

Yhteenveto

Isokarin lähistölle suunnitellun kalankasvatuslaitoksen vaikutuksia ympäröiviin merialueisiin mallinnettiin Suomen ympäristökeskuksen kehittämällä rannikon kokonaiskuormitusmallilla eli FICOS-mallilla (Lignell ym. 2018). Malliarvioinnissa käytettävät muuttujat olivat klorofylli, kokonaisravinteet ja leville käyttökelpoinen osuus ravinteista. Mallilla simuloitiin vuosien 2006–2012 tilanne, mikä on toistaiseksi uusin käytössä oleva FICOS-mallin ajanjakso kyseisellä alueella, käyttäen parasta saatavilla olevaa sää- ja kuormitusdataa ja lisättiin malliin uudet suunnitellut kalankasvatuksesta aiheutuvat kuormitukset. Vaikutuksia arvioitiin mallintamalla mitä muutoksia lisäkuormitus aiheuttaisi merialueen mallinnettuun perustilaan ravinne- ja klorofyllipitoisuuksien osalta.

Tässä raportissa esitellään käytetty malli ja muutamia päätuloksia. Muita tuloksia on esitelty YVA-selostuksessa.

FICOS-malli

Suomen ympäristökeskuksen palvelimilla toimiva FICOS-malli kerää yhteen ravinnekuormitustiedot valuma-alueilta (VEMALA-malli, Huttunen ym. 2016), mereen suoraan laskevat pistekuormittajat (VAHTI-tietokanta), sisäisen kuormituksen (havaintoaineistoon perustuva tilastollinen arvio) ja ilmakehäkuormituksen (HELCOM 2018). Kuormitukset sijoitetaan mallissa alueellisesti oikeaan paikkaan ja syvyyteen. Mallialueen merirajoilla vaikuttavat lisäksi reunaehdot eli havaintoaineistojen perusteella rakennetut ravinnepitoisuudet. Ravinteet liikkuvat mallissa kolmiulotteisen merimallin tuottamien, valmiiksi laskettujen virtauskenttien kuljettamina vuorokauden aika-askeleella ja tarpeen mukaan valittavalla paikkaresoluutiolla. Mallilla pystytään arvioimaan kuormitusmuutosten vaikutus rannikkoalueiden ravinne- ja klorofyllipitoisuuksiin sekä leväbiomassoihin vuorokauden aika-askeleella. Se kattaa rannikkoalueista Saaristomeren, Suomenlahden ja Selkämeren ja vuoden 2023 aikana myös Merenkurkun ja Perämeren. Tässä työssä käytettiin pääasiassa Selkämeren mallia, johon tutkimusalue sijoittuu. Selkämerellä FICOS-mallin alueellinen tarkkuus on yksi merimaili eli mallihilan erottelukyky on enimmillään noin $1,85 \times 1,85 \text{ km}^2$. FICOS hyödyntää 3-D merimallilla laskettuja virtauskenttiä ravinteiden kuljetukseen noin 10 metrin syvyydessä pintakerroksessa ja syvillä alueilla loppuosan vesipatsaasta kattavassa pohjakerroksessa. Kuormitukset saadaan useista lähteistä ja mallissa huomioidaan pistekuormitukset, sisäinen kuormitus, ilmakehäkuormitus ja valuma-alueilta tuleva VEMALA-mallin laskema kuormitus sekä mallialueen ulkopuolelta tuleva kuormitus reunaehtoien muodossa. Leville käyttökelpoisten (liukoisten) ravinnefraktioiden, lämpötilan ja auringon säteilyyötteen perusteella mallissa lasketaan päivittäin leväbiomassa erikseen sinileville ja muille leville ja näistä edelleen klorofylli-a. Mallissa on mukana myös kokonaisravinteiden kuljetuslaskenta. Selkämeren malli kattaa vuodet 2006–2012.

Lähtötiedot ja mallinnus

Uuden kuormituksen vaikutuksia rannikolla mallinnettiin laskemalla ensin merialueen perustilanne ilman uutta kuormitusta (Lignell ym. 2018) ja sen jälkeen tilanteet, joissa perustilanteeseen on lisätty uusien kuormitusvaihtoehtojen mukaiset ravinnekuormat. Kuormitusmuutoksista aiheutuva vedenlaadun muutos saadaan kuormitetun tilanteen ja perustilanteen erotuksena päivittäisinä arvoina, joista lasketaan edelleen mm. viikkokeskiarvoja. Tarkasteltavat vaihtoehdot ja niihin liittyvät mallissa käytetyt vuosikuormitukset on esitetty taulukossa 1. Vaihtoehtoisissa 1a, 1b, 1c, 2a, 2b ja 2c kuormituksen purkupisteitä on yksi ja vaihtoehtoisissa 3a, 3b ja 3c kuormitus on jaettu kahteen pisteeseen. Taulukon 1 mukaiset vuosikuormitukset jaetaan mallissa ajallisesti touko-marraskuun ajalle taulukossa 2 esitettyjen osuuksien mukaisesti. Kaikkina mallivuosina käytetään samoja kuormituslisäyksiä, mutta mallin sääolosuhteet ja mallissa olevat muut kuormitukset vaihtelevat mallivuoden mukaan.

Taulukko 1: Tarkasteltavien vaihtoehtojen vuosittaiset ravinnekuormitusmäärät ja purkupisteet.

Vaihtoehto	Kasvatus- määrä kg/a	Ravinne- kuorma kokonais- typpi kg/a	Ravinne- kuorma kokonais- fosfori kg/a	Ravinne- kuorma liukoinen typpi (DIN) kg/a	Ravinne- kuorma liukoinen fosfori (DIP) kg/a	Longitudi	Latitudi
0 - ei muutosta	0	0	0	0	0	-	-
VE1 a	249000	12176	1021	10958	357	20.93768	60.75668
VE1 b	498000	24352	2042	21917	715	20.93768	60.75668
VE1 c	926000	45281	3797	40753	1329	20.93768	60.75668
VE2 a	249000	12176	1021	10958	357	20.89539	60.72596
VE2 b	498000	24352	2042	21917	715	20.89539	60.72596
VE2 c	926000	45281	3797	40753	1329	20.89539	60.72596
VE3 a	249000	12176	1021	10958	357	20.93768	60.75668
	249000	12176	1021	10958	357	20.89539	60.72596
VE3 b	498000	24352	2042	21917	715	20.93768	60.75668
	498000	24352	2042	21917	715	20.89539	60.72596
VE3 c	926000	45281	3797	40753	1329	20.93768	60.75668
	926000	45281	3797	40753	1329	20.89539	60.72596

Taulukko 2: Mallissa käytetty ravinnekuormituksen ajallinen jakauma.

Kuukausi	Osuus vuosikuormasta (%)
Tammikuu	0
Helmikuu	0
Maaliskuu	0
Huhtikuu	0
Toukokuu	3.33
Kesäkuu	10.8
Heinäkuu	14.2
Elokuu	17.0
Syyskuu	25.0
Lokakuu	23.5
Marraskuu	6.17
Joulukuu	0
VUOSI	100

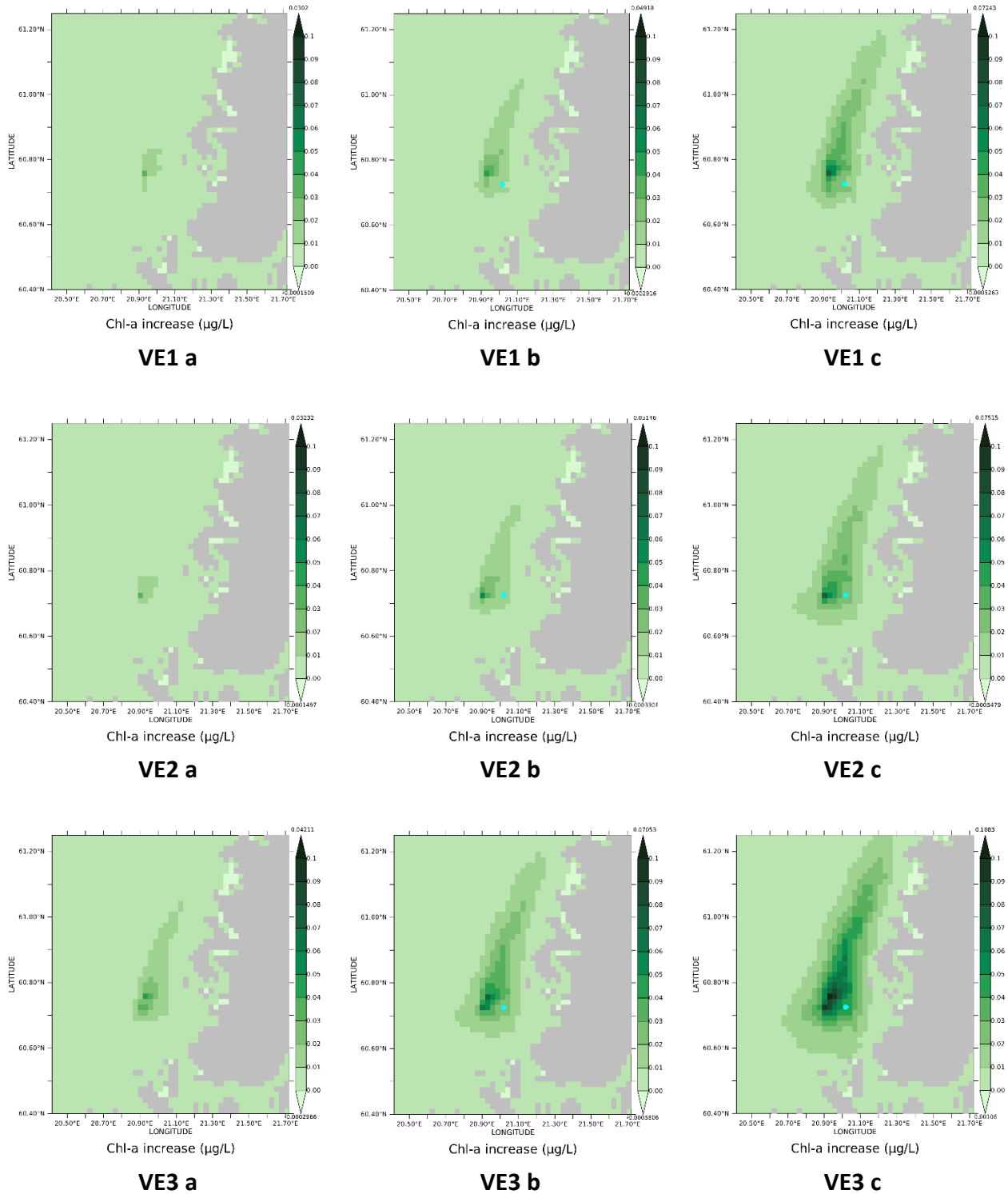
Mallitulosten käsittely

Täyden mallinnusjakson (2006–2012) tuloksista jätettiin pois ensimmäinen mallinnusvuosi (2006, ns. mallin spin-up eli käynnistysjakso), jotta mallin toiminta on varmasti ehtinyt tasoittua, ja lopuista tuloksista laskettiin mm. keskimääräinen ravinne- ja klorofyllimuutos eri jaksoina mallinnusvuosien keskiarvona. Lisäksi laskettiin viikko- ja kuukausikeskiarvoja.

Tulokset

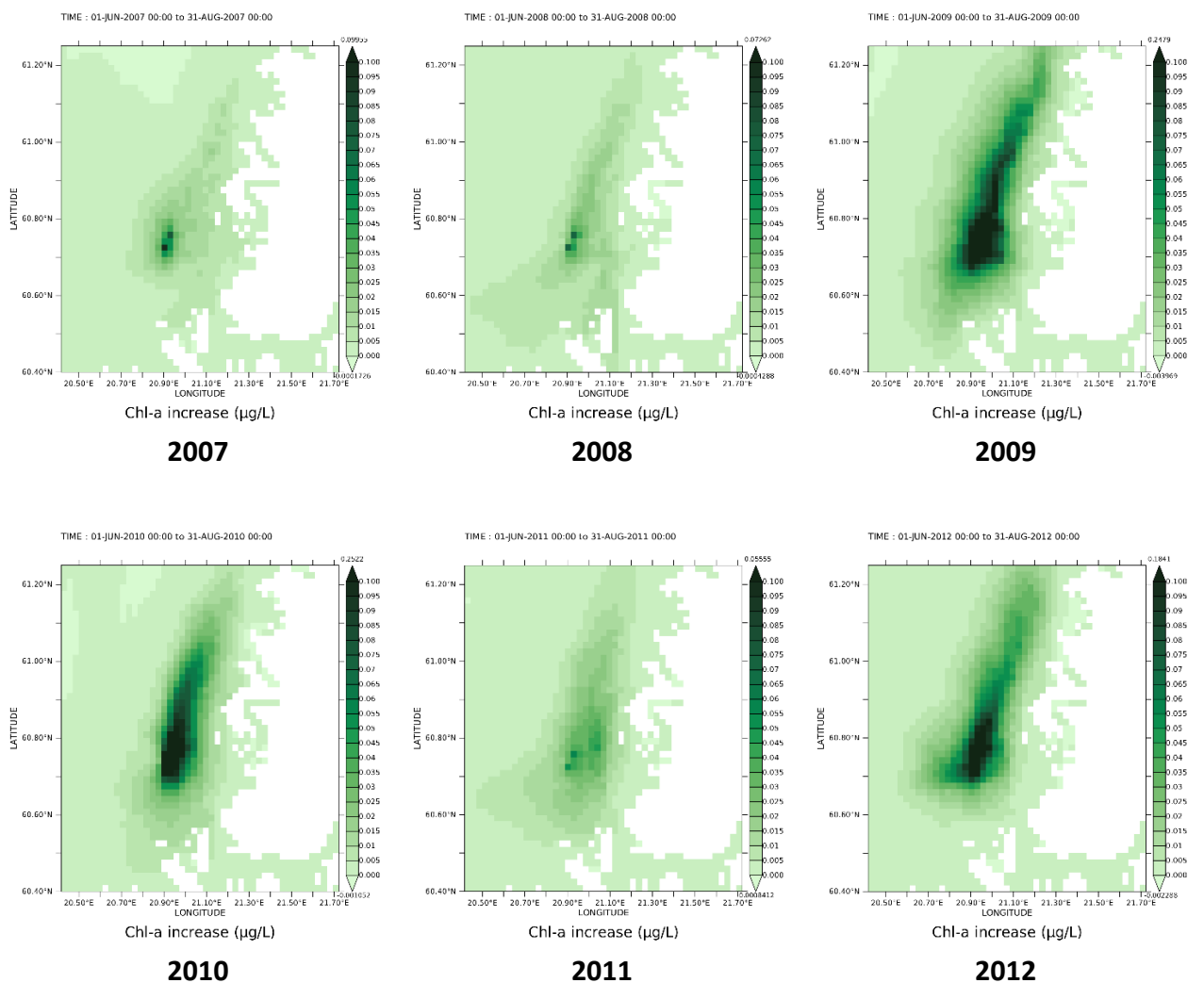
Kuvassa 1 on klorofyllin keskimääräinen lisäys heinä-elokuussa eri vaihtoehtoisissa.

Päävirtaussuunta on keskimäärin rannikkoa myötäillen kohti pohjoista/pohjois-koillista kuljettaen ravinne- ja levämassaa mukanaan. Kulkeutuessaan ravinteet ja levät sekoittuvat muun vesimassan kanssa ja niiden pitoisuus laimenee. Keskimääräinen klorofyllin kasvu alittaa arvon $0,10 \mu\text{g/L}$ arvon kaikissa tarkasteluissa paitsi vaihtoehtoisessa VE3 b, jossa se on korkeimmillaan $0,11 \mu\text{g/L}$ yhdessä tuotantolaitosta läheisimmässä hilaruudussa.



Kuva 1. Klorofyllin määrän ($\mu\text{g/L}$) keskimääräinen muutos vuosien 2007–2012 heinä-elokuun sääoloissa eri toteutusvaihtoehtoisilla. Isokarin sijainti näkyy kuvissa turkoosin värisenä pisteenä.

Eri vuosien sää- ja virtausolosuhteiden vaikutusta klorofyllipitoisuuteen on tarkasteltu kuvassa 2, jossa on kuvattu kesä-elokuun keskimääräinen klorofyllilisäys vuosina 2007–2012 käytettäessä VE3 b mukaisia kuormituslisäyksiä. Kulkeutuminen tapahtuu pääosin samaan pohjoiseen suuntaan kaikkina vuosina, mutta joinakin vuosina (erityisesti 2008) kulkeutumista on havaittavissa pienessä määrin myös kohti etelää. Vuodet 2007, 2008 ja 2011 ovat klorofyllilisäykseltään vähäisempiä ja vuodet 2009, 2010 ja 2012 suurempia. Jälkimmäisinä vuosina klorofylliä on keskimäärin laajemmalla alueella ja suurempina pitoisuuksina. Erot klorofyllin määrissä ja kulkeutumisessa johtuvat pääasiassa vuosien välisistä sääeroista, jotka vaikuttavat virtauksiin, veden lämpötilaan ja saatavilla olevan valon määrään. Virtausten ja veden lämpötilan taustalla on FICOSn käyttämä NEMO-merimalli, jonka sääsyöte on peräisin EURO4M-mallin uusanalyysistä. Leväkasvua ajava valon määrä (globaali säteily) on peräisin SMHIn STRÅNG-mallista. Lisätietoja käytetyistä syötteistä on raportissa Lignell ym. 2018.



Kuva 2. Sääolosuhteiden vuosittaisen vaihtelun merkitys klorofyllin määrän (µg/L) keskimääräiseen muutokseen kesä-elokuussa vuosina 2007–2012 vaihtoehdossa VE3 b.

Epävarmuustarkastelu ja mallin validointi

FICOS-mallia koskevat samat epävarmuudet kuin sen syötteinä olevissa malleissa. Kuormituksissa epävarmuuksia sisältävät Vemala-mallin kuormitusarvot, ilmakehäkuormitus (typen osalta ks. HELCOM 2018), pistekuormittajat ja sisäinen kuormitus, joka on tilastollinen arvio pohjautuen Selkämerellä verrattain harvaan aineistoon. Lisäksi sisäinen kuormitus ei ole FICOS-mallissa dynaaminen eli se ei muutu eri vuosien välillä, ellei sitä erikseen muuteta. Vuoden sisäinen vaihtelu on huomioitu. Fosforin ilmakehäkuormitukselle käytetään samaa arviota kuin BALTSEM-mallissa (15 kg P km⁻² a⁻¹, Ruoho-Airola ym. 2012), joka perustuu vanhoihin arvioihin ja siitä puuttuu alueellinen jakautuminen. Sekä fosfori- että typpikuormitus ilmakehästä oletetaan kokonaan leville käyttökelpoiseksi.

Velvoitetarkkailutietoon perustuvat pistekuormittajat ovat vuosikuormia ja niiden ajallinen jakauma mallissa perustuu joko tasajakoon tai kalankasvattamoiden tapauksessa kuukausijakaumaan. Myös käyttökelpoisten ravinnefraktioiden osuudet kokonaisravinteista eri kuormittajatyypeillä sisältää epävarmuuksia.

Selkämerellä FICOS ei pysty mallintamaan hyvin pieniä rannikon läheisiä vesimuodostumia, jotka ovat pienipiirteisempiä kuin merimallin käyttämä 1 merimailin resoluutio.

Mallin reunaehdot eli ravinne- ja leväpitoisuudet mallin ulkorajoilla perustuvat mittauksista muodostettuihin aikasarjoihin ja ovat yksi tärkeimmistä mallin syöttötiedoista. Reunaehdot aiheuttavat epävarmuutta mallin tuloksiin mittaustulosten epävarmuuden ja niiden puutteellisen aika- ja paikkaresoluution vuoksi. Reunaehdot sisältävät sekä muualta tulevan että mallialueen sisältä tulevan ravinnepitoisuuden eikä niiden suhteita pystytä erottelemaan nykyisellä mallijärjestelmällä.

Mallijärjestelmän toimintaa on arvioitu ja validoitu vertaillen mallinnustuloksia ravinnepitoisuushavaintoihin, ks. FICOS-mallin raportti (Lignell ym. 2018). Kokonaisuutena mallin arvioidaan toimivan hyvin, kun sitä käytetään kahden erilaisen kuormitusskenaarion (esim. perusskenaario ja lisäkuormitusskenaario) välisten muutosten arviointiin. Yksittäisissä pisteissä ja yksittäisinä aikoina malli voi tuottaa huonosti havaintoihin sopivia arvoja, mutta alueellinen ja ajallinen keskiarvoistus lieventää tällaisten tapausten merkitystä.

Viitteet

HELCOM, 2018. Atmospheric nitrogen deposition to the Baltic Sea. HELCOM Baltic Sea Environment Fact Sheet (BSEFS).

Huttunen, I., Huttunen, M., Piirainen, V., Korppoo, M., Lepistö, A., Räike, A., Tattari, S., & Vehviläinen, B. 2016. A National-Scale Nutrient Loading Model for Finnish Watersheds—VEMALA. *Environmental Modeling & Assessment*, 21, 83–109.

Lignell R, Miettunen E, Tuomi L, Ropponen J, Kuosa H, Attila J, Puttonen I, Lukkari K, Peltonen H, Lehtoranta J, Huttunen M, Korppoo M, Tikka K, Mäyrä J, Heiskanen AS, Gustafsson B, Gustafsson E, Hänninen J, Thingstad F, Kaurila K, Vanhatalo J, Westerlund A, Siiriä SM, 2018. **Rannikon kokonaiskuormitusmalli: ravinnepäästöjen vaikutus veden tilaan - Kehityshankkeen loppuraportti (XI 2015 - VI 2018).**
<https://www.ym.fi/download/noname/%7BD5C68F2D-D52B-4C73-9E0B-FE53C5FFD207%7D/142893>.

Ruoho-Airola, T., K. Eilola, O.P. Savchuk, M. Parviainen, and V. Tarvainen. 2012. Atmospheric nutrient input to the Baltic Sea for 1850–2006: A reconstruction from modeling results and historical data. *AMBIO*. doi:10.1007/s13280-012-0319-9.