisten vuorovaikutussuhteiden ja prosessien identifiointia ja mallinnusta tulee kehittää merialueilla ja sisävesissä. Lisäksi tulevaisuudessa tarvitaan hyvän tilan raja-arvojen kvantifioinnin tieteellisen perustan vahvistamista vesien tilan ja kunnostustarpeen arvioinnin tueksi. Vesistöjen ja meren perustuotannon säätelyn ja sen kanavoitumisen mallintamiselle on tulevaisuudessa erityisesti piin ja hiilen kierron kuvauksella kasvava merkitys ja näihin tulisikin panostaa. Bayes -verkkoihin pohjautuvaa end-to-end mallia tullaan kehittämään BlueAdapt -hankkeessa (2018-2020).

**Ekologisen ja biologisen tilan mallinnuksessa**, ekologisessa riskiarvioinnissa (painediagnoosi) tulee jatkossa tehokkaammin hyödyntää vesiseurantojen tuottamaa kattavaa lähtötietoa (lajiaineistot). Kytke-mällä lajistoon perustuvat mallit painetietoihin voidaan analysoida yksittäisten lajien vasteita eri painetilanteissa, jolloin heikentyneen tilan aiheuttaneet painetekijät voidaan luotettavammin tunnistaa. Tämä on huomattava etu, sillä näitä vaikutuksia ei voida havaita pelkillä ekologisilla laatusuhteilla, koska ympäristöpaineiden vaikutukset ekologiseen tilaan ovat usein toisistaan riippuvia ja monipainetilanteissa ne voivat olla toisiaan kumoavia. Tarkoitukseen sopivat RIVPACS-tyyppiset paikkakohtaiset monilajimallit, jotka perustuvat lajien elinympäristövaatimuksiin. Monilajimallit kytkevät vesienhoidon ja monimuotoisuuden tila-arvioinnit (ks. kpl 7.3.3) samaan kehikkoon.

Vesistöjen seurantoja ja erityisesti niihin liittyvää otantaa tulisi optimoida mallien sekä vesien- ja merenhoidon tietotarpeista lähtien. Optimointiin ja mallinnukseen liittyvät tilastolliset ja mallipohjaiset menetelmät tulisi saattaa operationaaliseen käyttöön. Eri tietolähteistä ja seurantajärjestelmistä vesimuodostumakohtaisesti yhdistetyn seurantatiedon tarkkuus ja edustavuus sekä seurantajärjestelmien tuottaman tiedon informaatioarvo (vaikutus yhdistetyn tiedon tarkkuuteen) arvioidaan ja otanta optimoidaan Datafuo-sio-mallin avulla.

#### 7.1.4. Toimenpiteet

Vesien ja merenhoidon mallijärjestelmän tulee tuottaa arviot sekä kansallisten toimenpiteitten vaikutuksesta sisävesistöjen, rannikon- ja merialueiden ravinnekuormitukseen sekä kyetä huomioimaan myös BSAP:n tavoitteiden kautta tulevat rajat ylittävät vaikutukset muiden maitten kanssa yhteiselle merialueelle.

Fosforin hajakuormituksen vähentämiseen tähtäviä toimenpiteitä voidaan nykyisin valuma-alueetasolla vertailla ja jyvittää kustannustehokkuuden ja vaikuttavuuden perusteella KUTOVA -työkalun avulla. Lisäksi toimenpiteiden vaikutuksia sisävesistöissä voidaan arvioida muiden mallien, kuten VEMALA, CO-HERENS ja LLR, avulla. Vedenlaadun paranemisesta syntyviä virkistyshyötyjä voidaan arvioida VIRVA-mallin avulla.

Merenhoidon nykyisen toimenpideohjelman kustannusvaikuttavuusanalyysi pohjautuu asiantuntijati-  
toon. Saaristo- ja merialueitten piste- ja hajakuormitus (kuten kalankasvatus ja meriliikenteen päästöt) tulee jatkossa sisällyttää toimenpiteiden kustannus-tehokkuus arvioihin ja KUTOVA-työkalun jatkokehittämiseen. KUTOVAa tulisi kehittää siten, että voidaan arvioida toimenpiteiden kustannustehokkuutta myös tyypikuormitukselle, jolloin tyypirajoitteisen rannikko- ja merialueen rehevöitymisvasteet voidaan sisällyttää ao. tarkasteluun. KUTOVA -työkaluun voisi jatkossa sisällyttää syöttötietoina erilaisten ekosysteemimallien tuloksia (ja arvioida fosfori- ja tyypikuormituksen vähentämisen kustannusvaikutusten lisäksi esimerkiksi monimuotoisuuteen perustuvien ekosysteemipalveluitten hyödyt). Keskeisiä kehitystarpeita liittyy myös toimenpiteiden vaikutusten arviointiin eri mallien ja havaintojen avulla, ottaen huomioon toimenpiteen etäisyys kohdevesistöstä.

Vedenlaadun paranemisesta syntyviä hyötyarviointeja pitäisi kehittää kattamaan myös muut kuin virkistys-  
tyshyödyt. Tämä kehitystyö voidaan tehdä yhdessä LUKE:n (MTT) ekonomistien kanssa, jotka ovat tehneet useita rehevöitymisen vähentämisen hyötyjä kuvaavia taloudellisia analyysejä. Lisäksi sosio-

ekonomiset tarkastelut voitaisiin kytkeä osaksi vaikutusarviointeja esimerkiksi VEMALA-, COHERENS- ja FICOS-malleissa.



### 7.1.5. Vesienhoidon ja merenhoidon rehevöitysmallityön painopisteet v. 2018-2020

Työryhmän ehdotukset YM-rahoituksella tehtävästä rehevöitymiseen liittyvien mallien kehitystyöstä vuosina 2018-20 on alla luokiteltuna kahteen prioriteettiryhmään. Ryhmien sisällä tehtävät eivät ole prioriteettijärjestyksessä.

A:

#### Ihmistoiminnan vaikutusten arviointi

- VEMALAn prosessienkuvausten (mm. maa- ja metsätalous) parantaminen (SISÄVEDET) (Osin Lohko-hankkeet ja Freshabit-hanke) (Liittyy FICOS- mallin laajentamiseen, VEMALAn laskema ravinnefraktioiden jokikuormien syöte FICOSiin)
- VEMALAn orgaanisen aineen ja kiintoaineen laskennan parantaminen (SISÄVEDET, RANNIKKO)
- Sedimentaation (ravinteiden ja orgaanisen aineksen syöte) ja sisäisen kuormituksen välisen dynamiikan kuvauksen kehittäminen FICOS -mallin dynaamiseksi osaksi

#### Luokittelu/Tilan arviointi

- FICOS -mallin laajentaminen kattamaan Suomen kaikki rannikkoalueet (RANNIKKO) (Perämeri 2018-2019)
- LLR/CLR-malli: hierarkiapäivitys ryhmittelyn perusteella (LLR) ja sisäisen kuormituksen mallintamisen tarkentaminen (SISÄVEDET, RANNIKKO) (Rannikomuodostumien ryhmittely CLR:ssä valmistui syksyllä 2016)
- Vesimuodostumien ekologisen tilan mallinnus luokitteluun ja vaikutusten arviointiin biologisten aineistojen perusteella (SISÄVESI)
  - LLR mallin trofiaindeksin (TPI) ja sinilevien mallinnus laskennallisen luokittelun parantamiseksi ja toimenpiteiden vaikutusten arvioimiseksi
  - Monilajimallinnuksen soveltaminen ekologisen tilan mallinnuksessa ja riskiarvioinnissa
- Ekologisen tilan keskitetyn indeksilaskennan kehittäminen (SISÄVEDET, EKOLAS-hanke 2017-)
- Todennäköisyystarkastelujen implementointi FICOS-Saaristomerimalliin (RANNIKKO, AVOMERI)

#### Toimenpiteiden suunnittelu

- KUTOVA-mallin typpiversion kehittäminen, jolloin soveltuu myös merenhoidon tarpeisiin (SISÄVEDET, RANNIKKO)
- KUTOVA- mallien linkitys VEMALA- ja rannikkomerimalliin (RANNIKKO)

B:

- VIRVA-mallien linkitys VEMALAAan ja rannikkomerimalleihin (SISÄVEDET, RANNIKKO)
- VEMALAn tulosten esittäminen karttapohjalla (SISÄVEDET)
- Todennäköisyystarkastelujen implementoinnin jatkaminen. mm. VEMALA. (SISÄVEDET, RANNIKKO, AVOMERI)
- FICOSin koko Itämeren kattavan ulappamallin laatiminen valmistauduttaessa ravinnekuormituksen BSAP -vähentämistarpeiden arvioinnin seuraavaan kierrokseen (AVOMERI)
- Hiilenkierron ja muiden alkuaineiden kierron laskenta VEMALAssa, FICOSissa ja kytketyissä ekosysteemimalleissa. (SISÄVEDET, RANNIKKO)
- Turkistuotannon kuormituksen tarkentaminen VEMALA laskennassa (SISÄVEDET, RANNIKKO)
- Bayes -pohjainen, ylemmät trofiatasot kattava ravintoverkkomallin kehittäminen (RANNIKKO, AVOMERI) (BlueAdapt-hankkeessa 2018-2020)
- CLR mallin kytkeminen FICOSiin, jotta rannikon osittain suljetut lahdet ja matalat jokisuut (CLR), jotka ovat FICOSin katvealueita, saataisiin mukaan.

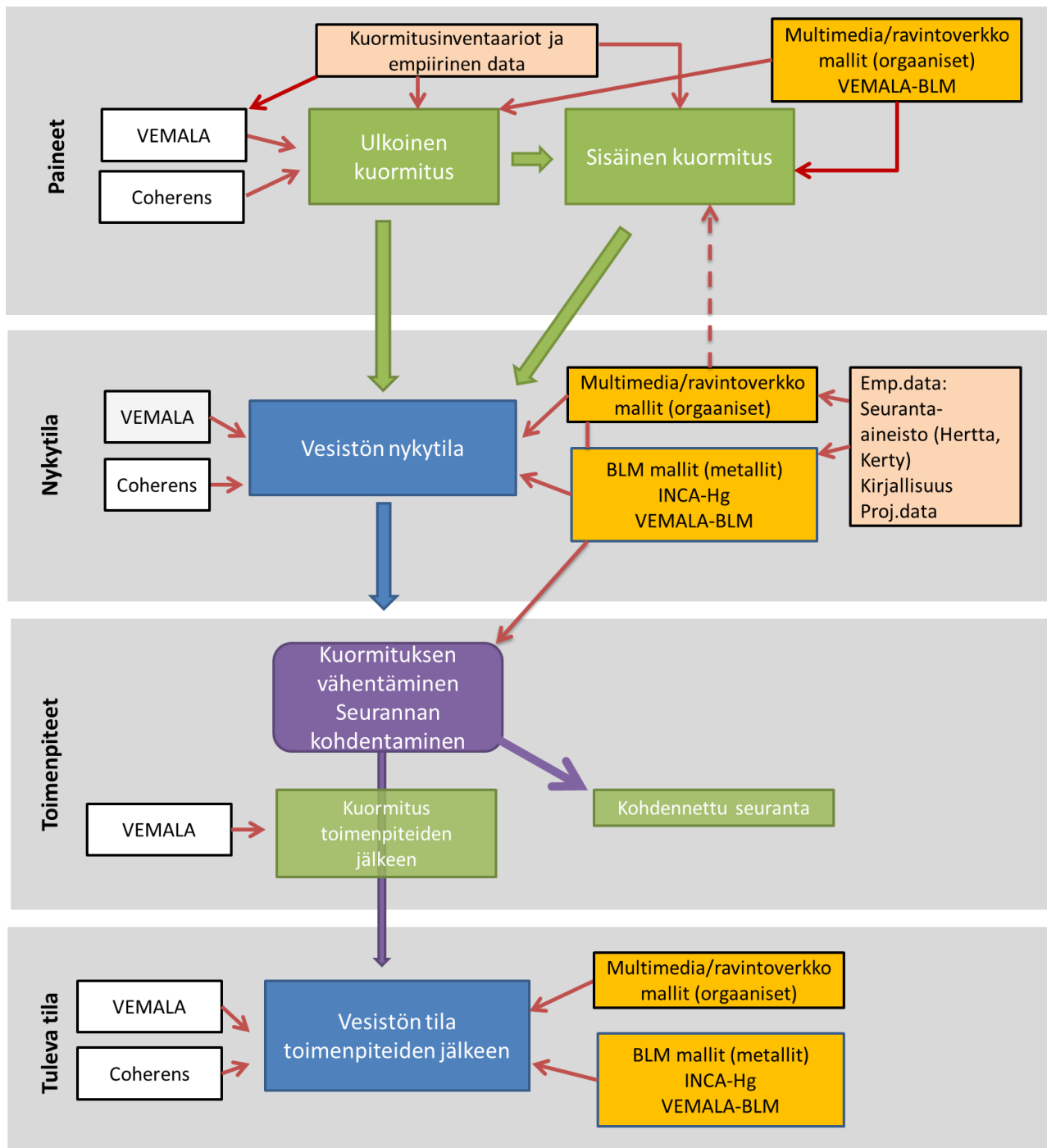
## 7.2. Haitalliset aineet

Haitalliset aineet ovat yksi merkittävimmistä globaaleista ongelmista, jotka uhkaavat ekosysteemien toimintaa ja ihmisen terveyttä. EU lainsäädäntö ja suomalaiset asetukset pyrkivät vähentämään haitta-aineiden päästöjä ja pitoisuuksia ympäristössä. Ympäristöseurannan piirissä on kuitenkin vain murto-osa ihmisen valmistamista teollisuuden käytössä olevista arviolta 150 000 aineesta. Käytännössä orgaanisten haitta-aineiden seuranta ei vesistöissä juurikaan ole ollut edes asetuksissa ja direktiiveissä mainituille aineille ja EU-raportoinnitkin ovat perustuneet yksittäisiin kartoituksiin. Ympäristön haitta-ainepitoisuuksien riskin arviointi ei voi pitkällä tähtäimellä perustua yksittäisten aineiden ympäristölaatuunormeihin yhdisteiden määrän ja yhteisvaikutusten takia. Mutta toistaiseksi vertaillaan VPD:ssä pitoisuutta EQS-arvoon. Esimerkiksi vaikutusindikaattorien käyttö VPD:n alaisessa työssä saattaa olla käytäntöä 2030-luvulla joillain aineryhmillä. Pisimällä ollaan hormonihäiriöiden vaikutusindikaattorien kehityksessä.

Lisäksi biosaatavan osuuden merkitys on haitallisten pitoisuuksien määrittelyssä suurelta osin vielä huomioimattomana. Mallien avulla voidaan 1) arvioida kuormituksen suuruutta, päästöjen leviämistä ja ympäristöpitoisuuksia, 2) kartoittaa mahdolliset merkittävät päästökohdat ja vaikutuksille herkät ekosysteemit, 3) arvioida ympäristöpitoisuuksien vaikutuksia huomioimalla biosaatavaisuus ja 4) kohdentaa seuranta mahdollisimman kustannustehokkaaksi sekä 5) arvioida myös muiden kuin lainsäädännössä mukana olevien haitta-aineiden käyttäytymistä ja vaikutuksia. Lisäksi malleja käytetään vesimuodostumien ryhmittelyssä ja kemiallisen luokittelun apuna.

### 7.2.1. Ihmisen toiminta

SYKE ja ELYt ovat koonneet kaikille vesienhoitoalueille vesiympäristölle vaarallisten ja haitallisten aineiden kuormitusinventaarion, joka on hyvää taustatietoa kuormituslähteiden kartoituksessa ja aineiden sekä ainemäärien arvioimisessa (seuraava kuormitusinventaarioraportti VPD:n uusista prioriteettiaineista (direktiivin 2013/39/EU) tehdään kuormitusinventaarioraportti UuPri-hankkeessa (päätyy 6/2018) ja vuonna 2018 valmistellaan myös seuraava kuormitusinventaarioraportti VPD:n ”vanhoista” aineista). Aineisto on toki rajallinen eikä sisällä mm. metsätaloudesta, kalankasvatuksesta, turvetuotannosta ja pilaantuneilta maa-alueilta tulevia päästöjä. Lisäksi ympäristöhallinnossa on ympäristöpitoisuuksista aineistoja koskien merkittävimpiä yhdisteitä ja eniten kuormitettuja kohteita. Kuormitusinventaarioraportissa käytettiin malleja mm. metallien laskeuman ja kasvinsuojeluaineiden huuhtoutumisen arvioinnissa. Tätä taustatietoa voidaan hyödyntää suoraan ekotoksikologisissa malleissa, ja vielä tehokkaammin ja kattavammin vesistömallien kautta, jolloin saadaan ennustettua/arvioitua kohdekohtaista pitoisuustietoa halutuille alueille (Kuva 5). Velvoite-tarkkailutuloksia voitaisiin hyödyntää nykyistä paremmin, mikäli ketju analyysistä tietojärjestelmiin toimisi paremmin. Erityisesti VAHTI-tietojärjestelmää tulisi parantaa ja kaikki tulokset tulisi soveltuvin osin viedä myös muihin tietojärjestelmiin kuten VESLA:an ja KERTYyn.



Kuva 5. Vesien- ja merenhoidon haitta-ainemallien kytkeytyminen suunnitteluprosesseihin ja toisiinsa.

### 7.2.2. Paineet

Haitta-ainekuormituksen merkitystä ja sen muutoksia voidaan arvioida multimedia- ja ravintoverkkomalleilla (Aquaweb, fugasiteettimallit, päästölähdeanalyysit, kasvinsuojeluaineiden kuormitusindikaattorit, kyllästymättömän vyöhykkeen huuhtoutumismallit, Itämerimallit), jossa ainemäärien tai pitoisuuksien muutoksilla voidaan simuloida jakautumista ympäristössä sekä ravintoverkkokertymistä ja sitä kautta arvioida myös ihmisen altistusriskiä. Elohopean huuhtoutumista on kuvattu melko puutteellisesti ja jatkossa Hg-mallin kehittämiseen on syytä panostaa. Dynaamisen prosessiperäisen mallitarpeen lisäksi tarvitaan parannuksia yksinkertaiseen luokittelussa jo viime kierroksella käytettyyn ryhmittelymalliin. Bioli-gandimallit liittävätkin metallikuormituksen biologisen vasteen vedenlaatutekijöihin, jolloin voidaan arvioida kuormituksen paikkakohtaista merkitystä. Siten, mallit voivat vastata kysymykseen, kuinka paljon kuormitusta (ympäristöpitoisuutta) pitää vähentää, jotta hyvä tila saavutetaan.

Ojitettujen happamien sulfaattimaiden alueilla kadmiumin ja nikkelin pitoisuudet voivat ylittää ympäristön laatu normit. Näillä alueilla vedet voivat olla myös haitallisen happamia, mutta happamuutta ei voida käyttää kemiallisen luokittelun perusteena, vaan se huomioidaan ekologisen luokittelun muuttajissa. Näiden paikkojen identifiointi on kehittynyt edellisestä luokittelusta (mm. GTK:ltä uutta aineistoa happamien sulfaattimaiden tunnistukseen; tosin kartoitukset Etelä-Suomessa vielä jatkuvat kesällä 2016). Olisi mielekästä kehittää GIS-malli tai indikaattori niiden vesimuodostumien tunnistamiseen, jotka on luokiteltu happamiksi sulfaattimaiksi ja joilla on tietty osa maasta ojitettuna.

### 7.2.3. Tila ja vaikutukset

Haitta-aineiden vaikutusten arviointi on perinteisesti tehty yksittäisten yhdisteiden/aineiden ympäristölaatu normien tai eliöpitoisuuksien kautta. Liitteen 2 ekotoksikologiset mallit soveltuvat yhdisteiden pitoisuuksien tai niiden yhteisvaikutusten haitan arvioimiseen vesiympäristön kaikissa osissa (sedimentti, vesi, eliöt). Mallit ovat kansainvälisessä kirjallisuudessa koeteltuja ja siten jo käyttökelpoisia suomalaisiin sovelluksiin. Esillä olevat mallit soveltuvat vain osalle haitta-aineista, joten mallien käytön laajentaminen uusiin aineisiin ja hajoaviin yhdisteisiin laajentaisi niiden käyttömahdollisuuksia tulevaisuudessa mm. seurannan tarpeisiin. Tässä vaiheessa on kuitenkin syytä vain keskittyä ympäristölaatu normidirektiivin ja siihen liittyvän asetuksen listaamien aineiden riskin arviointiin.

Ympäristöä kuormittavat haitta-ainepäästöt ovat etenkin jätevesipuhdistamoissa sekoitteita, joiden riskinarviointi ei voi perustua yksittäisten aineiden arvioimiseen.  $\Sigma$ PNEC malli on ensimmäinen askel kohti ratkaisua mutta tulevaisuudessa on syytä keskittyä vaikutusperusteisen summaparametrin kehittämiseen ja tämän haittavaikutuksen leviämisen ja kohtalon mallintamiseen vesistömallien avulla (esimerkiksi Coherens/F, Liite 2/Taulukko 3). Toistaiseksi VEMALAA ja Coherensia ei ole vielä laajamittaisesti käytetty vesistön nykytilan arvioinnissa ehkä jatkossa. Esillä olevat mallit soveltuvat vain osalle haitta-aineista, mikä edelleen korostaa uusien menetelmien ja lähestymistapojen kehitystarvetta tulevaisuudessa.

Lääkeaineita ja hormoneita on jo nyt vesiputedirektiivin tytärdirektiivin mukaisella tarkkailulistalla ja Suomen tulee raportoida kartoitustulokset joulukuussa 2016 EU:lle. On erittäin todennäköistä, että ainakin jotkin näistä aineista nousevat EU:n prioriteettiaineiksi melko nopealla aikataululla – ja saattavat siten seuraavalla vesienhoitokaudella olla kemialliseen luokitteluun vaikuttavia aineita. Kuluttajakemikaalien (esim. lääkeaineet) kuormitusta on tarkoitus jatkossa arvioida populaatiomallinnuksen avulla. SYKEN koordinoima (Noora Perkola, LAB) lääkkeisiin liittyvä CWPharma –hanke sai EU- rahoituksen ja alkaa lokakuussa 2017. Sen yhdeksi osaksi on suunniteltu populaatiomallinnukseen perustuvaa eräiden lääkeaineiden kuormitusarviota Itämereen.

### 7.2.4. Toimenpiteet

Tämän hetken tärkeimmät tavoitteet liittyvät erityistilanteiden hoitoon eli äkillisten päästöjen leviämisen ja vaikutusten ennustamiseen sekä tärkeimpien aineiden seurannan tarpeiden arvioimiseen ja priorisoimiseen. Kuormituksen vähentämisen seurauksia haitta-aineiden vaikutuksiin voidaan arvioida kaikilla liitteen 2 mallilla, sillä ne perustuvat kohteen haitta-ainepitoisuuksiin. Vesistömallit voisivat toimia kuormitustietojen välittäjänä ja ekotoksikologiset mallit vaikutusten arvioimisessa ympäristölaatu normien ja eliöpitoisuuksien kautta. Esimerkiksi sedimentteihin liittyvät mallit voidaan liittää kunnostustoimenpiteiden (mm. ruoppaus) tarpeen arvioimiseen. Ravintoverkkomallit kertovat myös kalojen pitoisuuksista, joten ympäristöpitoisuudet saadaan liitettyä ihmisaltistuksen arviointiin ja siten kohteen kaupalliseen sekä virkistyskäyttöön.

### 7.2.5. Vesienhoidon ja merenhoidon haitallisten aineiden mallintamisen painopisteet v. 2018-2020

Työryhmän ehdotukset YM-rahoituksella tehtävästä haitallisiin aineisiin liittyvien mallien kehitystyöstä vuosina 2018-20 on alla luokiteltuna kahteen prioriteettiryhmään. Ryhmien sisällä tehtävät eivät ole prioriteettijärjestyksessä.

A:

- Tuntilaskennan liittäminen VEMALAAan haitallisten aineiden päästöjen nopeiden tilanteiden simulointia varten. Nykyisin malli toimii päivän pituisella aika-askeleella.
- Prioriteettiaineiden (orgaanisten sekä metallien) kuormituksen ja leviämisen mallintaminen;
- Mallien kehitys seurannan ja vesien kemiallisen tilan luokittelun avuksi
- BLM-mallien (metallit) testaaminen ja kehittäminen sisävesissä (SISÄVEDET) (Uupri-hanke 2017->2018)

B:

- BLM-mallien (metallit) testaaminen ja kehittäminen murtovesissä (RANNIKKO)
- Ravintoverkkomallien ja ihmisaltistuksen riskin arvioinnin yhdistäminen (SISÄVEDET, RANNIKKO, AVOMERI)
- VEMALA mallin haitallisiin aineisiin liittyvien prosessien liittäminen ja mallin testaus (SISÄVEDET)

### 7.3. Luonnon monimuotoisuus

Meriluonnon monimuotoisuuden mallintaminen on välttämätöntä meren tilan parantamiseen tähtääviä toimenpiteitä määriteltäessä. Myös meren aluesuojelun ja meren kestävän käytön sekä merialuesuunnittelun tueksi on oleellista ymmärtää monimuotoisuuden vaihteluun vaikuttavia tekijöitä. Monimuotoisuustutkimuksen haasteena on lajien ja elinympäristöjen alueellisen vaihtelun huomiointi ajallisia muutoksia kuvattaessa. Vesien ja meren monimuotoisuuden mallinnuksen tavoitteena onkin

- (i) kuvata lajien ja habitaattien (luontotyyppien) alueellista esiintymistä ja
- (ii) kuvata ja ennustaa lajiston pitkäaikaisia alueellisia ja ajallisia muutoksia.

Näiden tavoitteiden saavuttaminen vaatii suuren määrän lajeja, habitaatteja ja ympäristömuuttujia koskevaa paikkatietoa. Paikkatiedon lisäksi tarvitaan edustavilta paikoilta pitkäaikaista muutosta kuvaavaa tietoa. Ympäristö- ja biodiversiteettimuutosten ajallisen seurantaverkoston perustaminen sisävesi- ja merialueille olisi oleellista. Tällaisen yhdenmisen paikka- ja seurantatiedon kerääminen vesiekosysteemeistä on vasta etenemässä. Vedenalaisen meriluonnon monimuotoisuuden inventointiohjelma VELMU on vuodesta 2004 (erityisesti vuosina 2011-2016) kerännyt merkittävän määrän paikkatietoa, mutta monimuotoisuutta koskevaa seurantatietoa ei juuri ole. Sisävesiltäkin seurantatieto koskee lähinnä veden laatua ja joitakin eliöryhmiä, mutta alueellisesti kattavaa tietoa lajien ja luontotyyppien alueellisesta esiintymisestä on toistaiseksi kerätty verraten vähän. Tätä tietoa tarvitaan vesien ja meren monimuotoisuuden mallinnuksen perustaksi.

Monet Itämerelle ja sisävesille tyypilliset arvokkaat elinympäristöt ja luontotyypit sekä niiden eliöstö ovat erilaisten ihmisen aiheuttamien paineiden vaikutuksen alaisia. Lajien ja luontotyyppien paikallistamiseksi VELMUssa on laadittu koko rannikkoalueelle lajikarttoja. Pistehavainnointia täydentämään tarvitaan malleja, joiden avulla voidaan ennustaa, missä lajeja ja luontotyyppisiä todennäköisesti esiintyy. Mallit vaativat taustalleen runsaan määrän ympäristötietoa mm. ympäristöhallinnon seurannoista ja yleisistä tietokan-

noista. Yhdistämällä laji- ja habitaattimallit ihmistoimintoja koskeviin aineistoihin saadaan tietoa siitä, millä alueilla elinympäristöt ovat voimakkaimman paineen alaisia ja myös siitä, miten ihmisen aiheuttamat ympäristömuutokset vaikuttavat lajien ja ekosysteemin tilaan.

Monimuotoisuuden muutosten ja ihmisvaikutusten mallintamiseksi tulee myös kehittää laji- ja habitaattimallinnusta tukevia kustannustehokkaita havaintomenetelmiä, jotka mahdollistavat laajojen malleja tukevien havaintoaineistojen keräämisen. Kehitetään automaattisia tai kauko-ohjattuja havaintojärjestelmiä sekä selvitetään kaukokartoituksen mahdollisuuksia tukea lajimallinnusta ja tarkemman ympäristötiedon tuottamista (esim. RapidEye-satelliitti, jonka resoluutio on 5 m sekä 2017 laukaistava ESA:n merenmittaukseen kohdennettu Sentinel 6 –satelliitti (yhteistyössä mm. SYKE TK ja AquaBiota, Ruotsi).

Eliöyhteisöjen biodiversiteettiä kuvaavat mallijärjestelmät ovat tarpeen mm. vesienhoidon ja merenhoidon (kuvaajat 1, 4 ja 6: biologinen monimuotoisuus, ravintoverkot, pohjan koskemattomuus) ja merialue-suunnittelun sekä EU:n monimuotoisuus strategian 2020 arviointeja varten. Biodiversiteetin arvioinnin mallijärjestelmän kehityksessä keskeisiä yhteistyötahoja ovat ÅA, GTK, LUKE, Metsähallituksen luon-topalvelut ja LUOMUS.

Bayes-mallit ovat lupaava menetelmä monimuotoisuuden mallinnukseen. Bayes-verkkoa tai hierarkkista Bayes-mallia voidaan käyttää esim. lajien esiintymisen tai funktionaalisen monimuotoisuuden mallinnukseen. Samaa mallia voidaan olennaisilta osiltaan käyttää osamallina, kun kuvataan systeemin toimintaa. Eli mallilla ennustetaan ympäristötiedoista lähtien millaisia, toiminnallisia ryhmiä esiintyy ja edelleen arvioidaan, miten ne vaikuttavat esim. ekosysteemin tuotantoon ja ravinnekiertoihin. Dynaamisen tarkastelun avulla voidaan ennustaa esim. mihin suuntaan eliöstö ja ekosysteemi kehittyvät. Nämä Bayes-mallit voivat liittyä esim. Meristrategiadirektiivin kuvaajiin 1 (biologinen monimuotoisuus), 4 (ravintoverkot) ja 5 (rehevöityminen).

### 7.3.1. Ihmisen toiminta

Monimuotoisuuden arvioinnin tueksi on olennaista kehittää ihmistoimintoja koskevia paikkatietotasoja. Niiden avulla voidaan tunnistaa ihmistoiminnoista eniten ja vähiten rasittuneet alueet ja kohdentaa merialue-suojelun toimenpiteitä ja aluesuojelua oikealla tavalla. Mm. seuraavia ihmistoiminnan alueellisia kuvauksia tai ainakin toiminnan laajuuden selvitystä vaaditaan arviointien tueksi:

- Eri lajeihin ja habitaatteihin kohdistuvien uhkien selvitys, koskien erityisesti laaja-alaisia rehevöitymisen vaikutuksia ja haitallisten aineitten ravintoverkkovaikutuksia
- Merenpohjaan ja rantavyöhykkeeseen kohdistuvat toiminnot; ruoppaukset, merihiekan nosto, tuulipuistojen rakentaminen, läjitys, ym.
- Kaupallinen ja virkistyskalastus
- Meriliikenne ja siitä aiheutuvat paineet ja riskit
- Roskaantumisen, haamuverkot, mikroroskat, yms.
- Habitaattien rauhattomuutta ja paikallista heikkenemistä aiheuttavat aktiviteetit, ml. veneily ja mökkeily

### 7.3.2. Paineet

Useista sisävesien biologista tilaa ja monimuotoisuutta uhkaavista tekijöistä on laaja tietopohja. Esimerkiksi happamoitumisen ja rehevöitymisen vaikutuksia on tutkittu paljon Suomessa ja ulkomailla. Nykyään painopiste on tutkimuksissa, jotka testaavat biodiversiteetin vasteita monille paineille samanaikaisesti (ns. multi-stressor approach), koska sisävedet eivät yleensä ole vain yhden ihmisperäisen paineen alaisuudessa. Tämä on oleellinen tutkimusalue myös vesienhoidon toimenpiteiden suunnittelussa ja suuntaa-



misessa. Tämä monimutkaistaa biodiversiteettimallien käyttämistä, jotka usein ovat monimutkaisia ja pelkästään suuren lajistollisen kirjon vuoksi.

Merialueille kohdistuvista paineista on erityisesti rehevöitymisestä ja sen vaikutuksista monimuotoisuuteen (suoraan ja välillisesti mm. ravintoverkkomuutosten johdosta) kohtalainen tietopohja. Haitallisten aineiden ekosysteemivaikutuksista ja riskeistä tietoa on vähemmän. Merenpohjaan kohdistuvista paineista, kuten rakentaminen, ruoppaus, läjitys, merihiekan nosto ja kalankasvatus, alkaa olla ruinsaasti paikkatietoa (ks. mm. VELMUn karttapalvelu). Haasteena on kuvata realistisesti pistemäisten ja viivamaisten ihmistoimintojen aiheuttamien paineiden vaikutusalueen suuruus: miten kauas esimerkiksi erisuuruisten ruoppausten vaikutus ulottuu tai miten kauas väylästä meriliikenteen melu ja aallokko vaikutus kantaa. Myös kalastus vaikuttaa suoraan kalakantoihin. Vaikka kalastuksesta on paljon tilastoja, ne eivät pääsääntöisesti ole lajien tai habitaattien suojelua tukevassa mittakaavassa.

Merenhoidossa esille ovat nousseet erityisesti monimuotoisuuteen kohdistuvat lisääntyneet tai vasta viime aikoina huomioidut paineet, jotka vaikuttavat mm. kalakantoihin, merilintujen ja merinisäkkäisiin. Tarvitaan tietoa mm. vedenalaisen melun jakaantumisesta (ajallinen, paikallinen) ja sen vaikutuksista eliöstöön. Lisäksi meren roskaantumisen vaikutukset, muoviroskat ja haamuverkot sekä mikroroskat ja niiden vaikutukset ravintoverkkoihin ovat monimuotoisuuteen vaikuttavia paineita. Melun alueellisen jakauman mallintamista on aloitettu mm. BIAS-projektissa, mutta roskien esiintymisen mallintaminen on lapsenkengissä.

### 7.3.3. Tila ja vaikutukset

Monimuotoisuuden tilan arviointi vaatii habitaattien ja lajien esiintymismallien ja ihmispainemallien yhdistämisen. Näin voidaan arvioida, miten paineistettuja habitaatit ja niiden ylläpitämät lajit ovat eri merialueilla ja arvioida monimuotoisuuden tilaa ja tilan muutoksiin johtuneita syitä.

- Yleisimmin käytettyjä monimuotoisuuden indikaattoreita ovat perinteisesti olleet diversiteettiindeksit, joista yksinkertaisimpia ovat lajimäärä sekä lajien suhteelliset runsaudet huomioivat indeksit (ts. diversiteetti ja evenness). Myös vesienhoidossa käytettävät ekologisen tilan indeksit perustuvat pitkälti vesistöjen luontaisen lajiston monimuotoisuuteen. Monipuolisempia lajien sukulaisuussuhteet tai lajien ominaisuudet huomioivia indeksejä on kehitetty ja käytetty laajasti viime vuosina. Koska vesi- ja merialueiden monimuotoisuutta koskeva paikkatieto on aina puutteellista, tarvitaan lajien ja habitaattien esiintymistä kuvaavia todennäköisyysmalleja. Niiden avulla voidaan tunnistaa monimuotoisuuden ja erinomaisen ekologisen tilan hotspot-merialueita ja sisävesikohteita, joiden suojeluun on erityisesti panostettava.
- Merialueilla luonnon monimuotoisuuden arvioinnissa tullaan käyttämään useita indikaattoreita (ks. merenhoidon seurantaohjelma). Lisäksi HELCOM CORESET projektissa sovitaan Itämeren maiden yhteisistä luonnon monimuotoisuuden tilaa kuvaavista indikaattoreista.
- Sisävesien ja merialueiden monimuotoisuuden turvaamisessa olennaista on avaineliöyhteisöjen suojeleminen. Tämä edellyttää sekä habitaattien suojelua että lajien levinnän mahdollistamista habitaatista toiseen. Tällä on vahvoja yhtymäkohtia vesistökuunnostusten ekologiselle onnistumiselle vesienhoidon tavoitteiden toteuttamisessa.
- Monimuotoisuuden alenemisen estämiseksi on estettävä harvinaisten ja vähälukuisten lajien ja habitaattien katoaminen. Tätä varten tarvitaan sekä mahdollisimman kattavaa inventointitietoa sekä malleja, joilla voidaan ennustaa missä kyseisiä lajeja ja habitaatteja todennäköisesti esiintyy.
- Vesienhoidon RIVPACS-tyyppiset monilajimalleja voidaan soveltaa lajiston esiintymismuutosten arviointiin. Ekologisen tilan arvioissa biodiversiteetin muutokset eivät näy suoraan ja näitä tulisi tarkastella rinnakkain biodiversiteetin muutosten kanssa. Tarkastelun avulla voitaisiin arvioida kuinka tehokas ekologinen luokittelu on biodiversiteetin suojelun kannalta ja arvioida alueellisia ja vesimuodostumatyyppikohtaisia muutoksia lajiston monimuotoisuudessa.
-

### 7.3.4. Toimenpiteet

Monimuotoisuutta ylläpitävien toimenpiteiden määrittely vaatii kaikkia edellä mainittuja mallinnustapoja ja –kohteita. Vaaditaan sekä ulapan rehevöitymisen että pohjan lajien ja habitaattien alueelliset kuvaukset sekä ihmistoimintojen ja niistä aiheutuvien paineiden alueellinen tarkastelu. Näin toimenpiteet voidaan ohjata oikealla tavalla oikeilla alueilla. Toimenpiteitä määriteltäessä on vertailtava monimuotoisuuden ja ihmispaineiden alueellista jakautumista. Keskeistä on kuitenkin todeta että eri eliöryhmien vaste eri paineisiin vaihtelee, ja kaikki toimenpiteet eivät tehoa kaikkiin ekosysteemin osiin.

Toimenpidetarkasteluissa on myös olennaista selvittää monimuotoisuutta parantavien toimenpiteiden kustannus-tehokkuuden perusta. Tämä vaatii mm. monimuotoisuuden vähenemiseen liittyvien kustannusten sekä tilan paranemiseen liittyvien hyötyjen (kuten ekosysteemipalveluiden) arviointia.

### 7.3.5. Biodiversiteetin mallintamisen painopisteet v. 2018-2020

Sisävesien biodiversiteetin mallintamiseen liittyen työryhmä ehdottaa, että YM:n rahoitus painottuu seuraavasti (Ryhmien sisällä tehtävät eivät ole prioriteettijärjestyksessä.):

A

- Olemassa olevien laajojen biodiversiteettiaineistojen koostaminen, harmonisointi ja käyttäminen sisävesien luonnontilaisuusindeksien kehittämisessä
- Biodiversiteettiaineistojen jatkoanalysointi ja sellaisten indeksien kehittäminen, joita voidaan käyttää korvikemuuttujina ekosysteemipalveluiden kuvaamisessa
- Pienvesien ekologisen tilan arvioinnin kehittämisen ennustavan mallinnuksen avulla (Käynnissä, SISÄVESI, Freshabit-hanke, 2016-2022)
- Vesienhoidon tila-arvioiden hyödyntäminen monimuotoisuuden mallintamisessa (Käynnissä, SISÄVESI, LuTU-arviointityö 2016-2018, Freshabit-hanke 2016-2022)

B

- RIVPACS-tyyppisten ennustavien monilajimallien soveltaminen ja jatkokehittäminen huomioimaan lajien levintään liittyviä luonnollisia tekijöitä ja useita eri ihmistoiminnan painetekijöitä.
- Ennustavien mallien kehittäminen erityisen suojelutarpeen omaavien alueiden tunnistamiseksi.

Vastaavasti meriympäristön monimuotoisuuden mallintamisen osalta työryhmän ehdotus on seuraava (Ryhmien sisällä tehtävät eivät ole prioriteettijärjestyksessä) :

A

- Vertaillaan lajimallinnusmenetelmiä; testataan ja validoidaan jatkokehitykseen valittuja malleja ja mallinnusmenetelmiä.
- Jatketaan ympäristömuuttujia ja ihmispaineita koskevien tietojen täydentämistä mallintamalla
- Kehitetään koko maan merialueet kattavia habitaattimalleja huomioiden sekä luonto-direktiivin raportoinnin että HUB:in (HELCOM Underwater Biotope and Habitat Classification) soveltamisen vaatimukset (yhteistyö mm. Metsähallitus LP)
- Kehitetään yhteisö- ja biodiversiteettimallinnusta
- Kehitetään mallisovelluksia, joissa laji- ja habitaattitietoa yhdistetään ihmispainetietoon ja siten tunnistetaan sekä monimuotoisuuden hotspot-alueita että eniten suojelun tarpeessa olevia alueita (esim. Zonation-ohjelma).
- Kehitetään monimuotoisuusmalleja vastaamaan merialuesuunnittelun tarpeita.

B



- Kehitetään SYKEN paikkatieto- ja meren monimuotoisuuden mallinnusta (yhteistyössä useiden tahojen kanssa esim. ÅA, HY, TY, IL, GTK, Metsähallitus LP, Ruotsin SMHI, AquaBiota ja Tukholman yliopisto):
  - i) kehitetään funktionaalisen monimuotoisuuden mallinnusta
  - ii) sovelletaan bayesilaista lähestymistapaa paikkatietomallinnukseen
  - iii) sovelletaan lajimalleja ilmastonmuutoksen vaikutusten kuvaamiseen yhdessä ilmastonmuutosskenaarioita ja -malleja laativien tahojen kanssa
  - iv) Selvitetään ravintoverkkomallinnuksen (ECOPATH- ECOSIM-tyyppinen mallinnus) ja paikkatietomallinnuksen yhdistämisen mahdollisuuksia
  - v) Selvitetään miten monimuotoisuuden alueellinen vaihtelu heijastuu ekosysteemipalvelujen tuotantoon

## 8. Mallinnusympäristö

Meren- ja vesienhoidon mallijärjestelmän sujuva hyödyntäminen YM:ssä ja ELY-keskuksissa edellyttää ao. mallinnusympäristön luomista SYKEen. Erityisesti Merikeskuksessa tällainen tarve nousee lähitulevaisuudessa akuutiksi Saaristomerimallin valmistumisen ja muille rannikkoalueille monistamisen myötä. Mallinnusympäristön tulee omata riittävä mallintaja- ja laskentakapasiteetti, vastata mallien ylläpidosta ja kehittämisestä, sekä ohjata vesiviranomaisia mallien hyötykäytössä ja toisaalta yhdessä identifioida tutkimus- ja mallinnustarpeita. SYKE hankkii laskenta ja tallennuskapasiteettia tällä hetkellä pääsääntöisesti Valtion tietotekniikka keskuksen, VALTORIn kautta. Lisäksi IL-SYKE -yhteistyön puitteissa pohditaan mm. WSFS-Vemala mallin palvelimien parasta sijoituspaikkaa sekä FICOS ja COHERENS -mallien ajamista IL:n supertietokoneella. CSC:n (Tieteen tietotekniikan keskus, Kajaani) laskentakapasiteettia käytetään aktiivisesti VELMUn paikkatietomallien ajamisessa. Myös muilla mallinnuksen osa-alueilla CSC:n resurssien käyttö todennäköisesti tehostaisi mallintamista.

SYKE:n niukat mallinnusresurssit tulee suunnata keskeisille painopistealueille, ja laaja-alaisia ekosysteemimalleja on kehitettävä avoimella, kaikkien saatavilla olevalla koodilla yhteistyössä kansallisen (etenkin Ilmatieteen laitos ja yliopistot) ja kansainvälisen mallintajayhteisön kanssa (esim. Baltic Nest Institute, Tukholman yliopisto). Myös paikkatietomallinnusta on kehitettävä kansainvälisessä yhteistyössä (esim. AquaBiota, Ruotsi). SYKE:n tulee kehittää myös moderneja, realistisia (mekanistisia) malleja epävarmuustarkasteluineen, jotka toisaalta pystyvät hyödyntämään Merikeskuksen ekologisen laboratorion sekä Vesikeskuksen laadukkaita tuloksia avainlajien fysiologiasta ja autekologiasta, ja toisaalta suuntaavat tutkimusta keskeisiin tiedon lisätarpeisiin (kokeellinen tutkimus, seurannat, teorian kehitys).

Kehitteillä olevat tietojärjestelmät ja verkkopalvelut tulisi koota yhteisen sateenvarjon alle palvellakseen paremmin seurannan, mallintamisen ja vesien/merenhoidon tarpeita. Esim. Vesinettiin liittyvät toiminnot ja palvelut tulisi siirtää ympäristöhallinnon yhteisille tietoteknisille alustoille esim. osaksi VEMU järjestelmää.

Tilastolliset mallit tulisi integroida osaksi mekanistisia malleja yhdistämällä niiden parhaat puolet Bayes-päätelyyn ja MCMC-simuloinnin avulla. Mekanistiseen osamalliin valitaan päätöksenteon kannalta keskeiset ja seuranta-aineiston avulla identifioitavissa olevat tekijät ja muut haitta- tai satunnaistekijät sisällytetään tilastollisen osamalliin, jonka avulla ennusteen hajonta ja luottamusväli on määritettävissä.

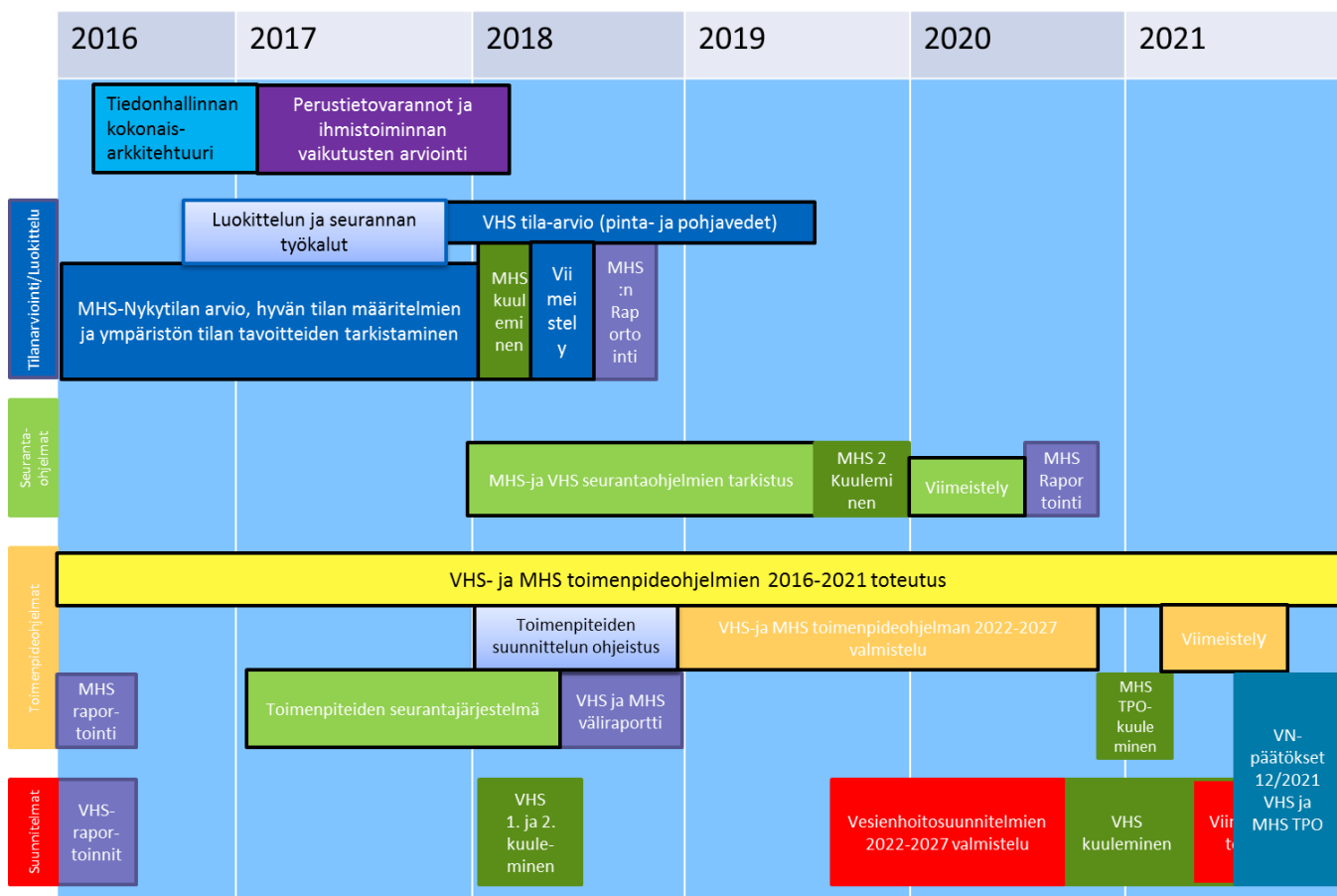
## Osa B: mallien soveltamisen toimintasuunnitelma vuosille 2016-2021

### Tiivistelmä

Tässä vesien- ja merenhoidon mallitiekartan B-osassa on kuvattu suunnitteluprosessien tietotarpeet ja miten malleilla pyritään vastaamaan näihin tietotarpeisiin suunnittelukaudella 2016-2021. Esitetyt aikataulut ovat alustavia ja niitä tullaan vielä tarkentamaan. Lisäksi tässä osassa on pyritty arvioimaan resurssitarpeita tiedon tuottamiseksi.

Liitteeseen 4 on koottu taulukkomuodossa suunnitteluprosessien eri vaiheisiin liittyviä tietotarpeita ja aikatauluja sekä arvio, millä malleilla ja resursseilla tieto tuotetaan. Tietotarpeet painottuvat vuosille 2017-2018. Moni työ on jo käynnissä ja niihin on projektirahoitusta, erityisesti merenhoidon puolella, missä tilan arviointi tulee nopeasti vastaan. Vesienhoidon osalta resursointi on vielä monelta osin auki, mutta sielläkin työ on aloitettu esimerkiksi vesimuodostumien ryhmittelyohjeen osalta. Mallien soveltamiseen ja kehittämiseen liittyy keskeisesti myös uuden valuma-aluejärjestelmän käyttöönotto sekä vesien- ja merenhoitoon liittyvien tietojärjestelmien uudistaminen.

Vesienhoitoalueet (VHA) ja ELY-keskukset ja tuleva maakuntahallinto tulevat toimimaan mallitietojen loppukäyttäjinä niin sisävesillä kuin rannikkoalueilla ja ne osallistuvat eri vaiheissa myös mallien soveltamiseen omille toimialueilleen. Mallien kehittämisen lisäksi osa mallinnuksesta tehdään keskitetysti koko maassa ja osa taas vaatii alueellista tai paikallista soveltamista. Siten mallien kehittäminen ja erityisesti niiden soveltaminen tulee tehdä yhteistyössä VHA:iden ja ELY-keskusten alueellisten asiantuntijoiden ja suunnittelijoiden kanssa.



Kuva 1. Yleiskuva vesien- ja merenhoidon aikataulusta vuosille 2016–2021

## 1. Johdanto

Vesien- ja merenhoidon mallitiekarttaa laadittaessa kävi ilmi, että olisi tarpeellista laatia mallien kehittämisen tiekartan lisäksi myös toimintasuunnitelma mallien soveltamisesta vesien- ja merenhoidon tarpeisiin. Tämä toimintasuunnitelma (mallitiekartan B-osa) esittelee vesien- ja merenhoidon mallien käyttötarpeet suunnittelun eri vaiheissa vuosina 2016–2021 sekä sen, miten mallien soveltaminen tulisi järjestää. Tavoitteena oli pragmaattinen kuvaus, jossa tuotaisiin vesien- ja merenhoidon tietotarpeet esille. SYKEN puolelta mallien soveltamisen toimintasuunnitelmaa ovat olleet laatimassa Turo Hjerpe, Antton Keto, Anna-Stina Heiskanen, Samuli Korpinen, Katri Siimes, Matti Leppänen, Jukka Mehtonen, Jukka Aroviita sekä Marko Järvinen. B-osa päivitettiin syksyllä 2017 vastaamaan Vesien- ja merenhoidon käsikirjan rakennetta.

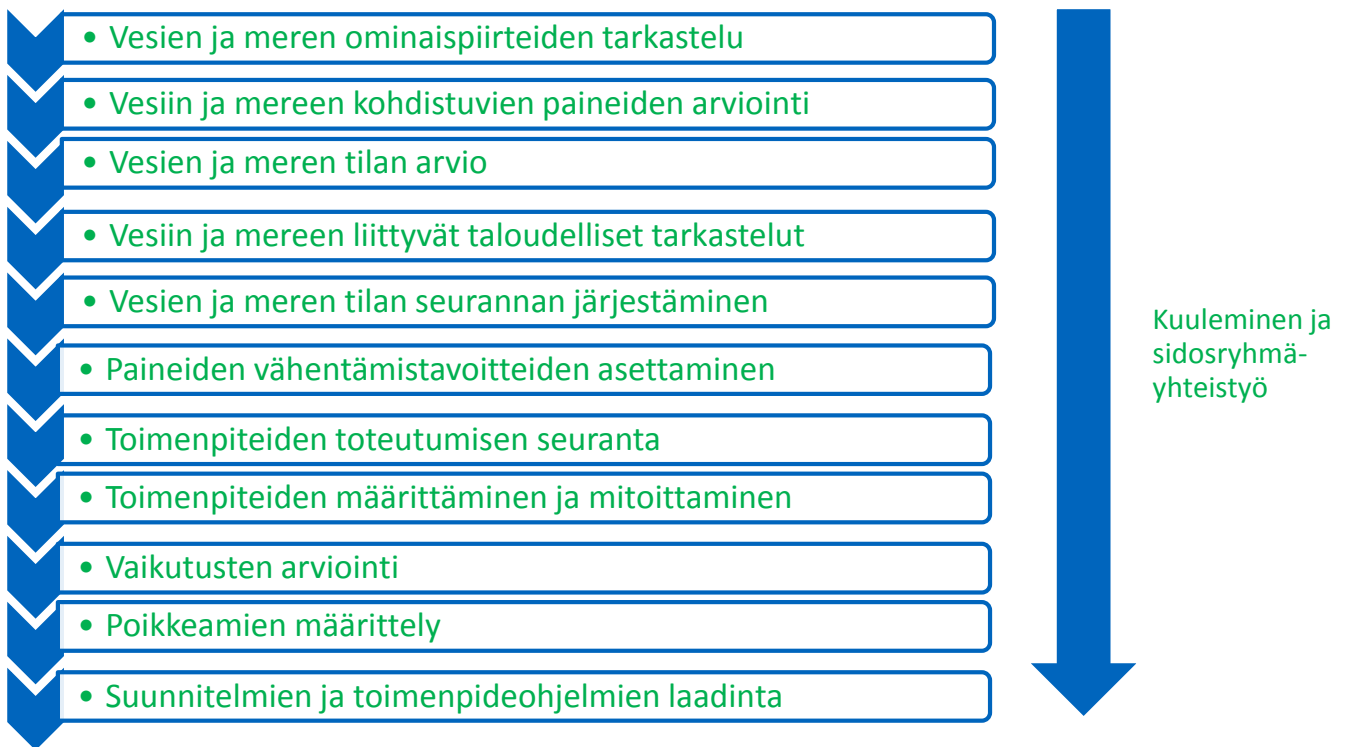
Vesienhoitosuunnitelmat ja merenhoidon toimenpideohjelma vuosiksi 2016–2021 hyväksyttiin valtioneuvostossa joulukuussa 2015. Samaan aikaan alkoi valmistautuminen vesienhoidon kolmannelle ja merenhoidon toiselle suunnittelukaudelle. Niukkenevien resurssien aikana työläitä suunnitteluprosesseja on tarpeen tehostaa mm. entistä laajamittaisemmalla mallien soveltamisella. Lisäksi tavoitteena on entistä tiiviimmin sovittaa yhteen vesien- ja merenhoidon suunnittelua erityisesti rehevöitymisen ja haitallisten aineiden osalta. Vesien- ja merenhoidon yhteisessä työpajassa maaliskuussa 2016 tunnistettiin sellaisia suunnitteluprosessien vaiheita, joissa yhteensovittaminen on mahdollista ja kannattavaa. Työpajaa varten laadittiin myös alustava aikataulukaavio suunnitteluprosessien eri vaiheista.

Mallien soveltamisen keskeinen lähtökohta on, että käytettävät työkalut soveltuvat valtakunnallisesti kaikille vesistöille ja koko Suomen rannikkoalueelle. Kustannustehokasta on myös mallien soveltaminen keskitetysti (esim. SYKEN tai konsultin toimesta), mikä vaatii mallien kehittämistä yhdessä tietojärjestelmien kanssa. Myös mallien automatisointi ja operationaalinen käyttö valtakunnallisesti hyödyttää suunnittelua ja tavoitetta keventää suunnitteluprosesseja. Merenhoidossa tila-arviot tehdään keskitetysti ja paljon myös kansainvälisesti HELCOM-yhteistyönä. Vesienhoidossa suunnittelun painopiste on vesienhoitoalueilla, mutta vesienhoidossakin olisi mahdollista keskittää mallitarkasteluja nykyistä enemmän. Mallitulosten tulkitsemisessa ja hyödyntämisessä yhteistyö alueellisten toimijoiden kanssa on kuitenkin välttämätöntä ja koulutusta tai työpajoja tulosten hyödyntämiseksi varmasti tarvitaan.

Mallien soveltamiseen ja esimerkiksi toimenpiteiden suunnitteluun liittyy keskeisesti myös uuden valuma-aluejärjestelmän käyttöönotto sekä vesien- ja merenhoitoon liittyvien tietojärjestelmien uudistaminen. Keskeistä on yhdenmukaistaa paikkatietoaineistojen perustietovaranto keskeisimpinä uusi valuma-aluejärjestelmä, uomat, järvet ja vesimuodostumat ja linkittää ne nykyistä automaattisemmin tietojärjestelmiin ja malleihin. Sekä tietojärjestelmien arkkitehtuuriuudistuksen (VEME), että paikkatietoaineistojen harmonisoinnin (VESIPETO) kehitystyö on käynnistynyt keväällä 2016. Myös tuleva aluehallintouudistus tulee vaikuttamaan vesien- ja merenhoidon järjestämiseen, ja myös malleilla tuotetun tiedon hyödyntämiseen.

## 2. Vesienhoidon ja merenhoidon prosessi

Vesienhoidon ja merenhoidon suunnittelun tueksi on valmisteltu käsikirja, jossa suunnittelu on jaettu kokonaisuuksiksi (kuva 2). Työvaiheet ovat kronologisesti osittain päällekkäisiä. Seuraavassa mallien käyttötarvetta arvioidaan näiden vaiheiden kautta. Lisäksi liitteessä 4 on jaoteltu eri vaiheet. Lisäksi ympäristöministeriö on lähettänyt ELYille kirjeen syyskuussa 2017, jossa linjataan vesienhoidon ja merenhoidon ensimmäisten vaiheiden toteutuksen pääperiaatteet ja aikataulu, jonka mukaisesti tätä dokumenttia on täydennetty. Vesienhoidon- ja merenhoidon työtä ja aikataulutusta ohjaa vesienhoidon ja merenhoidon koordinaatioryhmä.



Kuva 1. vesienhoidon ja merenhoidon keskeiset työvaiheet.

### 3. Vesien ja meren ominaispiirteiden tarkastelu

Tällä suunnittelukaudella vesimuodostumat pidetään mahdollisimman ennallaan, poikkeuksena rannikkoalueiden vesimuodostumat, joissa erityisesti ongelmana ovat olleet rannikkovesien ja ulkomeren rajaukset ja rajapinnat. Rannikkovesien tyypittely tulisi linkittää osaksi merenhoidon suunnittelua ja tuottaa ratkaisut, miten vesien- ja merenhoidon tila-arvioita rannikoilla yhtenäistetään. Tätä suunnitellaan HELCOMissa, jossa SYKE:stä on mukana Vivi Fleming-Lehtinen, sekä BONUS COCOA<sup>4</sup> (2014-2017) hankkeessa indikaattorikehityksen kannalta. Asiaa käsitellään myös ECOSTAT työryhmässä sekä MSD-komiteassa.

Tietotarpeet vesimuodostumien rajauksen, tyypittelyn ja ryhmittelyn osalta painottuvat suunnittelukauden alkuun. Ekologiseen luokitteluun linkitetty ja paineperustainen ryhmittely sekä vesimuodostumien rajausten tarkistukset tarvitaan vuoden 2017 aikana. Rannikon vesimuodostumien rajaukset tarvitaan heti vuoden 2017 alussa merenhoidon alustavaa tila-arviointia varten. Työtä tehdään hankkeissa, jotka ovat jo käynnissä keväällä 2016 (PiRy-hanke 2016-2017, CLR-hanke 2016-2017). Hankkeilla tuotetaan ryhmittelyn työkalut ja tietoperusta, mutta varsinainen vesimuodostumien ryhmittely vesienhoitoprosessissa tehdään ELYissä.

#### Ryhmittely vesienhoidossa

Vesimuodostumien ryhmittelyn kehittämisen ja toteuttamisen edellytyksenä on, että vesien- ja merenhoidon tietojärjestelmien kehittäminen sekä valuma-aluejärjestelmän ja paikkatietoaineistojen yhdenmukaistaminen on saatu toteutettua. Ryhmittelyn kehittämistyössä on oleellista varmistaa kiinteä yhteistyö SYKEN VHS-, tyypittely- ja luokitteluasiantuntijoiden välillä parhaiden vesienhoitotyötä palvelevien ratkaisujen saavuttamiseksi.

<sup>4</sup> Hankkeen 1. raportti on valmis (4/2016; Kauppila, P., Smedberg, E., Fleming-Lehtinen, V., Heiskanen, A-S., Carstensen, J. 2016. Deliverable D7.1: Report on the improvement of the coastal typology for the WFD.), josta valmistellaan julkaistava artikkeli syksyn 2016 aikana.

Ryhmittely on otettava tehokkaasti käyttöön sekä pinta- että pohjavesien tilan luokittelussa tukemaan asiantuntija-arviointia. Erityisesti ryhmittelyä tarvitaan sellaisissa vesimuodostumissa ja pohjavesialueilla, joissa seurantatietoa on puutteellista tai se puuttuu (luokittelu perustuu joko jo tehtyyn ryhmittelyarvioon tai asiantuntija-arvioon). Nykyohjeistusten paineiden ryhmittelykriteereitä on tarkennettava ja kehitettävä ja ne tulee linkittää ekologiseen luokittelujärjestelmään ja tyyppikohtaiseen vertailutilaan. Yhteiselle, selkeälle ryhmittelyohjeelle on suuri tarve, joka on todettu myös mallitiekartan A-osassa. Se tehdään YM:n rahoittamassa ”Pintavesien ryhmittelyllä kattavampi ja tarkempi kuva vesien ekologisesta tilasta - kohti kustannustehokasta vesien seuranta, luokittelua ja hoitoa” –hankkeessa (PiRy, Tattari) 12/2017 mennessä.

**Rannikkoalueitten** vesimuodostumien ryhmittelyä kehitetään CLR-mallin kehityshankkeessa (Malve&Kotamäki 2016-2017). BONUS COCOA projektissa (2014-2017) on tarkasteltu koko Itämeren rannikkomuodostumien tyypittelyä. Hankkeen aikana on kerätty koko Itämeren rannikkomuodostumat kattava paikkatietoaineisto, jossa on hydro-morfologista sekä vedenlaatudataa. Lisäksi siihen on liitetty EMODNET pohjanlaatu-/habitaattiaineisto. Tämän COCOA aineiston avulla tehtiin rannikkomuodostumien klusterianalyysi, jonka avulla identifioitiin hydro-morfologisesti samankaltaiset vesimuodostumityypit koko itämeren alueella. Tätä aineistoa ja tyypittelyä voitiin käyttää taustatietona CLR-hankkeen ryhmittelytyössä.

Koska **haitallisten aineiden** mittaustuloksia on vain pienestä osasta (<<5 % ja tällöinkin yleensä vain jostain yksittäisestä aineesta tai aineryhmästä, kun kemialliseen luokitteluun vaikuttaa n. 45 yhdistettä) vesimuodostumia, voidaan kemiallista luokittelua pitää asiantuntija-arvioon perustuvana ryhmittelynä. Monien aineiden osalta on kaikki vesimuodostumat ryhmitelty joukkoon, jossa ympäristönlaatonormi ei ylitä. Toisaalta eräiden aineiden kohdalla on vesimuodostumat voitu ryhmitellä oletettavasti puhtaiksi tai paikoiksi, joissa ympäristönlaatonormit saattavat ylittyä. Näitä riskikohteita ovat esimerkiksi tributyyliiniin osalta satamat, nikkelin osalta kaivosten alapuoliset vedet sekä happamat sulfaattimaat, joilla myös kadmiumpitoisuudet saattavat ylittää ympäristönlaatonormin. Elohopeaa on maaperässä sekä luonnostaan (ml. tuhansien vuosien aikainen laskeuma esimerkiksi tulivuorten purkauksien johdosta) että ihmistoiminnasta johtuen ympäri Suomea. Edellisellä luokittelukierroksella käytettiin yksinkertaista ryhmittelymallia ahvenen elohopeapitoisuuden arviointiin. Mittaustulosten perusteella kehitettiin vesimuodostuman tyyppiin ja sijaintiin (Oulujoen vesistöalueen pohjoispuoli vs. muu Suomi) perustuva arvio elohopean ympäristönlaatonormin ylityksistä. Mikäli seuraavaan luokitteluun mennessä on kertynyt lisää aineistoa, voidaan tätä ryhmittelymallia tarkastaa ja tarvittaessa tarkentaa.

#### 4. Vesiin ja mereen kohdistuvien paineiden arviointi

Vesienhoidon osalta painetarkastelut päivitetään alkuvuodesta 2018 ja merenhoidossa kesään 2017 mennessä. Merenhoidon painearviot valmistuivat osana TAPAS-hanketta vuoden 2016 lopussa. Vesienhoidon osalta ravinnekuormituksen painearviot saadaan arvioitua VEMALA-mallista halutulle tarkastelujaksolle koko Manner-Suomeen.

##### **Rehevöityminen**

Valuma-alueelta peräisin olevaa ravinnekuormitusta arvioidaan VEMALA-mallilla. Vesienhoidossa tarvetta olisi myös parannetuille kiintoaineen ja orgaanisen aineen kuormituksen tarkasteluille. Näiden edellytyksenä on kuitenkin VEMALA-mallin kehittäminen (katso A-osa). Vaikuttaa siltä, että valtakunnallisesti yhdenmukaiset arviot kiintoaine- ja orgaanisen aineen kuormituksesta eivät ehdi ajoissa paineiden tarkistamiseen vuonna 2017. Suunnittelukauden lopulla tarkempia arvioita on kuitenkin mahdollisesti saatavilla, jolloin niiden käyttöä suunnitelmissa voidaan harkita. Tämä edellyttää että kiintoaineen ja orgaanisen aineen koko maan kattavan laskennan sovittamiseen ja tulosten verifiointiin saadaan rahoitus, joka siltä tähän saakka on puuttunut. Kiintoaineen ja orgaanisen aineen huomioiminen vesienhoidossa (luokittelussa) edellyttää, että näille kehitetään luokkarajat ja biologiset vasteet.

Ravinnekuormituksen arviot **maatalouden** osalta perustuvat tällä hetkellä käytössä olevaan aineistoon peltojen ominaisuuksista ja viljelytiedoista. Tässä aineistossa on puutteita. Käytössä olevat viljavuusanalyysit ovat vuodelta 2012 tai vanhempia. Lannoitus, lannan käyttö ja satotiedot ovat alueellisia tilastoja, joista ei päästä ravinnetaseiden vaihteluun alueella. Tällä aikataululla lähtötietoja ei ole mahdollista tarkentaa, mutta jatkossa tarkempien tietojen saantia tulisi edistää.

**Metsätalouden** osalta uusi metsätietolaki on avaamassa tiedot metsätaloustoimenpiteistä kuormituslaskennan käyttöön. Nämä päivitetään yhteistyössä Metsäkeskuksen kanssa tämän kauden kuormitustuloksiin 3/2018 mennessä.

**Haja-asutuksen** tiedot ovat puutteellisia siltä osin mitkä kiinteistöt ovat liittyneet viemäriverkostoon ja millaisia puhdistusratkaisuja muissa on toteutettu. Näitä tietoja ei saatane tarkennettua nopeasti, mutta tietojen keräämistä tulisi edistää jatkossa. Tälle kaudelle haja-asutuksen tietoja voidaan tarkentaa arvioimalla uudelleen alueellisesti ominaiskuormituslukuja per henkilö.

**Pistekuormituksen** osalta puutteita voi olla poikkeustilanteiden raportoinnissa, mutta vesistökuormituksen laskennassa VAHTI järjestelmän tietoja käytetään sellaisenaan. Laskeumana tulevan ravinnekuormituksen tiedot on päivitettävä ottamalla käyttöön uusimmat saatavilla olevat laskeumatiedot. Turkistuotannon aiheuttaman ravinnekuormituksen arviota tulisi tarkentaa. Nykyisin VEMALA järjestelmästä saa vain VAHTI järjestelmään ilmoitetut turkistuotannon kuormitukset. Kuormitus tulisi arvioida eläinmääristä lasketun lantamäärän perusteella. Tarvittaisiin myös tiedot lannan jatkokäytöstä. Toisaalta pelloille levitetyn lannan osuutta peltojen ravinnekuormasta ei ole suoraviivaista erottaa. Turkistuotannon kuormitusosuuden tarkentaminen vaatisi erillisen hankkeen (katso A-osa).

**Sisäisen kuormituksen** merkitystä järvien ja rannikkoalueiden ravinnekierrossa arvioidaan VEMALA- ja LLR- sekä CLR- ja FICOS-malleilla. Sisäisestä kuormituksesta ei saada kattavaa luotettavaa arviota nykyisillä malleilla ja seurantatiedoilla. Siksi ainetaseiden seurantaa ja malleja pitää kehittää sedimentaation ja sisäisen kuormituksen välisen dynamiikan kuvauksen osalta (katso A-osa).

**Merenhoidon painearviot** (cumulative pressures) tehdään HELCOM HOLASII prosessissa (Baltic Sea pressure & impact indeces). Ravinnekuormituksen vaikutus rannikkovesien tilaan tullaan tekemään FICOS-mallilla, joka on kytketty VEMALAAan jokivesien mukana tulevan ravinnekuormituksen aiheuttaman rehevöitymisvasteen arvioimiseksi. FICOS-malli kattaa tällä hetkellä Saaristomeren alueen ja meillä olevassa hankkeessa (2016-2017) sen kehittämistä jatketaan kattamaan Suomen rannikkovesimuodostumat Merenkurkku-Perämerta lukuun ottamatta (joka on tarkoitus mallintaa jatkossa). HELCOM Baltic Sea Action Plan päivityksessä ja HELCOM yhteistyössä Tukholman yliopiston Baltic Nest Institute tekee koko Itämeren maakohtaiset kuormituskattoarviot käyttäen BALTSEM-mallia. Ajatuksena on, että ao. BALTSEM –skenaariot antavat alkuarvot ja reunaehdot FICOS –mallille, jolla ajetaan tarkan erottelukyvyn simulaatiot/ennusteet Suomen rannikkoalueille. Selkeä kehitystarve on analysoida FICOS -mallin ennusteisiin liittyvää epävarmuutta ja suunnitella, miten toteutetaan FICOS ja BALTSEM -mallien tulosten yhdistäminen siten, että Suomen rannikkovesien ja merialueitten ravinnekuormituksen vaikutusarviot (ravinteet, klorofylli a) ja näiden indikaattorien vesienhoidollisten tavoitetilojen saavutettavuusarviot saadaan toteutettua integroituna mallitarkasteluna (katso A-osa).

### **Haitalliset aineet**

Haitta-aineiden osalta painearvio perustuu haitallisten aineiden kuormitusinventaarioon. UuPri-hankkeessa tehdään painearvio ”uusille” aineille, jotka tulivat asetukseen 2015. Vanhoille aineille haetaan hankerahoitusta syksyllä 2017). Kuormitusinventaario tehdään vesienhoitoalueittain. Malleja hyödynnetään laskeuman arvioinnissa. Yksinkertaisia laskentamenetelmiä käytetään myös kasvinsuojeluaineiden käytön arvioinnissa (viljelykasvien keskimääräisen käytön perusteella), joista lasketaan päästökertoimen avulla päästöt vesiin. Päästökertoimet puolestaan perustuvat kirjallisuuteen, mittauksiin tai peltomittakaa-



van huuhtoutumismallilla simuloituihin arvoihin. Myös aineiden jokikuormitusten arvioinnissa käytetään yksinkertaista laskennallista menetelmää pitoisuustulosten ajallisessa yleistämisessä.

### **Hydrologis-morfologiset muutokset**

Hydrologis-morfologiset painearviot perustuvat edelleen vesimuodostumien hydrologis-morfologisen muuttuneisuuden arviointiin, joka on tehty ELY-keskuksissa pääosin vuosina 2007–2008 ensimmäiselle vesienhoitokaudelle. Muuttuneisuusarviot tarkistetaan ja tarvittaessa muuttuneisuutta alennetaan, jos toimenpiteitä, kuten kalateitä ja kunnostuksia, on toteutettu. Hydrologis-morfologisen muuttuneisuuden arvioinnin kehittämiseksi POPELY hakee YM:n rahoitusta vuosille 2018-2019.

## **5. Vesien ja meren tilan arvio**

Tilanarvioinnissa tarkastellaan mm. rehevöitymisen, happamoitumisen, haitallisten-aineiden ja vesirakentamisen vaikutuksia järvi-, joki- ja rannikkovesimuodostumien ekologiseen tilaan (kasviplankton, vesikasvit, päällyslievät, pohjaeläimet, kalat, fysikaalis-kemialliset ja hydro- ja morfologiset tekijät).

**Vesienhoidon ekologisen ja kemiallisen tilan luokittelun** tarkistus valmistuu vuoden 2019 puolivälissä. Merenhoidon tila-arvio tarkistetaan vuoden 2017 loppuun mennessä. Vesienhoidossa luokittelutyötä tukevaa mallitietoa tarvitaan vuoden 2018 syyskuussa. Myös vesienhoidon laskennallista luokittelutietoa tarvitaan vuoden 2018 syyskuussa. Biologinen luokittelutieto tuotetaan keskitetysti SYKEssä sisävesien osalta EKOLAS-hankkeessa 30.9.2018 mennessä. LUKE tuottaa järvien ja jokien kalaston tilaluokittelun. Osassa laatutekijöitä (vesikasvit, päällyslievät) seurantatiedolle ei ole tietojärjestelmiä, mikä vaatii edelleen merkittävää käsin tehtävää työtä. Keskitetysti lasketut tilaindeksit pyritään viemään sähköisesti tulevaan vesienhoidon tietojärjestelmään (VEME). Keskitetty laskenta on valtionhallinnolle kustannustehokasta ja lisää laatua.

Vesien- ja merenhoidon harmonisoinnin näkökulmasta alustava tila-arvio rannikkovesimuodostumista tehtiin merenhoidon aikataulun mukaisesti kesällä 2017. Tätä CLR:llä mallinnettua tilaluokkaa voidaan käyttää vesienhoidon asiantuntija-arvion tukena. CLR-hankkeen (kts. A-osa) aikana tuotettiin kaikille rannikon vesimuodostumille a-klorofyllin ja kokonaisbiomassan tilaluokat ja tilaluokkien epävarmuus. Malliennuste saatiin myös sellaisille muodostumille, joista mittaustukoksia on hyvin vähän tai ei ollenkaan.

Rehevöitymisvaikutusten tueksi tuotetaan arvioita ravinne- ja klorofyllipitoisuuksista VEMALA- ja LLR-malleilla LLR-mallilla voidaan tuottaa kaikille järvi- ja rannikkovesimuodostumille keskimääräisen pitoisuusennusteen lisäksi myös tilaluokan epävarmuus. Ryhmittelyn ja VEMALA-mallin painearvioiden perusteella voidaan laskea vesimuodostumille rehevyysindikaattorien (ravinteet, klorofylli) tilaennusteet.

Ekologisen ja biologisen tilan mallinnuksessa sekä ekologisessa riskiarvioinnissa (painediagnoosi) hyödynnetään jatkossa yhä enemmän vesiseurantojen tuottamaa kattavaa lajiaineistotietoa. Lajistomallinnusta on kehitetty useissa tutkimushankkeissa Sykessä ja sitä pilotoidaan EKOLAS-hankkeen jatkorahoituksen salliessa keväällä 2018. Mallien avulla tuotetaan ekologisen luokittelun tueksi tietoa jokivesimuodostumien lajikohtaisista muutoksista ja paineiden merkityksestä. Pienten virtavesien lajimallinnuksen kehitystyötä tehdään FreshHabit-hankkeen työpaketissa A5, jossa ensimmäiset tavoitetilan malliversiot valmistuvat vuonna 2018. Monilajimallinnuksen kattava soveltaminen ja operatiivinen kehittäminen vesienhoidon tueksi edellyttävät jatkossa lisärahoitusta.

**Merenhoidon tila-arvio** laaditaan merenhoidon asiantuntijaryhmässä keskitetysti. Tila-arvioissa tarkastellaan mm. rehevöitymistä, haitallisia aineita, meriluonnon monimuotoisuutta, roskaantumista, vedenalaista melua ja pohjan koskemattomuutta. Lähinnä ravinnekuormituksesta johtuva ravinnepitoisuuksiin ja leväbiomassaan/klorofylliin perustuva rannikkoalueiden rehevöitymistila-arvio tehdään FICOS-



mallilla. Rannikon läheisellä vyöhykkeellä tila-arviointi vaatii FICOS-, CLR- ja VEMALA-mallien linkittämisen ravinnekkuormituksen vaikutusten arviointia varten (pitkän tähtäimen tavoite, vaatii hankkeistamista, katso A-osa).

Merenhoidossa rehevöitymistila-arvio syntyy FICOS-mallilla käynnissä olevan työn tuloksena (katso A-osa). Sen sijaan Bayes-pohjainen, ylempät trofiatasot kattava ravintoverkkomalli vaatii kehitystyötä. Mallien ketjutus ravinteiden ja hiilen prosessien ja kiintoaineen kuormituksen sekä vaikutusten arvioimiseksi vaatisi niin ikään kehittämistä.

**Meriluonnon monimuotoisuuden** kehityksen arviointi malleilla ei ole vielä mahdollista merenhoidon toisella kaudella. Arvioiminen edellyttää SYKEssä harjoitetun, Bayes-verkkoihin perustuvan ravintoverkkokuvauksen soveltamista ylempien trofiatasojen vasteiden kuvaukseen (eläinplankton, pohjaeläimet, kalat, ravintoverkkomuutokset). Jotta Meridirektiivissä mainittujen laajojen elinympäristöjen tilan ja levinneisyyden muutoksia voidaan arvioida tarkemmin, pitää näitä mallintaa sekä spatiaalisesti että temporaalisesti. Tämä kehitystyö on aloitettu syksyllä 2017 MH/LP:n, SYKE:n ja YM:n yhteistyöllä Meren tila-raportoinnin yhteydessä. SYKE kehittää myös malleja, joissa tutkitaan esimerkiksi makrofytytien esiintymisen yhteyttä eri ihmispaineisiin. Pohjan tilan ja sen paranemisen arvioiminen (ml. pohjan potentiaalisesti mobiilien ravinnevarantojen pieneneminen) edellyttää puolestaan pelkistetyn mutta riittävän realistisen sedimentaation (ravinteiden ja orgaanisen aineksen syöte) ja sisäisen kuormituksen välisen dynamiikan kuvauksen kehittämistä ja kytkemistä FICOS -mallin dynaamiseksi osaksi (hanke-käynnissä, katso A-osa).

**Haitallisten aineiden** osalta tällä suunnittelukierroksella nikkelin ja lyijyn ympäristölaatu-normit muuttuvat liukoisista pitoisuuksista biosaataviksi pitoisuuksiksi. Nikkeli- ja lyijykuormituksen ja tila-arvioinnin helpottamiseksi metallien biosaatavuusmalleilla (bioligandi-mallit) voidaan arvioida järvien ja jokien herkkyttä metallikuormalle laskemalla teoreettisia biosaatavuusosuuksia. Laskenta perustuu jokien ja järvien tyypittelyominaisuuksiin eli humuksen luontaista määrää kuvaavan veden värin perusteella arvioidaan liuenneen hiilen määrä ja jaetaan happamuuden suhteen eri luokkiin. Samalla periaatteella voidaan arvioida kuparin, sinkin ja mangaanin biosaatavia osuuksia vesimuodostumatyypeissä. Työtä tehdään UuPri ja Mineview -hankkeissa (2016-2018). Mineview hankkeessa kehitettävä ketjutettu VEMALA-bioligandi malli, jossa VEMALAlla arvioidaan liukoisen metallin pitoisuus ja muut bioligandi-mallin taustamuuttujat, voidaan ottaa jatkossa soveltaa tarvittaville vesistöille, mutta tämä edellyttää mm. edellä mainittua orgaanisen aineen mallinnuksen tarkennusta.

**Pohjavesien kemiallinen tila-arvio** nojaa ympäristölaatu-normien ylityksiin ja alitukseen. Toinen tila-arvioon vaikuttava tekijä ovat merkittävät nousevat pitoisuudet: jos trendi näyttää tulevaisuudessa ylitystä, voidaan pohjavesimuodostuma merkitä huonoon tilaan. Operatiivisia malleja ei siis luokitelluun ole, mutta tietojärjestelmä pitäisi saada automaattisesti pitoisuustietojen perusteella alustava kemiallisen tilan luokitus, jonka asiantuntija tarkistaa. Tietojärjestelmää pitäisi lisäksi kehittää siihen suuntaan, että se laskee automaattisesti tai puoliautomaattisesti laskevat ja nousevat pitoisuudet analyysitiedoista. MMM:n rahoittamassa MaaMet-seurannassa tuotetaan pohjavesien hoitoa tukeva hajakuormituksen vaikutusten ristitarkastelu vuonna 2016.

## 6. Vesiin ja mereen liittyvät taloudelliset tarkastelut

Vesiin ja mereen liittyvät taloudelliset tarkastelut käsittävät vesien- ja meren käytön taloudellisen analyysin, missä ei hyödynnetä malleja. Lisäksi taloudellisia tarkasteluja edellytetään toimenpideohjelmien suunnittelussa ja niiden vaikutusten arvioinnissa (kustannustehokkuus- ja -hyötytarkastelut). Nämä kuvataan mallien käytön ja kehittämisen osalta jäljempänä luvuissa 10-12.

## 7. Vesien ja meren tilan seurannan järjestäminen

Seurannan järjestämisessä ei mallinnuksella ole isoa roolia. Päinvastoin, seurantajärjestelmä tukee myös mallien kehittämistä ja validointia (katso A-osa).

## 8. Paineiden vähentämistavoitteiden asettaminen (Gap-to-GES)

Vesien- ja merenhoidon ympäristötavoitteiden saavuttamiseksi tulee arvioida, paljonko kuormitusta tai muuta ihmistoiminnan aiheuttamaa häiriötä tai painetta tulisi vähentää. Arviot vesien tilan parantamistarpeista eli tilavajeesta tarvitaan toimenpiteiden suunnittelua varten vuoden 2018 aikana.

Käytännössä toimenpiteiden suunnittelu ja mitoitus tehdään ravinteiden perusteella, joten toimenpiteiden suunnittelun aloittaminen ei edellytä, että vesien uudet tila-arviot ovat valmistuneet. Resurssit eivät kuitenkaan riitä mallien soveltamiseen kaikissa vesimuodostumissa. Ryhmittelyn avulla voidaan tunnistaa muodostettavista ryhmistä keskeisiä vesimuodostumia, joille arviot tehdään ja tuloksia sovelletaan ryhmän kaikissa vesimuodostumissa. LLR:n ja CLR:n avulla voidaan tunnistaa vesimuodostumat, jotka ovat riskissä.

**Vesienhoidon** toisella suunnittelukaudella arvioitiin vedessä olevien ravinne- ja klorofyllipitoisuuksien suhteellinen alentamistarve vertaamalla nykypitoisuuksia hyvän tilan raja-arvoihin. Arvioiden tarkentamiseksi voidaan järvissä arvioida LLR-mallilla kuormitusvähennystä, joka vaaditaan hyvän tilan edellyttämän ravinne- tai klorofyllipitoisuuden saavuttamiseksi. Rajatulla joukolla järviä ja rannikkovesille tällainen arvio toteutettiin vesien- ja merenhoitosuunnitelman toimenpideohjelmalla (2016-2021) varten. Seuraavalla hoitokaudella voidaan rannikkovesissä käyttää CLR-mallia. Sen lisäksi VEMALA-mallia voidaan hyödyntää valtakunnallisissa arvioinneissa, koska LLR-mallin laskenta on mukana VEMALAssa.

**Merenhoidossa** on tavoitteena, että jatkossa Suomi pystyy tuottamaan oman, parhaalla paikallistunteumuksella, tarkoituksenmukaisimmilla laskentamenetelmillä ja laadukkaimmilla datoilla toteutetun arvion kansallisesta kuormituksen vähennystarpeesta (viite Meren hyvän tilan tavoitteiden määrittäminen). Arviot rajat ylittäviin vaikutuksiin voidaan tehdä tulevaisuudessa FICOS-mallilla, joka kattaa rannikkoalueemme hyödyntäen allastason reunaehtoina koko Itämeren ravinnekuormituksen vähennyskenaarioita ja maa-kohtaisia rajoja (BSAP päivitys BNI:n BALTSEM -mallilla). Kuten edellä on todettu, keskeinen kehitystarve on FICOS ja BALTSEM -mallien tulosten yhdistäminen integroiduksi, viranomaiskäyttöön soveltuva arviointityökaluksi. Erityisesti tulisi näihin analyyseihin liittää kehittyneet tilastomatemaattiset arviot mallien epävarmuuksista ja edelleen vesienhoidollisten indikaattorien tavoitearvojen saavutettavuudesta.

**Haitta-aineiden** osalta direktiivissä on jo määritetty hyvä tilan kriteerit ympäristölaatu normien muodossa. Kun pitoisuudet ylittävät ympäristölaatu normin tai pitoisuustrendi on nouseva, on parantamistarve. Osa prioriteettiaineista on laajalle levinneitä ja kaukokulkeutuvia, jolloin jäsenmaiden on omilla toimillaan vaikea vaikuttaa aineiden esiintymiseen. Näiden muutamien ennalta nimettyjen aineiden osalta voi jäsenmaa halutessaan tehdä kemiallisen luokittelun erillisenä. Tässä valinnassa voitaisiin mahdollisesti hyödyntää mallinnusta.

EU:n uusien prioriteettiaineiden alustavat tila-arviot tehdään, jotta voidaan arvioida, mitkä aineet mahdollisesti ylittävät ympäristölaatu normit. Virallisesti uusien aineiden ympäristölaatu normit tulevat voimaan 22.12.2018 ja näiden aineiden osalta tulisi saavuttaa hyvä kemiallinen tila vuoteen 2027 mennessä. Aineille on kuitenkin tehtävä seurantaohjelma ja alustava toimenpideohjelma 22.12.2018 mennessä, ja sen pitää olla kuultavana jo aiemmin. Tässä työssä käytetään mahdollisesti yksinkertaisia laskentamenetelmiä, mutta pääpaino on kuitenkin datan louhinnassa ja uusissa kartoituksissa.

## 9. Toimenpiteiden toteutumisen seuranta

Toimenpiteiden toteutumisen seurannan järjestämisessä ei mallinnuksella ole isoa roolia. Päinvastoin, toimenpiteiden seuranta tukee mallintamista. Toimenpiteiden vaikutuksista on varsin vähän mittauksia joten niiden vaikutuksia ei tunneta riittävästi. Käytännössä yksittäisten vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutusta on vaikea erottaa säätekijöiden 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.

Prossessimallien ohella toinen lähestymistapa on hyödyntää olemassa olevaa vesiensuojelumenetelmien tehokkuutta koskevaa mitattua havaintotietoa ja yleistää tulokset koskemaan vallitsevia maaperä- ja kasvikkombinaatioita. 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. Veden virtausreittien mallintaminen on vaativaa ja se edellyttää hyvää lähtöaineistoa sovellusalueelta.

Vesien- ja merenhoidon toimeenpano tuetaan hallituksen kärkihankkeilla, joissa monissa on myös tutkimuksellisia teemoja. Hankkeissa saatavia tuloksia vesiensuojelumenetelmien tehokkuudesta ja niiden laajamittaisen soveltamisen edellytyksistä tulisi jatkossa hyödyntää myös mallien kehitystyössä.

## 10. Toimenpiteiden määrittäminen ja mitoittaminen

Toimenpideohjelmien tarkistaminen viimeistään vuonna 2019 ja jatkuu vuoteen 2021. Hyötyarviot tarvitaan vuonna 2020, toimenpiteiden kustannustehokkuudesta tarvitaan tietoa jo aiemmin toimenpiteitä laadittaessa, 2019 alkupuolella ja poikkeamien arviointiin liittyvien työkalujen (mallitiekartassa kohtuuttomien kustannusten arviointiin) pitäisi olla käytössä vuoden 2019 loppupuolella.

Vesien- ja merenhoidon toimenpideohjelmien toimenpiteiden suunnittelun tueksi tarvitaan toimenpiteiden vaikuttavuusarvioita sekä arvio toimenpiteiden kustannustehokkuudesta. Toimenpiteiden suunnittelua ei ole määritelty direktiivi- tai lakitasolla kovin tarkasti. Tähän asti toimenpiteet on jaettu kahteen ryhmään: i) valuma-alueella ja vesistöissä tehtäviin niin sanottuihin 'kuokkatoimenpiteisiin' sekä ii) ohjauskeino- luonteisiin toimenpiteisiin (vesienhoidon ohjauskeinot sekä merenhoidon toimenpiteet).

Kuokkatoimenpiteiden mitoitus ja vaikutustenarviointi on tehtävä valuma-alueittain, eikä sitä voida täysin automatisoida, mikäli halutaan toimenpideyhdistelmien olevan realistisia ja toteutettavissa olevia. Siksi toimenpiteiden mitoitus ja vaikutusten arviointi vaatii resursseja, samoin toimenpiteiden kustannustehokkuuden arviointi.

Toimenpiteiden määrittelyyn ja suunniteluun tarvitaan arvioita kuormituksen vähennystarpeista (luku 8) ja hydrologis-morfologisesta muuttuneisuudesta (luku 4) sekä toimenpiteiden vaikuttavuusarvioita.

### Rehevöityminen

Ravinnekuormituksen osalta toimenpiteiden vaikutuksia voidaan arvioida VEMALA-, VIHMA- ja KUTOVA-mallilla. KUTOVAN osalta vaikutukset typpikuormitukseen vaativat mallin kehittämistä (katso A-osa). VIHMA-mallilla voidaan arvioida maatalouden toimenpiteiden vaikutusta ravinne ja kiintoainekuormitukseen. VEMALA-mallilla voidaan arvioida paitsi syntyvää myös tiettyyn vesimuodostumaan tulevaa kuormaa tai jokikuormaa mereen, ottaen huomion pidäytyminen vesistön eri osissa. Toimenpiteiden suunnittelun tueksi VEMALA mallilla voidaan tehdä skenaarioita suunniteltujen toimenpiteiden yhteisvaikutuksista vesimuodostumien, jokien ja merialueiden kuormitukseen.

Toimenpiteillä aikaansaataavan kuormitusvähennyksen vaikutuksia vesistössä voidaan rehevöitymisen osalta (ravinnepitoisuudet, klorofylli) arvioida LLR/CLR-, FICOS- ja VEMALA-mallilla, jotka sisältävät myös sisäisen kuormituksen vaikutuksen vesiekosysteemin vasteisiin. Jatkossa pitäisi pystyä hyödyntämään mallien epävarmuusarvioita ja arvioimaan ympäristövaikutusten todennäköisyys ja niihin liittyvät taloudelliset riskit.

Kuokkatoimenpiteiden kustannustehokkuutta arvioidaan KUTOVA-mallilla fosforin suhteen. TOIMI-hankkeessa (VN-TEAS, 2016-2017) on arvioitu, että LUKEssa kehitteillä olevaa malli typpikuorman vähentämiskustannustehokkuuden arviointiin ei sovellu kovin hyvin vesien- ja merenhoidon tarpeisiin, vaan olisi parempi kehittää KUTOVAN typpiversiota. (kts. A-osa).

KUTOVAN integroiminen osaksi VEMALAA olisi laajamittaisen kattavan arvion tekemisessä keskeistä ja se säästäisi resursseja sekä keskitettyjä mallipalveluita tuottaessa että ELYissä toimenpiteitä valitessa ja mitoitettaessa. Integroimistyö toisaalta vaatii resursseja, eikä välttämättä ole aivan yksinkertaista, koska se vaatisi myös oman käyttöliittymän VEMALA-ympäristöön.

**Hydrologis-morfologia** toimenpiteitä voidaan mitoitaa muuttuneisuuden mukaan. Toimenpiteiden vaikutusten arviointiin sovelletaan arviointikehikkoa. Pisteytyksessä on tunnistettu alustava raja hyvälle tilalle, johon nykyistä muuttuneisuutta ja toimenpiteillä aikaansaataavaa muutosta pisteissä voidaan verrata. Vedenotto arvioidaan pintavesissä suhteessa keskivirtaamaan ja pohjavesissä antoisuuteen. Pinta- ja pohjaveden ottamisesta on tehtävä ilmoitus elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukselle (ELY-keskus), jos ottomäärä on yli 100 m<sup>3</sup>/vrk. Aluehallintoviraston luvan vaatii pohjaveden ottaminen, jos määrä on yli 250 m<sup>3</sup>/vrk.

**Merenhoidossa** taloudellisia tarkasteluja vaaditaan sekä osana tila-arviota että osana toimenpideohjelmaa. Merenhoidon toisen kauden tila-arvion meren käytön sosioekonominen analyysi ja meren tilan huononemisen kustannusten arvio toteutetaan osana YM:n rahoittamaa Merenhoidon kansallinen koordinaatio –hanketta. Vastaavat Itämeren tason analyysit toteutetaan osana HELCOM HOLAS II ja TAPAS hankkeita. Missään näistä hankkeista luonnontieteellistä tietoa meriympäristön tilasta, tai tietoa ihmistoinnin paineista ja vaikutuksista ei yhdistetä mallien avulla taloudellisiin tarkasteluihin. Merenhoidossa käytettyjä malleja tulee kehittää tähän suuntaan niin, että ne palvelisivat toimenpideohjelmassa vaadittuja kustannusvaikuttavuus- ja kustannushyötyanalyysijä. Merenhoidon toisen kauden toimenpideohjelman taloudellisille analyyseille ei toistaiseksi ole projektia käynnissä. Ohjauskeinoitoimenpiteiden vaikuttavuuden ja kustannustehokkuuden arviointi vesien- ja merenhoidon näkökulmasta tehdään mahdollisesti yhdenmukaisesti erillisessä hankkeessa, joka tarvitsee erillisen rahoituksen.

### **Haitalliset aineet**

Toistaiseksi suuri osa haitta-aineista kulkee puhdistamojen läpi ja vain kiintoainekseen sitoutuvat aineet saadaan poistettua puhdistamalla. Jätevedenpuhdistamojen haitallisten aineiden puhdistustekniikkaa kehitetty. Nykyistä tehokkaampi puhdistus on kalliimpaa, mutta voisi johtaa kemiallisesti puhtaampiin vesiin. Taloudelliset tarkastelut tähän liittyen ovat tarpeellisia.

## **11. Vaikutusten arviointi**

Merenhoitosuunnitelman ja vesienhoitosuunnitelman laatimisen yhteydessä tehdään viranomaisten suunnitelmien ja ohjelmien ympäristöarvioinnista annetun lain (SOVA-laki) mukainen ympäristöarviointi. Ympäristövaikutusten arviointiprosessi kytketään tiiviisti suunnitelmien laadintaan (toimenpiteiden suunnittelu ja valinta) sekä osaksi suunnitteluprosessin kuulemis- ja tiedottamisvaiheita. Ympäristöarvioinnissa tunnistetaan ja kuvataan mm. vesien- ja merenhoitosuunnitelmien toteuttamisen todennäköiset välittömät ja välilliset vaikutukset ihmisten terveyteen, elinoloihin ja viihtyvyyteen. Arviointi tuottaa ensisijaisesti tietoa suunnitelman ja sen vaihtoehtojen vaikutuksista.

**Vesienhoidon** toisella suunnittelukierroksella vaihtoehtojen ympäristövaikutuksia arvioitiin VEMALA mallilla laskemalla, kuinka toimenpideohjelmavaihtoehdot (H0, H1 ja H2) vaikuttavat ravinnekuormitukseen. Lisäksi vaikutuksia eri hyötytekijöihin arvioitiin ns. hyötyjen arviointikehikon avulla, jossa hyötytekijöinä huomioidaan mm. ammattikalastus ja kalankasvatus, matkailu, vedenotto, kiinteistön arvo, virkistyskäyttö, vesiympäristön monimuotoisuus, turvallisuus ja terveys, sekä vesimaisema ja asumisviihtyisyys.

**Merenhoidossa** Meren hyvän tilan saavuttamisen hyötyjen arviointi perustuu taloudellisiin arvottamistutkimuksiin, joissa on selvitetty kansalaisten kokemia hyötyjä Itämeren tilan parantamisesta. Hyötyarvioiden tuottamisessa on hyödynnetty tulosten siirtoa, jossa aiemmin tehtyjen tutkimusten tuloksia käytetään toisessa asiayhteydessä. Hyötyjä on pyritty arvioimaan niille viidelle kuvaajalle, joiden suhteen hyvää tilaa ei ole saavutettu, eli luonnon monimuotoisuus (K1), ravintoverkot (K4), rehevöityminen (K5), epäpuhtauksien pitoisuudet ja vaikutukset (K8) ja epäpuhtaudet ruokakalassa (K9). Hyötyjen arvioinnissa monimuotoisuutta ja ravintoverkkoja samoin kuin epäpuhtauksia meressä ja eliöissä on tarkasteltu yhdessä niiden osittaisen päällekkäisyyden vuoksi.

Vaihtoehtojen ympäristövaikutusten arvioinnissa ei käytetty malleja, vaan merenhoidon toimenpideohjelman ympäristövaikutusten arviointi perustuu toimenpiteiden vaikuttamismekanismien ja niitä koskevien oletusten analyysiin sekä sivuvaikutusten ja epävarmuuksien tunnistamiseen. Ympäristövaikutusten arvioinnin toteuttivat vaikutusarvioinnin asiantuntijat yhdessä toimenpiteitä valmistelleiden asiantuntijoiden ja toimenpideohjelman sosioekonomisen analyysin laatineiden tutkijoiden kanssa.

## 12. Poikkeamien määrittely

Vesienhoidossa voidaan asettaa poikkeamia hyvän tilan saavuttamisen aikataulusta kohtuuttomien kustannuksien, luonnonolosuhteiden ja teknisen toteuttamiskelpoisuuden perusteella. Myös merenhoidossa voidaan myöntää poikkeamia mm. luonnonolosuhteiden ja kohtuuttomien kustannusten vuoksi, mutta niitä ei ole käytetty. Vesienhoidon toisella suunnittelukaudella tehtyjä hyötytarkasteluja hyödyntäen luodaan kehikko vesienhoitoon kohtuuttomien kustannusten tarkastelua varten. Kehikossa hyödynnetään VIRVA-mallin arvioita vesistön virkistyskäyttöarvosta, sekä tilastollisiin analyyseihin perustuvia tulosten siirtoja Vuoksen vesienhoitoalueelta.

Vesienhoidossa on mahdollista arvioida uusien merkittävien hankkeiden vaikutusta vesien- ja merenhoidon tavoitteisiin ja mahdolliseen tarpeeseen poiketa ympäristötavoitteista. Hankkeiden arviointia varten valmistuu EU-opas vuoden 2017 lopussa, jonka perusteella valmistellaan kansallinen opas vuoden 2018-2019 aikana. Oppaan soveltamiseen liittyy useita kehittämistarpeita mm. pitäisi kehittää menetelmä ylivoimaisen yleisen edun arviointiin, jolla voidaan systemaattisesti arvioida, milloin perusteet vesien- ja merenhoidon järjestämisestä annetun lain 23 § pykälän (VPD artikla 4(7)) poikkeamille ovat oikeutettuja ja tarpeellisia. Kehitystyössä tulee ottaa huomioon EU-tason keskustelu, ohjeet ja päätökset aiheeseen liittyen.

## 13. Suunnitelmien ja toimenpideohjelmien laadinta

Aikaisemmissa vaiheissa kerätty tieto kootaan yhteisiin asiakirjoihin, joita ovat vesienhoidon toimenpideohjelmat ja –suunnitelmat sekä merenhoitosuunnitelma, joka koostuu kolmesta osasta, jotka laaditaan eri ajankohtina: 1. osa sisältäen meren hyvän tilan määritelmät, ympäristötavoitteet ja nykytilan arvion 2018, 2. osa seurantaohjelman päivityksen 2020 ja 3. osa toimenpideohjelman 2021.

## 14. Sidosryhmäyhteistyö ja kuuleminen

Sidosryhmäyhteistyössä ja kuulemisessa olennaista on mallien käyttötarkoituksen ja epävarmuuksien oikeanlainen viestintä. Tämä vaatii kaikilta malleilta tiiviit ja selkeät kuvaukset, jotka julkaistaan vesien-

hoitosuunnitelmien yhteydessä. Huomiota tulee myös kiinnittää siihen, ettei eri malleilla saatavat tulokset anna ristiriitaisia viestejä kansalaisille.

Taulukko 1. Vesien- ja merenhoidossa käytettävissä olevien mallien arvioidut kehitysvaiheet vesien- ja merenhoidon käynnissä olevalla suunnittelukaudella.

Malli	Kuvaus	Käytettävyys			
		2018	2019	2020	2021
<b>Rehevöityminen</b>					
WSFS	Hydrologinen vesistömalli	Valmis	Valmis	Valmis	Valmis
Vemala	Vedenlaatumalli WSFS-ympäristössä	Osittain valmis	Osittain valmis	Osittain valmis	Osittain valmis
LLR/CLR	Vesimuodostuman kuormitusvaikutusmalli	Osittain valmis	Osittain valmis	Osittain valmis	Osittain valmis
VIRVA	Virkistysyödyn laskenta	Osittain valmis	Osittain valmis	Osittain valmis	Osittain valmis
KUTOVA	Toimenpiteiden kustannustehokkuuslaskenta	Osittain valmis	Osittain valmis	Osittain valmis	Osittain valmis
VIHMA	Pelto-erosio ravinnekuormitus valuma-alueetasolla, peltoviljelyn ympäristötoimenpiteiden kokonaisvaikutusten arviointityökalu	Osittain valmis	Osittain valmis	Osittain valmis	Osittain valmis
FICOS	Ravinteiden kierto planktisessa ravintoverkossa	Osittain valmis	Osittain valmis	Osittain valmis	Osittain valmis
VITA	Vesien tilan arviointijärjestelmä	Valmisteilla	Osittain valmis	Osittain valmis	Osittain valmis
<b>Haitalliset aineet</b>					
Hg-malli	Bayesilainen verkkomalli vesien kemiallisen luokittelun tueksi	Suunnitteilla	Suunnitteilla		
BLM (Ni & Pb, sisävedet)	Bioligandimallit	Valmis	Valmis	Valmis	Valmis
BLM (muut metallit, sisävedet)	Bioligandimallit	Valmisteilla	Osittain valmis	Valmis	Valmis
BLM (rannikkovedet)	Bioligandimallit		Suunnitteilla		
<b>Luonnon monimuotoisuus</b>					
VELMU lajien levinneisyys- ja runsausmallit	Vedenalaisten merilajien esiintymisen ja potentiaalisten elinympäristöjen todennäköisyys ja -runsausmallit	Osittain valmis	Osittain valmis	Valmis	Valmis
VELMU habitaattimalli	Mereisten luontotyyppien (esim. riutat, vrt. luontodirektiivin liite 1, HELCOM HUB, Laajat elinympäristöt) esiintymisen todennäköisyysmalli	Osittain valmis	Osittain valmis	Valmis	Valmis
VELMU ympäristömuuttujamalli	VELMU:n laji- ja habitaattimallinnuksessa tarvittava tilastollisesti ja paikkatietoanalyysin tuotettu ympäristömuuttujatieto, esimerkiksi saliniteetti, syvyys, lämpötila, pohjanlaatu	Osittain valmis	Osittain valmis	Valmis	Valmis
RIVPACS	Sisävesien biologisen tilan ja monimuotoisuuden arvioinnissa käytetty lajien luontaisen esiintymisen mallinnusmenetelmä (monilajimalli, multi-taxon species distribution models)	Osittain valmis	Osittain valmis	Osittain valmis	Osittain valmis

## **Liitteet**

Liite 1. Vesien rehevöitysmallit ja niiden kehitystarpeet SYKEssä

Liite 2. Haitallisten aineiden mallit ja niiden kehitystarpeet SYKEssä

Liite 3. Luonnon monimuotoisuuden ja elinympäristöihin liittyvät mallit SYKEssä

Liite 4. Mallien soveltamisen toimintasuunnitelma



## Liite 1. Vesien rehevöitymiseen liittyvät mallit SYKEssä

Taulukko 1. Vesien ja merenhoidon DPSR-ketjuun rehevöitysmallintamiseen liittyvät osat, joita on käytetty taulukossa 2.

<b>Ihmisen toiminta (D)</b>	<b>Paineet (P)</b>	<b>Vesimuodostuman tila (S)</b>	<b>Toimenpiteet (R).</b>
<i>Taulukkoon 3 kunkin mallin kohdalle merkitään tästä ne ihmistoiminnot, joita voidaan kuvata ko. mallilla</i>	<i>Taulukkoon 3 kunkin mallin kohdalle merkitään tästä paineet, joita voidaan kuvata ko. mallilla</i>	<i>Taulukkoon 3 kunkin mallin kohdalle merkitään tästä ne tilaindikaattorit, joita ko. malli laskee.</i>	<i>Taulukkoon 3 kunkin mallin kohdalle merkitään tästä ne toimenpiteet, joiden vaikutuksien arvioinnissa ko. mallia voidaan käyttää</i>
D1: Maatalous (myös turkistuotanto)	P1: Ravinnekuormitus (ja sen arvioiminen lähteittäin)	S1: Rehevöityminen (Ravinne- ja klorofyllipitoisuudet)	R1: Maatalouden toimenpiteiden vaikutuksen arvioiminen
D2: Metsätalous	P2: Liettyminen	S2: Ravintoverkot	R2: Metsätalouden toimenpiteiden vaikutuksen arvioiminen
D3: Haja-asutuksen jätevedet	P3: Samentuminen	S3: Kalojen epäpuhtaudet	R3: Yhdyskuntien ja haja-asutuksen jätevesien käsittelyn vaikutuksen arvioiminen
D4: Yhdyskuntien jätevedet	P4: Pohjien eroosio		R4: Teollisuuden ja kaivostoiminnan toimenpiteet
D5: Hulevedet	P5: Muutokset valuma-alueella ja joissa		R5: Hulevesien käsittelyn vaikutuksen arvioiminen
D6: Ilmalaskeuma			R6: Turvetuotannon toimenpiteiden vaikutuksen arvioiminen
D7: Turvetuotanto			R7: Ravinnontuotannon ja -kulutuksen vesistövaikutusten vähentäminen REHEV 1
D8: Pistekuormitus (teollisuus ym)			R8: Maatalouden ympäristökorvaukseen vaikuttaminen vesiensuojelun tehostamiseksi REHEV 2
D9: Ruoppaus ja läjitys			R9: Edistetään Itämeren alueella tuotetusta raaka-aineesta valmistetun kalanrehun tuotteistamista ja käyttöönottoa REHEV 3
D10: Merihiekkan ja kiviainesten nosto			R10: Mereen laskevien virtavesien herkkien eliölajien elinympäristöjen parantaminen REHEV 4
D:11 Kalankasvatus			R11: Ravinneneutraali kunta-pilottihankkeiden toteuttaminen REHEV 5
			R12: Alusten typpipäästöjen hallitsemiseksi kansainvälisessä merenkulkujärjestössä tehtävän päätöksen edistäminen julistaa Itämeri typenoksidipäästöjen valvonta-alueeksi (NECA) REHEV 6
			R13: Edistetään nesteytetyn maakaasun käyttöä alusten polttoaineena ja huolehditaan tarvittavan infrastruktuurin rakentamisesta REHEV 7
			R14: Tieliikenteen rehevöitävien typpipäästöjen vähentäminen taloudellisin ohjaukskeinoin REHEV 8
			R15: Vesistöjen kunnostuksen, säännöstelyn ja rakentamisen toimenpiteet
			R16: Vaikuttavimpien toimenpiteiden valinta
			R17: Toimenpiteiden kustannustehokkuuden arvioiminen

Taulukko 2. Rehevöitymiseen liittyvät mallit, kehitysvaihe, kehitystarve sekä niiden aika- ja paikkaresoluutio. O= operatiivinen malli, T= tutkimusmalli. D= ihmisen toiminnan kuvaus, P= paineiden kuvaus, S= tilan ja vaikutusten kuvaus, R= toimenpiteiden kuvaus.

Malli	Kuvaus	Käyttö vesien ja merenhoidossa	'Status'	Aikaresoluutio	Pieninen paikka-resoluutio	Huomautukset ja täydennykset	Yhteyshenkilö SYKEssä
WSFS	Hydrologinen vesistömalli	P	O+T	1 vrk	Kolmannen jakovaiheen osavaluma-alue	Lähdekoodi SYKEllä.	Markus Huttunen
Vemala	Vedenlaatumalli WSFS-ympäristössä	D,P, S, R	O+T	1 vrk	Peltolohko, järviallas	Lähdekoodi SYKEllä.	Markus Huttunen
INCA	Ravinteiden, kiintoaineksen ja mikrobien huuhtoutumismalli	D, P, R	T	1 vrk	Osavaluma-alue	Hydrologia WSFS:stä tai muusta hydrologisesta mallista	Katri Rankinen
SWAT	Kiintoaineen, ravinteiden ja pestisidien huuhtoutumismalli	D, P, R	T	1 vrk	HRU eli kvasiosavaluma-alue	Avoim lähdekoodi. Vaatii ArcMapin	Sirkka Tattari
Tilastolliset ominaiskuormituskaavat	TN- ja TP-kuormien arviointiin kehitetyt regressioyhtälöt	D, P,	O	1 vuosi	Kolmannen jakovaiheen valuma-alue	Ryhmä yhtälöitä.	Sirkka Tattari
COHERENS	Altaan hydrodynaaminen vedenlaatu- ja haitta-ainemalli	S, P	T	1 s	5-100 m	Avoim lähdekoodi. 3D-ratkaisu	Janne Ropponen
LLR	Vesimuodostuman kuormitusvaikutusmalli	S, P	O	Muodostuman viipymä	Muodostuma	Tasapainomalli, jossa epävarmuus-tarkastelu. Nettityökalu.	Olli Malve, Niina Kotamäki
MyLake	Allasmalli	S, P	T	12 h	Järvi/allas	Avoim lähdekoodi. 1D-vertikaali ratkaisu	Timo Huttula ja Maria Holmberg
HEC-RAS	Joen hydrodynaaminen malli	-	T	1 s	10-100 m	Avoim lähdekoodi? 1D-horisontaali ratkaisu, 2D-malli beta	Juha Aaltonen??
SOBEK	Joen ja valuma-alueen hydrodynaaminen vedenlaatu- ja haitta-ainemalli	S, P	T	1 s	1-100 m	1D-horisontaali ratkaisu	Janne Ropponen
VIRVA	Virkistysyödyn laskenta	R	T	Tasapainolaskenta	Vesimuodostuma	Excel-työkalu	Turo Hjerppe
KUTOVA	Kustannus- hyötylaskenta	R	O	Tasapainolaskenta	Kolmannen jakovaiheen osavaluma-alue	Excel-työkalu	Turo Hjerppe
VIHMA	Pelto-erosio ravinnekuormitus valuma-alueella, peltoviljelyn ympäristötoimenpiteiden kokonaisvaikutusten arviointityökalu	R, D, P	O+T	Tasapainolaskenta	Peltolohko	Excel-työkalu . Kehitystarve: paikkakohtaiset peltolohkojen ominaisuustiedot	Markku Puustinen, Sari Väisänen
Ravinnekiertomalli FIN-COS/Saaristomerimalli (SM)	Ravinteiden kierto planktisessa ravintoverkossa	S, P	(O)+T	1 vrk	Riippuu kytketyn hydrodyn. mallin hilasta	Kehitetään Kiirikki ym. (2001) mallista SM –hankkeessa – pelkistetty malli	Risto Lignell
BFM	Ravinteiden kierto Itämeressä (Biogeochemical Flux Model; Vichi ym 2007)	S, P	(O)+T	1 vrk	Riippuu kytketyn hydrodyn. mallin hilasta	Implementointi Itämerelle meneillään – tunnetut prosessit ja varannot kattava malli	Risto Lignell
TRAITS	Planktonin organismien avainominaisuuksiin perustuva malli	S, P	T	1 vrk	Riippuu kytketyn hydrodyn. mallin hilasta	Moderni, biologisesti realistinen Bayes-malli ennusteiden parantamiseksi	Risto Lignell

Taulukko 3. Rehevöitymislaskentaan liittyvät mallien erityiset kehitystarpeet lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä. Taulukosta näkyy myös mihin vesien ja merenhoitoon kuuluvaan haasteeseen kukin kehitystyö vastaa.

Malli	Mallin käyttömahdollisuudet nykyisessä kehitysvaiheessa	Kehitystarve lähivuosina (2015-2017)	Mallin uudet käyttömahdollisuudet	Kehitystarve vuoteen 2025
WSFS-Vemala	D1;D2;D3;D4; D6; D7; D8; P1; P5; S1; R1-R8, R15	1) Tulokset karttapohjalla 2) Tuntilaskenta 3) Peltojen ravinnehuuhtouman ja eroosion tarkentaminen 4) Metsien ravinnehuuhtouman tarkentaminen 5) Ilmastonmuutoksen vaikutuksen arviointi luonnonhuuhtoumaan, peltojen kuormitukseen 6) Kuormitustulosten virtaamanormalisointi 7) Sosioekonomisten osamallien (VIRVA ja KUTOVA) linkitys 8) järjestelmän tietosisällön ylläpito ja käyttöliittymän kehittäminen	1)&2) mallin yleinen parannus 3) R16; R17	
INCA	D1; D2; D3; D4; D6; P1; P5; S1; R1; R2; R3; R4; R6; R7; R8; R14	Sovellukset useammalle edustavalle alueelle koko Suomeen	Patogeenien kulkeutumisen mallinnus uusilla alueilla	
SWAT	D1; D2; D3; D4; D6; S1; D1; D2; D3; D4; D6; P1; P5; S1; R1; R2; R3; R6; R7; R8;	Sovellukset Vantaanjoen, Vanajaveden ja Karjaanjoen alueille (Freshabit)	Pestisidien huuhtoutumisen mallinnus. Hulevesien osuus kuormituksesta.	
Tilastolliset ominaiskuormituskaavat	D1; P1; R1; R7; R8	Epätasapainoisen sekamallin hyödyntäminen, jolloin mahdollisuus suurempaan tutkimusaineistoon. Karttapohjaisen sovelluksen laatiminen.	Maankäytön muutosten skenaariot ja ilmastoskenaariot	
COHERENS	D1-D10; P1- P4; S1; R1-R8	1) Jääosamalli ja lämpötaseen tarkennus 2) Vedenlaatuosa 3) Epävarmuustarkastelu 4) Biomanipulointi 5) Sosioekonomia kytkentä 6) C ja Si- osamallit 7) Pohjanläheiset prosessit 8) Kaasunvaihtoprosessit	1) ympärivuotinen laskenta 2) S2; D11 3) yleinen mallin parannus 4) S1-S3 5) R17; R18; 6) S1; R3; R5 7) D3; D4; P1; R16;R17	1) Uusien havainto- ja seurantametselmien integrointi 2) Käyttöliittymä ja tulosten tulkinta 3) Eri mallityyppien yhdistäminen toisiaan tukevaksi kokonaisuudeksi 4) Perusmalli eri mallityypeille. Vaatii myös perustutkimusta järviytypeittäin
LLR/CLR	D1-D8; P1; S1; R1-R8	1) Hierarkiarakenteen päivitys 2) Sisäisen kuormituksen kuvaus 3) Sinileväkuvaus, Biomassa, TPI 4) Vedenlämpötilan kuvaus 5) Lisähavaintoaineisto	1) – 2), 5) yleinen mallin parannus 3)- 4) S1	1) Kalabiomassamalli
Vesien tilan arviointijärjestelmä	D1-8, D11	Integroidaan LLR/CLR-malliin kasviplanktonin lisäksi muutama Vesikasvien ja pohjaeläinten laatukeyijän malli ( esim. RIVPACS) sekä tilastolliset ominaiskuormitusmallit tilan, painevasteiden ja toimenpiteiden vaikutusten laskemiseksi	Voidaan estimoida puuttuva tilahavainto sekä paineiden ja toimenpiteiden vaikutukset että tilaennuste mille tahansa vesimuodostumalla. Estimaatit on helppo päivittää kun on saatu uutta havaintoaineistoa	
MyLake	D1-D8; P1-P3; S1; R1-R8;	1) BOD7&O2- malli 2) DOM ja sedimentti malli 3) CO2-malli	1) ja 2) S1 2) R15	
SOBEK	D1-D8; P1; P5;	Jääosamalli	Yleinen mallin parannus	
VIRVA	R16;R17	1) Muiden kuin rantakiinteistöjen käyttäjien virkistysyödyn arvioinnin kehittäminen (palvelee erit. merenhoitoa)	R17-R18	Integrointi VEMALA-ympäristöön
KUTOVA	D1-D8; R16;R17	1) Typpikuormituksen kustannusvaikutus laskenta 2) Toimenpiteen etäisyyden huomiointi	1) D1-D8 + R16& R17 typen osalta	

		3) Epävarmuustarkastelu: lähtötietojen vaihteluvälin tarkentaminen 4) Uusien toimenpiteiden lisääminen (aluskasvillisuus, luomutuotanto, lannan käyttö) 5) integrointi Vemala-ympäristöön		
VIHMA	D1; P1; S1; R1; R7; R8; R16	1) Mallin kuormituslukujen ja niiden vaihteluvälin tarkentaminen 2) mallin fosforiosion tarkentaminen	Ilmastomuutoksen vaikutukset ja sopeutuminen	
Ravinnekiertomalli FIN-COS/Saaristomerimalli (SM)	-	Ensimmäinen versio valmis 31.10.2015 (SM –hanke)	D1-D8, D11; P1; S1; R1-R8	Ravintoverkon realistisen minimikuvausten kehittäminen & Bayes - epävarmuus
BFM	-	Implementointi Itämerelle meneillään (rinnan IL:n hydrodyn. NEMO –mallin kanssa - tavoite BFM-NEMO)	D1-D8, D11; P1-P4; S1-S2; R1-R8	Implementointi Itämerelle & kytkentä NEMOon (IL); keskeisten organismien ja prosessien parametrisointi
TRAITS	-	3-v SA tutkimushanke (alkoi 2014); implementointi Itämerelle bayesilaisilla menetelmillä	D1-D8, D11; P1; S1-S2; R1-R8	Itämeren avainorganismien ja niiden keskeisten ominaisuuksien identifiointi ja parametrisointi, ml. mallin epävarmuudet

## Liite 2. Haitallisten aineiden mallit ja niiden kehitystarpeet SYKEssä

Taulukko 1. Vesien ja merenhoidon DPSR-ketjuun haitallisten aineiden mallintamiseen liittyvät osat, joita on käytetty taulukossa 3.

<b>Ihmisen toiminta (D)</b>	<b>Paineet (P)</b>	<b>Vesimuodostuman tila (S)</b>	<b>Toimenpiteet (R).</b>
<i>Taulukkoon 3 kunkin mallin kohdalle merkitään tästä ne ihmistoiminnot, joita voidaan kuvata ko. mallilla</i>	<i>Taulukkoon 3 kunkin mallin kohdalle merkitään tästä paineet, joita voidaan kuvata ko. mallilla</i>	<i>Taulukkoon 3 kunkin mallin kohdalle merkitään tästä ne tilaindikaattorit, joita ko. malli laskee.</i>	<i>Taulukkoon 3 kunkin mallin kohdalle merkitään tästä ne toimenpiteet, joiden vaikutusten arvioinnissa ko. mallia voidaan käyttää</i>
D1: Maatalous (myös turkistuotanto)	P1: Haitallisten aineiden kuormitus (ja sen arvioiminen lähteittäin)	S1: (Tilaan vaikuttavat tekijät), ekotoksikologisten raja-arvojen laajentaminen paikallisesti tärkeisiin aineisiin ja sekoitteisiin	R1: Maatalouden toimenpiteiden vaikutuksen arvioiminen
D2: Metsätalous	P2: Liettyminen	S2: Aineiden kohtaloon vaikuttavat tekijät (tunnistus ja ympäristölaatuunormi )	R2: Metsätalouden toimenpiteiden vaikutuksen arvioiminen
D3: Haja-asutuksen jätevedet	P3: Samentuminen	S3: Kalojen epäpuhtaudet	R3: Yhdyskuntien ja haja-asutuksen jätevesien käsittelyn vaikutuksen arvioiminen
D4: Yhdyskuntien jätevedet	P4: Pohjien eroosio		R4: Teollisuuden ja kaivostoiminnan toimenpiteet
D5: Hulevedet	P5: Muutokset valuma-alueella ja joissa		R5: Hulevesien käsittelyn vaikutuksen arvioiminen
D6: Ilmalaskeuma			R6: Turvetuotannon toimenpiteiden vaikutuksen arvioiminen
D7: Turvetuotanto			R7: Vesistöjen kunnostuksen, säännöstelyn ja rakentamisen toimenpiteet
D8: Pistekuormitus (teollisuus ym)			R8: Ekotoksisiin vaikutuksiin liittyvät kustannukset ja tilan paranemiseen liittyvät hyödyt
D9: Ruoppaus ja läjitys			R9: Vaikuttavimpien toimenpiteiden valinta
			R10: Toimenpiteiden kustannustehokkuuden arvioiminen
			R11: Lääkeaineet merialueella –selvitys HAITAL1
			R12: Selvitetään Kymijoen kautta Itämereen päätyvän dioksiini- ja furaanikuormituksen määriä ja muutoksia HAITAL2

Taulukko 2. Haitallisiin aineisiin liittyvät mallit, kehitysvaihe, kehitystarve sekä niiden aika- ja paikkaresoluutio. O= operatiivinen malli, T= tutkimusmalli. D= ihmisen toiminnan kuvaus, P= paineiden kuvaus, S= tilan ja vaikutusten kuvaus, R= toimenpiteiden kuvaus. Taulukossa

Malli	Kuvaus	Käyttö vesien ja merenhoidossa	'Status'	Aikaresoluutio	Pieninen paikka-resoluutio	Huomautukset	Vastuuhenkilö SYKessä
WSFS	Hydrologinen vesistömalli	P	O+T	1 vrk	3. jakovaiheen osa-alue, järvirekisterin järvet, peltolohkot	Lähdekoodi SYKellä.	Markus Huttunen
WSFS-Vemala	Vedenlaatumalli WSFS-ympäristössä	S, (P+R)	O+T			Lähdekoodi SYKellä.	Markus Huttunen
COHERENS	Altaan hydrodynaaminen vedenlaatu- ja haitta-ainemalli	S, P, D,R	T	1 s	5-100 m	Avoin lähdekoodi. 3D-ratkaisu	
YVA-SYKE	Altaan (koko Itämeri) hydrodynaaminen vedenlaatu- ja (potentiaalisesti) haitta-ainemalli	D,P,S,R	T	1 s – 1 vrk (vaihtelee)	5 km	Lähdekoodi YVA Oy:llä ja SYKellä. Ei enää kehitetä SYKEN toimesta. Käyttö etupäässä sinileväkukintojen riskinarvioissa.	Kim Dahlbo
Seatrack Web	Allasmalli (koko Itämeri), ajelehtimismalli	D,P,S,R	O+T	1 h	1 – 3 nm	Lagrange-partikkelimalli. Web-käyttö (SMHI). Reaaliaikainen + ennuste.	Meri Hietala
MyLake	Allasmalli	S, P	T	12 h	Järvi/allas	Avoin lähdekoodi. 1D-vertikaali ratkaisu	Niina Kotamäki
SOBEK	Joen ja valuma-alueen hydrodynaaminen vedenlaatu- ja haitta-ainemalli	S, P	T	1 s	1-100 m	1D-horisontaali ratkaisu	Janne Ropponen
BALTSEM	Altaan (koko Itämeri) vedenlaatu- ja (potentiaalisesti) haitta-ainemalli osa-aloille korkealla vertikaalisella resoluutiolla	D,P,S,R	T	?	Itämeren osa-alaat (13 kpl)	BNI, otettaneen käyttöön SYKessä paikallisesti off-line.	Kim Dahlbo
POPCYCLING	Tuomas Mattilan kehittämä POPCYCLING –fugasiteettimallin muunnos (valuma-alue, Itämeri)	D,P,S,R	T	?	Aluekohtainen		Tuomas Mattila
Fugasiteettimallit	Multimedia - ja ravintoverkkomallit	S, P, R	T+O	steady state	Aluekohtainen	Karkea, mutta nopea ”ensimalli” Arvioi ainepitoisuudet eri ympäristön tiloissa (eliöissä, sedimentissä, vedessä).	Matti Leppänen
Hg- malli suunnitteilla	Bayesilainen verkkomalli vesien kemiallisen luokittelun tueksi	S	vasta suunnitteilla, tavoitteena O	steady state	vesimuodostuma (+valuma-alue)	vasta suunnitteilla, Matti Verta luvannut taustatukea konseptuaalisen mal-	auki

						lin kehitykseen	
INCA-Hg	Biogeokemiallinen valuma- aluemalli elohopealle	P, S, R	T	1 vrk	1 km <sup>2</sup>	Yhdistää terrestrisen ja vesiympäris- tön Hg:n eri muotojen kohtalon kuva- uksessa	Martin Forsius
Yleiset kohtalo- ja ravintoverkko mallit	Aquaweb, Bioweb, Merlin, EUSES/TGD	S, P, R	T+O	steady state	Aluekohtainen	Arvioi ainepitoisuudet ravintoverkos- sa, sedimentissä, vedessä.	Matti Leppänen
BLM	Biologiamallit	S, P, R	O+T	steady state	Näytekohtainen	Paikalliset haitattomat pitoisuudet	Matti Leppänen
EqP	Sedimenttimalli/Orgaaniset	S, P, R	T	steady state	Näytekohtainen	Jakaantuminen sedimentissä ja eliöpi- toisuudet	Matti Leppänen
EqP SEM-AVS	Sedimenttimalli/metallit	S, P, R	O+T	steady state	Näytekohtainen	Jakaantuminen sedimentissä ja toksii- suus	Matti Leppänen
ΣPNEC	Yhteisvaikutusmalli	S, P	O+T		Näytekohtainen	Ainepitoisuuksien riskinarviointi raja- arvojen kautta. Vesifaasi + sedimentti	Matti Leppänen
MODFLOW	Pohjavesivirtauksen (kyllästynyt vyöhyke) ja sen mukana kulkeutu- vien aineiden kulkeutumisen malli, mukana myös erinäisiä reaktioita aineille	D, P, S, R	O+T	steady state & transient	täysin mallintajan itsensä valittavissa	Laskentakoodi ja käyttöliittymä saa- tavilla ilmaiseksi netistä. SYKEN (KTK) hallussa 2 lisenssiä kattavam- paan kaupalliseen käyttöliittymään	Sirkuu Tuomi- nen
FEFLOW	Pohjavesivirtauksen (kyllästynyt ja/tai kyllästymätön vyöhyke) ja sen mukana kulkeutuvien aineiden kulkeutumisen malli, mukana myös erinäisiä reaktioita aineille	D, P, S, R	O+T	transient	täysin mallintajan itsensä valittavissa	SYKEN (KTK) hallussa 1 lisenssi	Sirkuu Tuomi- nen
PHREEQC	Geokemiallinen malli, mukana myös 1D virtaus	D, P, S, R	O+T	täysin mallintajan itsensä valittavissa	täysin mallintajan itsensä valittavissa	Laskentakoodi ja käyttöliittymä saa- tavilla ilmaiseksi netistä.	Jani Salminen
MACRO	kasvinsuojeluaineiden ja muiden veden mukana kulkeutuvien ainei- den huuhtoutumismalli 1D- maaprofiilissa (kyllästymätön ja kyläinen vyöhyke)	P,R	T (viranomaiskäyttöä kasvinsuojeluaineiden rekisteröinnissä EU:ssa)	laskennan aika- askel pienempi, output 1 vrk (tai 1 h)	maaprofiili (voi aja- tella kuvastavan peltolohkoa)	lähdekoodi Upsalan yliopistossa, kehitys mahdollista yhteistyönä. Testattu Suomessa huuhtoutumiskent- täaineistoilla.	Katri Siimes



Taulukko 3. *Haitallisiin aineisiin liittyvien mallien erityiset kehitystarpeet* lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä. Taulukosta näkyy myös mihin vesien ja merenhoidon kuuluvaan haasteeseen kukin kehitystyö vastaa.

Malli	Mallin käyttömahdollisuudet nykyisessä kehitysvaiheessa	Kehitystarve lähivuotena (2015-2017)	Mallin uudet käyttömahdollisuudet	Kehitystarve vuoteen 2025	Huomautukset
WSFS-Vemala	D2; D8; P1; P3; P5; R3; R4; R5; R7	1) aika-askeleen lyhentäminen 2) BLM-osamalli	S1; R8; R9; R10	Haitta-aineiden tarkempi kuvaus (hajoaminen, sitoutuminen)	
COHERENS	D4; D8; D9	1) PF-yhdisteet 2) Makeutusaineproksit 3) Keskeiset prioriteettiaineet ja fugasiteetti 4) Hajoamis- ja muuntumisko- keet luonnonvesioloissa 5) Seurannan kehittäminen	1) D4; D8 2) D4; 3) D4; D5; D8 4) Yleinen mallin parannus 5) Yleinen mallin parannus	A) Merialuesovellukset B) Automaattinen kytkentä vesistö- ja ilmakedämälleihin C) Tutkimusmallista operatiiviseksi D) Käyttöliittymä ja tulosten tulkinta E) Yleinen kemikaaliosamalli (FATEMOD) F) Biologisen vasteen mallintaminen	
MyLake	D8; P4;	Metallien kuvaus	R4; R9; R10		
SOBEK	D1-D8; P1; P5; S1; R1-R5; R7	Haitallisten aineiden testaus alkaen dioksiinista Kymijoenla	R8; R9; R10; R12	A) BLM-osamalli	
Hg-malli		Mallin rakentaminen tukemaan ja ohjaamaan Hg seurantoja	P1; S3		
INCA-Hg	D1; D2; D6; D7; P1; S1; S2; R1; R2; R6; R8	Osaamisen varmistaminen Sykessä		Tarkempi kuvaus MeHg:sta ja ihmisaltistuksen arviointi (kalat)	
Fugasiteettimallit	P1; S1-S3; R3; R4; R5; R8	Mallien valinta ja soveltaminen	Seurantojen avuksi ja ohjaamiseksi		
Yleiset ravintoverkkomallit	P1; S1-S3; R3; R4; R5; R8	Mallien soveltaminen ja vertailu	Seurantojen avuksi ja ohjaamiseksi	Hajoavat: esim. PAH-yhdisteet, organotinat	Kaikki Ekotoks mallit yhdistettävissä vesistömalleihin; input datan kautta (osamalleja)
BLM	P1; S1-S2; R1-R5;R8	1)Cu ja Zn validaatio 2) Muut raskasmetallit	Cu, Zn, Mn sovellukset	Murtovesisovellukset (Itämeri)	
EqP	S1-S3; R3-R5; R7; R8	Mallin soveltaminen ja ohjeistus	Operatiivinen käyttö		
EqP SEM-AVS	S1-S2; R1-R5; R7; R8	Mallin soveltaminen ja ohjeistus	Operatiivinen käyttö myös Syken ulkopuolella	SEM-AVS/FOC malli	
ΣPNEC	S1-S3; R1-R5; R7; R8	Mallin soveltaminen: metallit, PAH-yhd.	Operatiivinen käyttö myös Syken ulkopuolella	Muita aineryhmiä; additiiviset sama toksmekanismi	

BLM = Bioligandimalli (vapaan, biosaatavan metallin määrittäminen vedessä)

EqP = Equilibrium partitioning (vapaan, biosaatavan orgaanisen aineen määrittäminen sedimentissä)

EqP SEM-AVS = (vapaan, biosaatavan metallin määrittäminen sedimentissä. Perustuu uutetun metallimäärän (SEM) ja haihtuvien sulfidien (AVS) suhteeseen.

ΣPNEC = Summaparametrimalli, joka yhdistää ympäristölaatu- ja ainepitoisuusnormit tai ainepitoisuudet.

## Liite 3. Luonnon monimuotoisuuteen ja elinympäristöihin liittyvät mallit SYKEssä

Taulukko 1. Luonnon monimuotoisuuteen ja elinympäristöihin liittyvät mallit ja niiden kehitysvaihe, kehitystarve sekä aika- ja paikkaresoluutio. O= operatiivinen malli, T= tutkimusmalli.

Malli	Kuvaus	'Status' (O/T)	Aikaresoluutio	Pienin paikka-resoluutio	Mallin kehitystarpeet	Huomautukset/uudet käyttökohteet	Yhteyshenkilö SYKEssä
VELMU lajien levinneisyys- ja runsausmallit	Vedenalaisten merilajien esiintymisen ja potentiaalisten elinympäristöjen todennäköisyys ja -runsausmallit	T	Staatittinen	20 m	-Lajimallien täydennys uuden kenttätiedon myötä vuosittain koko Suomen rannikkoalueille -biodiversiteettiä kuvaavien mallien ja yhteisömallinnuksen edistäminen -luontoarvoja syntetisoivien mallien kehittäminen	Kansalliset ja kansainväliset mallinnusyhteistyökuviot, esimerkiksi EMODnet	Elina Virtanen
VELMU habitaattimalli	Mereisten luontotyyppien (esim. riutat, vrt. luontodirektiivin liite 1, HELCOM HUB, Laajat elinympäristöt) esiintymisen todennäköisyysmalli	T	Staatittinen	20 m	-Parempaan ympäristömuuttujatiedon mahdollistuminen (käytännössä syvyys; LiVi-yhteistyö): tarkemmat habitaattimallit, yhteistyön kehittäminen GTK:n kanssa pohjanlaadun tulkintojen saralla	Integrointi muiden Itämeritoimijoiden habitaattimallien kanssa; koko Itämeren kattavat habitaattit?  Aluevalvontalaki (käytännössä PV) rajoittaa tarkan pohjan syvyystiedon saatavuutta Suomessa: aineistot käsiteltävä esim. LiVi:n turvahuoneessa	Anu Kaskela (GTK), Henna Rinne (ÅA), Lasse Kurvinen (MH/LP), Matti Sahla (MH/LP)
VELMU ympäristömuuttujamalli	VELMUn laji- ja habitaattimallinnuksessa tarvittava tilastollisesti ja paikkatietoanalyysin tuotettu ympäristömuuttujatieto, esimerkiksi saliniteetti, syvyys, lämpötila, pohjanlaatu	T	Staatittinen	20 m	-Dynaamisuus mukaan; miten tehdään staatteisesta esimerkiksi vuodenaikaisvaihtelun kattava taso, kehitystarve kaukokartoituksen puolelta? -Tarkempi ympäristömuuttujatieto syvyydestä ja pohjanlaadusta; LIV/PV/GTK	Numeeristen mallien tuomat kehitysmahdollisuudet, LIDAR-menetelmän soveltaminen matalilta alueilta syvyystietoihin	Elina Virtanen
VELMUn ihmispainemallit	Merialueen ihmispaineiden kuvaukseen käytetty laivamallin malli n (laivaliikenteen AIS-tiedoista)	T	Staatittinen	500 m	-validointi kenttähavainnoilla (BIAS-projekti)	AIS tieto koskee vain aluksia, joissa AIS-lähetin: kauppa-alukset, suuremmat huviveneet; ei siis sovellu pienveneilyn meluvaikutusten tutkimukseen	Jukka Pajala, Marco Nurmi
RIVPACS	Sisävesien biologisen tilan ja monimuotoisuuden arvioinnissa käytetty lajien luontaisen esiintymisen mallinnusmenetelmä (monilajimalli, <i>multi-taxon species distribution models</i> )	T	Staatittinen	50 m	- Mallien soveltaminen ja jatkokehittäminen huomioimaan a) lajien levintään liittyviä luonnollisia tekijöitä ja b) ihmistoiminnan useita eri painetekijöitä - Mallien kehittäminen erityisen suojelutarpeen omaavien aluei-	Vahvat integrointimahdollisuudet biologisen tilan ja monimuotoisuuden arvioinnin, vesienhoidon paineiden merkittävyyden arvioinnin ja luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnin kanssa.	Jukka Aroviita/ Heikki Mykrä

					den tunnistamiseksi, ml. pienvedet (FRESHABIT)		
Vesien tilan arviointijärjestelmä	D1-8, D11	Integroidaan LLR/CLR-malliin kasviplanktonin lisäksi muutama Vesikasvien ja pohjaeläinten laatutekijän malli ( esim. RIV-PACS) sekä tilastolliset ominaiskuormitusmallit tilan, painevas-teiden ja toimenpiteidevaikutusten laskemiseksi	Voidaan estimoida puuttuva tilahavainto sekä paineiden ja toimenpiteiden vaikutukset että tilaennuste mille tahansa vesimuodostumalla. Estimaatit on helppo päivittää kun on saatu uutta havaintoaineistoa		Vesien keskitetty tilamalli	D1-8, D11	Olli Malve

**Liite 4. Mallien soveltamisen toimintasuunnitelma 2016-2020**

Suunnitteluprosessin vaihe	Tietotarve	Malli, jolla tuotetaan	Koska tietoa tarvitaan?	SYKEN Resurssitarve (htkk, rahoitus)	Mitä edellyttää ELYltä (tietotarve, resurssit, tulosten hyödyntäminen)
<b>Vesien ja meren ominaispiirteiden tarkastelu</b>					
Vesimuodostumien rajausta, tyypittely, ryhmittely	Vesimuodostumien ryhmittely paineiden perusteella	tilastollinen malli	3/2017	Hanke käynnissä	
Vesimuodostumien rajausta, tyypittely, ryhmittely	Rannikkovesimuodostumien tyypittely ja ryhmittely	CLR, BTREED	6/2017	Hanke käynnissä	
<b>Vesiiin ja mereen kohdistuvien paineiden arviointi</b>					
MHS paineiden tarkistus (MSD art 8.1b)	paineet maalta, merellä ja ilmasta	Itämeren paineindeksi (BSPI)	6/2017	HELCOM TAPAS – hanke	
MHS vaikutusten tarkistus (MSD art 8.1b)	paineista aiheutuvat vaikutukset meriekosysteemiin	Itämeren vaikutusindeksi (BSII)	6/2017	HELCOM TAPAS – hanke	
MHS tila-arvio (MSD art 8.1b) rehevöityminen (D5)	Ravinnekuormituksen vaikutukset (ravinnepiotisuuksiin ja leväbiomassaan/klorofylliin perustuva D5/ rehevöitymistila-arvio)	FICOS,	12/2017	FICOS laajennushanke	
MHS tila-arvio (MSD art 8.1b) rehevöityminen (D5)	Rannikkomallin ja veden laadun tavoitteiden saavutettavuuden epävarmuustarkastelut	FICOS	12/2017	hanke-esitys 2017	
VH paineiden tarkistus	Vesimuodostumakohtainen ravinnekuormitus,	VEMALA	12/2017	Pitää resursoida	Pistekuormituksen oikea kohdennus. Toivotaan sopii, että VEMALasta saataisiin mahdollisimman suoraan

					vesimuodostumatasoinen kuormitustieto, jotta manuaalista excel-laskentaa ei tarvittaisi.
VH paineiden tarkistus	Hydromorfologia	HyMo-pisteytys ja seuranta	12/2017	Hanke-esitys 2017	Jos vain kunnostetut kohteen käydään läpi niin ei liene mahdoton tehtävä ELYssä. Jos kokonaan uusi arviointi, on työmäärä isohko.
VH paineiden tarkistus	Merkittävien paineiden tunnistaminen	Puuttuu	12/2017	Pitää resursoida, vesienhoidon asiantuntijapalveluiden kautta	Oikea marssijärjestys olisi tärkeä nyt viimein kolmannella kaudella ottaa käyttöön. Merkittävien paineiden tunnistus on turha ja turhauttava homma sen jälkeen kun toimenpiteet on jo suunniteltu (vrt. kaksi ensimmäistä suunnittelukautta)
VH haitallisten aineiden kuormitusinventaarior	”Uusien ainelistalle nousseiden kasvinsuojeluaineiden (esim. sypermetriini, aklonifeeni) käyttömäärien ja päästökertoimien arviointi	menetelmä kehitetty vuoden 2013 inventaarioon; eri data	12/2017	UuPri-Hanke	Toiveissa varmasti olisi mahdollisimman keskiteysti tehtävä työ
VH haitallisten aineiden kuormitusinventaarior	”Uusien” ainelistalle nousseiden kaukokulkeutuvien aineiden (esim. dioksiinit, PCB:n ja HCB:n) laskeumien arviointi	(Maria Holmberg / Jussi Vuorenmaa)	12/2017	UuPri-hanke	Toiveissa varmasti olisi mahdollisimman keskiteysti tehtävä työ
VH haitallisten aineiden kuormitusinventaarior	Muiden (vs. uusien) prioriteettiaineiden kuormitusinventaarior päästö- ja käyttötietojen	Vuoden 2013 inventaarioon käytetyt menetelmät; uudet aineistot	?/2018	Hanke-esitys 2018	Toiveissa varmasti olisi mahdollisimman keskiteysti tehtävä työ

	perusteella				
<b>Vesien ja meren tilan arvio</b>					
VH luokittelu/rannikon tila-arvio	Ravinnekuormituksen vaikutus, orgaanisen liuenneen aineen vaikutukset rannikolla	FICOS, CLR, Vesientilamalli	2018 alustava tila-arvio tarvitaan meren hyvän tilan määrittämiseen 6/2017	Rannikkomallihanke CLR-ryhmittelyhanke tuottaa työkaluja, mutta liuenneen orgaanisen aineen kuormituksen ja kulkeutumisen ja vaikutusten mallintamiseen rannikkovyöhykkeellä tarvitaan resursseja	
VH sisävesien luokittelu / indekset	Biologiset indekset	Keskitetty indeksilaskenta	2018	Hanke-esitys 2017	
VH sisävesien luokittelu / vertailuolot	Tyypikohtaisten vertailu- ja tavoitetilan tarkentaminen	RIVPACS-tyyppiset mallit, Vesientilamalli	2018	Useita kehitetty ja julkaistu (vesikasvit, päällysläimet). Käytännön sovellus vaatii kehitystä ketjutukseen	Erittäin kannatettavaa paikkakohtaisten mallien käyttöönotto. Vaatii tuki osaamisen kehittämistä ja työkaluja ELYlle.
VH sisävesien luokittelu	Lajistovasteisiin perustuvat järvien ja jokien ekologisen tilan arviot	RIVPACS-tyyppiset mallit (kehitteillä) , Vesientilamalli	2018	24 htkk, hanke tarvitaan, jossa hyödynnetään laajasti aineistot (kasviplankton, vesikasvit, päällysläimet, pohjaeläimet)	Erittäin kannatettavaa paikkakohtaisten mallien käyttöönotto. Vaatii tuki osaamisen kehittämistä ja työkaluja ELYlle.
VH sisävesien luokittelu	Paineisiin perustuva rehevyyssindikaattorien tilaennuste	VEMALA, LLR, Vesientilamalli	2018	hanke tarvitaan	Mikä on lopulta tämän suhde ryhmittelyyn? Siinänsä luokittelun tukena tarpeellinen vesimuodotumissa, joista niukasti mitattua tietoa.

VH kemiallinen luokittelu	metallien biosaatavuuden arviointi tyyppin perusteella	bioligandimallin sovellus + tilastomalleja, LLR	2017 / 2018	resurssitarve (Matti Leppänen); mukana UuPri hakemuksessa	Työkalut ja koulutus ELYille. Erittäin tarpeellinen, jotta osataan soveltaa oikein.
<b>Vesiin ja mereen liittyvät taloudelliset tarkastelut</b>					
Kustannus-hyöty arvio, ja 'cost-of-degradation' (MSD art. 8.1.c)	Mereen liittyvä ihmistointa – ja paineet, hyötyarvio (mahd. ekosysteemi-palveluarvio)	kehitteillä	6/2017?	HELCOM TAPAS ja YM- MH koordinaatio hanke; S. Oinonen	
<b>Vesien ja meren tilan seurannan järjestäminen</b>					
<b>Paineiden vähentämistavoitteiden asettaminen (Gap-to-GES)</b>					
VHS tilan parantamistarpeet	Ravinnekuormituksen vähennystarve sisävesiin ja rannikoille	VEMALA/LLR/CLR/ FICOS/ Vesientilamalli	12/2018	ketjutetaan mallit: tähän tarvitaan oma erillinen hanke	Tarpeellinen sinänsä, vaikka kuormitusvähennystavoitteet usein niin isoja, että niiden käytännön relevanssi on kyseenalainen (varsinkin jos ei edelleenkään saa asettaa vähemmän vaativia tavoitteita, vaikka kuormitusta pitäisi vähentää esim. 70 % hyvän tilan saavuttamiseksi). Toiveena mahdollisimman suoraan tietojärjestelmän kautta saatavat arviot.
<b>Toimenpiteiden toteutumisen seuranta</b>					



<b>Toimenpiteiden määrittäminen ja mitoittaminen</b>					
Toimenpiteiden suunnittelu (ravinnekuormituksen osalta)	Kustannustehokkaiden (kuokka)toimenpiteiden tunnistaminen	KUTOVA	12/2018	hanke tarvitaan	KUTOVA on hyödyllinen, integrointi VEMALAan on kannatettava ajatus. Käytölliittymä tietenkin tarvittaisiin.
Toimenpiteiden suunnittelu ravinnekuormituksen osalta	Ns. kuokkatoimenpiteiden mitoitus	KUTOVA, VIHMA, VEMALA	12/2018	pitää resursoida	
Toimenpiteiden suunnittelu	Vesienhoidon ohjauskeinojen ja merenhoidon toimenpiteiden kustannustehokkuus ja vaikutusten arviointi		12/2018	hanke tarvitaan	
<b>Vaikutusten arviointi</b>					
<b>Poikkeamien määrittely</b>					
VH poikkeamien määrittely	Kohtuuttomien kustannusten arviointi		6/2019	tarvitaan hanke, jossa kehitetään VIRVA- ja arvottamistulosten pohjalta kehikko kohtuuttomien kustannusten arviointiin	Olisi varmasti tarpeellinen, mutta onko realismia aikataulun suhteen
VH poikkeamien määrittely	Ylivoimaisen yleisen edun arviointi uusien merkittävien hankkeiden osalta		6/2019	tarvitaan hanke, jossa kehitetään työkalu	
<b>Suunnitelmien ja toimenpideohjelmien laadinta</b>					
<b>Sidosryhmäyhteistyö ja kuuleminen</b>					

