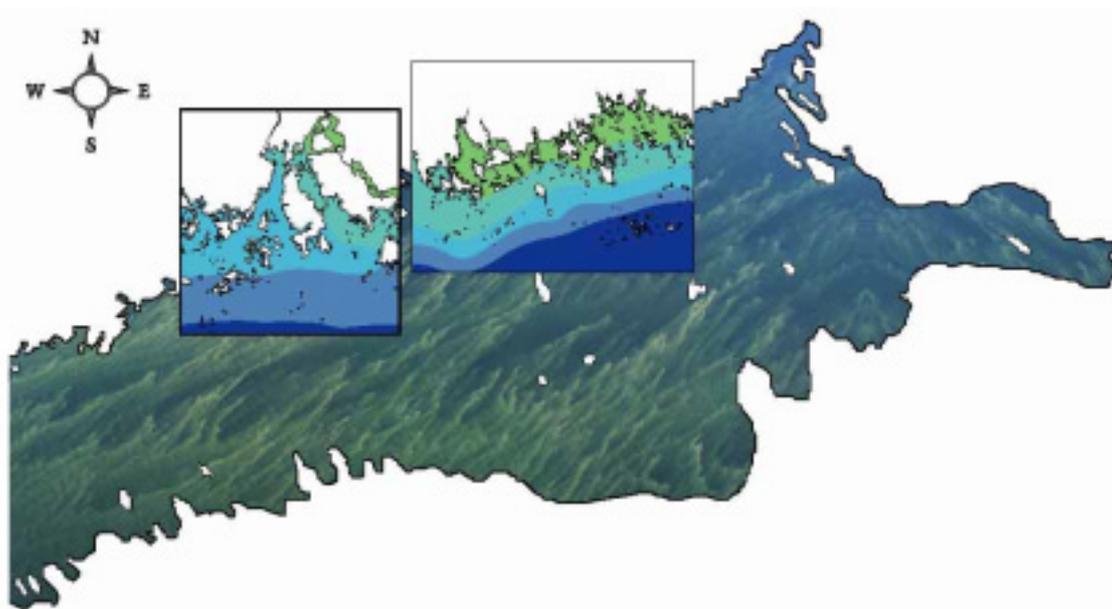




YMPÄRISTÖN-
SUOJELU

Päivi Korpinen, Mikko Kiirikki, Jorma Koponen,
Juha Sarkkula ja Paula Väänänen

Rehevöitymiskehityksen arviointi Kotkan ja Porvoon merialueilla 3D-vesistömallin avulla



Päivi Korpinen, Mikko Kiirikki, Jorma Koponen,
Juha Sarkkula ja Paula Väänänen

Rehevöitymiskehityksen arviointi
Kotkan ja Porvoon merialueilla
3D-vesistömallin avulla

HELSINKI 2002

Julkaisu on saatavana myös Internetistä
<http://www.ymparisto.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy587/sy587.htm>

Rantaviiva-aineisto: MKH lupa n:o 10/721/98

ISBN 952-11-1257-3 (nid.)
ISBN 952-11-1258-1 (PDF)
ISSN 1238-7312

Kannen kuva:
Valokuva: Rajavartiolaitos

Taitto: Ritva Koskinen

Dark Oy
Vantaa 2002

Sisällys

I Johdanto	5
1.1 Tavoitteet	5
1.2 Rehevoitymiskehitys Suomenlahden rannikkoalueilla	6
2 Aineisto ja menetelmät	8
2.1 Mittausaineisto	8
2.1.1 Virtausmittaukset	8
2.1.2 Kuormitus	10
2.1.3 Vedenlaatu	13
2.1.4 Rihmalevät	14
2.2 Virtausmalli	15
2.2.1 Rakenne	15
2.2.2 Mallihila ja laskentaparametrit	15
2.2.3 Mallin testaus ja tärkeimmät rajoitukset	16
2.3 Ekosysteemimalli	16
2.3.1 Mallin toimintaperiaate	16
2.4 Skenaarioiden vaikutusten laskenta	18
2.5 Paikallismallien käyttö operatiivisessa toiminnassa	19
3 Tulokset	20
3.1 Mitatut ja mallinnetut virtaukset	20
3.2 Mallinnettu veden laatu ja rihmaleväbiomassa	24
3.3 Vesiensuojeluskenaarioiden vaikutukset	28
3.3.1 Vesiensuojelun tavoiteohjelma 2005	28
3.3.2 Pietarin fosforinpoiston tehostaminen	28
3.4 Haminan myrkkyyvuoto	31
4 Johtopäätökset	33
Kirjallisuus	35
Kuvailulehdet	37



Johdanto



1.1 Tavoitteet

Kotkan ja Porvoon edustan merialueiden rehevöitymiskehityksen arvioimiseksi ja ympäristöriskien hallinnan kehittämiseksi toteutettiin erilliset yhteistyöprojektit, joihin osallistuivat Kaakkois-Suomen ympäristökeskus (Kotka-malli), Uudenmaan ympäristökeskus (Porvoo-malli), Suomen ympäristökeskus ja Suomen Ympäristövaikutusten Arviointikeskus Oy. Noin 60 % hankkeiden kokonaiskustannuksista rahoitettiin vesiensuojelumaksuvaroilla.

Työn tavoitteena oli kehittää ja soveltaa Kotkan ja Porvoon edustan merialueille mallityökälyt aiemman Suomenlahtimalliin (Kiirikki ym. 2001) pohjalta. Malleilla voidaan laskea veden virtaukset ja aineiden kulkeutuminen erilaisissa hydrologisissa ja meteorologisissa olosuhteissa. Malleja käytetään arvioimaan eri tekijöiden vaikutuksia merialueen ja rantavyöhykkeen tilaan. Mallien kehittämiseen ja niiden suorituskyvyn arvioimiseen käytettiin aikaisemmissa tutkimus- ja seurantahankkeissa tuotettua vedenlaatu- ja virtaustietoa. Lisäksi mallityötä varten perustettiin molemmilla merialueilla uusi vedenlaadun intensiiviseurantapistete, kaksi rihmalevien seurantapistettä sekä suoritettiin uusia virtausmittauksia.

Suomenlahden rehevöitymistutkimusten yhteydessä 1980 ja 1990 luvun vaihteessa VYH:n hydrologian toimisto keräsi runsaasti virtausmittausaineistoa itäiseltä Suomenlahdelta, erityisesti Kotkan ja Haminan välisestä saaristosta sekä ulkomeren tuntumasta, kuten myös Venäjän ja Viron puolelta. Osa aineistosta sisältyy julkaisuihin (Pitkänen ym. 1990, Pitkänen ym. 1997). Virtausmittausaineisto oli käyttökelpoista ja hyödyllistä Kotkan edustan mallin kehitystyössä. Lisäksi tutkimusalue Muikun matkojen aikana on koottu huomattava virtausaineisto, joka on täydentänyt oleellisesti kuvaa itäisen Suomenlahden virtauksista.

Matemaattisia malleja on käytetty 1980-luvulta lähtien vesiensuojelun suunnittelun ja päätöksenteon apuvälineenä. Kotkan edustalle laadittiin suppeahko mallisovellus 1980-luvulla lähinnä Kotkan alueen teollisuuden vesiensuojelun suunnittelua varten (Rautalahti-Miettinen ym. 1986). Mallien kehitys on kuitenkin ollut tämän jälkeen voimakasta varsinkin biologisten osamallien kuten vesiensuojelun kannalta oleellisten planktonlevä- ja rantavyöhykkeen rihmalevämallin osalta (Kiirikki ym. 1998, Kiirikki ym. 2001, Korpinen ym. 2001, Kiirikki ym. 2002, Korpinen ym. 2002).

Loppukäyttäjät voi hyödyntää uusia Kotkan ja Porvoon vesistömallia mm. seuraavissa tutkimus- ja suunnitteluprosessin vaiheissa:

- vesistön tilaan vaikuttavien syiden analysointi
- vesistön tilassa tapahtuvien muutosten ennustaminen
- vesistöä muuttavien hankkeiden ekologisten vaikutusten arviointi
- vesiensuojelutoimenpiteiden kustannustehokkuuden arviointi
- vaikutusten havainnollistaminen päätöksentekijöille ja yleisölle
- kemikaalionnettomuuksien sekä meripelastuksen tuki
- seurantaohjelmien havaintopaikkojen ja aikojen optimointi
- puutteellisen havaintoaineiston täydentäminen malliarvioilla

Tässä työssä malleja käytettiin esimerkin omaisesti kotimaisten vesiensuojelutoimenpiteiden (Vesiensuojelun tavoiteohjelma 2005) ja Pietarissa toteutettavien toimenpiteiden (fosforinpoiston tehostaminen nykyisillä puhdistamoilla) vaikutusten arviointiin. Jatkokäyttöä varten mallit siirrettiin Kaakkois-Suomen ja Uudenmaan ympäristökeskuksiin.

1.2 Rehevöitymiskehitys Suomenlahden rannikkoalueilla

Vaikka Suomenlahden ravinnekuormitus on laskenut 1990-luvun aikana, leville käyttökelpoisen fosforin pitoisuuksissa on tapahtunut päinvastaista kehitystä. Laajat hapatteomat pohjat ovat 1990-luvun puolivälin jälkeen aiheuttaneet voimakasta sisäistä fosforikuormitusta varsinkin Itäisellä Suomenlahdella. Typpipitoisuudessa on tapahtunut lievää laskua, jonka uskotaan johtuneen kuormituksen vähenemisestä varsinkin Venäjällä ja Virossa (Kauppila & Bäck 2001, Pitkänen ym. 2001). Avomerien ravinnesuhteissa tapahtuneet muutokset näkyivät varsinkin kesien 1997, 1999 ja 2002 voimakkaissa sinileväkukinnoissa.

Pääosa rannikkovesistämme on selvästi rehevöitynyt verrattuna avomerialueisiin. Rannikkoalueiden rehevöitymisen kenties näkyvin oire on rantoja ja kalaverkkoja likaavien rihmalevien runsastuminen ja monivuotisten leväyhteisöjen, kuten rakkolevävyöhykkeen väistyminen. Vaikka sisävesien ja merialueelle laskevien jokien yleinen käyttökelpoisuusluokitus on 1990-luvun aikana alkanut hitaasti parantua, Porvoon ja Kotkan merialueiden tila on pysynyt huonona. Uusimman käyttökelpoisuusluokituksen mukaan (Antikainen ym. 1999) Porvoonjoen suisto kuuluu edelleen laatuokkaan huono ja välttäväksi luokiteltu vesialue jatkuu Kilpilahden ja Orrenkylän selille asti. Kotkan merialueen itäisimmät osat ovat veden laadultaan parhaimmillaankin ainoastaan tyydyttäviä. Pyhtään, Kotkan ja Haminan edustalla sekä Virolahdella veden laatu heikkenee voimakkaamman rehevyyden ja sedimenttiin kertyneiden haitallisten aineiden takia laajalla alueella välttäväksi.

Kummallakin merialueella suurimman kuormituslähteen muodostavat sinne laskevat joet, jotka kuljettavat mukanaan valuma-alueen maatalouden, asutuksen ja teollisuuden ravinne- ja haitta-ainekuormaa. Jokivesien lisäksi Kotkan merialueelle tulee suoraa kuormitusta Mussalon ja Sunilan jätevedenpuhdistamoilta sekä puu- ja paperiteollisuudesta. Merialueella sijaitsee lisäksi kalankasvattamoja.

Porvoon merialuetta kuormittaneet Porvoon ja Porvoon maalaiskunnan jätevedenpuhdistamot ovat yhdistyneet vuoden 2002 alusta lähtien suuremmaksi laitokseksi. Uudessa laitoksessa on käytössä tehostettu typen poisto ja sen jätevedet johdetaan Porvoonjoen suistosta meriviemäriä pitkin ulommas Kilpilahdenschelälle. Samalle vesialueelle laskevat myös Nesteen Porvoon tuotantolaitosten jäte- ja jäähdytysvedet. Porvoon alueella toimivat myös Enso Timberin saha sekä Etelä-Suomen Voima Oy:n voimalaitos. Merialueen sedimenteissä on lisäksi jäämiä alueella aikaisemmin toimineiden teollisuuslaitosten päästöistä.

Sekä Kotkan että Porvoon merialueita kuormittaa kotimaisten lähteiden lisäksi myös kaukokulkeumana tuleva ravinnekuormitus sekä merialueen sisäinen kuormitus. Myös ilmakehän kautta tulevalla typpikuormituksella on oma rehevöittävä vaikutuksensa. Nämä ongelmat ovat tyypillisiä koko Suomenlahdelle, jossa muualta tuleva kuormitus sekoittuu paikallisen piste- ja hajakuormituksen vaikutuksiin rannikkovyöhykkeellä. Rehevöitymisen torjuntastrategian luomiseksi on oleellista erottaa eri kuormituslähteistä peräisin olevien kuormitusten vaikutukset vesistössä, jotta kuormitusvähennyksiin kohdistettujen toimenpiteiden kustannustehokkuutta voidaan arvioida. Tällainen kokonaistarkastelu on toteutettu koko Suomenlahden mitta-kaavassa Suomen ympäristökeskuksen vetämässä ympäristökluusterihankkeessa (Kii-

rikki ym. 2000). Koko Suomenlahden mittakaavassa tehdyssä tarkastelussa ei kuitenkaan pystytty korkean erotustarkkuuden takia tekemään tarkkaa arvioita kotimaisten vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutusten laajuudesta rannikko- ja saaristoalueella. Tähän kysymykseen on pyritty löytämään vastaus Porvoon ja Kotkan merialueen korkean erotuskyvyn vesistömallien avulla. Vastaava mallisovellus on tehty myös Helsinki-Espoo-Tallinna merialueelle (Korpinen ym. 2001, Korpinen ym. 2002).

2

Aineisto ja menetelmät

2.1 Mittausaineisto

2.1.1 Virtausmittaukset

Rannikkoalueen rehevöitymiskehityksen ja onnettomuustilanteiden hallintaa auttavien mallien kehittämisessä on peruslähtökohtana laskea luotettavasti veden virtaukset ja niiden aiheuttama aineiden kulkeutuminen. Saariston rikkonaisuus ja monimutkainen topografia ja virtausten suuri vaihtelevuus asettavat mallinnukselle erityisiä vaatimuksia. On välttämätöntä verrata mallilla laskettuja virtauksia mitattuihin virtauksiin. Näin voidaan varmistua että aineiden laskettu kulkeutuminen vastaa todellisia olosuhteita. Kulkeutumislaskenta on perustana myös eri lähteistä peräisin olevien kuormitusten ja eri toimenpiteiden aiheuttamien vesistövaikutusten erottelulle.

Vesistöjen virtausmittaukset eivät sisälly rutiininomaiseen vesistötarkkailuun, joten virtaustietoja on yleisesti ottaen niukasti saatavilla. Mittausten suorittaminen edellyttää erityislaitteiston käyttöä ja tapahtuu yleensä projektihankkeiden yhteydessä. Porvoon ja Kotkan edustan mallihankkeiden yhteydessä pyrittiin kokoamaan perustiedot keskeisiltä mallialueilta. Työssä voitiin hyödyntää aiemmin, erityisesti vuosina 1989–1991 Kotkassa tehtyjä mittauksia. Myös vuosilta 1983 ja 1984 on mittaustietoja, jotka keskittyvät Kotkan lähivesiin, Kotkansaaren ympäristöön ja Ruotsinsalmeen (Rautalahti-Miettinen ym. 1986). Tässä hankkeessa virtausmittauksia tehtiin kummallakin alueella kahtena vuotena sekä avovesikaudella että jääpeitteisenä aikana (Porvoon 1998 ja 1999, Kotka 1999 ja 2000). Avovesikauden tilanne, jolloin tuuli on pääasiallinen virtauksia aiheuttava tekijä poikkeaa suuresti jääpeitteisestä ajasta.

Kotkassa talvimittaus tehtiin avomerten reunalla Haapasaaressa edustalla talven 2000 aikana. Jääpeite ei ollut mittauksen aikana yhtenäinen, vaan vaihteli itäisellä Suomenlahdella tuulien ja sään mukaan. Mikäli jääpeite on yhtenäinen, se kytkee tuulen aiheuttaman leikkausjännityksen pois veden pinnasta, jolloin virtaukset muotoutuvat jokivirtaamien ja meren pinnankorkeuden vaihtelujen mukaan (Forsius 1986). Avovesikaudella tuuli on pääasiallinen virtausta aiheuttava tekijä. Tuulen vaikutus ulottuu voimakkaasti lämpötilan harppauskerrokseen saakka. Vesimassan kerrostuneisuudella on suuri vaikutus virtausten muodostumiselle. Tästä syystä mittaustietojen analysoinnissa pyritään erottamaan selvästi erilaiset kerrostuneisuusjaksot toisistaan, jotta kiinteässä pisteessä ja syvyydessä tehdyt mittaukset edustaisivat jokseenkin vakinaisia olosuhteita ja niille tyypilliset virtausominaisuudet saataisiin näkyviin. Tällaisia tyyppitilanteita ovat esim. keskikesän voimakkaasti kerrostuneet jaksot sekä tuulen sekoittama alkusyksyn tilanne. Kumpuamistilanteita syntyy Suomen rannikolla kesällä voimakkaiden länsituulien seurauksena, jolloin kylmä alusvesi nousee pintaan ja syrjäyttää tilapäisesti rannikon lämpimät vesimassat. Näihin tilanteisiin liittyy usein voimakkaita rannikon läheisiä virtauksia (Haapala 1994).

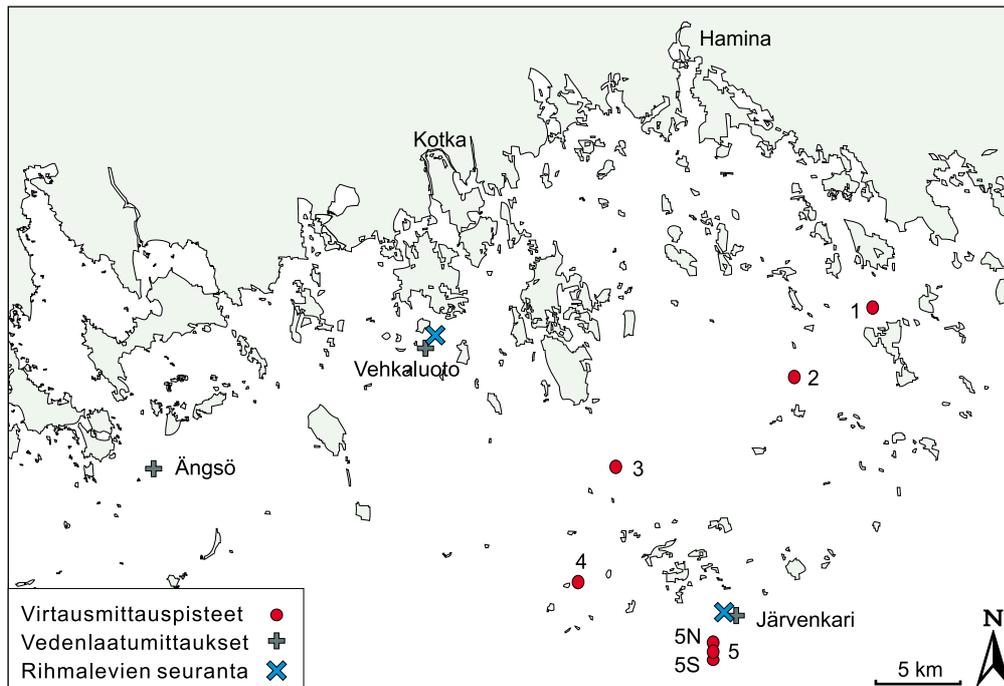
Virtausmittauspisteet pyrittiin Porvoossa valitsemaan siten, että niiden perusteella voidaan selvittää saariston virtausten ja vedenvaihdunnan pääpiirteet. Kuvassa 1 on esitetty ne pisteet, joissa Porvoon vuosien 1998 ja 1999 virtausmittaukset tehtiin. Virtaukset rekisteröitiin 10 minuutin välein ja mittausjaksojen pituus vaihteli yhdes-

tä kahteen kuukauteen. Vallitseva virtausnopeus oli tyypillisesti 5-10 cm/s. Suurimmat mitatut virtausnopeudet olivat useimmissa pisteissä 20-40 cm/s. Kapeissa salmissa pisteissä mitattiin selvästi suurempia nopeuksia, enimmillään 75 cm/s.

Kuvassa 2 on Kotkan vuosien 1989-2000 virtausmittauspisteet. Kotkan edustalla on keskeistä selvittää itä-länsi suunnassa tapahtuvat virtaukset, jotta Nevasta ja Pietarista tulevat kuormitusvaikutukset tulevat mallissa kuvattua mahdollisimman oikein. Mittauspisteiden valinnassa lähdettiin erityisesti tästä näkökohdasta. Virtaukset rekisteröitiin 10 minuutin välein. Vallitseva virtausnopeus oli eri mittauspisteissä tyypillisesti 5-15 cm/s. Suurimmat mitatut virtausnopeudet olivat useimmissa pisteissä 20-45 cm/s ja joissain tilanteissa talven 2000 aikana lähes 1 m/s. Virtauskomponenttien keskiarvot olivat useimmissa pisteissä pienet sekä Kotkassa että Porvoossa. Tämä osoittaa virtausten suunnan suurta vaihtelua ja virtaukseen sisältyvää runsasta edestakaista liikettä.



Kuva 1. Virtaus- ja vedenlaatumittauspisteiden sekä rihmalevien seurantapisteen sijainti Porvoossa 1998 ja 1999. Mittauspisteiden syvyudet on esitetty taulukossa 3.



Kuva 2. Virtausmittauspisteiden sijainti Kotkassa 1989-2000 sekä vedenlaadun mittauspisteet ja rihmalevien seurantapisteen sijainti 1998 ja 1999. Mittauspisteiden syvyudet on esitetty taulukossa 4.

Virtausmittauksista sekä tuuli- ja vedenkorkeustiedoista laskettiin virtauksia kuvaavat regressioyhtälöt. Kotkassa käytettiin Rankin havaintoaseman tuuli- ja Haminan mareografin vedenkorkeustietoja. Porvoossa tuulimuuttujana käytettiin Ilmatieteen laitoksen Kalbådagrundin automaattiaseman mittauksia ja Helsingin mareografin vedenkorkeuksia. Regressioanalyysissä pyritään selittämään virtauksen itä- ja pohjoiskomponentteja tuulen ja vedenkorkeuden vaihteluilla. Mittausaineiston regressioanalyysi tehtiin vuorokausikeskiarvoilla, jolloin virtausten lyhytaikainen vaihtelu suodattuu pois ja aineiden kulkeutumista säätelevä nettovirtaus saadaan esiin.

2.1.2 Kuormitus

Porvoon ja Kotkan merialueiden ekosysteemimalleissa käytetään laskentamuuttujina liukoisia epäorgaanisia ravinteita (DIN, DIP), jotka ovat leville käyttökelpoisia. Mallin alkuarvot perustuvat molemmissa malleissa vuosina 1998-1999 tehtyihin talvikauden ravinnemittauksiin. Mallin ravinnekuormittajina käytettiin merialueelle laskevia jokia sekä yksittäisiä suurimpia pistekuormittajia, kuten teollisuuslaitoksia, yhdyskuntajäteveden puhdistamoita sekä kalankasvattamoita (Taulukot 1 ja 2).

Koska pistekuormittajien liukoisten ravinteiden kuormaa ei ollut käytettävissä, se laskettiin kokonaisravinnekuormasta käyttökelpoisuuskertoimien avulla (Ekholm 1994, Ekholm & Krogerus 1998, Kiirikki ym. 2000, Silvo ym. 2000). Porvoossa jokikuormittajia ovat Porvoonjoki ja Mustijoki. Jokikuorma (kg/d) laskettiin liukoisten ravinteiden mittaustiedoista ja veden virtaamista. Kymijoen ravinnekuormitus annettiin Kotka-mallissa neljälle haaralle erikseen. Kymijoen länsihaara jakaantuu Ahvenkosken ja Pyhtään haaroihin, itähaara Langinkosken ja Karhulan haaroihin. Laskennassa käytettiin kunkin haaran päivittäisiä virtaama-arvoja ja saatavilla olevia vedenlaatumittauksia. Kevät- ja kesäaikaan ravinnepitoisuuksia on mitattu useamman kerran kuussa, talvella harvemmin. Länsihaaran kuormitus on 10-30 % itähaaran kuormitusta suurempaa ja n. 96 % länsihaaran kuormasta laskee Ahvenkosken haaran kautta. Kymijoen itähaara laskee Kotkan kaupungin edustalle, jossa sijaitsevat myös suurimmat pistekuormittajat. Osa teollisuuslaitosten ja jätevedenpuhdistamoiden kuormituksesta annettiin malleihin lähtötiedoiksi kuukausikeskiarvoina, osa vuosikeskiarvoina, riippuen siitä miten tietoa oli saatavilla.

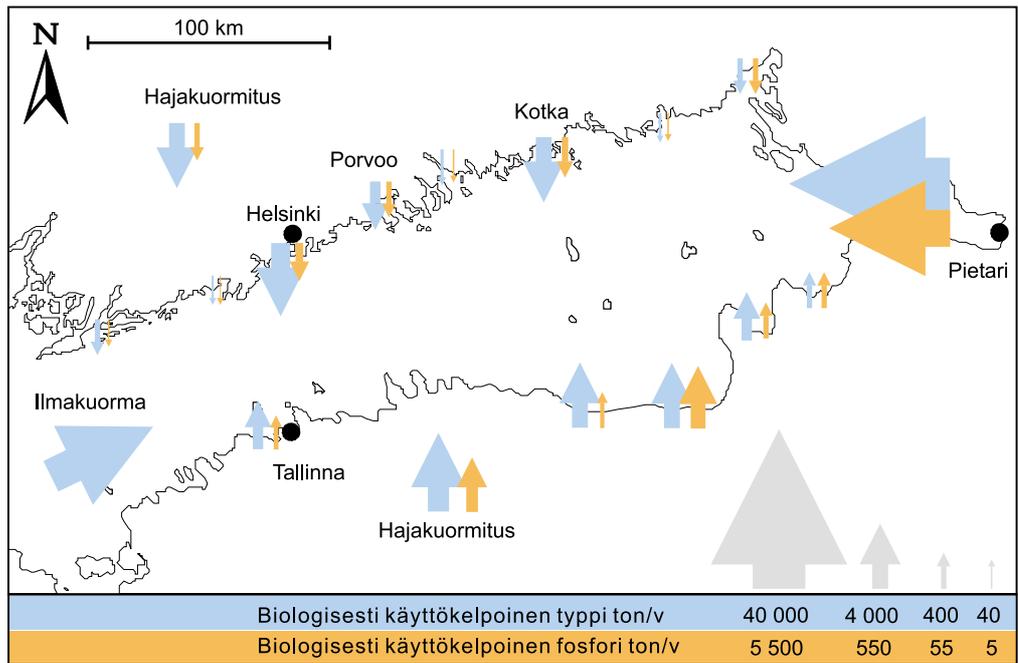
Porvoon alueen veden laatua on aiemmin tarkasteltu kokonaisravinnepitoisuuksien, sameuden ja suolapitoisuuden avulla (Anonyymi 1997, 1998a). Näin on saatu perustietoa ravinteiden ja jokivesien leviämisestä Porvoon merialueella. Korkeimmat ravinnepitoisuudet pintavedessä on todettu Porvoonjoen suulla. Voimakkaiden jokivirtaamien aikaan vähäsuolaisten ja sameiden jokivesien leviämisalue ulottui Kilpilahdenselälle asti. Samalta alueelta on mitattu myös korkeita pintaveden kokonaisravinnepitoisuuksia. Talven aikana jokivesien mukana leviävät ravinteet kontrolloivat suoraan kevätkukinnan voimakkuutta. Jokivesien mukana tuleva kuorma vaikuttaakin tästä syystä keväällä huomattavasti laajemmalle alueelle kuin kesällä, jolloin levät käyttävät ravinteet tehokkaasti jo jokisuistossa. Porvoonjoen vesi on valuma-alueesta johtuen laadultaan luontaisestikin rehevää ja sameaa. Joen veden laatua ovat heikentäneet lisäksi etenkin Lahden jätevedet sekä peltoviljely ja karjatalous. Yleisluokituksen perusteella joen alajuoksu on kuulunut välttävään laatuluokkaan ja yläjuoksu Lahden alapuolella huonoon luokkaan. Nykyisin joen veden laatu on lievästi parantunut, mikä näkyy bakteeripitoisuuksien ja fosforipitoisuuden lievänä laskuna. Myös Mustijoki kuuluu laatuluokkaan välttävä (Antikainen ym. 1999). Taulukossa 1 on joki- ja pistekuormituksen biologisesti käyttökelpoisten typen ja fosforin kuormitus vuosiarvoiksi laskettuna. Kuvassa 3 on esitetty koko Suomenlahdelle ja Kuvassa 4 Porvoon alueelle tulevan biologisesti käyttökelpoisen typen ja fosforin kuorma. Jokikuormitus dominoi Porvoon merialueelle tulevaa ravinnekuormaa vuosina 1997-1999. Jokien osuus käyttökelpoisen fosforin kuormasta oli 79-92% ja käyttökelpoisen typen kuormasta 86-90%.

Taulukko 1. Porvoon edustan ravinnekuormitus biologisesti käyttökelpoisina ravinteina 1997-1999.

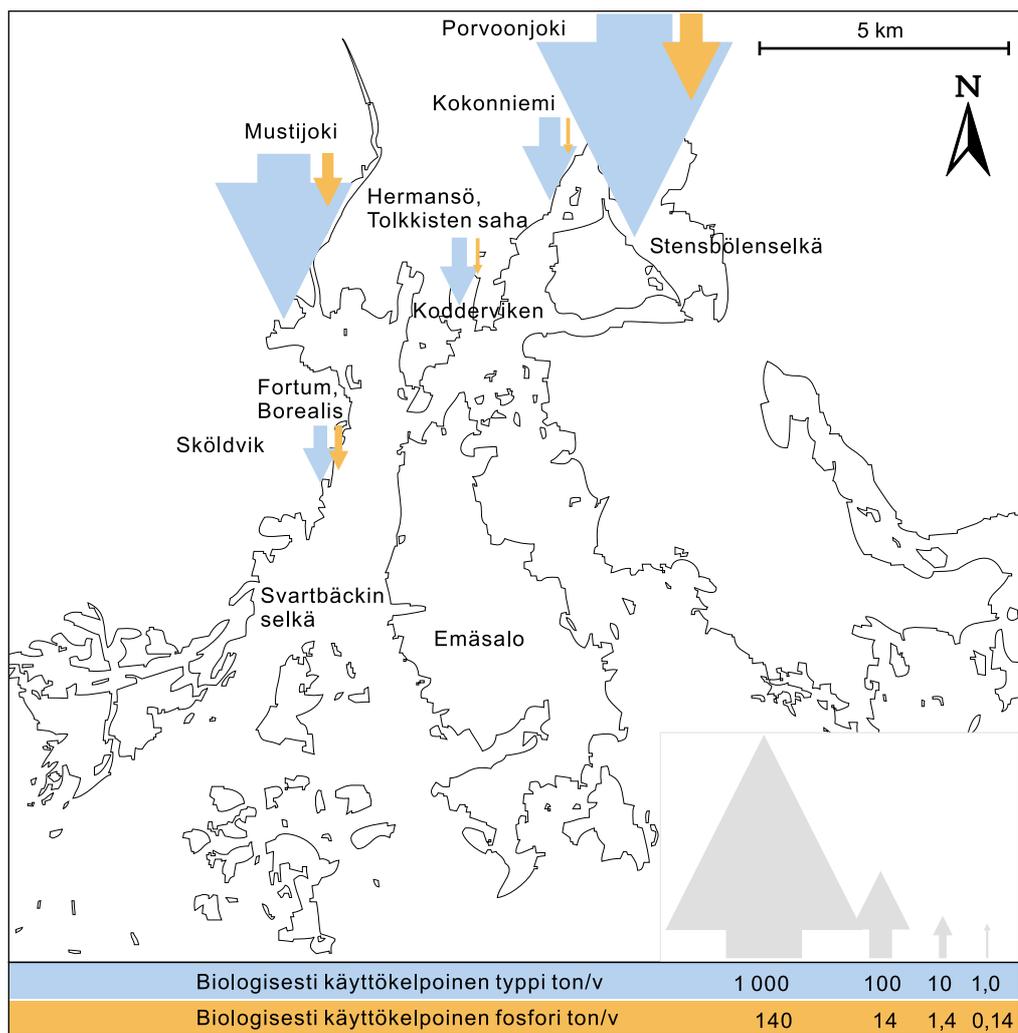
Kuormittaja	Fosfori tn/vuosi			Typpi tn/vuosi		
	1997	1998	1999	1997	1998	1999
Porvoonjoki	7.8	18	12	747	1 096	937
Mustijoki	2	6	3	227	488	499
Kokonniemi	0.3	0.3	0.3	85	101	89
Hermansö	0.2	0.2	0.3	37	51	37
Fortum Öljynjalostus ja käyttöhyödyke, purku 1	1.5	1.1	1	24	13	15
Fortum Öljynjalostus ja käyttöhyödyke, purku 2	0.2	0.3	1.7	3.1	2.3	2.9
Borealis Polymers	0.2	0.2	0.2	9	8	10
Enso Timber	0.1	0.03	0.01	1	0.3	0.08
Styrochem	0.006	0.03	0.04	0.9	0.4	0.3
Neste Chemicals	0.003	0.003	0.001	0.4	0.1	0.2

Taulukko 2. Kotkan edustan ravinnekuormitus biologisesti käyttökelpoisina ravinteina 1997-1999.

Kuormittaja	Fosfori tn/vuosi			Typpi tn/vuosi		
	1997	1998	1999	1997	1998	1999
Kymijoki (Ahvenkosken haara)	22	31	17	1 330	1 420	1 180
Kymijoki (Pyhtään haara)	0.9	1.3	0.7	55	59	49
Kymijoki (Langinkosken haara)	5.5	6.9	8.3	470	372	552
Kymijoki (Karhulan haara)	8	9.5	13	548	619	551
Kymijoki yhteensä	36.4	48.7	39	2 403	2 470	2 332
Kotkan kaupunki, Mussalon viemärlaitos	1.3	0.6	0.7	81	91	93
Kotkan kaupunki, Sunilan viemärlaitos	0.8	0.9	0.7	39	37	20
Stora Enso Oyj, Kotkan tehtaot	4.3	4	5.4	41	40	45
Sunila Oy	3.9	3.9	3	45	40	34
Enso Publication Papers Oy LTD, Summan tehtaot	4.3	4	5.4	41	40	45
Haminan kaupunki, Nuutniemen viemärlaitos	0.3	0.3	0.3	57	60	55
Kaakon lohi Oy ja Timo Lindqvist, Girsvikin laitos	0.5	0.6	0.6	4.8	6.2	6.4
Kaakon lohi Oy ja Timo Lindqvist, Mossavikin laitos	0.5	0.5	0.4	4.9	5	4.3
Koukkusaaren merikirjolohi, V Lillberg	0.4	0.4	0.3	3.9	5	5.8
Sandvikin lohi, C Sjögren & kumpp., Sandvikin laitos	0.3	0.7	0.4	4.8	7.5	4.8
Koukkusaaren kalastus Oy	0.3	0.3	0.2	4.2	3.5	3.7
Koukkusaaren forelli Ky, Holger Sjögren	0.3	0.2	0.03	3.4	2.4	0.4
Nakari Niinilahti (ent.Tmi Juurikorven lohi)	0.1	0.1	0.2	1.5	1.4	2.2
Sandvikin lohi, C Sjögren & kumpp., Honkaniemen laitos	0.1	0.1	0.1	1.43	1.4	1.9



Kuva 3. Suomenlahdelle tuleva biologisesti käyttökelpoinen typen ja fosforin kuorma 90-luvun lopussa.



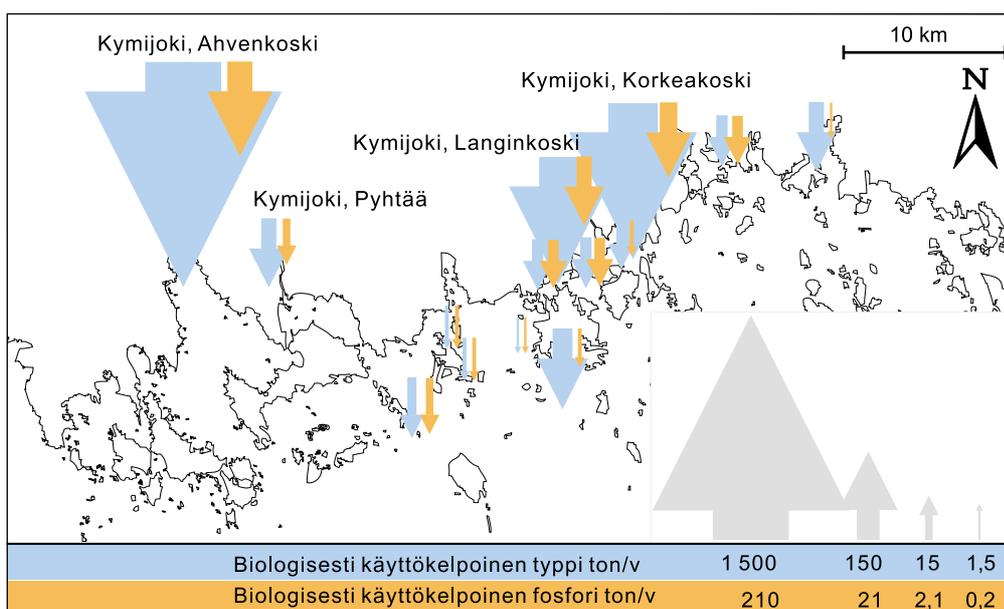
Kuva 4. Porvoon alueelle tuleva biologisesti käyttökelpoinen typen ja fosforin kuorma 90-luvun lopussa.

Kotkan merialueelle useana haarana laskevan Kymijoen alaosa on yleistä vedenlaatua kuvaavien muuttujien perusteella tyydyttävä, paikoitellen jopa hyvä. Joen vedenlaatu on parantunut huomattavasti 1990-luvulla alueen metsäteollisuuden uusien puhdistamojen ja vesiensuojelullisten parannusten ansiosta. Kuusankosken eteläpuolisen Kymijoen laatuluokka on kuitenkin viimeisimmässä valtakunnallisessa vesienkäyttökelpoisuusluokituksessa jouduttu laskemaan välttävään ja Tammijärvellä sekä sen eteläpuolisella jokiosuudella huonoon. Tähän on syynä Kymijoen pohjasta todetut haitalliset aineet, kuten dioksiinit (Antikainen ym. 1999).

Suurin osa Kotkan merialueelle tulevasta kotimaisesta ravinnekuormituksesta on peräisin Kymijosta, jonka osuus biologisesti käyttökelpoisesta fosforikuormituksesta oli vuosina 1996-1999 68-75% ja typpikuormituksesta 85-88%. Teollisuuden osuus suoraan mereen tulevasta käyttökelpoisesta fosforikuormituksesta on kuitenkin edelleen huomattavan suuri, 18-24%. Kalankasvattamojen merkitys ravinnekuormittajina on teollisuutta ja yhdyskuntia vähäisempi, mutta vaikutukset voivat paikallisesti olla merkittäviä. Niiden rehevöittävää vaikutusta korostaa se, että kuormasta suurin osa tulee kasvukaudella (Pitkänen 1994). Biologisesti käyttökelpoisten ravinteiden joki- ja pistekuormitukset vuosille 1996-1999 on esitetty Taulukossa 2 ja havainnollistettu Kuvassa 5.

2.1.3 Vedenlaatu

Ekosysteemimallin kalibroinnissa (parametrien säätämisessä) ja validoinnissa (mallin testauksessa) käytettiin liukoisen typen ja fosforin pitoisuusmittauksia 3 pisteeltä Porvoon edustan merialueelta ja 3 pisteeltä Kotkan edustalta. Porvoossa Sköldvikin edustalla ja Orrenkylänselällä sijaitsevat pisteet ovat sisälahtialuetta, Emäsalon eteläpuolella sijaitseva piste edustaa avomerta. Kotkassa käytettiin kolmea mallin tiheimmille osille osuvaa mittauspistettä, joista Ängsön ja Vehkaluoto edustavat voimakkaasti kuormitettua rannikkoaluetta ja Haapasaaret avomerta. Pisteiden sijainti on esitetty Kuvissa 1 ja 2. Kalibroitavuotena käytettiin kummassakin mallissa vuotta 1998 ja validointivuotena vuotta 1999. Ravinnepitoisuuksia on mitattu avovesikaudella tavallisesti 1-2 kertaa kuukaudessa usealta syvyydeltä. Fosforin osalta käytettiin Nucleopore-suodatettuja fosfaattipitoisuuksia, mikäli niitä oli saatavilla. Jokivesinäytteissä



Kuva 5. Kotkan alueelle tuleva käyttökelpoinen typen ja fosforin kuorma 90-luvun lopussa.

kiintoaineen määrä saattaa olla suuri, jolloin suodatettujen näytteiden käyttö antaa paremman kuvan levillä käyttökelpoisesta fosforiosuudesta. Planktonleväbiomassa laskettiin a-klorofyllimittauksista. Muuntamisessa käytettiin kaavaa, joka perustuu 90-luvulla tehtyihin yhtäaikaisiin klorofylli- ja biomassamittauksiin useilla Suomen rannikon mittauspisteillä (Kuusisto 1997). Kokoomanäytteistä laskettu biomassa [g m^{-3}] on muutettu koko tuottavan kerroksen biomassaksi [g m^{-2}] kertomalla se näytteenotto syvyydellä. Tähän laskennalliseen biomassaan sisältyivät sekä sinilevät että muut planktonlevät. Porvoossa tehtiin myös erilliset mikroskooppilaskennat potentiaalisesti tyypeä sitovista sinilevistä kahdella havaintopisteellä, Emäsalon eteläpuolella ja Sköldvikin edustalla. Mittaustuloksia vertailtiin mallin laskemiin ravinteiden, kasviplanktonin ja sinilevien pitoisuuksiin ja biomassoihin. Kotkassa mittauspisteiltä ei ollut käytettävissä laskentatuloksia, joiden perusteella kasviplanktonbiomassa olisi voitu jaotella tyypeä sitoviin sinileviin ja muuhun kasviplanktoniin. Mittaustuloksia verrattiin mallin laskemiin ravinnepitoisuuksiin ja kasviplanktonin kokonaisbiomassaan. Ravinnevertailussa käytettiin ylimmän kymmenen metrin ravinnemittausten keskiarvoja.

2.1.4 Rihmalevät

Mallityöskentelyn pohjaksi kerättiin avovesikausien 1998 ja 1999 aikana aineistoa rihmalevien biomassasta kahdelta havaintopisteeltä Porvoosta ja kahdelta havaintopisteeltä Kotkasta (Kuvat 1 ja 2). Havaintopisteiden sijoittelussa kriteereinä olivat rihmalevien sopiva kasvuympäristö, joka on yleensä kova kallio- tai kivikkopohja. Monivuotisen rakkolevän esiintymisellä varmistettiin että veden saliniteetti ei ole alueella pysyvästi liian alhainen murtoveteen sopeutuneiden lyhytikäisten rihmalevälevälajien kasvuille. Rakkolevävyöhykkeen yläraja kertoo lisäksi jään kuluttaman alueen syvyyden. Kullekin havaintopisteelle perustettiin 8 kpl 40 cm x 40 cm kokoista pysyvää näytealaa. Puolet näytealoista sijoitettiin rakkolevävyöhykkeen yläosaan ja puolet sen alarajalle. Näytealojen kasvillisuus tutkittiin sukeltamalla.

Porvoo: Pisteistä ensimmäinen, Emäsalon Luotsiasema, edustaa avomeren vaikutuspiirissä olevaa ulkosaaristoa. Näytealojen syvyydet olivat Emäsalossa 2.0 ja 5.0 m ja ne käytiin tutkimassa 13 kertaa. Toinen havaintopiste Sköldvikissä, Nesteen jalostamon satamassa, edustaa voimakkaasti jokivesien kuormittamaa sisäsaaristoa. Näytealojen syvyydet olivat Sköldvikissä 1.5 ja 2.5 m ja ne käytiin tutkimassa 10 kertaa. Jokivesien tuoman kiintoaineen heikentämä näkyvyys esti sukeltamisen Sköldvikin havaintopisteellä usealla havaintokerralla kesän 1998 aikana.

Kotka: Pisteistä ensimmäinen, Haapasaarten Järvenkari, edustaa avomeren vaikutuspiirissä olevaa ulkosaaristoa. Näytealojen syvyydet olivat Järvenkarilla 2.5 ja 4.5 m ja ne käytiin tutkimassa 10 kertaa. Sääolosuhteet vaikeuttivat pitkän venematkan päässä oleville Haapasaarille pääsyä sekä aikaisin keväällä että myöhään syksyllä. Toinen havaintopiste, Kotkan edustan Vehkaluoto, edustaa voimakkaasti jokivesien kuormittamaa sisäsaaristoa. Näytealojen syvyydet olivat Vehkaluodossa 2.5 ja 4.0 m ja ne käytiin tutkimassa 10 kertaa.

Havaintopisteiden kasvillisuus kvantifioitiin tilavuusarviomenetelmällä (Kiirikki 1996). Menetelmä perustuu lajikohtaiseen peittävyysarvioon ja kasvuston korkeuden mittaukseen. Tuloksena on levien täyttämä tilavuus pohjan pinta-alayksikköä kohti. Levien tilavuus voidaan muuttaa kuivapainoksi mittauksiin perustuvan kertoimen avulla (Kiirikki ym. 1998). Mallityöskentelyssä käytettiin keväällä kasvavan *Pilayella littoralis* -rihmalevän biomassan keskiarvoja kultakin syvyydsyvyöhykkeeltä.

2.2 Virtausmalli

2.2.1 Rakenne

- Luonnossa vesistön virtauksiin vaikuttavat
- tuulet ja tulovirtaamat
- vedenkorkeus-, -tiheys- ja ilmanpaine-erot
- maan pyörimisliike
- veden sisäinen kitka ja liikemäärän kulkeutuminen
- veden häviämättömyys ja kokoonpuristumattomuus
- pohjan ja rantojen muodot

Näiden fysikaalisten tekijöiden vaikutukset ja syy-yhteydet ovat yksityiskohtaisesti tunnettuja. Virtausmallilaskennassa on mukana kaikki nämä meren tilaan vaikuttavat tärkeimmät tekijät, joiden pohjalta vesialueen virtaukset ja niiden vaihtelut saadaan lasketuiksi halutulla erotustarkkuudella eri tuuli- ja virtaamatilanteissa, kun syvyydet, jääpeitteen esiintyminen, jokivirtaamat ja avovesikauden tuulet tunnetaan (Koponen ym. 1992).

Veden ominaisuudet ja pitoisuudet kulkeutuvat virtausten mukana. Samalla vireisten vesimassojen ominaisuudet sekoittuvat keskenään vesistön pyörteiden ja nopeuserojen vaikutuksesta. Kun vesistön virtaukset kullakin hetkellä ovat selvillä, saadaan myös pitoisuuksien ja veden muiden ominaisuuksien aika- ja paikkavaihtelut lasketuiksi. Vesistön virtauksia sekä aineen kulkeutumista ja sekoittumista matemaattisesti kuvaavat yhtälöt ja niiden reunaehdot on esitetty artikkelissa Korpinen ym. 2002.

Vesistöön tuleva pitkä- ja lyhytaaltainen säteily voidaan joko antaa mittaustiedoista tai laskea säätiedoista (ilman lämpötila, suhteellinen kosteus, paine ja pilvisuus) ja auringon kulumasta. Vesistöistä poistuva lämpömäärä lasketaan pitkäaaltoseina säteilyä (Stefan-Bolzman laki), haihduntana ja lämmön johtumisena. Lämpövuota kuvaavat yhtälöt (15 kappaletta) on esitetty viitteessä Koponen ym. 1992. Tässä työssä käytettyä FinFlow-virtausmallia on verrattu avoimella Suomenlahdella tehtyihin virtausmittauksiin sekä Merentutkimuslaitoksen FinEst-malliin artikkelissa Inkala & Myrberg 2002.

2.2.2 Mallihila ja laskentaparametrit

Mallissa tarkastelualue jaetaan horisontaalitasossa pienempiin osiin, ns. hilakoppeihin, joiden välisiä eroja seurataan laskennassa. Hilakopin leveys ja pituus muodostavat laskennan horisontaalisen erotustarkkuuden.

Eri erotustarkkuudella ratkaistavat osamallit voidaan liittää toisiinsa sisäkkäisesti tarkentuvaksi järjestelmäksi. Näin mallissa voidaan ottaa huomioon laajan merialueen virtausten vaikutus tarkasti kuvattuun paikalliseen alueeseen. Sekä Porvoossa että Kotkassa virtausmalliin otettiin mukaan Suomenlahti Hankoniemestä itään. Kotkassa uloin merialue kuvataan mallissa 9.6 kilometrin tarkkuudella, jonka jälkeen hilaa on tihennetty 4.8 kilometriin ja siitä asteittain (2.4 km, 1.2 km, 600 m) tiheintä hilaa kohti, joka Kotkan saaren, Kuutsalon ja Mussalon kohdalla on 300 m. Porvoossa uloin merialue kuvattiin 6.4 kilometrin tarkkuudella, jonka jälkeen hilaa tihennettiin ensin 3.2 kilometriin. Porvoon edustalla käytettiin 1600, 800, 400, 200 ja lopulta Sköldvik-Kuggsund alueella 100 metrin hilaa.

Syvyysuunnassa molemmissa paikallismalleissa käytetään kymmentä kerrosta, joista kuusi ylintä on kahden metrin paksuisia (0-12m), kaksi seuraavaa neljän metrin paksuisia (12-20 m), yhdeksäs kerros 10 m (20-30 m) ja viimeinen kerros on 30-100m.

Mallin laskentahilan syvyydet määriteltiin merenkulkuhallinnon tuottaman digitaalisen syvyysaineiston avulla. Ohjelmallisesti luotua hilaa korjattiin tämän jälkeen käsin lähinnä saarten läheisyydessä, missä hilan generointiohjelma oli luonut liikaa maa-aluetta. Kotkassa Tammion mittauspisteen ympäristön syvyyksiä korjattiin erikseen, jotta pisteen itä-länsisuuntainen syväanne tulisi paremmin kuvattua.

2.2.3 Mallin testaus ja tärkeimmät rajoitukset

Malli testataan virtaus- ja pitoisuusmittausten perusteella. Mallia tarkennetaan vertailun perusteella korjaamalla mahdolliset epätarkat tai virheelliset syvyys- ja olosuhdetiedot, muuttamalla prosesseja tai tarkentamalla laskentaparametreja. Esimerkkinä jälkimmäisestä on tuulikitkakerroin, jota muuttamalla voidaan kompensoida erilaisista tuulen nopeuden mittauspaikoista (avomeri, sisämaa) aiheutuvat erot.

Malli- ja mittausvertailussa on huomioitava mallin ja mittauksen periaatteelliset erot. Mittaus- ja laskentatulokset eivät aina ole tarkasti yhdenmukaisia keskenään. Mallissa tietyn pisteen virtaus kuvaa keskimääräistä virtausta hilakopissa, jonka suuruus Kotkan mallissa on pienimmillään 300 x 300 m ja Porvoon mallissa 100 x 100 m. Virtausmittaus sen sijaan on pistemäinen, jolloin esimerkiksi paikalliset poikkeavuudet pohjanmuodossa voivat suuresti vaikuttaa mitattuihin virtauksiin.

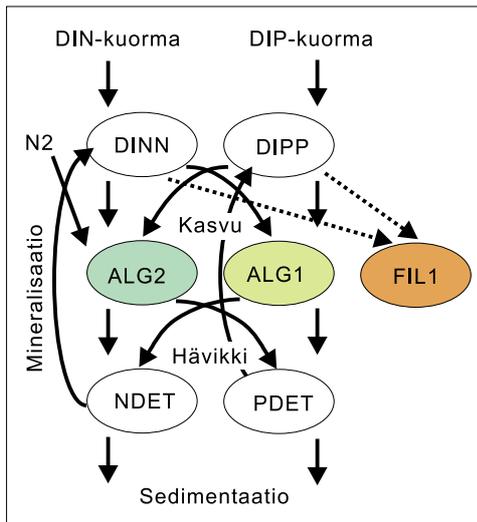
Tärkeimpänä hydrodynaamisen mallin rajoituksena onkin mallin rajallinen erotustarkkuus paikan suhteen. Laskenta ei voi kuvata pienen mittakaavan ilmiöitä, koska laskentatulokset ovat aina vesialueen osien keskiarvoja. Mallin erotustarkkuus vaikuttaa myös suoraan kulkeutumiseen, sekoittumiseen ja pitoisuuksien laskentaan. Ravinnepitoisuuksiin vaikuttavat tämän lisäksi hapestasta riippuvat sedimenttiprosessit kuten sisäinen kuormitus, jota ei ole huomioitu mallitarkastelussa. Paikallismallien resoluutio riittää kuvaamaan pohjan ja rantojen muotojen pääpiirteet, mutta sisäsaaristossa ja lahtialueilla käytetty tarkkuus ei välttämättä ole aina riittävä kuvaamaan veden vaihdon kannalta tärkeitä kapeita salmia, saaria ja syvänekanavia.

Syynä mallitulosten ja mittausten eroihin voi olla myös olosuhdetietojen (kuormitukset, tuulet, jokivirtaamat) epätarkkuudet, näytteenoton satunnaisuus ja vaikutusten esiintyminen luonnossa erilaisina laikkuina, ohuina kerroksina tai lyhytaikaisina pulsseina. Myös laskentakapasiteetin rajoitukset pakottavat usein yksinkertaistamaan laskentaa, koska luonnon prosesseja lasketaan yleensä kuukausien tai vuosien jaksoissa.

2.3 Ekosysteemimalli

2.3.1 Mallin toimintaperiaate

Ekosysteemimalli perustuu virtausmallin hilaan ja sillä laskettuihin virtauksiin. Laskentamuuttujina ovat liukoinen fosfori ja typpi, detritustyyppi ja -fosfori sekä kolme leväryhmää. Malliin sisältämiä prosesseja ovat kulkeutumisen lisäksi detritusravinneiden vajoaminen, mineralisaatio ja sedimentoituminen (Kuva 6). Happipitoisuudesta riippuvia sedimenttiprosesseja kuten sisäistä kuormitusta ei ole huomioitu mallissa. Mallin lähtötiedoiksi tarvitaan havaintoja tuulesta, ravinnekuormituksesta, ravinnepitoisuuksien alkuarvoista, jokivirtaamista, veden lämpötilasta, auringon säteilystä sekä mallin toiminnan validointia varten mittaustuloksia ravinnepitoisuuksista ja leväbiomassoista.



Kuva 6. Ekosysteemimallin laskentamuuttujat ja prosessit.

Ekosysteemimallin keskeinen toimintaperiaate on kuvata kasviplankton kahtena kilpailevana lajiryhmänä. Nämä kaksi ryhmää ovat ilmakehän tyypeä sitovat sinilevät (laskentamuuttuja ALG2) ja muu kasviplankton (ALG1) (Tyrrell 1999). Muu kasviplankton kasvaa nopeammin ja syrjäyttää tyypeä sitovat sinilevät aina, kun sekä liukoista tyypeä että fosforia on riittävästi saatavilla. Kun pintaveden liukoiset typpi-varastot on käytetty loppuun, ilmakehän tyypeä sitovat sinilevät saavat kilpailuedun. Parhaiten mallin ALG2-leväryhmä kuvaa *Nodularia*-ryhmän sinileviä. Sinilevien kasvun on havaittu vaativan muuta kasviplanktonia korkeamman kasvulämpötilan. Voimakkaimmillaan kasvu on Itämerellä yli 16°C lämpötilassa (Kononen & Leppänen 1997). Kummatkin leväryhmät käyttävät mallissa ravinteita Redfield-suhteessa (Redfield 1958) eli tyypeä käytetään 7,2 kertaa enemmän kuin fosforia.

Kun levät kuolevat, niiden sisältämät ravinteet muuttuvat detritustypeksi ja -fosforiksi, jotka vajoavat vesipatsaassa tasaisella nopeudella ja hajoavat liukoiksi ravinteiksi lämpötilasta riippuvalla nopeudella. Kun jäljelle jääneet detritusravinteet saavuttavat pohjan, ne alkavat sedimentoitua tasaisella nopeudella pysyvästi pois ravinnekierrosta. Tyypen poistumista takaisin ilmakehään ei ole mallissa kuvattu erillisenä prosessina vaan se on sisällytetty detritustypen sedimentaatiotermiin. Ekosysteemimallin toimintaa kuvaavat yhtälöt ja parametrit on kuvattu aiemmassa julkaisussa (Korpinen ym. 2002). Erona tähän Helsingin merialueelle kehitettyyn malliin Kotkan ja Porvoon paikallismalleissa ei ole käytetty savisamennuksen vaikutusta planktonlevien kasvuun. Tämä ominaisuus kehitettiin Helsingin malliin savisamean Vantaanjoen suuren kiintoainekuorman vuoksi. Koko Suomenlahden mallisovellutuksen toiminta ja sen testaus on kuvattu erikseen (Kiirikki ym. 2000).

Ekosysteemimallissa on mukana rantavyöhykkeen rihmaleviä kuvaava osa (Kiirikki ym. 1998). Rihmalevämalli ei pysty kuvaamaan koko rihmaleväyhteisöä, vaan ainoastaan keväällä rantavyöhykkeen valtalajina kasvavaa *Pilayella littoralis* -levää (laskentamuuttuja FIL1). Malli ei pysty kuvaamaan rihmalevien absoluuttisia biomassoja, koska rihmaleville sopivien kovien pohjien määrästä ei ole saatavissa riittävän tarkkoja arvioita. Tämän sijasta malli kuvaa rihmalevin kasvupotentiaalia, jolla tarkoitetaan niiden kasvua mikäli kuvatulla alueella olisi niille sopia kasvupaikkoja. Skenaarioiden vaikutusten arvioinnissa on käytetty rihmalevien kasvupotentiaalia 2 m syvyydellä. Rihmalevämallin semi-kvantitatiivisuuden takia rihmalevien kasvu ja ravinteiden käyttö on kytketty pois muun mallin ravinnetaloudesta. Ympäröivän vesimassan ravinnepitoisuudet vaikuttavat rihmalevien kasvupotentiaaliin, mutta rihmalevien kasvu ei kuluta ympäröivän vesimassan ravinnevarastoja. Ravinteiden lisäksi rihmalevien kasvunopeuteen vaikuttaa olennaisesti veden kirkkaus, joka säätelee pohjalle tunkeutuvan valoenergian määrää. Tärkeimmät, yleensä Secchi-syvyytenä mitattavaan

veden kirkkauteen vaikuttavat tekijät ovat kasviplanktonin ja kiintoaineen pitoisuudet. Tästä syystä jokien kiintoainekuorma otettiin mallissa mukaan omaksi laskentamuuttujakseen. Rihmalevämallin toimintaa kuvaavat yhtälöt ja parametrit löytyvät artikkelista Korpinen ym. 2002.

2.4 Skenaarioiden vaikutusten laskenta

Ekosysteemimallilla arvioitiin kahden vesiensuojeluskenaarion vaikutuksia sekä Porvoon että Kotkan edustan merialueen tilaan. Ensimmäinen skenaario kuvaa Vesiensuojelun tavoiteohjelman 2005 (Anonyymi 1998b) vaikutuksia. Skenaariossa on käytetty samoja kuormitustietoja kuin koko Suomenlahden vaikutusarviota tehtäessä (Kiirikki ym. 2000). Kuormitusvähennyksiä laskettaessa lähtötilanteena on käytetty vuoden 1998 kuormitusta. Koska Vesiensuojelun tavoiteohjelman vertailuvuodet on sijoitettu 1990-luvun alkuun, osa kuormitusvähennyksistä on toteutunut jo ennen mallisimulaation aloitusvuotta 1998. Skenaarioon on sisällytetty Porvoossa jätevesien tehostettu typenpoisto sekä jätevesien purkupaikan siirto Svartbäckinselälle. Kotkassa skenaariossa on mukana yhdyskuntajätevesien tehostettu typenpoisto.

Toinen skenaario kuvaa kemiallisen fosforinpoiston käynnistämistä Pietarin kaupungin nykyisillä jätevedenpuhdistamoilla. Myös tämän skenaarion kuormitustiedot on otettu koko Suomenlahden vaikutusarviota käsitelleestä raportista (Kiirikki ym. 2000).

Ekosysteemimallille laadittiin kumpaakin skenaarioita ja nykytilaa (1998) kuvaavat kuormitustiedostot. Kuormitus on tiedostoissa jaettu rannikon suuriin kuormituslähteisiin kuten joet, asutuskeskukset ja teollisuuslaitokset. Malliin sisällytettyjen suurten kuormittajien ulkopuolelle jäävä ravinnekuorma on jaettu tasaisesti koko ranta- viivalle. Mallissa on lisäksi huomioitu ilman kautta tuleva typpikuorma, joka on jaettu tasaisesti koko merialueelle. Asutuskeskusten ja useimpien teollisuuslaitosten kuormitus on mallissa tasaista ympäri vuoden. Jokivesien mukana tuleva ravinnekuorma, joka keskittyy voimakkaasti kevään ja syksyn virtaamahuippuihin, on mallissa esitetty kuukausikeskiarvoina.

Mallilla laskettiin Vesiensuojelun tavoiteohjelman vaikutuksia arvioitaessa yhden kasvukauden pituinen jakso 1.1.-30.9.1998, joka riittää hyvin toimenpiteiden välittömien vaikutusten arvioimiseen rannikon lahdissa ja saaristossa, jossa veden viipymä on lyhyt. Mallin alkuarvoina käytettiin kevättalven 1998 ravinnepitoisuusmittauksia ja laskenta suoritettiin kokonaisuudessaan kerrostuneita virtauskenttiä käyttäen. Pietarin fosforinpoiston vaikutuksia arvioitaessa malleilla jouduttiin laskemaan pidempi simulointijakso, jotta kaukokulkeuman vaikutukset ehtisivät Suomenlahden rannikkovirran mukana Pietarista Kotkan ja Porvoon edustalle. Laskenta aloitettiin 1.9.1997 kerrostumattomilla virtauskentillä ja sitä jatkettiin kasvukauden ajan 1.3.1998-30.9.1998 kerrostuneilla virtauskentillä.

Ensimmäinen laskenta tehtiin vuoden 1998 ravinnekuormalla ja seuraava skenaarion mukaisesti vähennetyllä kuormalla. Kunkin laskennan kasvukauden keskimääräiset leväbiomassat talletettiin tiedostoihin. Skenaarion tuloksena saatuja biomassoja verrattiin vuoden 1998 kuormalla laskettuihin biomassoihin. Tulokset esittävät skenaarion aiheuttamaa muutosta leväbiomassassa prosentteina ilmaistuna. Skenaarioiden vaikutukset on esitetty kolmen laskentamuuttujan avulla:

Kasviplanktonin kokonaisbiomassa, jolla tarkoitetaan tyyppiä sitovien sinilevien ja muiden planktonlevien yhteenlaskettua biomassaa (ALG1 + ALG2). Tämä laskentamuuttuja havaitaan merialueella parhaiten veden sameutena

Tyyppiä sitovat sinilevät (ALG2), jotka muodostavat loppukesällä pinnalla kelluvia useimmiten myrkyllisiä levälauttoja. Sinilevälauttoja havaitaan etupäässä avomerellä.

Rantavyöhykkeen rihmalevät (FIL1), jotka näkyvät selvimmin rantojen limoittumisena, rannalle ajautuneina haisevina levälauttoina sekä kalaverkkojen likaisuutena.

2.5 Paikallismallien käyttö operatiivisessa toiminnassa

Ekosysteemimalli on kehitetty arvioimaan eri tekijöiden vaikutuksia merialueen rantavyöhykkeen tilaan nimenomaan ekologisten muuttujien osalta. Koska mallissa kuitenkin on pohjalla virtauslaskenta, mallia voidaan käyttää myös yksinkertaiseen kulkeutumislaskentaan. Kulkeutumisen laskentaa voidaan tehdä esim. onnettomuustapauksissa, kun veteen päässyt aine on vesiliukoista.

Kotkan merialueen mallia käytettiin Haminan satama-alueella 20.7.2000 tapahtuneen nonyylifenolietoksyylaattipäästön (NFE) kulkeutumisen laskentaan. Ensimmäisen arvion mukaan ainetta pääsi veteen n. 2000 litraa. Myöhempien tutkimusten jälkeen määräksi arvioitiin jopa 10000 litraa. Satama-alueella havaittiin samana päivänä kuolleita kaloja. Alueelle määrättiin onnettomuuspaikasta 2-3 km:n etäisyydelle ulottuva varoalue kalastus-, uinti- ja käyttörajoituksella. NFE on detergentti, jota käytetään teollisuudessa pinta-aktiivisena aineena pesu- ja puhdistusaineissa. Aine on vesiliukoinen.

NFE on ihmisen ihoa ja silmiä voimakkaasti ärsyttävä aine kohtalaisen pieninäkin pitoisuuksina (10 mg l^{-1}). NFE hajoaa merivedessä lämpötilasta riippuen 11-14 vuorokaudessa. Hajoamistuotteena on pääasiassa 4-nonylifenoli (NF), joka on huomosti hajoava (puoliintumisaika 150 vrk). NF on myrkyllistä ja kertyy vesieliöihin. Korkeina pitoisuuksina nonyylifenoli on akuutisti toksinen, pitkäaikaisella altistuksella pienillä pitoisuuksilla on todettu olevan hormonaalisia vaikutuksia (estrogenin kaltaisia vaikutuksia mm. kaloilla). Akuutin myrkyllisyyden pitoisuudet vaihtelevat kaloilla ja selkärangattomilla $0.13\text{-}3.0 \text{ mg l}^{-1}$ välillä altistusajasta riippuen. Hormonaalisia muutoksia aiheuttavat pitoisuudet ovat mikrogrammatasolla. Kirjolohella tehtyjen tutkimusten perusteella $1\text{-}10 \text{ mg nonyylifenolia/kg}$ imeytyneenä aiheuttaa estrogenin kaltaisia muutoksia. Hormonivaikutukset riippuvat eläimen ikävaiheesta, herkkyydestä ja vaikutusmekanismista eri eläinryhmissä.

Kotkan mallilla laskettiin nonyylifenolietoksyylaattia kuvaavan vesiliukoisen aineen leviämistä onnettomuuspäivästä kuukausi eteenpäin. Onnettomuuspaikalla mallin resoluutio on 600 m. Aineen määräksi annettiin ensimmäisen arvion mukainen 2000 litraa. Tätä käytettiin koko laskennan ajan. Malli ei pysty huomioimaan NFE:n hajoamista nonyylifenoliksi. Mallilaskenta oli siis pelkästään suuntaa antava vesiliukoisen aineen kulkeutumislaskenta ilman kemiallisia prosesseja.

3

Tulokset

3.1 Mitatut ja mallinnetut virtaukset

Virtauksia kuvaavien regressiomallien tulokset on koottu Taulukoihin 3 (Porvoo) ja 4 (Kotka). Toinen virtauskomponenteista selittyy usein selvästi paremmin kuin toinen, mikä näkyy myös taulukoissa. Paremmin selittyvä komponentti on lähes poikkeuksetta virtauksen pääsuunnan mukainen, jota rantojen ja pohjan muodot ohjaavat. Tämä komponentti on myös mallivertailussa keskeisellä sijalla. Kummankin alueen mittausaineistossa virtauksen pääkomponentin selitysaste on joka toisessa tapauksessa yli 50%. Havaintoaineiston perusteella voi luoda varsin luotettavan kuvan Kotkan edustan virtausoloista ja Emäsalon ympäristön virtauskierrosta eri tuulitilanteissa, sekä hyvän lähtökohdan myös virtausnopeuksien vertailulle mallitulosten kanssa. Paras korrelaatio tuulen ja virtauksen välille löytyi Kotkan saariston mittausaineistossa tyypillisesti ilman selittävien muuttujien viivettä ja Porvoon saariston mittausaineistossa tyypillisesti 5 tunnin viiveellä.

Taulukko 3. Taulukossa on kuvassa 1 esitettyjen mittauspisteiden (Porvoo) syvyydet, mittausyvytydet, mittausjaksot, nopeuden keskiarvo ja maksiminopeus sekä regression selitysasteet virtauksen pohjois- ja itäkomponenteille. Selitysaste kertoo kuinka suuren osan virtauksen kokonaisvaihteluista regressiossa käytetyt muuttujat (tuulen pohjois- ja itäkomponentit) selittävät.

Porvoo 1998 ja 1999 kootut mittaustiedot

piste kuvassa 1	mittausjakso ja jään esiintyminen	syvyys [m]	kokonais- syvyys [m]	keski- nopeus	maksimi- nopeus	regression selitysaste R ² pohjoiskomponentille	regression selitysaste R ² itäkomponentille
1	8.6. - 24.7.1998	2,0	6,0	7,2	74,8	0,12	0,47
1	18.2. - 24.3.1999 jäätä	1,5	5,5	4,0	22,7	0,58	0,00
2	8.6. - 24.7.1998	2,0	7,5	6,2	66,6	0,59	0,54
2	18.2. - 24.3.1999 jäätä	1,5	7,5	7,3	26,5	0,84	0,82
3	8.6. - 24.7.1998	3,0	16,0	5,9	63,1	0,64	0,17
3	8.6. - 24.7.1998	9,0	16,0	4,8	25,4	0,06	0,07
3	8.6. - 24.7.1998	15,0	16,0	4,0	46,5	0,00	0,06
3 B	6.10. - 15.11.1999	5,0	22,0	2,8	22,4	0,30	0,34
4 B	6.10. - 15.11.1999	17,0	22,0	3,1	26,5	0,31	0,14
4	8.6. - 24.7.1998	3,0	24,0	6,4	34,8	0,38	0,28
4	8.6. - 24.7.1998	14,0	24,0	5,0	31,3	0,29	0,30
5	4.3. - 13.4.1999 jäätä	2,0	16,0	8,0	27,2	0,76	0,71
5	14.4. - 11.5.1999	2,0	16,0	9,2	33,3	0,52	0,37
5 B	6.10. - 15.11.1999	3,0	12,0	6,1	31,9	0,69	0,42
5	4.3. - 13.4.1999 jäätä	14,0	16,0	8,0	23,9	0,86	0,77
5	14.4. - 11.5.1999	14,0	16,0	5,7	23,3	0,72	0,66
6	8.6. - 24.7.1998	4,0	31,0	8,8	50,4	0,61	0,37
6	8.6. - 24.7.1998	24,0	31,0	6,9	32,3	0,43	0,31
6 B	6.10. - 15.11.1999	5,0	31,0	5,1	19,7	0,18	0,24
7	6.10. - 15.11.1999	4,0	19,0	6,2	28,9	0,29	0,44
7	6.10. - 15.11.1999	15,0	19,0	4,7	15,6	0,00	0,07

Taulukko 4. Taulukossa on kuvassa 2 esitettyjen mittauspisteiden (Kotka) syvyydet, mittaussyvyydet, mittausjaksot, nopeuden keskiarvo ja maksiminopeus sekä regression selityssasteet virtauksen pohjois- ja itäkomponenteille. Selityssaste kertoo kuinka suuren osan virtauksen kokonaisvaihteluista regressiossa käytetyt muuttujat (tuulen pohjois- ja itäkomponentit) selittävät.

Kotka 1999 - 2000, kootut mittauksiedot

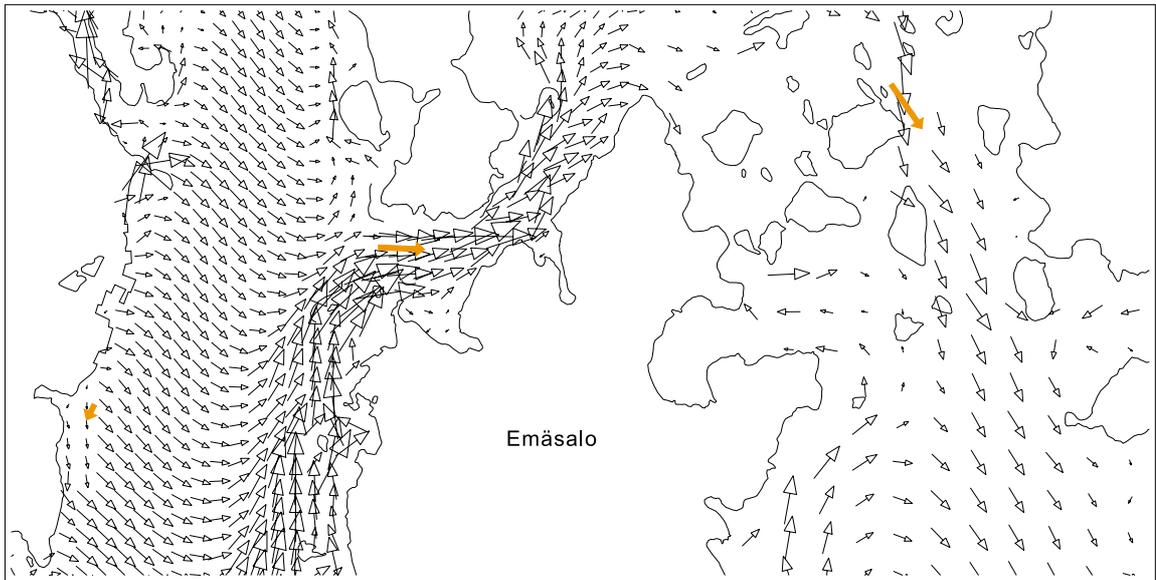
piste kuvassa 2	mittausjakso ja jään esiintyminen	syvyys [m]	kokonais- syvyys [m]	keski- nopeus	maksimi- nopeus	regression selityssaste R ² pohjoiskomponentille	regression selityssaste R ² itäkomponentille
5 N	1.7. - 1.8.1999	5,0	27,0	8,5	28,2	0,35	0,67
5 N	2.8. - 11.8.1999	5,0	27,0	14,1	36,0	0,00	0,51
5 N	11.8. - 16.9.1999	5,0	27,0	10,4	45,6	0,32	0,64
5 N	1.7. - 1.8.1999	18,0	27,0	4,1	17,1	0,00	0,18
5 N	2.8. - 11.8.1999	18,0	27,0	5,2	14,0	0,56	0,72
5 N	11.8. - 16.9.1999	18,0	27,0	4,3	23,7	0,00	0,00
5 S	1.7. - 1.8.1999	5,0	29,0	7,7	35,1	0,53	0,55
5 S	2.8. - 11.8.1999	5,0	29,0	13,7	40,4	0,00	0,77
5 S	11.8. - 16.9.1999	5,0	29,0	10,5	29,5	0,45	0,61
5	21.12.1999 - 27.3.2000	4,0	29,0	11,3	93,0	0,36	0,42
5	ajoitain ajojäättä 21.12.1999 - 27.3.2000	6,0	29,0	9,3	68,1	0,33	0,44
5	ajoitain ajojäättä 21.12.1999 - 27.3.2000	8,0	29,0	9,0	59,4	0,28	0,43
5	ajoitain ajojäättä 21.12.1999 - 27.3.2000	10,0	29,0	8,5	52,0	0,22	0,42
5	ajoitain ajojäättä 21.12.1999 - 27.3.2000	12,0	29,0	7,9	50,4	0,16	0,40
5	ajoitain ajojäättä 21.12.1999 - 27.3.2000	14,0	29,0	7,2	48,8	0,09	0,40
5	ajoitain ajojäättä 21.12.1999 - 27.3.2000	16,0	29,0	6,2	44,5	0,03	0,38

Regressioanalyysi osoitti, että tuulen vaikutus Porvoon saariston virtauksiin on hallitseva. Tämä käy ilmi sekä tuulen vaikutuksesta virtausnopeuksiin, jotka olivat vuorokausiarvoissa tyypillisesti 1-2 prosentin luokkaa tuulen nopeudesta, sekä tuulen suuresta osuudesta virtausvaihtelun selittäjänä. Vedenkorkeusvaihtelun vaikutus näkyi joidenkin pisteiden mittaustuloksissa. Tyypillisen päivittäisen vedenkorkeusmuutoksen (10 cm) aiheuttama virtausvaikutus oli näissä pisteissä luokkaa 1 cm/s. Vedenkorkeusmuutoksen vaikutus virtauksiin voi olla kuitenkin hallitseva äkillisissä meren pinnankorkeuden muutostilanteissa. Jokivesien aiheuttamia virtauksia on vaikea havaita saariston mittausaineistosta, lukuun ottamatta jokien suualueita jääpeitteisenä aikana. Yleensä jokivedet liikkuvat muiden tekijöiden, erityisesti tuulen aiheuttamien virtausten mukana.

Regressioyhtälöiden avulla laskettiin mittauspisteillä vallitsevat virtaukset, kun tuulen suunta ja nopeus pysyvät vakioina. Virtaukset laskettiin ilman vedenkorkeusvaihtelua, jonka yhteys tuuleen ei ole yksiselitteinen ja vaikutus virtauksiin on yleensä tuulen vaikutusta pienempi. Kuvissa 7 ja 8 virtauksia on tarkasteltu Porvoossa pintakerroksessa syvyydellä 2-4 metriä Emäsalon pohjois- ja eteläosassa. Vakiovirtaukset on esitetty karttapohjille piirrettyinä nuolina, joita on helppo verrata virtausmallin antamiin tuloksiin. Porvoon edustalla on kaksi tyypillistä tuulen aiheuttamaa virtaustilannetta. Toinen syntyy lännen- ja lounaanpuoleisilla tuulilla ja toinen idän- ja

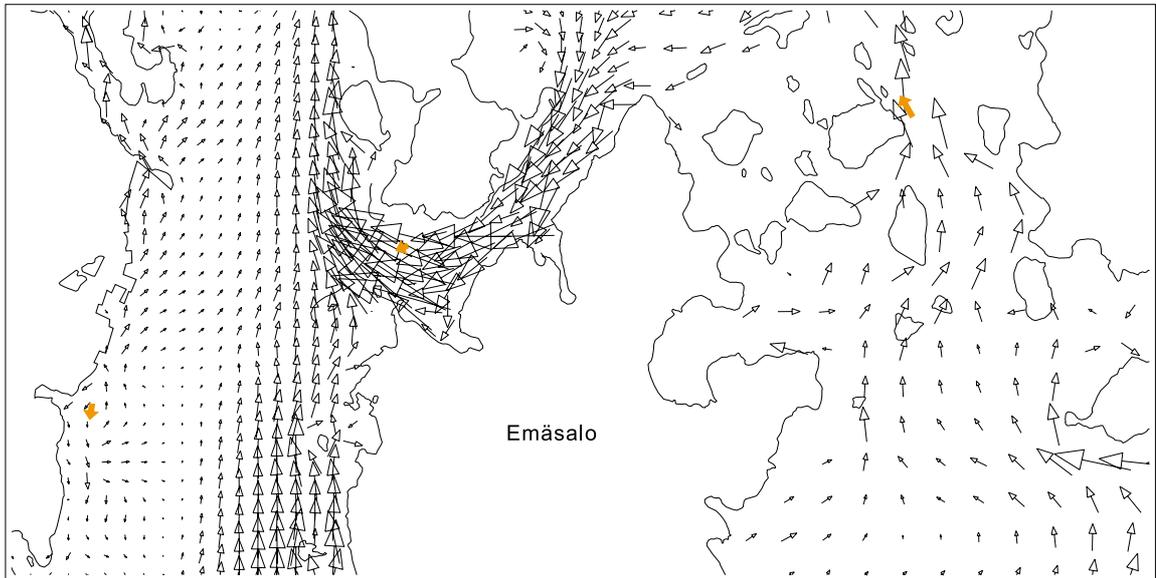
kaakonpuoleisilla tuulilla. Länsi-lounaistuulilla päävirtaus suuntautuu pintakerroksessa länneestä itään ja vesi kiertää Emäsalon myötäpäivään. Itä-kaakkoistuulilla tilanne on päinvastainen. Pohjanläheinen virtaus on yleensä pintavirtaukselle vastakkainen tai on epämääräinen ja nopeudeltaan hyvin pieni. Kilpilahdenselällä vesi kiertää tyypillisesti vastapäivään Emäsalon puoleisen rannan tuntumassa sisäänpäin ja länsirantaa pitkin ulos. Tämän ilmiön malli pystyi kuvaamaan hyvin.

Lounaistuuli
5 m/s



Virtauskentän
syvyys 2 - 4 m

Kaakkoistuuli
5 m/s



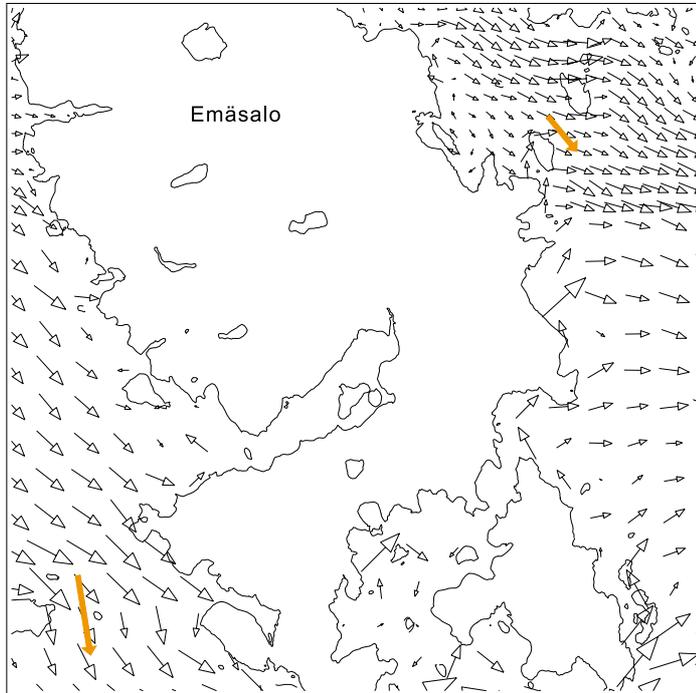
Virtauskentän
syvyys 2 - 4 m

Virtaus 20 cm/s →

2 km

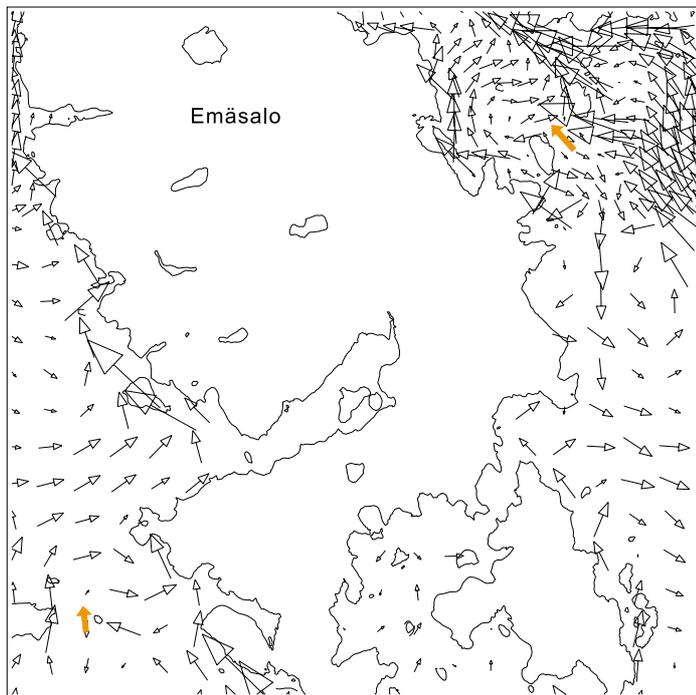
Kuva 7. Mallinnettu virtauskenttä Porvoon edustalla Emäsalon pohjoisosassa syvyydellä 2-4 m vakiotuulella (SW 5 m/s, SE 5 m/s). Oranssit paksut nuolet kuvaavat mittaustuloksista laskettujen regressioyhtälöiden mukaisia virtauksia.

Lounaistuuli
5 m/s



Virtauskentän
syvyys 2 - 4 m

Kaakkoistuuli
5 m/s



Virtauskentän
syvyys 2 - 4 m

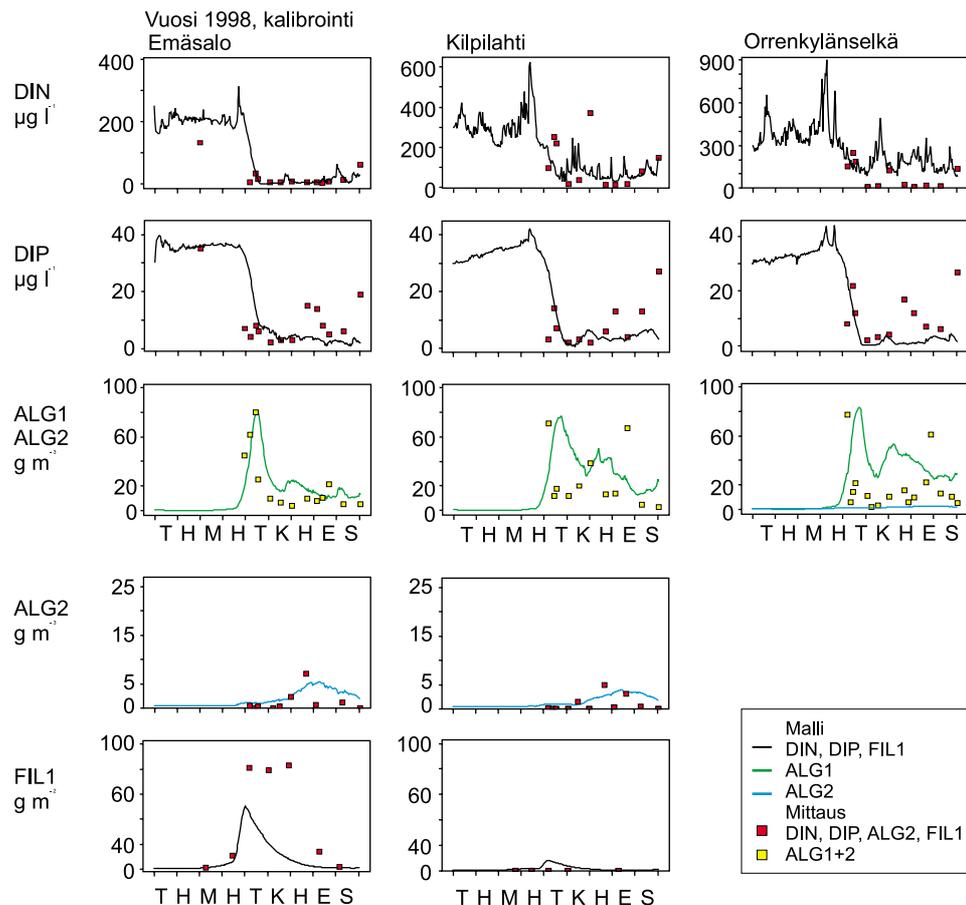
Virtaus 20 cm/s → 4 km

Kuva 8. Mallinnettu virtauskenttä Porvoon edustalla Emäsalon eteläosassa syvyydellä 2-4 m vakiotuulella (SW 5 m/s, SE 5 m/s). Oranssit paksut nuolet kuvaavat mittaustuloksista lasket-
tujen regressioyhtälöiden mukaisia virtauksia.

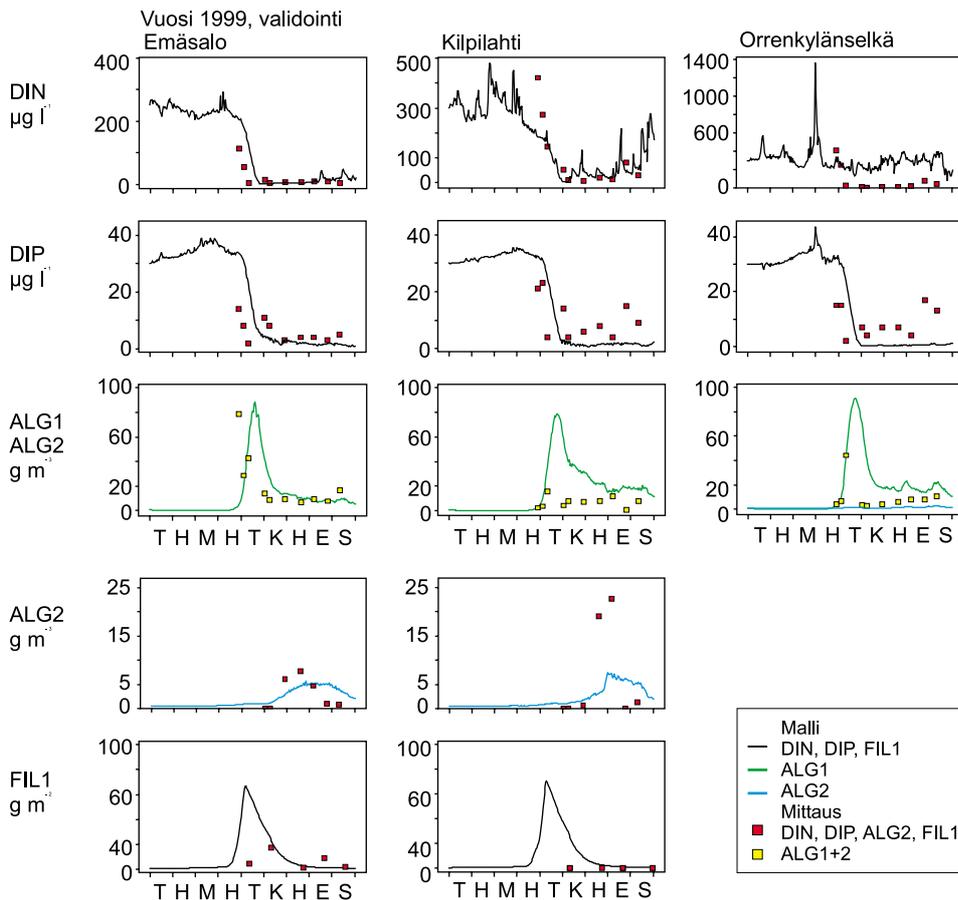
3.2 Mallinnettu veden laatu ja rihmaleväbiomassa

PORVOO

Kuvissa 9 ja 10 on esitetty Porvoon ekosysteemimallin kalibrointi- ja validointitulokset. Mallin ravinnepitoisuudet pysyivät ennen kevätkukinnan alkamista mittaustulosten mukaisella tasolla Emäsälössä vuonna 1998. Talvimittauksia ei ollut muilta mittauspisteiltä vuonna 1998, ja vuonna 1999 talvimittaukset puuttuvat kaikilta pisteiltä. Mallin laskemien talviarvojen arviointia olisikin hyvä jatkaa tulevaisuudessa paremmalla aineistolla. Mallin laskemat ravinnepitoisuudet vastasivat mittauksia hyvin kesällä Emäsälön ja Kilpilahden pisteillä molempina vuosina. Orrenkylänselällä Emäsälön saaren itäpuolella tyypeä oli mittauksiin verrattuna mallissa kesällä selvästi liikaa. Tämä voi johtua kahdesta eri syystä. Mallin käyttämässä pohjan topografiassa voi olla puutteita, jotka heikentävät vedenvaihtoa Orrenkylänselän pohjoisosissa niin, että jokivesien sekoittuminen meriveteen tapahtuu mallissa todellisuutta heikommin. On myös mahdollista että Orrenkylän selän mittauspiste sijaitsee jyrkällä vaihtumisvyöhykkeellä jolloin pienet erot mallinnetun pisteen ja todellisen pisteen sijainnissa aiheuttavat suuria eroja ravinnepitoisuuksissa. Tutkimusalueen mittakaavassa malli kykenee kuitenkin kuvaamaan vesimassojen kulkeutumista ja ravinnepitoisuuksien laimenemista kohtalaisen hyvin.



Kuva 9. Porvoon ekosysteemimallin vuodelle 1998 laskemat ravinnepitoisuudet sekä planktonlevien ja Pilayella littoralis-rihmalevän biomassat verrattuna mittauksiin.



Kuva 10. Porvoon ekosysteemimallin vuodelle 1999 laskemat ravinnepitoisuudet sekä planktonlevien ja Pilayella littoralis-rihmalevän biomassat verrattuna mittauksiin.

Fosforipitoisuudet vaihtelevat mittauksissa paljon kesäkaudella kaikilla pisteillä. Tätä ilmiötä malli ei näytä pystyvän kuvaamaan luonnonmukaisesti. Fosforipitoisuuden vaihtelut voivat johtua kumpuamistilanteiden yhteydessä pintaan nousevasta sisäisessä kuormituksessa vapautuneesta fosforista. Mallissa ei ole mukana pohjan happipitoisuudesta riippuvia prosesseja. Matalilla ranta-alueilla kyse tuskin kuitenkaan on kumpuamisesta, jonka vaikutukset näkyvät kesällä yleensä vain hetken. Kyse voi pikemminkin olla jatkuvasta sekoittumisesta tai leväbiomassasta vapautuvasta kierrätetystä fosforista. Tasaisella nopeudella vajoava ja sedimentoituva detritusfosfori häviää mallissa liian nopeasti matalilla rannikkoalueilla.

Jokivedet ja niiden mukanaan tuomat ravinteet kulkevat lähellä pintaa ohuena kerroksena, jonka kuvaaminen on mallissa hankalaa. Tämä aiheuttaa eroja mallinnettujen ja mitattujen ravinnepitoisuuksien välillä. Erot mittausten ja mallitulosten välillä olivat suurimmillaan keväällä jokien virtaaman ollessa suurimmillaan. Ohuessa pintakerroksessa tyypeä saattaa olla moninkertaisia määriä muuhun vesimassaan verrattuna. Esimerkiksi huhtikuussa 1999 Orrenkylänselällä oli 1 m:n syvyydessä liukoista tyypeä 892 mg l^{-1} ja viiden metrin syvyydessä 153 mg l^{-1} .

Sinilevien ja muun kasviplanktonin kukintojen ajoitus on Porvoon mallissa kohdallaan. Biomassat olivat myös oikeaa suuruusluokkaa vuonna 1998. Kilpilahden kevään 1999 mittauksissa suurin kukintahuippu on voinut jäädä kahden mittauskerran väliin. Toisaalta mallissa käytetään leville kiinteää vajoamisnopeutta. Luonnossa kevätukinnassa eri lajit vajoavat eri nopeuksilla. Tämä voi aiheuttaa eroa mallin ja mittausten välille. Samassa pisteessä kesällä 1999 sinilevät kasvavat mallissa jonkin verran liian vähän. Sinileväkukinnat ovat erittäin herkkiä typpi/fosfori-suhteessa tapah-

tuville muutoksille ja jo pienet erot ravinteiden kulkeutumisessa aiheuttavat suuria muutoksia sinilevien kasvussa ja biomassassa. Lisäksi sekä näytteenotto että mikroskoopilaskenta tuovat mukanaan virhettä. Sinilevien osalta mallin kehittämistyössä tarvitaan lisää hyvälaatuista mikroskoopilaskenta-aineistoa. Orrenkylänselällä kevätkukinnan huippu oli mittauksiin nähden suurempi vuonna 1999. Toisaalta näytteenotossa oli pidempi kolmen viikon tauko juuri kevätkukinnan aikaan. On siis mahdollista että kevätkukinnan huippua ei ole saatu mittauksissa kiinni.

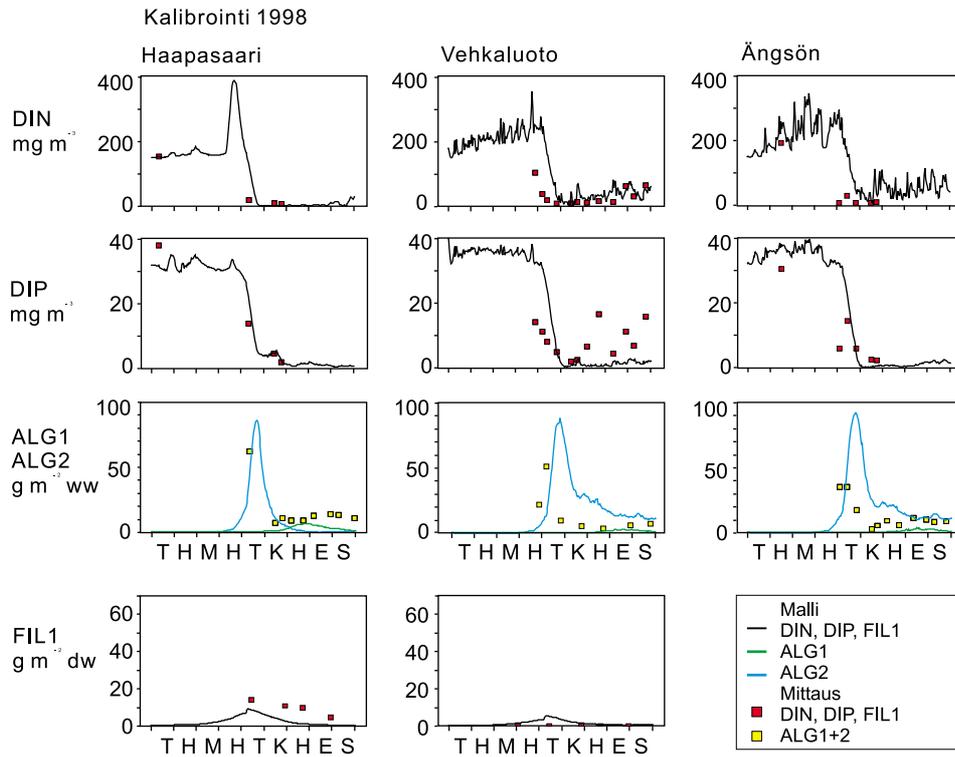
Pilayella littoralis -rihmalevän biomassahuippujen ajoitus osuu mallissa kohtalaisen hyvin kohdalleen. Vuonna 1998 malli pystyy myös kuvaamaan hyvin sisäsaariston ja ulkosaariston biomassoissa olevan noin kertaluokan suuruisen biomassaaeron, joka johtuu ilmeisesti suurten jokivirtaamien mukana tulevasta kiintoainekuormasta. Kiintoaineen aiheuttama sameus vähensi pohjalle tulevan valon määrää ja heikensi rihmalevien kasvua. Kevään 1999 kenttätyöt päästiin valitettavasti aloittamaan vasta kun *Pilayella littoralis* -rihmalevän biomassahuippu oli jo ohitettu. Esimerkiksi Kilpilahdessa käytiin ensimmäisen kerran vasta 10.6.1999. Lisäksi inventoijan vaihtuminen aiheutti ongelmia näytealojen paikantamisessa. Näiden syiden takia vuoden 1999 biomassa-arvioihin tulee suhtautua varauksella.

KOTKA

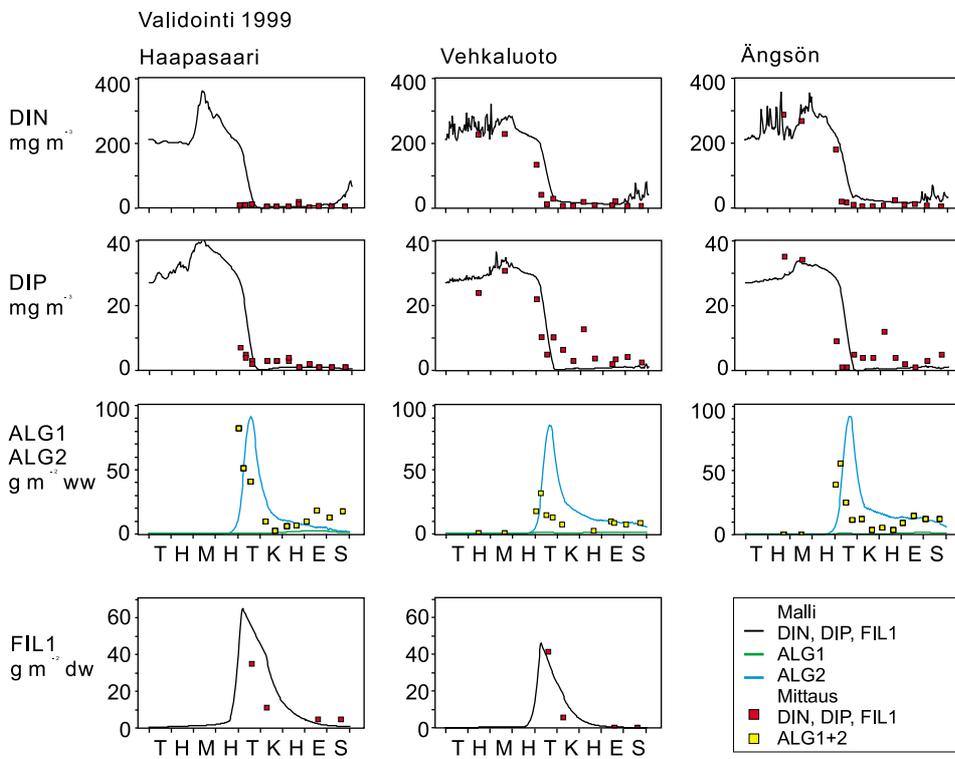
Kuvissa 11 ja 12 on Kotkan ekosysteemimallin kalibrointi- ja validointitulokset. Mallin laskemat ravinnepitoisuudet vastasivat mittauksia melko hyvin molempina vuosina, tosin kattava talvimittausaineisto puuttui myös Kotkan osalta. Ravinnepitoisuudet olivat sekä keväällä että kesällä oikealla tasolla kaikilla kolmella mittauspisteellä. Ulommalla mittauspisteellä Haapasaarissa voidaan nähdä Nevan vaikutus kevään ravinnepitoisuuksiin mallilaskennassa. Kummankin laskentavuoden maaliskuussa mallissa näkyy voimakas mutta suhteellisen lyhytaikainen ravinnepitoisuuksien nousu. Mallisimulaatioiden animaatioiden perusteella Nevasta peräisin oleva pinnan lähellä kulkeva vesimassa tuo ravinteita alueelle. Keväällä tulva-aikaan Nevan keskivirtaama on jopa 3000 m³/s ja typpikuorma 70 000 kg/d. Kuten Porvoossa myös Kotkassa fosforimittauksissa esiintyy kesäkaudella mahdollisesti pintaan kumpuavan sisäisen kuormituksen tai kierrätetyn fosforin aiheuttamia pitoisuuden nousuja, joita malli ei pysty kuvaamaan.

Kasviplanktonin kevätkukinnan ajoitus oli mallissa kohdallaan noin viikon tarkkuudella. Jokisuistojen pisteillä Ängsössä ja Vehkaloudessa mallin ennustamat kevätkukinnan huiput olivat mittauksia suurempia. Tämä voi osittain johtua siitä, että näytteenotot eivät sattuneet samaan aikaan suurimpien biomassojen kanssa. On myös mahdollista, että mallityössä tehty oletus siitä, että kasviplankton pystyy käyttämään koko 20 m paksun pintakerroksen ravinnevarastoja hyväkseen, ei pidä täysin paikkaansa jokisuistojen lähiympäristössä. Kesäkaudella ulkomeren havaintopisteessä Haapasaarilla mallin ennustamat kasviplanktonbiomassat jäivät jonkin verran mittausta pienemmiksi. Vaihtelun syynä voi olla myös käytetty biomassa-klorofylli-regressio, joka on aina yksinkertaistus ja keskiarvoistus todellisesta, alueellisesti, ajallisesti ja lajiston mukaan vaihtelevasta suhteesta. Typeä sitovien sinilevien biomassoja ei päästy vertaamaan mittauksiin, koska havaintopisteiltä ei ollut käytettävissä mikroskoopilaskentojen tuloksia.

Kotkan malli pystyi kuvaamaan rihmaleväbiomassassa vuosien ja havaintopisteiden välillä havaitut erot erittäin hyvin. Jokivesien voimakkaasti kuormittamalla Vehkalouden pisteellä rihmalevä kasvoi molempina mallinnusvuosina vähemmän kuin ulkomereisessä Haapasaarten pisteessä. Vuonna 1999 molemmilla pisteillä kasvoi huomattavasti enemmän rihmalevää kuin vuonna 1998. Tämä on todennettavissa myös mittauksista. Myös rihmalevän kasvun ajoitus osuu mallissa hyvin yhteen mittausten kanssa.



Kuva 11. Kotkan ekosysteemimallin vuodelle 1998 laskemat ravinnepitoisuudet sekä planktonlevien ja Pilayella littoralis-rihmalevän biomassat verrattuna mittauksiin.



Kuva 12. Kotkan ekosysteemimallin vuodelle 1999 laskemat ravinnepitoisuudet sekä planktonlevien ja Pilayella littoralis-rihmalevän biomassat verrattuna mittauksiin.

3.3 Vesiensuojeluskenaarioiden vaikutukset

3.3.1 Vesiensuojelun tavoiteohjelma 2005

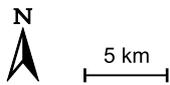
Vesiensuojelun tavoiteohjelman vaikutukset näyttävät mallilla laskettujen skenaarioiden mukaan keskittyvän Porvoon alueella sisälähdille ja Emäsalon ympäristöön (Kuva 13). Kasviplanktonin kokonaisbiomassassa tapahtuu yleisesti vähenemistä 5-15 %, mutta paikoin vähennykset voivat olla suurempia. Esimerkiksi Stensbölenselällä vähennys voi olla jopa 30 %. Rantavyöhykkeen rihmalevät vähenevät malliskenaarion mukaan suurimpien kuormittajien läheisyydessä 5-15 %. Porvoon kaupungin ja maalaiskunnan jätevesien nykyisten purkupaikkojen lähiympäristössä vähennys saattaa olla jopa yli 30 %. Jätevesien purkupaikan siirto Kilpilahdelle näkyy rihmalevien lisääntymisenä tällä alueella 2-10%. Rihmalevien lisääntymistä saattaa aiheuttaa myös Kilpilahdella tapahtuva kasviplanktonin kokonaisbiomassan voimakas väheneminen. Sameuden vähetessä rihmalevät saavat enemmän valoa ja kasvavat paremmin. Rihmalevätuloksia tulkittaessa täytyy muistaa, että malli kuvaa ainoastaan *Pilayella littoralis* -rihmalevän kasvupotentiaalissa tapahtuvia muutoksia. Mikäli matalilla ja mutapohjaisilla sisälähdillä ei ole rihmaleville sopivia kovia kiinnittymispintoja, muutokset (niin lisääntymiset kuin vähenemiset) jäävät puhtaasti teoreettiseksi. Typpeä sitovien sinilevien määrässä näyttää mallin mukaan tapahtuvan mahdollista lisääntymistä. Erityisesti rannikkoalueella sinilevien määrät ovat kuitenkin hyvin vähäisiä ja sinilevien lievä lisääntyminen ei ole merkittävää.

Kotkassa Vesiensuojelun tavoiteohjelman 2005 vaikutukset näyttävät mallilla laskettujen skenaarioiden mukaan keskittyvän lähinnä rannikkoalueille ja sisäsaaristoon (Kuva 14). Kasviplanktonin kokonaisbiomassassa tapahtuu vähenemistä 5-10 %. Rantavyöhykkeen rihmalevät vähenevät malliskenaarion mukaan kuormituspisteiden lähellä n. 5-10 %, mutta paikoin vähennys saattaa olla jopa 20 %. Typpeä sitovien sinilevien määrässä saattaa sen sijaan tapahtua paikoitellen lievää lisääntymistä lähinnä Kotkan länsipuolella.

3.3.2 Pietarin fosforinpoiston tehostaminen

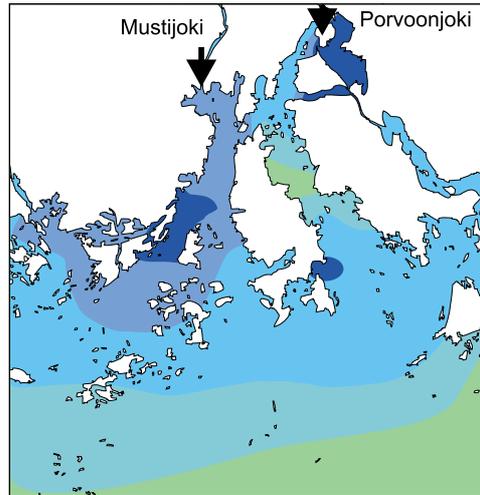
Pietarin fosforinpoiston tehostamisen vaikutus ulottuu mallissa jo yhden vuoden mallisimulaatioissa Porvoon ja Kotkan alueelle (Kuvat 13 ja 14). Kotimaisten toimenpiteiden vaikutuksien näkyessä rannikon lähellä, Pietarin fosforinpoisto vaikuttaa mallin mukaan sekä Kotkan että Porvoon saaristossa. Voimakkaimmat vaikutukset kohdistuvat typpeä sitovien sinilevien määrään, joka Porvoossa vähenee mallin mukaan 5-20%. Sinileviä vähentävä vaikutus näkyy myös sisempänä saaristossa Kilpilahdenselällä. Kotkan ulkosaaristossa vaikutus on vielä voimakkaampi, typpeä sitovien sinilevien biomassassa laskee mallin mukaan jopa 30%.

Vaikutukset kasviplanktonin kokonaismäärään ja rihmaleviin ovat Porvoossa vähäisiä ja jäävät muutamaan prosenttiin. Kotkassa voimakkaan kotimaisen kuorman vaikutusalueen ulkopuolella Haminasta itään ja Ahvenkoskenlahdelta länteen Pietarin toimenpiteiden vaikutukset ulottuvat mallin mukaan rannikolle asti. Vähennykset kasviplanktonin kokonaisbiomassassa ja rihmalevien määrässä ovat 5-15 % luokkaa. Itään päin mentäessä rihmalevien biomassassa vähennys voimistuu ja Virolahden edustalla on mallin mukaan jopa 20%.



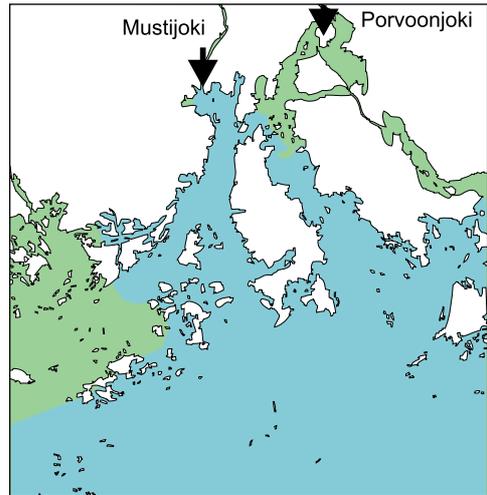
Kotimaisen vesiensuojelun tavoiteohjelman vaikutukset

Planktonlevien kokonaisbiomassa (ALG 1 + ALG 2)

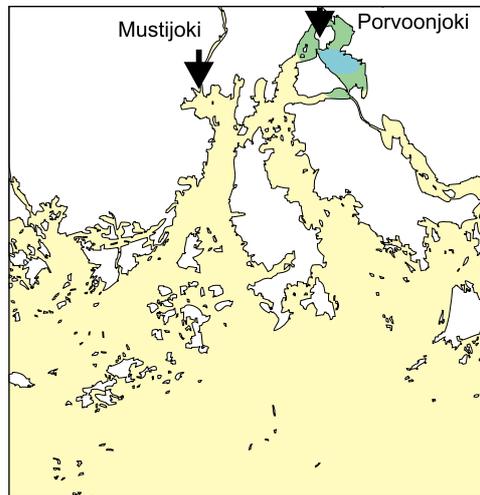


Pietarin tehostetun fosforinpoiston vaikutukset

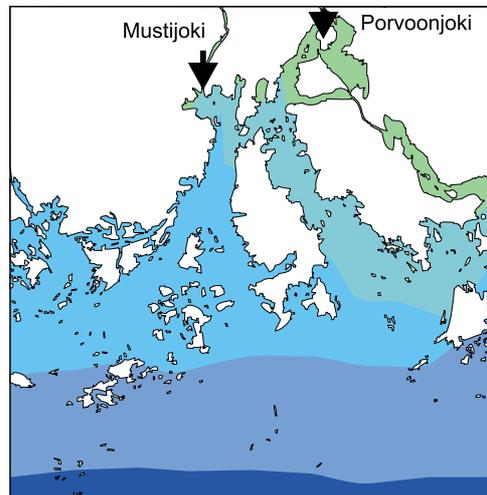
Planktonlevien kokonaisbiomassa (ALG 1 + ALG 2)



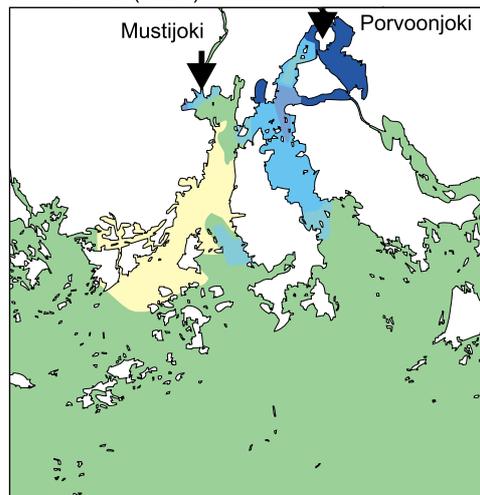
Typeä sitovat sinilevät (ALG 2)



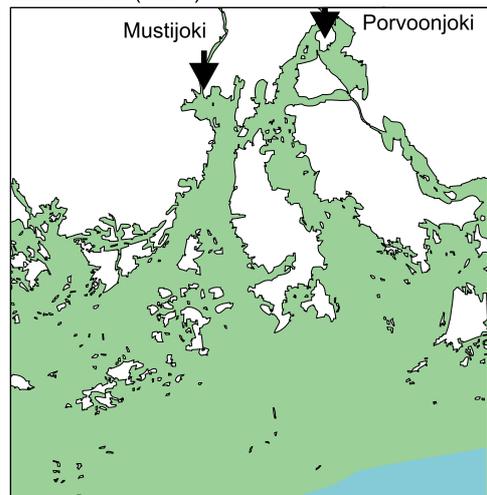
Typeä sitovat sinilevät (ALG 2)



Rihmalevät (FIL 1)



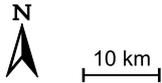
Rihmalevät (FIL 1)



Kuva 13. Kotimaisen vesiensuojelun tavoiteohjelman ja Pietarin fosforinpoiston vaikutukset planktonlevien kokonaisbiomassa, rihmaleviin (Pilayella littoralis) ja typeä sitoviin sinileviin Porvoon alueella.

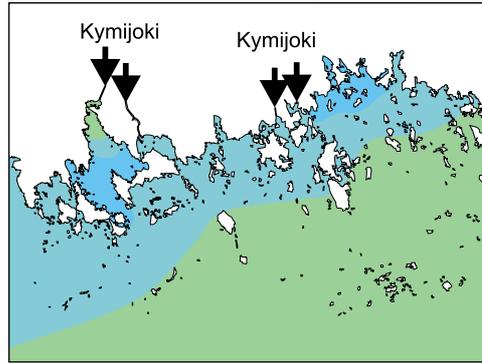
Biomassan väheneminen

- Yli 15%
- 10 - 15%
- 5 - 10%
- 2 - 5%
- Ei muutosta
- Mahdollinen lisäys



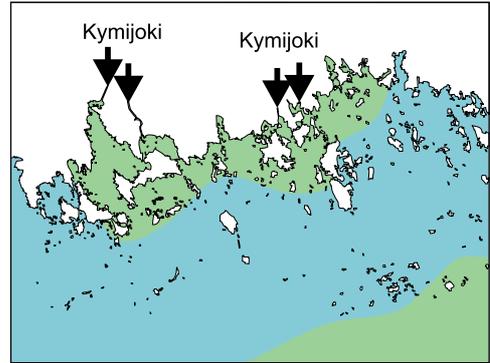
Kotimaisen vesiensuojelun tavoiteohjelman vaikutukset

Planktonlevien kokonaisbiomassa (ALG 1 + ALG 2)

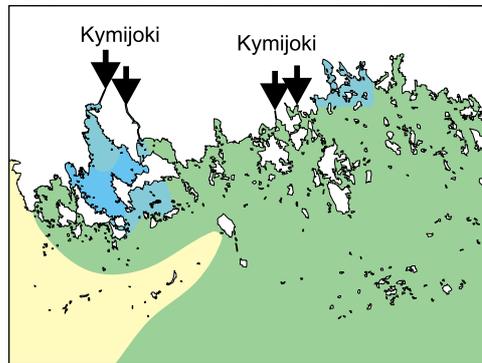


Pietarin tehostetun fosforinpoiston vaikutukset

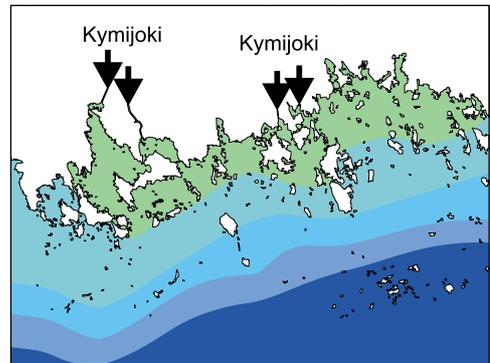
Planktonlevien kokonaisbiomassa (ALG1 + ALG2)



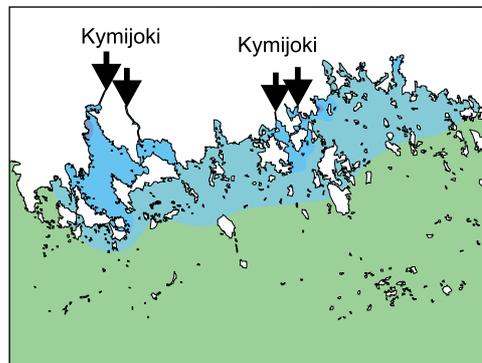
Typpeä sitovat sinilevät (ALG 2)



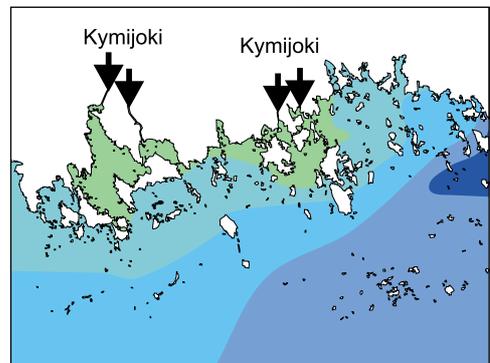
Typpeä sitovat sinilevät (ALG 2)



Rihmalevät (FIL 1)



Rihmalevät (FIL 1)



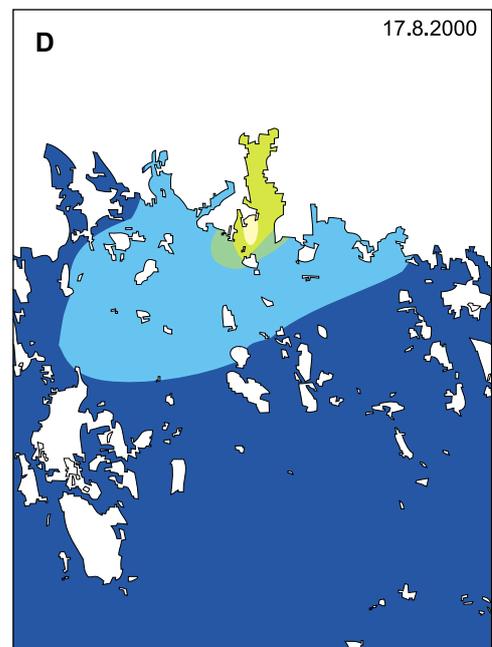
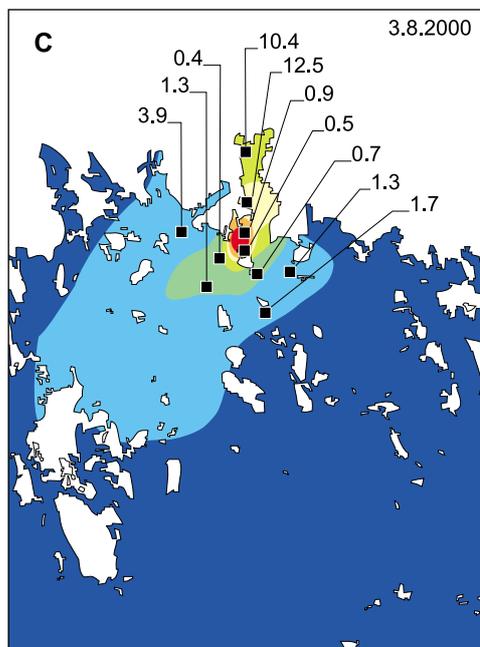
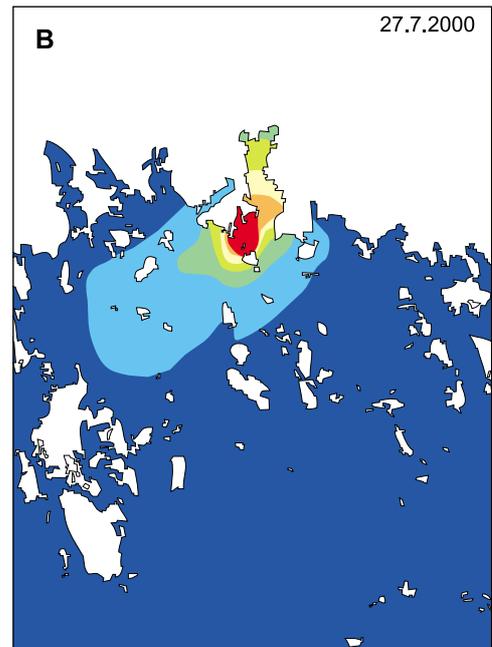
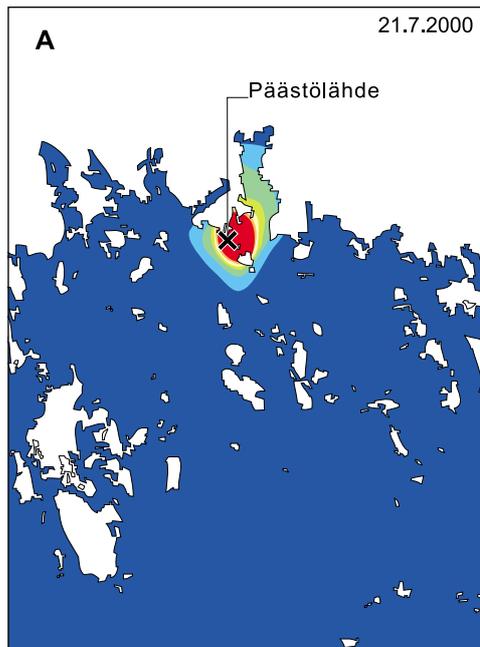
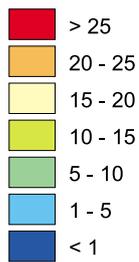
Kuva 14. Kotimaisen vesiensuojelun tavoiteohjelman ja Pietarin fosforinpoiston vaikutukset planktonlevien kokonaisbiomassa, rihmaleviin (*Pilayella littoralis*) ja typpeä sitoviin sinileviin Kotkan alueella.

3.4 Haminan myrkkyvuoto

Kotkan merialueen vesistömallilla laskettiin Haminan onnettomuudessa mereen päässeeseen vesiliukoisen nonyylifenolietoksyylaatin leviämistä virtausten mukana. Kuvassa 15 (A-D) on esitetty leviämistilanteet onnettomuutta seuraavana päivänä sekä viikon, kahden viikon ja kuukauden kuluttua onnettomuudesta. Onnettomuutta seuraavana päivänä Kaakkois-Suomen ympäristökeskus mittasi satama-alueelta 8-22 mg l⁻¹ nonyylifenolietoksyylaattipitoisuuksia. Kahden viikon kuluttua suoritettiin tarkempia mittauksia ympäröivältä merialueelta kolmeltatoista pisteeltä. Tällöin mitattiin nonyylifenolia eli nonyylifenolietoksyylaatin tärkeintä hajoamistuotetta. Mittausarvot on merkitty mallikuvaan C. Mallin laskemat pitoisuudet ovat oikeassa suuruusluokassa. Tulos on silti vain suuntaa-antava, koska nonyylifenolietoksyylaatin hajoamista nonyylifenoliksi tai muitakaan prosesseja (haihdunta jne.) ei voitu ottaa mallissa huomioon. Myöskään molekyyylimassapainotteista korjausta ei voitu tehdä, koska nonyylifenolietoksyylaatin etoksiryhmien määrä vaihtelee välillä 2-30. Yksinkertainen, huonosti hajoavan aineen kulkeutumislaskenta antaa kuitenkin melko hyvän kuvan leviämisalueen laajuudesta ja kulkeutumisen nopeudesta. Tällä voi onnettomuustilanteessa olla merkitystä, kun määritellään varoaluetta ja näytteenottopisteitä. NFE:n hajoamistuote NF on huonosti hajoava.

Vielä kuukauden kuluttua onnettomuudesta Haminan alueella oli mallin mukaan pieniä pitoisuuksia laskettua ainetta (4-6 mg l⁻¹). Koska jo hyvin pienilläkin pitoisuuksilla voi olla eliöihin hormonaalisia vaikutuksia, onnettomuudella saattaa ainakin teoriassa olla pidempiaikaisia vaikutuksia alueen ekosysteemiin.

NF / NFE
pitoisuus
($\mu\text{g dm}^{-3}$)



Kuva 15. Haminan myrkyonnettomuudesta tehdyn yksinkertaisen kulkeutumislaskennan leviämistilanteet onnettomuutta seuraavana päivänä (A) sekä viikon (B), kahden viikon (C) ja kuukauden (D) kuluttua onnettomuudesta. Kuvaan C on vertailuksi merkitty mitattuja pitoisuuksia.

Johtopäätökset

Mallitulosten mukaan kotimaisilla toimenpiteillä saavutetaan parannuksia vedenlaadussa ennen kaikkea planktonlevien kokonaisbiomassan ja rihmalevien vähenemisenä rannikkoalueilla ja sisäsaaristossa. Toisaalta typen vähentämiseen painottuvat toimenpiteet saattavat mahdollisesti lisätä sinilevien määrää ravinnesuhteiden muuttuessa. Rannikkoalueilla ja sisäsaaristossa sinileväbiomassat ovat kuitenkin usein luonnostaan vähäisiä. Sinilevien kasvua hillitsee pidemmällä tähtäimellä kuormituksen laskua seuraava pohjien kunnon paraneminen. Planktonlevien kokonaisbiomassan pienentyessä pohjalle päätyy vähemmän happea kuluttavaa hajotettavaa materiaalia. Kun pohjien happitilanne paranee, vähenee myös hapettomien pohjien aiheuttama sisäinen fosforikuormitus. Sisäisen fosforikuorman laskun pitäisi näkyä pidemmällä aikavälillä myös typpeä sitovien sinilevien vähenemisenä. Nykyinen ekosysteemimalli ei pysty kuvaamaan tätä vaikutusta. Rannikkoalueilla kotimaisten toimenpiteiden vaikutukset ovat tärkeitä, sillä rannikon käyttäjien mielestä rantojen limoittuminen lisääntyneiden rihmalevien seurauksena sekä veden sameus, johon vaikuttaa nimenomaan planktonlevien kokonaisbiomassa, on kyselyssä koettu haitallisimmaksi (Kiirikki ym. 2000).

Pietarissa toteutettavat vesiensuojelutoimenpiteet näkyvät välittömästi itäisen Suomenlahden veden laadussa. Kun mallisimulaatioita jatketaan talvikauden yli, ravinteet ja samalla myös toimenpiteiden vaikutukset kulkeutuvat tehokkaasti länttä kohti Suomenlahden rannikkovirtauksen mukana. Yhden vuoden simulaatiossa vaikutukset ulottuvat Porvoon merialueelle asti. Molemmilla malleilla vaikutukset näkyvät ulompana kuin kotimaiset toimenpiteet. Varsinkin avomerellä voimakkaasti kasvavat sinilevät vähenevät, sillä Pietarissa toteutettava kemiallinen fosforinpoisto vähentää nimenomaan fosforikuormitusta. Tällä on mallin mukaan välittömiä vaikutuksia sinilevien määrään myös Suomen aluevesillä. Pietarissa ollaan tulevaisuudessa toteuttamassa myös muita toimenpiteitä, joilla pyritään saamaan puhdistuksen piiriin tällä hetkellä puhdistamattomia jätevesiä sekä tehostamaan puhdistusta niin typen kuin fosforinkin osalta. Suomenlahden tilan kannalta on oleellista vähentää niin typen kuin fosforinkin kuormitusta Suomessa, Venäjällä ja Virossa.

Sekä Porvoon että Kotkan merialueen paikallismalleilla lasketut tulokset ovat pitkälti samansuuntaisia koko Suomenlahden mittakaavassa tehdyn malliarvion kanssa (ks. Kiirikki ym. 2000). Paikallismallien tuoma lisätieto ja vahvuus onkin portaittain tarkentuvan hilarakenteen ansiosta tarkempi arvio vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutuksista rannikkoalueelle ja eri saaristovyöhykkeisiin. Malli pystyi tuottamaan kohdallisen hyvällä tarkkuudella todelliset, luonnossa tapahtuvat ilmiöt. Sen sijaan mallin antamiin arvioihin vaikutusten paikasta ja ajallisesta skaalasta tulee suhtautua suuntaa-antavina.

Tulevaisuudessa paikallismalleihin tulisi saada pohjan prosesseja kuvaava sedimenttimalliosio. Tällöin fosforin kierto ja sisäisestä kuormituksesta johtuvat ilmiöt saataisiin kuvattua nykyistä paremmin. Myös detritukseen sitoutuneen fosforin kiertoa erityisesti matalilla rannikkoalueilla tulisi parantaa.

Myös laskenta-ajan pidentäminen on paikallismallien kehityksessä otettava huomioon. Yhden kasvukauden laskennoilla päästään tarkastelemaan välittömiä toimenpiteiden vaikutuksia. Useamman vuoden tai jopa vuosikymmenen kuluessa vai-

kutukset saattavat kuitenkin olla hyvin erilaisia, jopa täysin päinvastaisia. Karkeamman resoluution malleilla pystytään jo laskemaan useita vuosia. Tämä ominaisuus tulisi saada myös paikallismalleihin. Pidempää laskentaa voidaan aluksi suorittaa siten, että paikallismalleihin siirretään alkuarvot karkeamman resoluution mallien useamman vuoden laskennoista ja viimeinen, tarkentava vuosi lasketaan paikallismalleilla.

Kotkan ja Porvoon edustan merialueiden paikallismallien kehitys Suomenlahti-mallin pohjalta ja mallien soveltaminen käytäntöön antoivat lisätietoa näiden rannikkoalueiden rehevöitymiskehityksestä ja mahdollisuuksista vaikuttaa siihen. Esimerkitapaukset osoittivat sekä mallinnuksen monimutkaisuuden että eri toimenpiteiden tarpeellisuuden merialueen tilan parantamiseksi. Mallien siirto alueellisiin ympäristökeskuksiin luo edellytykset kehittää paikallismalleja jatkossa myös loppukäyttäjien kokemusten pohjalta.

Kirjallisuus

- Anonyymi (1997). Porvoon edustan merialueen tarkkailu vuonna 1996. Porvoon seudun jätevesityöryhmän suppea vuosiyhteenveto 29 s. Vesihydro Oy.
- Anonyymi (1998a). Porvoon edustan merialueen tarkkailu vuonna 1997. Porvoon seudun jätevesityöryhmän suppea vuosiyhteenveto 29 s. Vesihydro Oy.
- Anonyymi (1998b). Vesiensuojelun tavoitteet vuoteen 2005. Suomen ympäristö 226: 1-82.
- Antikainen, S., Vuoristo, H., Joukola, M. & Raateland, A. (1999). Vesien laatu 1994-1997. Suomen ympäristökeskuksen julkaisema värillinen esite. 6 sivua. Painotalo Miktor, Helsinki.
- Canale, R.P. & Auer, M.T. (1982). Ecological studies and mathematical modeling of *Cladophora* in Lake Huron: 5. Model development and calibration. *Journal of Great Lakes Research* 8: 112-125.
- Ekholm, P. (1994). Bioavailability of phosphorus in agriculturally loaded rivers in southern Finland. *Hydrobiologia* 287:179-194.
- Ekholm, P. & Krogerus, K. (1998). Bioavailability of phosphorus in purified municipal waste waters. *Wat. Res.* 32:343-351.
- Forsius, J. (1986): Vedenvaihdunta Porvoonjoen edustalla. Selvitys virtausmittauksista Emäsalon selällä 1986. Tutkimusraportti. Vesi- ja ympäristöhallitus, hydrologian toimisto.
- Garber, J.H. (1984). Laboratory study of nitrogen and phosphorus remineralisation during the decomposition of coastal plankton and seston. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 18: 685-702.
- Haapala, J. (1994). Upwelling and its influence on nutrient concentrations in the coastal area of the Hanko Peninsula, entrance of the Gulf of Finland. *Estuar Coast Shelf Sci* 38: 507-521.
- Heinänen, A. & Kuparinen, J. (1992). Response of bacterial thymidine and leucine incorporation to nutrient (NH₄, PO₄) and carbon (sucrose) enrichment. *Arch. Hydrobiol. Beih.* 37: 241-251.
- Heiskanen, A.-S. & Tallberg, P. (1999). Sedimentation and particulate nutrient dynamics along a coastal gradient from a fjord-like bay to the open sea. *Hydrobiologia* 393: 127-140.
- Inkala, A. & Myrberg, K. (2002). Comparison of hydrodynamical models of the Gulf of Finland in 1995 – a case study. *Environmental Modelling & Software* 17:237-250.
- Kauppila, P. & Bäck, S. (2001). State of the Finnish coastal waters in the 1990s. *Suomen Ympäristö* 472:1-134.
- Kiirikki, M. (1996). Experimental evidence that *Fucus vesiculosus* (Phaeophyta) controls filamentous algae by means of the whiplash effect. *European Journal of Phycology* 31: 61-66.
- Kiirikki, M., Haapamäki, J., Koponen, J., Ruuskanen, A. & Sarkkula, J. (1998). Linking the growth of filamentous algae to the 3D-Ecohydrodynamic model of the Gulf of Finland. *Environmental Modelling & Software* 13: 503-510.
- Kiirikki, M., Westerholm, L. & Sarkkula, J. (2000). Suomenlahden levähaittojen vähentämismahdollisuudet. *Suomen Ympäristö* 416:1-36.
- Kiirikki, M., Inkala, A., Kuosa, H., Pitkänen, H., Kuusisto, M. & Sarkkula, J. (2001a). Evaluating the effects of nutrient load reductions on the biomass of toxic nitrogen-fixing cyanobacteria in the gulf of Finland, Baltic Sea. *Boreal Environment Research* 6:1-16.
- Kiirikki, M., Välipakka, P., Korpinen, P., Koponen, J. & Sarkkula, J. (2002). 3D-Ecosystem models as decision support tools in the Gulf of Finland-Kotka archipelago as an example. In: Schernewski, G., Schiewer, U. (eds.) *Baltic Coastal Ecosystems – Structure, function and coastal zone management*. CEEDES Central and Eastern Europe development studies. Springer. pp 293-309.
- Kononen, K. & Leppänen, J.-M. (1997). Patchiness, scales and controlling mechanisms of cyanobacterial blooms in the Baltic Sea: Application of a multiscale research strategy. Teoksessa: Kahru M, Brown CW (toim.) *Monitoring algal blooms: New techniques for detecting large-scale environmental change*. Landes Bioscience. Austin.
- Koponen, J., Alasaarela, E., Lehtinen, K., Sarkkula, J., Simbierowicz, P., Vepsä, H. & Virtanen, M. (1992). Modelling the Dynamics of a Large Sea Area, Bothnian Bay Research Project 1988–90. *Publications of the Water and Environment Research Institute* 7:1-91. National Board of Waters and the Environment, Helsinki, Finland.

- Korpinen, P., Kiirikki, M., Koponen, J., Peltoniemi, H. & Sarkkula, J. (2001). Evaluation and control of eutrophication in Helsinki sea area with help of a nested 3D-ecohydrodynamic model. Proceedings of the 5th International Marine Environmental Modelling Seminar, October 9-11 2001. New Orleans, Louisiana, USA. SINTEF Applied Chemistry [Oslo]. pp. 25-38.
- Korpinen, P., Koponen, J., Kiirikki, M., Sarkkula, J., Peltoniemi, H., Väänänen, P. & Gästgifvars M. (2002). HESPO vesistömalli: Ympäristöriskien ja rehevöitymiskehityksen arviointi Helsinki-Espoo-Tallinna merialueella. Suomen Ympäristö 559:1-46.
- Kuusisto, M. (1997). Suomenlahden kasviplankton- ja ravinne-dynamiikka – vedenlaatumallisuus. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu.
- Myrberg, K. (1997). Testing of a two-layer hydrodynamic model in the Gulf of Finland with different atmospheric forcings. *Geophysica* 33(2):69-98.
- Olli, K., Heiskanen, A.-S. & Seppälä, J. (1996). Development and fate of *Eutreptiella gymnastica* bloom in nutrient enriched enclosures in the coastal Baltic Sea. *Journal of Plankton Research* 18: 1587-1604.
- Pitkänen, H., Kangas, P., Sarkkula, J., Lepistö, L., Hällfors, G. & Kauppila, P. (1990). Vedenlaatu ja rehevyys Itäisellä Suomenlahdella. Raportti vuosien 1987-88 tutkimuksista. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja. Sarja A 50:1-134.
- Pitkänen, H. (1994). Eutrophication of the Finnish coastal waters: Origin, fate and effects of riverine nutrient fluxes. Publications of the Water and Environment Research Institute. 18:1-45.
- Pitkänen, H., Kondratyev, S., Lääne, A., Gran, V., Kauppila, P., Loigu, E., Macrovetts, I., Pachel, K. & Rummyantsev, V. (1997). Pollution load on the Gulf of Finland from Estonia, Finland and Russia in 1985-1995. Suomen ympäristökeskuksen monistesarja 105: 9-18.
- Pitkänen, H. & Välipakka, P. (1997). Extensive deep water oxygen deficit and benthic phosphorus release in the eastern Gulf of Finland in late summer 1996. Suomen ympäristökeskuksen monistesarja 105: 51-59.
- Pitkänen, H., Lehtoranta J. & Räsänen, A. (2001). Internal nutrient fluxes counteract decreases in external load: The case of the estuarial Eastern Gulf of Finland, Baltic Sea. *Ambio-Stockholm* 30:195-201.
- Rautalahti-Miettinen, E., Rautiainen, M., Sarkkula, J. & Virtanen, M. (1986). Kotkan edustan merialueen vedenlaatumalli. Vesihallituksen monistesarja 252.
- Redfield, A.C. (1958). The biological control of chemical factors in the environment. *Am. Sci.* 46: 205-221.
- Reed, R.D. & Barron, J.A. (1983). Physiological adaptation to salinity change in *Pilayella littoralis* from marine and estuarine sites. *Botanica Marina* 26: 409-416.
- Silvo, K., Melanen, M., Gynther, L., Torkkeli, S., Seppälä, J., Kärmeniemi, T. & Pesari, J. (2000). Yhtenäinen päästöjen ja ympäristövaikutusten arviointi. Lähestymistapoja ympäristölupaprosessin tueksi. Suomen ympäristö 373:1-252.
- Tyrrell, T. (1999). The relative influence of nitrogen and phosphorus on the oceanic primary production. *Nature* 400: 525-531.
- Wallentinus, I. (1978). Productivity studies on Baltic macroalgae. *Botanica Marina* 21: 365-380.
- Wallentinus, I. (1979). Environmental influences on benthic macrovegetation in the Trosa-Askö area, northern Baltic Proper II. The ecology of macroalgae and submersed phanerogams. *Contributions Askö Laboratory* 25: 1-210.

Kuvailulehti

Julkaisija	Suomen ympäristökeskus (SYKE)	Julkaisuaika	Lokakuu 2002
Tekijä(t)	Päivi Korpinen, Mikko Kiirikki, Jorma Koponen, Juha Sarkkula ja Paula Väänänen		
Julkaisun nimi	Rehevöitymiskehityksen arviointi Kotkan ja Porvoon merialueilla 3D-vesistömallien avulla		
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut	Julkaisu on saatavana myös internetistä: http://www.ymparisto.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy587/sy587.htm		
Tiivistelmä	<p>Pääosa rannikkovesistämme on selvästi rehevöitynyt verrattuna avomerialueisiin. Kotkan ja Porvoon edustan merialueille kehitettiin mallityökalut rehevöitymiskehityksen arvioimiseksi. Portaittaisesti tarkentuva malli mahdollistaa suuren erotuskyvyn hyödyntämisen rannikkoalueella, mutta samalla myös koko merialue saadaan mallinnukseen mukaan. Mallia voidaan hyödyntää vesiensuojelun suunnittelun ja päätöksenteon apuvälineenä.</p> <p>Tässä työssä ekosysteemimallilla tarkasteltiin kahden vesiensuojeluskenaarion vaikutuksia kasviplanktonin ja rantavyöhykkeen rihmalevien määrään. Malleja käytettiin esimerkin omaisesti kotimaisten vesiensuojelutoimenpiteiden (Vesiensuojelun tavoiteohjelma 2005) ja Pietarissa toteutettavien toimenpiteiden (fosforinpoiston tehostaminen nykyisillä puhdistamoilla) vaikutusten arviointiin.</p> <p>Kotkan ja Porvoon edustan merialueiden paikallismallien kehitystyö ja mallien soveltaminen käytäntöön antoivat lisätietoa näiden rannikkoalueiden tilasta ja mahdollisuuksista vaikuttaa siihen. Mallitulosten mukaan kotimaisilla toimenpiteillä saavutetaan parannuksia vedenlaadussa ennen kaikkea planktonlevien kokonaisbiomassan ja rihmalevien vähenemisenä rannikkoalueilla ja sisäsaaristossa. Toisaalta typen vähentämiseen painottuvilla toimenpiteillä ei saada parannusta avomeren tyypeä sitovien sinilevien osalta. Pietarissa toteutettavat vesiensuojelutoimenpiteet näkyvät itäisen Suomenlahden veden laadussa ja jo vuoden laskennassa myös Porvoon merialueella. Molemmilla malleilla vaikutukset näkyvät ulompana kuin kotimaiset toimenpiteet. Varsinkin avomerellä voimakkaasti kasvavat sinilevät vähenevät, sillä Pietarissa toteutettava kemiallinen fosforinpoisto vähentää nimenomaan fosforikuormitusta.</p>		
Asiasanat	vesistökuormitus, väheneminen, vesiensuojelu, vesistömallit, mallit, Suomenlahti		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 587		
Julkaisun teema	Ympäristönsuojelu		
Projektihankkeen nimi ja projektinumero	Porvoon virtaus- ja vedenlaatumalli A04012 ja Kotkan virtaus- ja vedenlaatumalli XB355		
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Uudenmaan ympäristökeskus ja Kaakkois-Suomen ympäristökeskus		
Projektiryhmään kuuluvat organisaatiot	Suomen ympäristökeskus, Ympäristövaikutusten Arviointikeskus Oy, Uudenmaan ympäristökeskus, Kaakkois-Suomen ympäristökeskus		
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-1257-3 (nid.) 952-11-1258-1 (PDF)	
	Sivuja 39	Kieli Suomi	
	Luottamuksellisuus Julkinen	Hinta 19 e	
Julkaisun myynti/ jakaja	Edita Publishing Oy, PL 800, 00043 EDITA, vaihde 020 450 00. Asiakaspalvelu: puh. 020 450 05, faksi 020 450 2380. Sähköposti: asiakaspalvelu@edita.fi, www.edita.fi/netmarket		
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus (SYKE) Mechelininkatu 34 a, PL 140, 00251 Helsinki		
Painopaikka ja -aika	Dark Oy Vantaa		

Presentationssblad

Utgivare	Finlands miljöcentral (SYKE)	Datum	Oktober 2002
Författare	Päivi Korpinen, Mikko Kiirikki, Jorma Koponen, Juha Sarkkula och Paula Väänänen		
Publikationens titel	Bedömning av eutrofieringsutvecklingen i havsområdena utanför Kotka och Borgå med 3D-vattendragsmodeller		
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt	Publikationen finns tillgänglig på internet http://www.ymparisto.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy587/sy587.htm		
Sammandrag	<p>Största delen av våra kustvatten är tydligt eutrofierade jämfört med det öppna havet. För havsområdena utanför Kotka och Borgå utvecklades modellverktyg för bedömning av eutrofieringsutvecklingen. Modellen, som har inneboende en skärpning som sker stegvis, gör det möjligt att använda en stor upplösningsförmåga på kustområdena, men samtidigt fås hela havsområdet med i modellen. Modellen kan utnyttjas som hjälpmedel vid planering och beslutsfattning.</p> <p>I detta arbete undersökte man vilka effekter två vattenskyddsskenarier hade på mängderna växtplankton och strandzonens trådalger. Modellerna användes för bedömning av konsekvenserna av de inhemska vattenskyddsåtgärderna (Målprogrammet för vattenskydd 2005) och åtgärderna i St Petersburg (effektivering av fosforreduktion vid de nuvarande reningsverken) som exempel.</p> <p>Utvecklandet och omsättandet i praktiken av de lokala modellerna för havsområdena utanför Kotka och Borgå gav tilläggsinformation om dessa havsområdens tillstånd och möjligheterna att påverka det. Enligt resultaten från modellerna erhåller man med inhemska åtgärder förbättringar i vattenkvaliteten i synnerhet som en minskning av planktonalgernas totala biomassa och av trådalger i kustområdena och den inre skärgården. Å andra sidan leder åtgärder som inriktar sig på minskning av kväve inte till en förbättring när det gäller det öppna havets kvävefixerade blågrönalger. Vattenskyddsåtgärderna i St Petersburg syns i östra Finska vikens vattenkvalitet redan med ett års resultat också i vattnen utanför Borgå. Med de båda modellerna syns resultaten längre ut till havs än de inhemska åtgärdernas resultat. I synnerhet på det öppna havet minskar de kraftigt växande blågrönalgerna, då den kemiska reningen i St Petersburg minskar speciellt fosforbelastningen.</p>		
Nyckelord	vattendragsbelastning, minskning, eutrofiering, vattenskydd, modeller, vattendragsmodeller, Finska viken		
Publikationsserie och nummer	Miljö i Finland 587		
Publikationens tema	Miljövård		
Projektets namn och nummer			
Finansiär/ uppdragsgivare			
Organisationer i projektgruppen			
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-1257-3 (nid.) 952-11-1258-1 (PDF)	
	Sidantal 39	Språk Finska	
	Offentlighet Offentlig	Pris 19 e	
Beställningar/ distribution	Edita Publishing Ab, PB 800, 00043 EDITA, växel 020 450 00. Postförsäljningen: Telefon 020 450 05, fax 020 450 2380. Internet: www.edita.fi/netmarket		
Förläggare	Finlands miljöcentral, Mechelingatan 34 a, PB 140, 000251 Helsingfors		
Tryckeri/ tryckningsort och -år	Dark Oy Vanda		

Documentation page

Publisher	Finnish Environment Institute (SYKE)	Date	October 2002
Author(s)	Päivi Korpinen, Mikko Kiirikki, Jorma Koponen, Juha Sarkkula and Paula Väänänen		
Title of publication	The evaluation of eutrophication in Porvoo and Kotka sea areas with help of 3D-water system models		
Parts of publication/ other project publications	The publication is available in the internet: http://www.ymparisto.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy587/sy587.htm		
Abstract	<p>The major part of our coastal waters is evidently eutrofied compared to the open sea areas. Two separate model tools were developed to Kotka and Porvoo sea areas to help in evaluation of eutrophication. Nesting makes it possible to have a good resolution in the area of interest and also to include larger sea areas to the model. The model can be utilized in planning and decision-making of water protection.</p> <p>Analyzing ecological effects of two nutrient load reduction scenarios on the phytoplankton and littoral filamentous algal biomasses demonstrated the use of the models. The two evaluated scenarios were Finnish national water protection measures and the process improvements in the existing wastewater treatment plants of St Petersburg.</p> <p>The development of the local model applications of Kotka and Porvoo sea areas and applying them in practice gave additional information about the state of these coastal areas and about the possibilities to influence on it. According to the model results the Finnish national water protection measures will have positive effects on the quality of water by reducing the total biomass of phytoplankton and the biomass of filamentous algae in coastal areas and inner archipelago. However, nitrogen emphasized measures do not have an effect on the nitrogen fixing cyanobacteria in the open sea areas. The effects of the measures carried out in St Petersburg can be seen in the eastern part of the Gulf of Finland, and after one-year calculation in the Porvoo sea area. Both models show that the effects will take place in the outer sea areas than the national measures. The biomass of cyanobacteria growing in the open sea areas will diminish, for the chemical phosphorus removal carried out in St Petersburg will cut down the phosphorus load in particular.</p>		
Keywords	eutrophication, loading, reduction, water protection, modeling, models, Gulf of Finland		
Publication series and number	The Finnish Environment 587		
Theme of publication	Environment Protection		
Project name and number, if any			
Financier/ commissioner			
Project organization			
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-1257-3 (nid.) 952-11-1258-1 (PDF)	
	No. of pages 39	Language Finnish	
	Restrictions Public	Price 19 e	
For sale at/ distributor	Edita Publishing Ltd. - P.O.Box 800, FIN-00043 EDITA, Finland, Phone +358 20 450 00. Mail orders: Phone +358 20 450 05, fax +358 20 450 2380. Internet: www.edita.fi/netmarket		
Financier of publication	Finnish Environment Institute, Mechelininkatu 34 a, P.O.Box 140, FIN-00251 Helsinki, Finland		
Printing place and year	Dark Oy Vantaa		



Rehevöitymiskehityksen arviointi Kotkan ja Porvoon merialueilla 3D-vesistömallin avulla

Kotkan ja Porvoon edustan merialueille kehitettiin portaittaisesti tarkentuvat mallityökalut rehevöitymiskehityksen arvioimiseksi. Portaittaisesti tarkentuva malli mahdollistaa suuren erotuskyvyn hyödyntämisen rannikkoalueella, mutta samalla myös koko merialue saadaan mallinnukseen mukaan. Mallia voidaan hyödyntää vesiensuojelun suunnittelun ja päätöksenteon apuvälineenä. Tässä työssä ekosysteemimallilla tarkasteltiin kahden vesiensuojeluskenaarion vaikutuksia kasviplanktonin ja rantavyöhykkeen rihmalevien määrään. Malleja käytettiin esimerkiksi kotimaisten vesiensuojelutoimenpiteiden (Vesiensuojelun tavoiteohjelma 2005) ja Pietarissa toteutettavien toimenpiteiden (fosforinpoiston tehostaminen nykyisillä puhdistamoilla) vaikutusten arviointiin.

Mallitulosten mukaan kotimaisilla toimenpiteillä saavutetaan parannuksia vedenlaadussa ennen kaikkea planktonlevien kokonaisbiomassan ja rihmalevien vähenemisenä rannikkoalueilla ja sisäsaaristossa. Toisaalta typen vähentämiseen painottuvilla toimenpiteillä ei saada parannusta avomeren tyypeä sitovien sinilevien osalta. Pietarissa toteutettavat vesiensuojelutoimenpiteet näkyvät itäisen Suomenlahden veden laadussa ja jo vuoden laskennassa myös Porvoon merialueella. Molemmilla malleilla vaikutukset näkyvät ulompänä kuin kotimaiset toimenpiteet. Varsinkin avomerellä voimakkaasti kasvavat sinilevät vähenevät, sillä Pietarissa toteutettava kemiallinen fosforinpoisto vähentää nimenomaan fosforikuormitusta.

Julkaisu on saatavana myös internetissä:
<http://www.ymparisto.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy587/sy587.htm>

ISBN 952-11-1257-3(nid.)
 ISBN 952-11-1258-1 (PDF)
 ISSN 1238-7312

Edita Publishing Oy
 PL 800, 00043 EDITA, vaihe 020 450 00
 Asiakaspalvelu:
 puhelin 020 450 05, faksi 020 450 2380
 Edita-kirjakauppa Helsingissä:
 Annankatu 44, 020 450 2566

