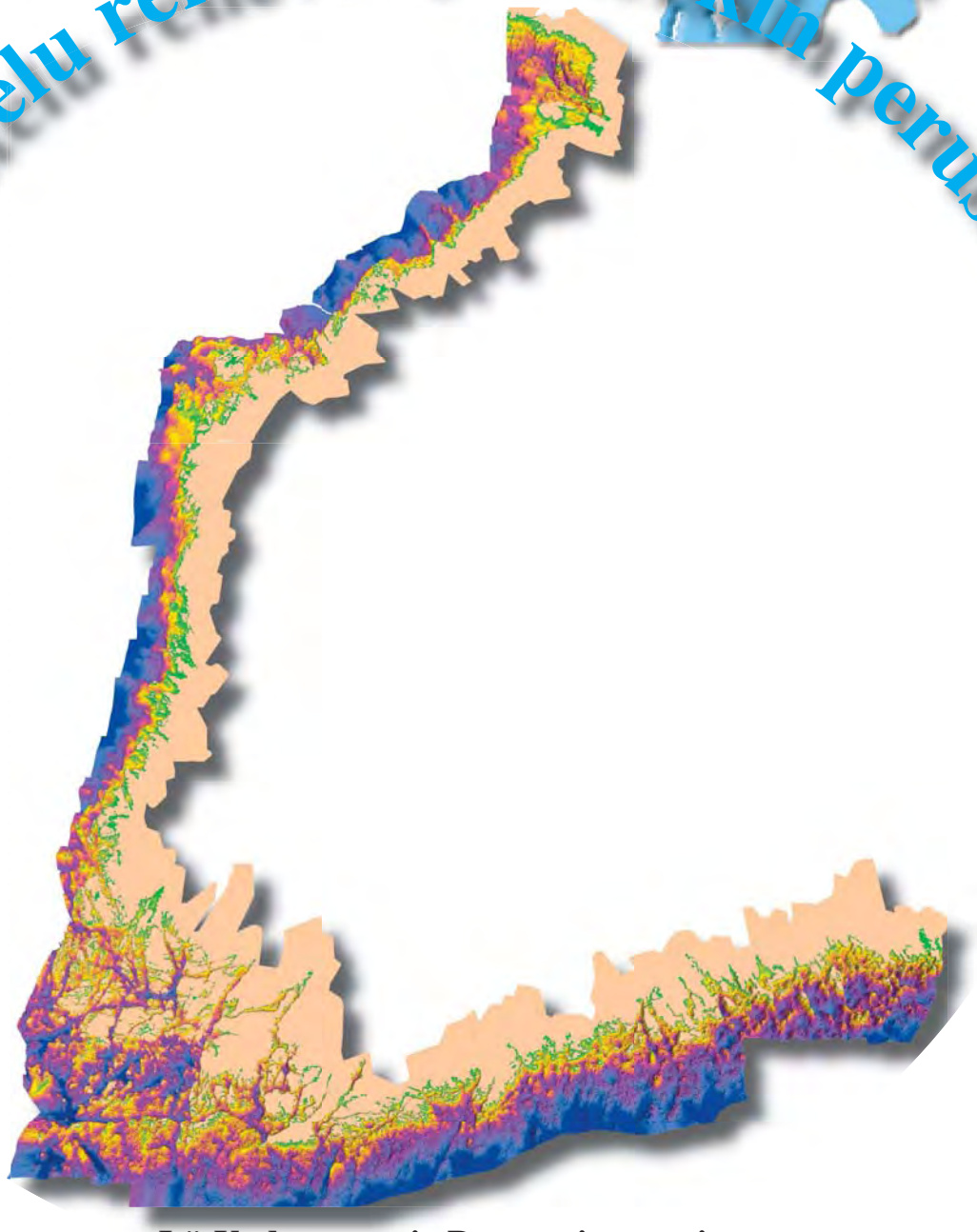
Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen
vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y.
Jokikatu 17, 06100 PORVOO

Föreningen vatten- och luftvård
för Östra Nyland och Borgå å r.f.
Ågatan 17, 06100 BORGÅ

Suomen rannikkoalueen luokittelu rehevöitymisriskin perusteella



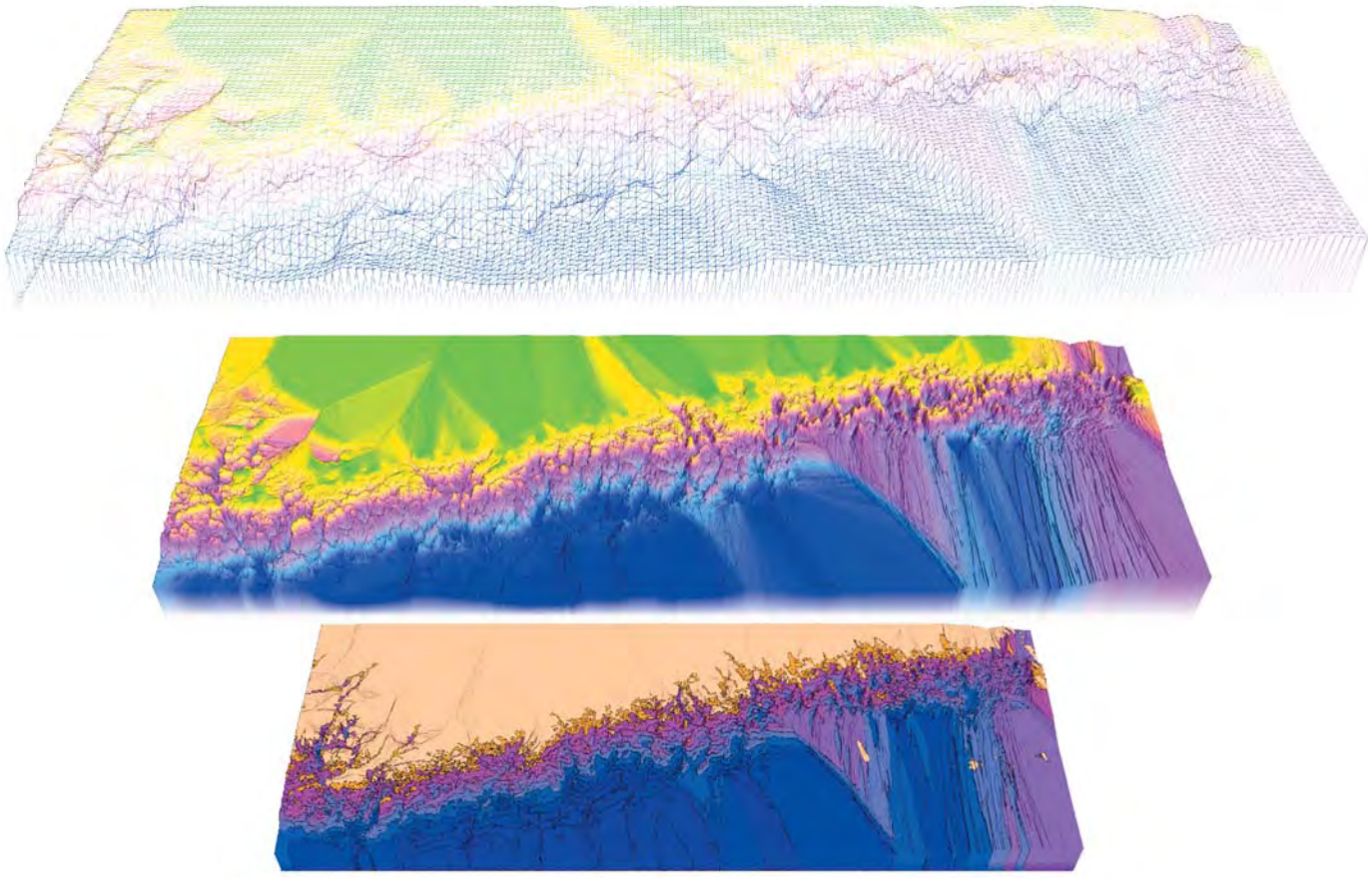
Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y.
Mikael Henriksson, Tero Myllyvirta
2006

Suomen rannikkoalueen luokittelu rehevöitymisriskin perusteella

Kartta-aineisto on tuotettu lupaan nro MKL 80/721/2002 ja 402/721/2004 perustuen Merenkulkulaitoksen tekijänoikeudella suojatusta merikartta-aineistosta ja sisältää siten tekijänoikeudella suojattua materiaalia. ***Kartta-aineiston luvaton kopiointi, muuttaminen ja kaikkinainen kaupallinen hyödyntäminen on Tekijänoikeuslain (8.7.1961/404) nojalla rangaistuksen ja korvausvastuun uhalla kielletty.***

Tämä tuote ei korvaa virallista merikarttaa. Merenkulkuhallitus ei vastaa mahdollisista alkuperäisen merikartta-aineiston ja lopputuotteen välisistä eroista. Aluksella tulee aina olla virallinen paperille painettu merikartta tai virallisella ENC-aineistolla varustettu tyyppihyväksytty ECDIS-järjestelmä.

Raportissa esitetyt rannikkomallit ovat yhdistyksemme työstämät ja mallien kopiointi on kielletty.



Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y.
Mikael Henriksson, Tero Myllyvirta
2006

Är inte havet som ett levande väsen? Det har sina vredesutbrott och sina godlynta stunder... Det är intressant att studera dess byggnad. Det har puls, artärer, spasmer. ...det finns ett lika reelt blodomlopp hos havet som hos djuren.

Jules Verne 1870

Havet är en stor varelse som ibland är på gott humör och ibland på dåligt humör. Det är alldeles omöjligt för oss att veta varför. Vi ser ju bara ytan. Men om vi tycker om havet så gör det ingenting...

Tove Jansson 1965

Sisällysluettelo

Esipuhe 1

1. Johdanto 2

2. Aineisto ja menetelmät 4
- 2.1. Taustaa 4
- 2.2. Rannikkomallit 5
- 2.3. Näytteenotot 5
- 2.4. Näytteenottomenetelmät 6
- 2.5. Rehevöitymisriskin arviointi 7
- 2.6. Näyteasemien luokittelu 8

3. Tulokset ja tulosten tarkastelu 10
- 3.1. Rannikkomallit - esimerkkialueena Porvoo-Pernaja 11
- 3.2. Aluekohtaiset tulokset 13
  - Suomenlahti 14
    - Alue 1. Virolahti, Hamina, Kotka 15
    - Alue 2. Pyhtää, Ruotsinpyhtää, Loviisa, Pernaja 19
    - Alue 3. Porvoo, Sipoo, Helsinki 23
    - Alue 4. Espoo, Kirkkonummi, Siuntio, Inkoo 27
  - Saaristomeri ja Hankoniemen alue 31
    - Alue 5. Tammisaari, Hanko, Kemiö 32
    - Alue 6. Korpo, Nauvo, Houtskari, Kaarina, Parainen Sauvo, Turku, Naantali, Rymättylä, Velkua, Masku, Merimasku, Askainen, Kustavi, Piikkiö, Raisio, Salo 36
  - Selkämeri 41
    - Alue 7. Uusikaupunki, Pyhäranta, Rauma, Eurajoki, Luvia 42
    - Alue 8. Pori, Merikarvia, Kristiinankaupunki, Kaskinen, Närpiö 46
  - Merenkurkku 50
    - Alue 9. Korsnäs, Maalahti, Mustasaari, Vaasa, Maksamaa, Vöyri 51
  - Perämeri 56
    - Alue 10. Uusikaarlepyy, Pietarsaari, Luoto, Kokkola, Kälviä, Lohtaja, Himanka 57
    - Alue 11. Kalajoki, Pyhäjoki, Raahe 61
    - Alue 12. Siikajoki, Hailuoto, Lumijoki, Liminka, Oulunsalo, Oulu, Haukipudas, Ii, Kuivaniemi, Simo, Kemi, Tornio, Haaparanda 65

4. Johtopäätökset 70
- 4.1. Rehevöitymisriski ja geomorfologia 70
- 4.2. Rehevöitymisriski, geomorfologia ja veden vaihtuvuus 70
- 4.3. Rehevöitymisriski, geomorfologia, veden vaihtuvuus ja kuormitus 71
  - 4.3.1. Paikallinen kuormitus 71
  - 4.3.2. Kaukokulkeutunut kuormitus 73
- 4.4. Avomerivaikutus / rannikkovaikutus 74
- 4.5. Geomorfologia ja 3D-tekniikka vesistötutkimuksissa 75
- 4.6. Rehevöitymisriskin vähentäminen 76

5. Viiteluettelo 77

Esipuhe

Hanke ”Suomen rannikkoalueiden luokitus rehevöitymisriskin perusteella” on valmistunut. Hankeen lähtökohtana oli oletus, että rannikon geomorfologia (rannikon geologinen muoto) on ratkaiseva vesien ja pohjien tilan kannalta. Ajatus juurtaa juurensa vuonna 2001 valmistuneeseen, Suomen ja Viron rannikoita vertailevaan, tutkimukseen (katso kuvaa sivulla 3).

Pitkin rannikkoa, kolmena perättäisenä vuonna suoritettujen tutkimusmatkojen (jokainen niistä kattaen koko tutkimusalueen Suomen itärajalta länsirajalle ja Haaparantaan asti) ja tietokonemallinnusten avulla paikannettiin geomorfologisia muodostumia, jotka ovat varsin herkkiä hapettomuudelle, kuormitukselle ja rehevöitymiselle. Pohjan tilaa selvittäneiden näytteenottojen perusteella geomorfologian rooli on oletettuakin hallitsevampi.

Hanke on tuottanut mittavan tutkimusaineiston ja tiedämme nyt paremmin missä Suomen rannikon ongelma-alueet esiintyvät ja kuinka rehevöitymisriski vaihtelee eri rannikko-osuuksien välillä. Rannikon rehevöitymisriskin havainnollistamiseksi hankkeen tuloksena on valmistunut sarja malleja, jotka kattavat Suomen rannikkoalueen. Rannikkomallit kuvaavat merenpohjan muotoja ja visualisoivat rehevöitymisriskiä lisääviä merenalaisia muodostumia.

Koska eri rannikkoalueilla on eri suuret rehevöitymisriskit tulisi kuormitusta vähentävien toimenpiteiden olla suhteessa alueiden rehevöitymisherkkyyteen.

Kiitämme kaikkia hankkeeseen osallistuneita ja hankkeen mahdollistaneita osapuolia. Ansiostanne rannikkoalueen, ja erityisesti niin sanottujen kuolleiden pohjien problematiikkaan ja rehevöitymiskierteeseen johtaviin tapahtumasarjoihin on saatu uusi tuore näkökulma joka vie meidät askeleen kohti ongelmien ratkaisua ja rannikomme tilan paranemista.

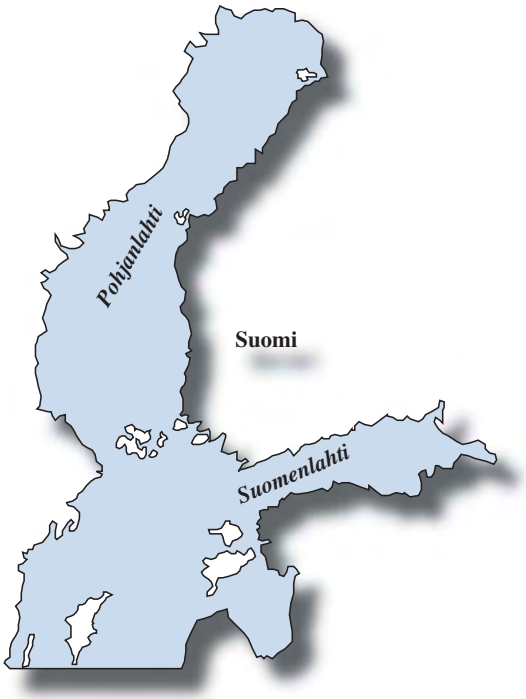
Erikseen haluamme kiittää erityisesti FK Mikael Pihlströmiä, Susanna Lindgreniä ja Lauri Myllyvirtaa heidän työpanoksestaan hankkeessa.

Hanketta ovat rahoittaneet Svenska litteratursällskapet i Finland r.f. jonka kautta projekti sai rahoitusta Ingrid, Margit ja Henrik Höijers donationsfondetilta, Kymijoen vesi ja ympäristö r.y., Porvoon vesi, Haaparannan kunta Ruotsin puolelta, sekä seuraavat Suomen rannikkokunnista: Eurajoki, Hamina, Hanko, Haukipudas, Himanka, Inkoo, Kaarina, Kalajoki, Kaskinen, Kirkkonummi, Kokkola, Kotka, Kristiinankaupunki, Kuivaniemi, Kälviä, Lohtaja, Loviisa, Lumijoki, Luoto, Maalahti, Masku, Merimasku, Mustasaari, Naantali, Närpiö, Oulunsalo, Pattijoki, Pernaja, Pietarsaari, Piikkiö, Porvoo, Pyhtää, Raahe, Raisio, Ruotsinpyhtää, Rymättylä, Salo, Sauvo, Siikajoki, Sipoo, Siuntio, Särkisalo, Tammisaari, Uusikarlepyy, Uusikaupunki, Vaasa, Vantaa Vehkalahti, Velkua ja Virolahti.

Porvoossa 11.4 2006

Tero Myllyvirta

Tero Myllyvirta
Toiminnanjohtaja 040-5112216



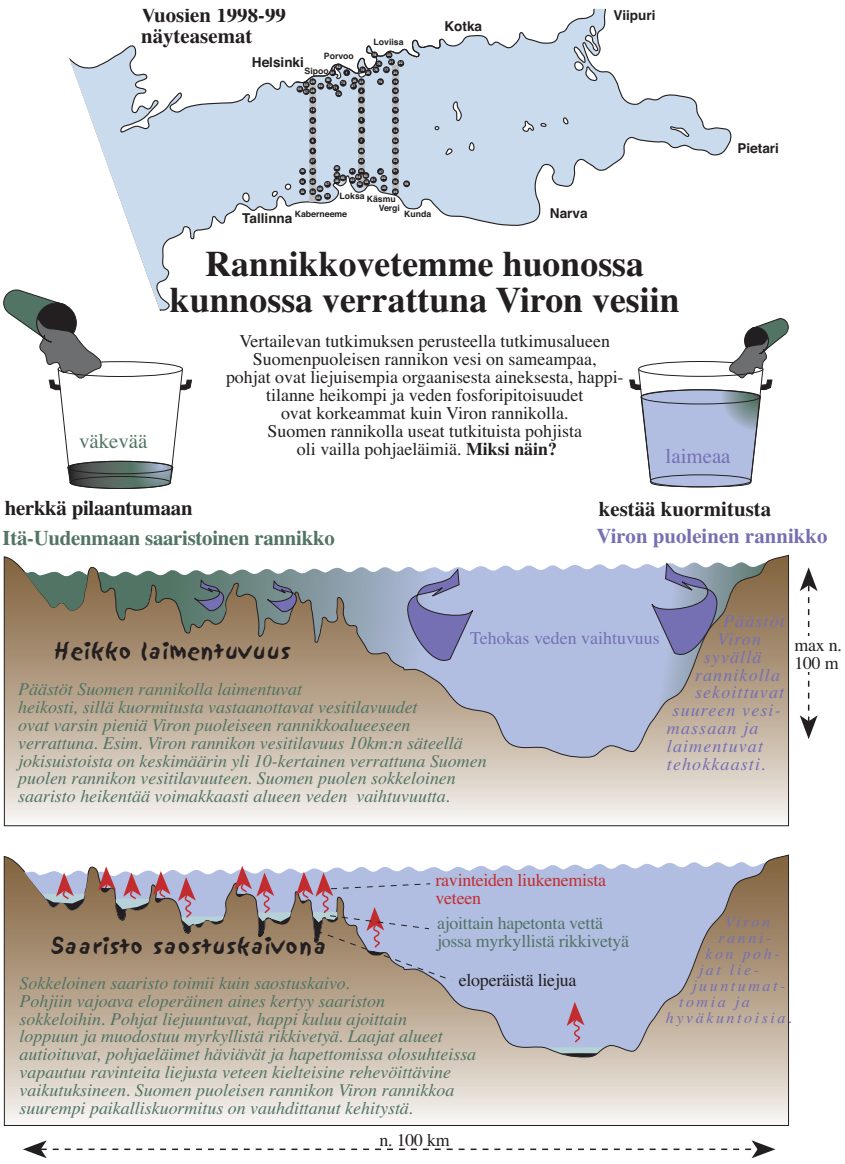
1. Johdanto

Alueen rehevöitymisellä tarkoitetaan sitä, että eloperäisen aineen tuotanto kasvaa. Lisääntyvä eloperäinen aines aiheuttaa usein (hieman paradoksaalisesti) sen, että eliöstö köyhtyy. Luonto yksipuolistuu, eläin- ja kasvilajeja häviää ja biologinen monimuotoisuus vähenee. Suomen rannikon oloissa rehevöitymisen näkyvimmät seuraukset ovat leväkukintojen yleistyminen ja voimistuminen, rihmalevätuotannon lisääntyminen, näkösyvyyden aleneminen sekä rantakasvillisuuden, kalaston ja pohjaeliöstön lajistomuutokset.

Vakavin seuraus Itämeren rehevöitymisestä on kuitenkin ehkä pohjien heikentynyt happitilanne, joka näyttää valtaavan yhä matalampia rannikkoalueita. Pohjien hapettomuus on erityisen ongelmallinen koska yleistyvä hapettomuus vapauttaa yhä enemmän ravinteita pohjien sedimenteistä veteen ja vahvistaa rehevöitymistä entisestään tämän n.s. sisäisen kuormituksen myötä. *Tämän tutkimushankkeen tavoitteena oli Suomen rannikkoalueiden luokittelu sen perusteella, miten alttiita hapettomuudelle ja hapettomuuden seurauksena syntyvälle sisäiselle kuormitukselle alueet ovat,* sillä sisäisesti kuormittavat alueet ovat avainasemassa arvioitaessa alueiden rehevöitymisriskiä.

Työn lähtökohtana oli, että koska rannikon eri alueet poikkeavat luonteeltaan suuresti toisistaan, myös rehevöitymisriski vaihtelee suuresti alueittain. Ajatus juurtaa juurensa vuonna 2001 valmistuneeseen, Suomen ja Viron rannikoita vertailevaan tutkimukseen (katso kuvaa seuraavalla sivulla). Eräillä alueilla paikallisten päästöjen vaikutus ei erotu edes lähellä ravinteiden purkukohteita johtuen siitä, että rannikon muoto ja merenpohjan topografia (geomorfologia) mahdollistavat tehokkaan sekoittumisen ja laimenemisen. Vastaavasti toisilla alueilla rehevöitymisen merkitys saattaa olla suuri, vaikkei rehevöittäviä päästöjä lähialueilla esiintyisikään. Tästä syystä tutkimuksen näytealat on sijoitettu aluetta kattavasti kaikille saaristovyöhykkeille, eikä korostetusti

Suuria eroja geomorfologiassa:



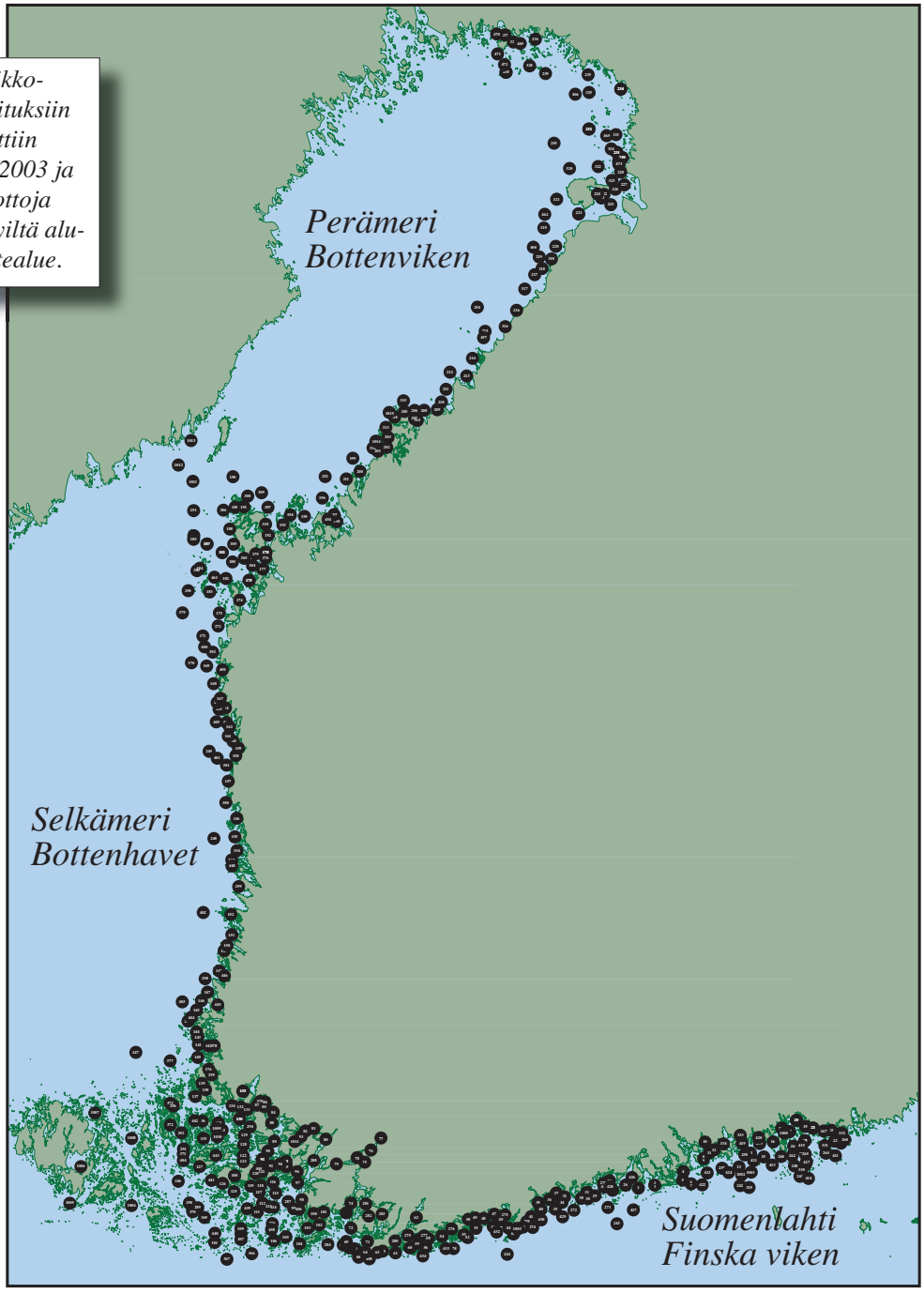
Poikkileikkaus Suomenlahdesta Itä-Uudeltamaalta etelään Viroon

Myllyvirta & Henriksson 2001

purkukohteiden läheisyyteen.

Rannikon rehevöitymisriskin kartoittamisen ja luokittelun keskeisenä menetelmänä oli mittavien näytteenottojen lisäksi, kolmiulotteisesti visualisoivien mallien kehittäminen. Projektin tuloksena tuotetut mallit kattavat koko Suomen rannikon ja antavat mahdollisuuksia arvioida rehevöitymisriskiltään herkimpien ja sisäiselle kuormitukselle alttiiden merenpohjien sijainteja.

Malleja kehitettiin ja niiden tulkintaa ja luotettavuutta parannettiin yhdistämällä malleista saatavaa informaatiota ja paikan päällä suoritettujen näytteenottojen antamaa analyysitietoa. Lopputuloksena mallien avulla voidaan arvioida nykytilannetta tutkituilla alueilla ja myös ekstrapoloida ja arvioida tilannetta laajoilla alueilla, joilta näytteenotto-aineistoa ei ole saatavilla.



Kuva 1. *Rannikkoalueiden kartoituksiin liittyen suoritettiin vuosina 2002, 2003 ja 2004 näytteenottoja kuvaan merkityiltä alueilta. ● = näytealue.*

2. Aineisto ja menetelmät

2.1. Taustaa

Pohjanläheisen veden hapettomuus ja siitä johtuva sisäinen kuormitus ovat ratkaisevassa asemassa alueiden rehevöitymisriskin kannalta. Mikäli rannikkoalueen rehevöityminen saavuttaa tason, jolla yhä laajemmat pohja-alueet kuormittavat vesiä sisäisesti, kiihtyy alueen rehevöityminen.

Hapettomuuden ja sisäisen kuormituksen muodostumiselle ratkaisevaa on pohjanläheisen veden vaihtuvuuden tehokkuus ja pohjalle kerääntyvän hajoavan eloperäisen aineen määrä. Tapauksissa, joissa hajotustoiminnan aiheuttama hapenkulutus on niin voimakasta, että korvaavan hapen saanti happipitoisista vesikerroksista ei ole riittävää

pitämään vettä happipitoisena, syntyy hapettomuutta ja sisäinen kuormitus käynnistyy. Vedenvaihto pohjan- ja pinnanläheisten vesikerrosten välillä on paljolti rannikon geomorfologian säätelemää.

Hapettomuuden lisäksi, sisäistä kuormitusta aiheuttaa myös muut, niin abioottiset kuin bioottisetkin tekijät. *Tässä työssä keskitymme hapettomuuden aiheuttamaan sisäiseen kuormitukseen siitä syystä, että tämä on ilmiö, jolla on suuri merkitys rannikkovesiemme tilaan.*

2.2. Rannikkomallit

Tässä tutkimuksessa on tarkasteltu Suomen rannikkoa ja arvioitu eri osa-alueiden rehevöitymisriskiä pääasiassa sen perusteella, kuinka alttiita hapettomuudelle ja sisäiselle kuormitukselle eri alueet ovat. Alttiutta hapettomuudelle synnyttävien geomorfologisten erityispiirteiden löytämiseksi ja visualisoimiseksi kehitettiin rannikkosta sarja kolmiuloitteisesti kuvaavia digitaalisia malleja. Digitaaliset rannikkomallit perustuvat syvyystietoihin ja rannikon morfometrisiin erityispiirteisiin ja niiden kehittämisessä käytetyt interpolointimenetelmät valittiin siten, että malleista mahdollisimman hyvin erottuisi hapettomuuden muodostumiselle oleellisia, veden vaihtuvuutta estäviä geomorfologisia muodostumia.

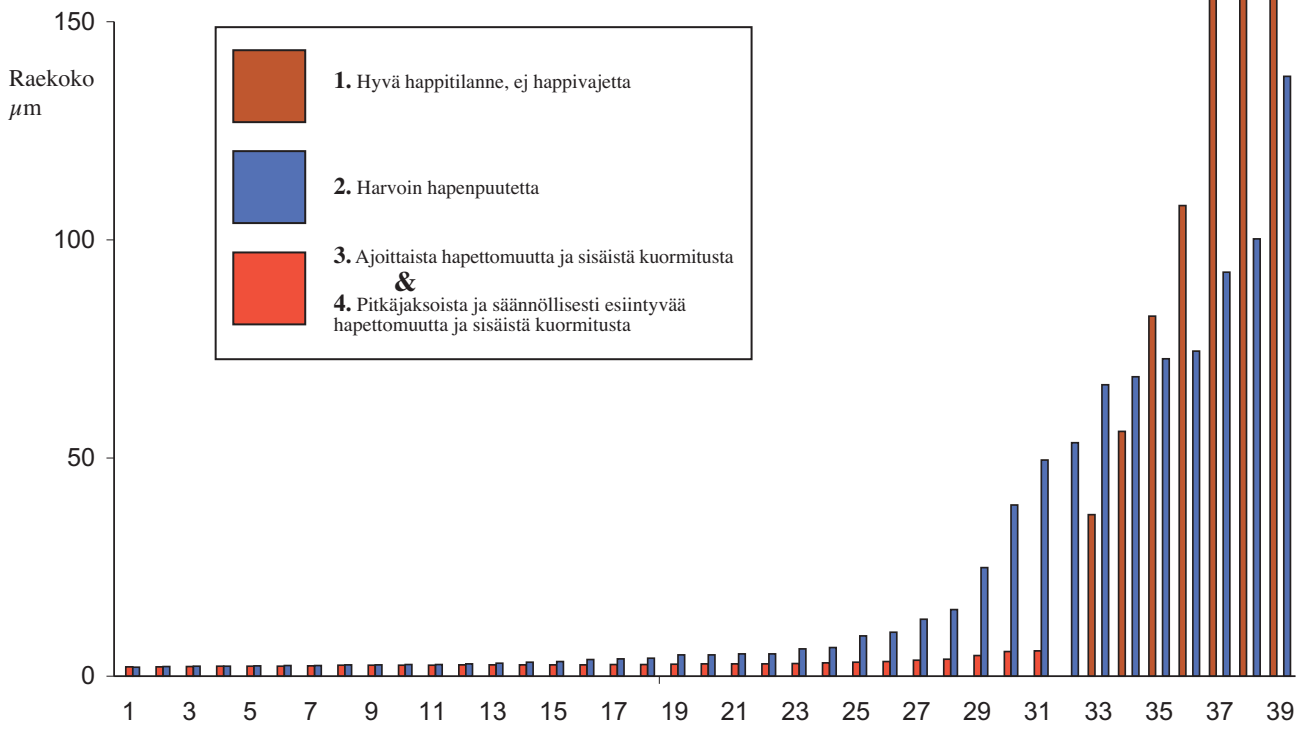
2.3. Näytteenotot

Rannikkomallien tueksi suoritettiin näytteenottoja paikan päällä. Näytteenottojen tarkoitus oli pitkälti selvittää rannikkomallien kuvaamien muodostumien alttiutta hapettomuudelle ja sisäiselle kuormitukselle. Koska hapettomuus usein on tilapäistä tarkasteltiin pohjanläheisen veden happi- ja fosforipitoisuuksien lisäksi myös pohjasedimenttiä kuvaavia parametrejä ja myös pohjaeläimistön tilaa.

Vuosien 2002, 2003 ja 2004 näytteenotot kattoivat jokainen koko tutkimusalueen ja ne tehtiin ajanjaksona touko - syyskuu kyseisinä vuosina. Näytealueet sijaitsevat monasti alueilla, joista aikaisempaa tutkimusmateriaalia ei juurikaan ole (esim. kaukana merkittävistä päästölähteistä) mutta jossa rannikon geomorfologian perusteella on syytä olettaa, että ongelmia saattaa esiintyä (kuva 1 sivulla 4).

Näytteenottojen tarkoitus oli rannikkomallien ennustettavuuden kehittäminen siten, että ongelmallisia hapettomuudelle alttiita alueita, kuten myös alueita, joissa todennäköisyys hapettomuudelle ja sisäiselle kuormitukselle on vähäisempää, voitaisiin mallien avulla paikantaa.

Alueellisesti kattavien näytteenottojen lisäksi otettiin ajallisesti tiheitä näytteenottosarjoja Itä-Uudenmaan saaristoalueella sijaitsevilta intensiiviasemilta. Näytteenotot suoritettiin, kuten koko rannikkoalueen kattavat näytteenotot, ajanjaksona touko - syyskuu



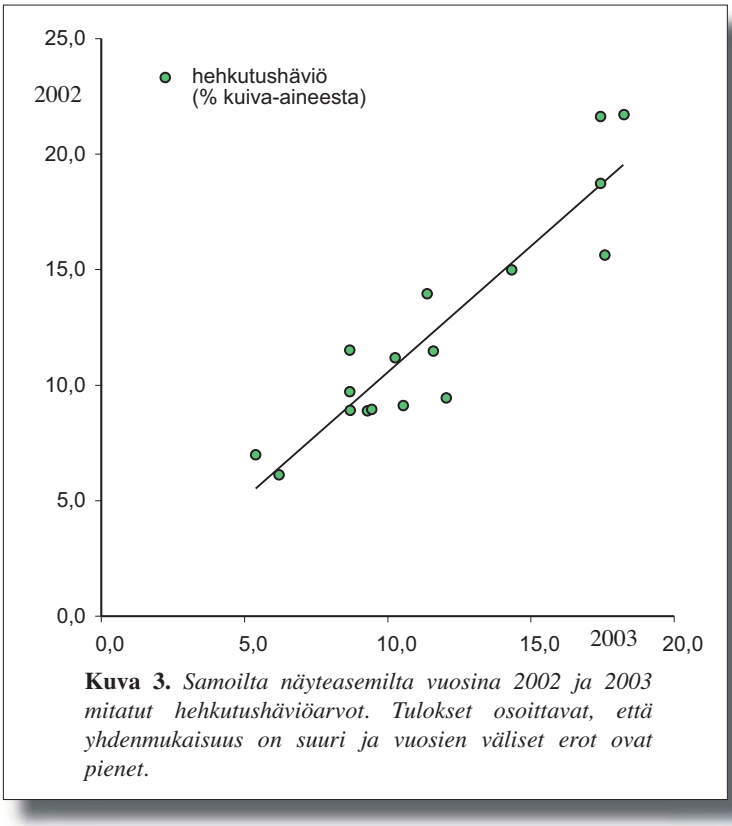
Kuva 2. *Raekoko 0 - 150 µm, järjestettynä pienemmästä suurimpaan per sarja. Punaisessa sarjassa "huonoimmat" kategoriat 3 ja 4 on lyöty yhteen. Sininen sarja käsittää kategorian 2 ja ruskea sarja kategorian 1. Eli, huonokuntoinen akkumulaatiopohja (kategoriat 3 ja 4) ei koskaan ole "karkea." Hyväkuntoisempi pohja (kategoria 2) saattaa olla hieno- tai karkeajyväinen. Kategoriaan 1 kuuluvat pohjat ovat usein savi-hiekka, eroosiopohjia ja poikkeuksetta karkeajyväisiä.*

vuosina 2002, 2003 ja 2004. Intensiivinäytteenottojen tarkoitus oli seurata hapettomuuden ja sisäisen kuormituksen dynamiikkaa eri luonteisilla alueilla paikan päällä suoritetuin näytteenotoin. Intensiviasemien seurannan tuloksia hyödynnettiin muiden rannikkoalueiden tuloksien tulkinnassa.

2.4. Näytteenottomenetelmät

Näyteasemien pohjaeläimistön (macrozoobenthos), pohjasedimentin ja pohjanläheisen veden tilaa selvitettiin. Lämpötila- ja happipitoisuusprofiilit mitattiin happisondilla (Ysi 52 dissolved oxygen meter tai YSI 600XLM-M). Vesinäytteet kokonaisfosforianalyysiä (VYL-32) varten otettiin Ruttner-noutimella ja sedimenttinäytteet Limnos-putkinoutimella. Sedimenttikerroksien läpileikkauksista tehtiin kuvaukset ja sedimenttipatsaat valokuvattiin. pH ja redox-potentiaali mitattiin sedimentin pinnan tuntumassa ja tarpeen mukaan vesipatsaassa. Limnosnäytteiden pohjaeläimistö (macrozoobenthos) laskettiin ja määritettiin.

Sedimenttinäytteistä kerättiin ja pakastettiin näyte sedimenttipatsaan ylimmästä (0-1cm) osiosta hehkutushäviön, vesipitoisuuden ja raekoon määrittämistä varten (SFS 3008/1990). 80 näytteestä, jotka edustivat syviä altaita analysoitiin sedimentin



Kuva 3. *Samoilta näyteasemilta vuosina 2002 ja 2003 mitatut hehkutushäviöarvot. Tulokset osoittavat, että yhdenmukaisuus on suuri ja vuosien väliset erot ovat pienet.*

fosforifraktiot (P_{spa}) ja rautapitoisuus (Fe_{cdb}) (Ruttenberg 1992, Anderson & Delaney 2000). Kahdestakymmenestä sedimenttinäytteestä analysoitiin myös kevyempiä alkuaineita kaasukromatografisesti EA 1110 CHNS-analysaattorilla (Lindgren & Reijonen 2005). Sedimenttinäytteet on säilytetty mahdollisia lisäanalyysejä varten. Näytteenottojen yhteydessä tehtiin asemakohtaiset näkösyvyysmittaukset.

2.5. Rehevöitymisriskin arviointi

Arvioitaessa alueiden rehevöitymisriskiä on erityisesti huomioitu pohjien alttiutta hapettomuudelle. Tästä syystä näyteasemat on luokiteltu neljään kategoriaan sen perusteella, kuinka alttiita hapettomuudelle ne ovat. Hapettomuuden ja rehevöitymisen välillä on suora yhteys siten, että hapettomuus aiheuttaa sisäistä kuormitusta, voimistaa ulkoisen kuormituksen vaikutuksia ja kiihdyttää rehevöitymistä. Geomorfologiset tekijät ovat avainasemassa suhteessa hapettomien olosuhteiden ilmenemiseen, veden vaihtuvuuteen, päästöjen laimenemiseen ja alueiden rehevöitymistasoon.

Näyteasemien luokittelussa käytetyt kategoriat olivat:

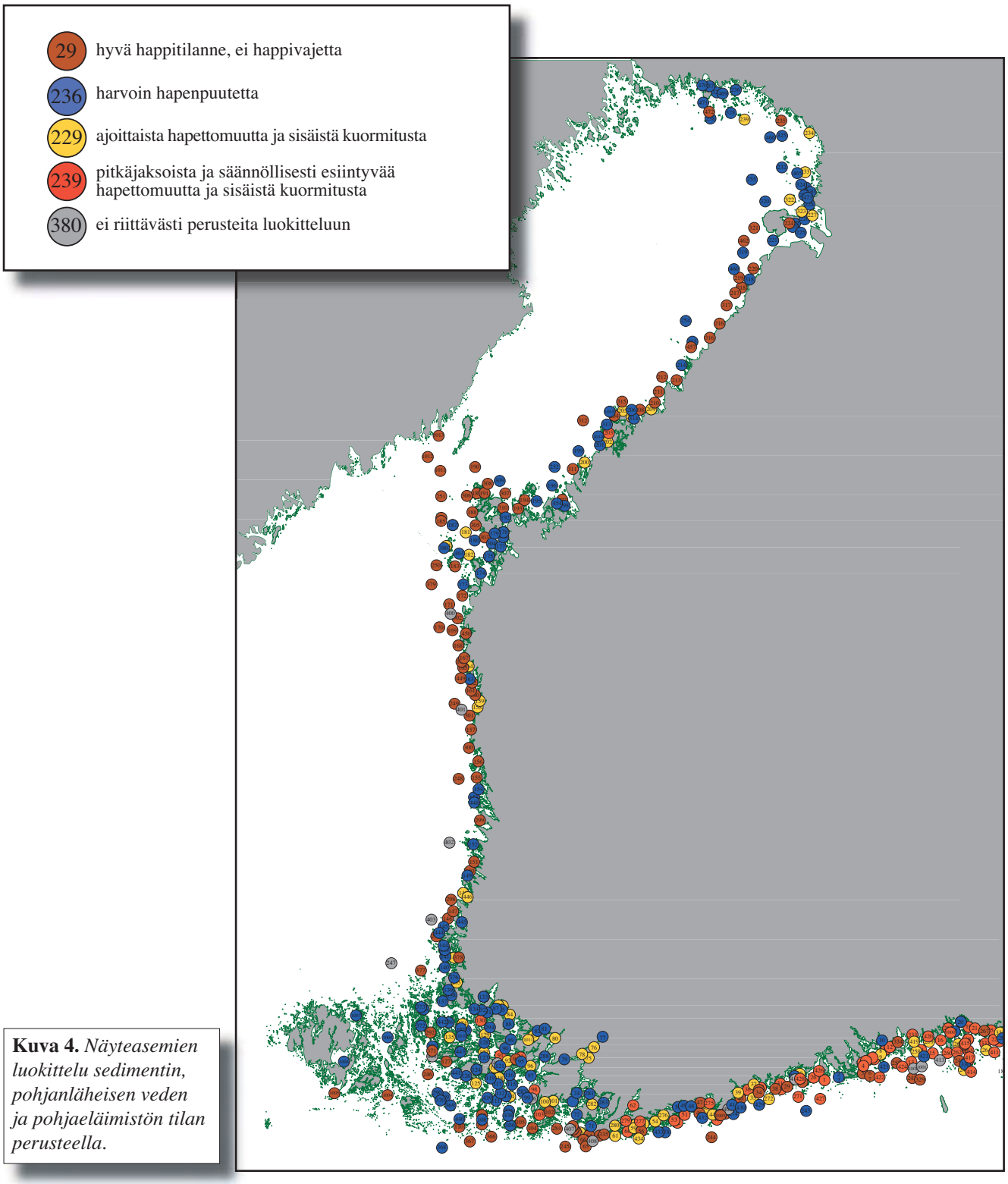
1. Hyvä happitilanne, ei happivajetta: Voimakas pohjaeroosio pitää pohjanläheisiä vesikerroksia hapekkaina äärimmäisissäkin hapettomuutta suosivissa sääolosuhteissa.

2. Harvoin hapenpuutetta: Pohjanläheisten vesikerrosten happitilanne muuttuu heikoksi poikkeuksellisen pitkien tyynten ja lämpimien jaksojen vallitessa.

3. Ajoittaista hapettomuutta ja sisäistä kuormitusta: Pohjanläheisen veden happi kuluu loppuun stabiileina sääjaksoina, jolloin tuulet tai veden virtaukset eivät sekoita vesimassaa.

4. Pitkäjaksoista ja säännöllisesti esiintyvää hapettomuutta ja sisäistä kuormitusta: Säätilaltaan keskivertovuosina pohjanläheisen veden happi kuluu loppuun veden kerrostuneisuuskausien aikana.

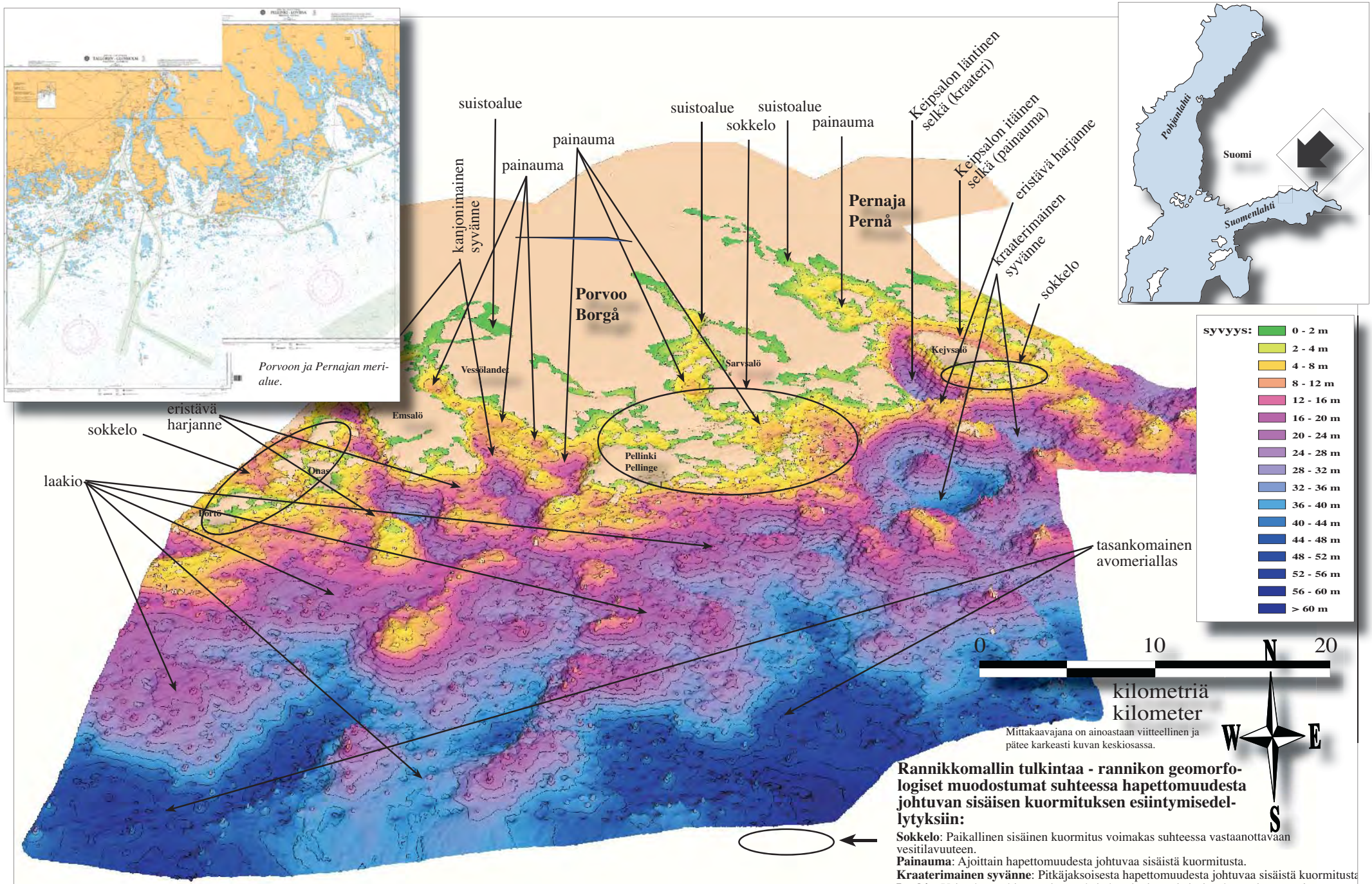
Aluekohtaisessa tarkastelussa esitetyt arviot eri osa-alueiden rehevöitymisriskin suuruudesta perustuvat siihen, kuinka yleisiä hapettomuudelle alttiiksi luokitellut pohjat alueella ovat. Huonojen pohjien keskittymät (kontrollinäytteenotot) yhdessä rannikkomallien antamien tietojen kanssa, ovat avainasemassa alueiden rehevöitymisriskin kannalta.



Kuva 4. *Näyteasemien luokittelu sedimentin, pohjanläheisen veden ja pohjaeläimistön tilan perusteella.*

2.6. Näyteasemien luokittelu

Hapettomuus ei ole pysyvä tila pohjanläheisessä vedessä ja tästä syystä näyteasemien luokittelu perustuu happitilanteen lisäksi, pohjasedimenttiä kuvaaviin parametreihin. Luokittelussa huomioituja ja pohjasedimenttiä kuvaavia muuttujia ovat hehkutushäviö (joka kuvaa sedimentin orgaanisen aineen pitoisuutta ja myös vesipitoisuutta) ja raekoko (kuva 2). Mainitut parametrit antavat kuvan pohjien usein nopeasti muuttuvasta happitilanteesta ja sisäisen kuormituksen ilmiöstä, mutta pysyvät itse suhteellisen stabiileina (kuva 3).



Porvoon ja Pernajan meri-alue.

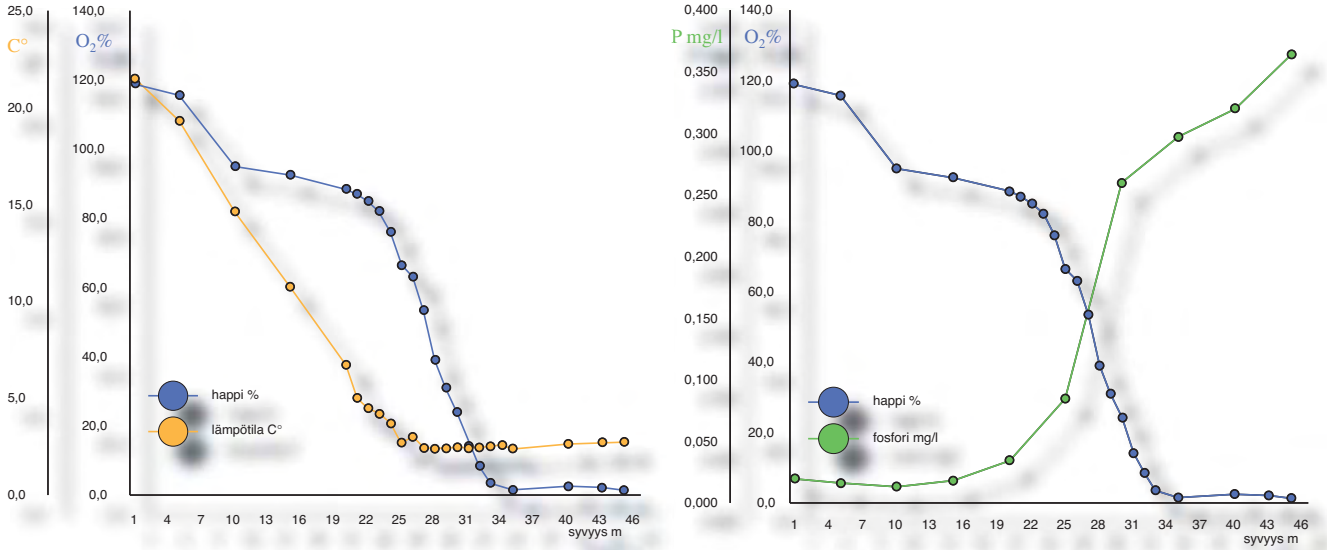
Mittakaavajana on ainoastaan viitteellinen ja pätee karkeasti kuvan keskiosassa.

Rannikkomallin tulkintaa - rannikon geomorfologiset muodostumat suhteessa hapettomuudesta johtuvan sisäisen kuormituksen esiintymisedellytyksiin:

Sokkelo: Paikallinen sisäinen kuormitus voimakas suhteessa vastaanottavaan vesitilavuuteen.
Painauma: Ajoittain hapettomuudesta johtuvaa sisäistä kuormitusta.
Kraaterimainen syvänne: Pitkäjaksoisesta hapettomuudesta johtuvaa sisäistä kuormitusta
Laakio: Voimakas pohjaeroosio, anoksia harvinaista, ei sisäistä kuormitusta, valtaosa alueen pinta-alasta.
Suistoalue: Voimakas makean veden paine, harvoin hapettomuudesta johtuvaa sisäistä kuormitusta.
Kanjonimainen syvänne: Usein voimakkaita pohjanläheisiä virtauksia, suhteellisen vähäinen potentiaali hapettomuudesta aiheutuvalle sisäiselle kuormitukselle.

Kuva 5. *Esimerkki rannikkomallista. Malli kuvaa Porvoon ja Pernajan rannikkoalueiden geomorfologiaa.*

© MKL 80/721/2002 och 402/721/2004



Kuva 6 ja 7. *Lämpötila, happikyllästyneisyys ja kokonaisfosfori Keipsalon läntisellä selällä heinäkuussa 2003. Selkeä kerrostuneisuus veden lämpötilan ja hapen suhteen on muodostunut (vasemmanpuoleinen kuva). Hapeton vesikerros oli enimmillään 13 metriä paksu alkaen 33 metrin syvyydeltä jatkuen pohjaan asti. Näyteaseman kokonaissyvyys on 46 m. Noin 30 m syvyydessä oli voimakas halokliini.*

Kokonaisfosforin pitoisuudet hapettomassa vesikerroksessa olivat keskimäärin 0,33 mg/l (oikeanpuoleinen kuva). Saman aikaan päällysveden (1 metrin syvyydellä) kokonaisfosforipitoisuudet olivat keskimäärin 0,02 mg/l. Hapettoman vesikerroksen kokonaisfosforipitoisuudet olivat siten 16,5 kertaisia verrattuna päällysveden pitoisuuksiin. Alempien vesikerrosten korkeat fosforipitoisuudet ovat osoitus voimakkaasta paikallisesta sisäisestä kuormituksesta.

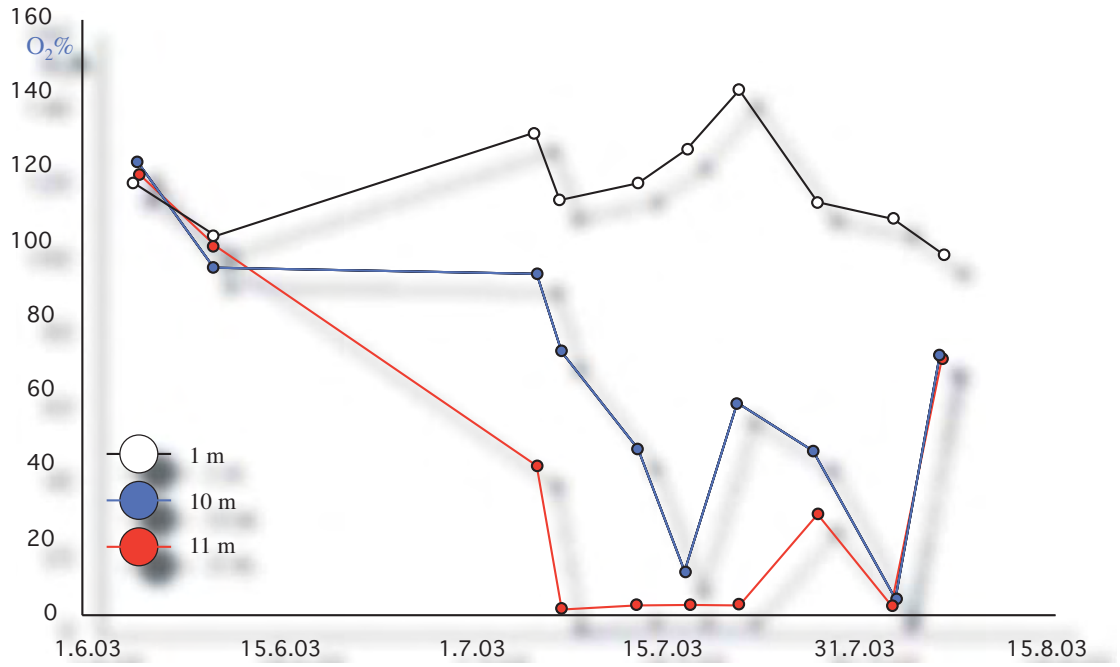
Profiilit perustuvat viiden mittauskerran keskiarvoon 4 - 31.7 välisenä aikana 2003.

Näitä täsmällisiä numeerisia arvoja pohjasedimentin koostumuksesta antavien parametrien lisäksi luokittelussa on huomioitu myös pohjasedimenttiä yleisemmin kuvaavia parametrejä. Nämä ovat: Sedimentin laatu (savi, lieju, hiekka jne.), sedimentin väri (hapettavan harmaan tai pelkistävän mustan rikkivetypitoisen sulfidiliejun esiintyminen jne.) ja pehmeän sedimenttikerroksen paksuus. Myös pohjaeläimistön esiintyminen tai puuttuminen ja jossain määrin myös pohjaeläimistön runsaus on huomioitu. Pohjaeläimistön lajistoon on tukeuduttu vain tarvittaessa lisätietoa rajatapauksissa.

Veden ja pohjasedimentin kemiallisista parametreistä on happitilanteen lisäksi käytetty myös fosforipitoisuutta sisäisen kuormituksen mittana. Asemien luokittelussa on erityisesti huomioitu erot pinnanläheisen ja pohjanläheisen veden fosforipitoisuuksissa. Mikäli pohjanläheisen veden fosforipitoisuudet ovat olleet yli nelinkertaisia pinnanläheisen veden pitoisuuksiin verrattuna, on sitä pidetty viitteenä sisäisestä kuormituksesta.

3. Tulokset ja tulosten tarkastelu

Näytteenottojen perusteella koko Suomen rannikolta löytyy alueita, jotka ovat herkkiä hapettomuudelle ja hapettomuudesta johtuvalle sisäiselle kuormitukselle, sekä alueita, joilla riski hapettomuuteen ja siitä aiheutuvaan rehevöitymiseen on pieni. Tulosten perusteella huonokuntoisimmat pohjat keskittyvät Suomenlahdelle (kuva 4). Muita huonokuntoisten pohjien keskittymiä löydettiin Saaristomereltä, Merenkurkusta ja Kokkolan saaristosta sekä Perämeren pohjukasta. Näitä alueita lukuunottamatta ovat Selkämeren ja Perämeren rannikot Suomen rannikon hyväkuntoisimmat. Huonokuntoisten rannikko-



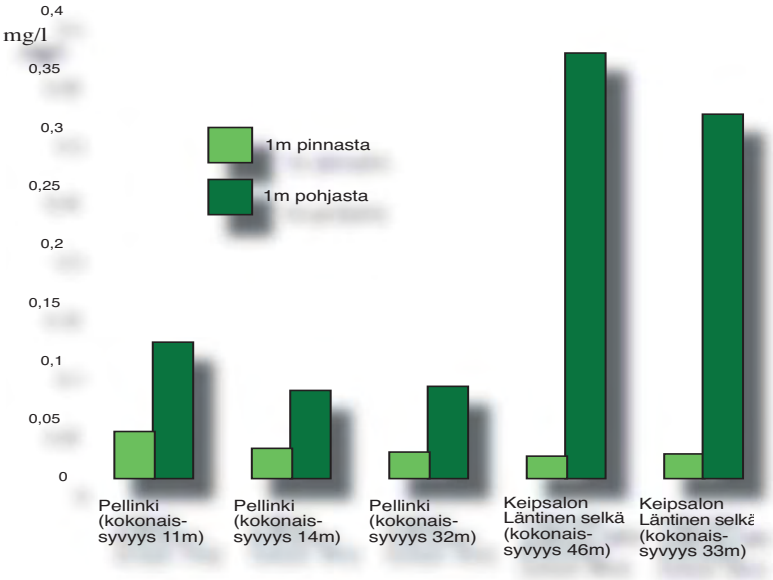
Kuva 8. *Veden happikyllästyneisyys Pellingin sokkeloisessa saaristoalueella kesä - elokuussa 2003. Näytteenottopaikan kokonaissyvyys on 11 m.*

Vuonna 2003 alueen happipitoisuudet olivat laskeneet huomattavasti heinäkuun puoleenväliin menneessä. Tähän aikaan happipitoisuudet lähentelivät ajoittain nollaa 10 metrin syvyydessä (1 metri sedimenttipinnan yläpuolella). Aivan sedimentin pinnan tuntumassa (40 cm sedimentin pinnan yläpuolella) vesi oli käytännöllisesti katsoen hapetonta lähes koko heinäkuun ajan eikä pohjaeläimiä esiintynyt.

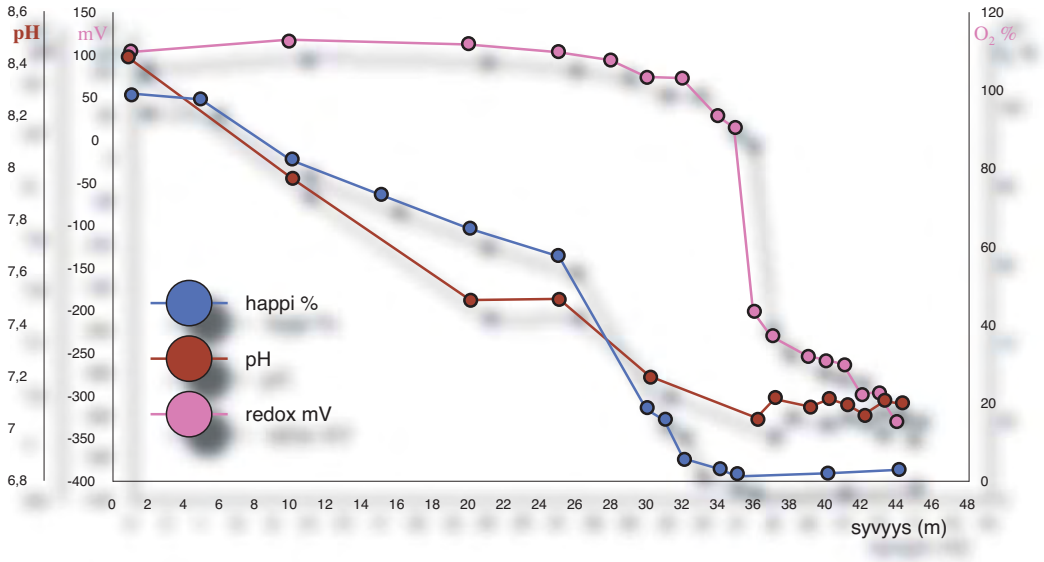
alueiden tila johtuu pitkälti alueiden sisäistä kuormitusta ja rehevöitymistä suosivista geomorfologisista erityispiirteistä.

3.1. Rannikkomallit- esimerkkialueena Porvoo-Pernaja

Tutkimuksen työhypoteesi oli, että rannikon geomorfologia on avainasemassa tietyn rannikkoalueen rehevöitymisriskille, sillä geomorfologisista erityispiirteistä johtuen muodostuu orgaanista ainesta kerääviä akkumulaatiopohjia, joilla veden vaihtuvuus on voimakkaasti rajoittunutta. Tällaiset pohjat ovat alttiita hapettomuudelle ja sisäiselle kuormitukselle.



Kuva 9. *Pinnan- ja pohjanläheisen veden keskimääräinen kokonaisfosfori pitoisuus muutamilla intensiivialueilla heinäkuussa 2003. Vertailussa Pellingin sokkeloinen saaristo ja Keipsalon läntinen selkä, joka geomorfologialtaan on kraaterimainen syvänne. Keipsalon läntisellä selällä vesi on voimakkaasti kerrostunutta, anoksiakaudet ovat pitkiä ja alempien vesikerrosten fosforipitoisuudet ovat moninkertaisia verrattuna pintaveteen. Pellingissä vesimassat sekoittuvat tehokkaammin, anoksiakaudet ovat lyhytkestoisia eikä fosforia akkumuloidu samassa määrin pohjanläheiseen veteen.*



Kuva 10. *Veden happikyllästyneisyys, pH ja redoxpotentiaali Keipsalon läntisen selän kraaterimaisessa syvänteessä.*

Rannikon geomorfologiaa visualisoivien mallien avulla voidaan erottaa luonteeltaan eri tyyppisiä alueita ja geomorfologisia muodostumia (vertaa kuva 5). Arvioitaessa alueiden alttiutta hapettomuudelle erotellaan heikosti eloperäistä ainesta akkumuloivat alueet varsinaisista depositiopohjista, joilla hapettomat olosuhteet ovat todennäköisempiä. Näitä ovat usein eri tyyppiset syvänteet.

Syvänteet ovat kuitenkin geomorfologisilta erityispiirteiltään ja alttiudeltaan hapettomuudelle hyvinkin erilaisia. Malleja tarkastelemalla voidaan esimerkiksi päätellä, että esimerkkialueella Keipsalon läntinen selkä Pernajan kunnan merialueella on huomattavasti alttiimpi hapettomuudelle kun Keipsalon itäinen selkä (kuva 6). Näytteenotot vahvistavat, että Keipsalon läntisen selän syvänteet keräävät orgaanista ainesta kun taas Keipsalon itäisen selän syvänteet ovat voimakkaan pohjaeroosion vaikutuksen alaisia. Kyseiset maantieteellisesti läheiset, mutta geomorfologialtaan hyvin eriluonteiset vesialueet reagoivat esim. lisääntyvään kuormitukseen eri tavalla ja siten alueiden geomorfologiset erityispiirteet on huomioitava esim. niiden mahdollista käyttöä suunniteltaessa.

Keipsalon läntisen selän tapaiset hapettomuudelle alttiit **kraaterimaiset** syvänteet erottuvat mallien avulla suhteellisen selkeästi (kuva 5). Tämän tyyppisissä syvissä ja jyrkkäreunaisissa syvänteissä muodostuu usein selkeä veden kerrostuneisuus lämpötilan ja monessa tapauksessa myös suolapitoisuuden suhteen (kuva 6 ja 10). Heikoista sekoittumisolosuhteista johtuen ovat hapettomat kaudet pitkiä ja vähemmän sääolosuhteista riippuvaisia. Hapettomien kausien pysyvästä luonteesta johtuen alempien vesikerrosten fosforipitoisuudet kasvavat suuriksi ja pohjasedimenteistä liukenevien ravinteiden aiheuttama paikallinen kuormitus on voimakasta (kuva 8 ja 9).

Porvoon kaupungin merialueella Emäsalon länsi- ja itäpuolella sijaitsevat syvänteet ovat geomorfologialtaan **kanjonimaisia** (kuva 5). Näytteenottojen perusteella kanjonimaiset syvänteet eivät ole yhtä alttiita hapettomuudelle kuin kraaterimaiset syvänteet, johtuen voimakkaista pohjan läheisistä virtauksista. Tämän kaltaiset syvänteet ovat tyypillisiä Turunmaan saaristoalueelle.

Keipsalon eteläkärjen tuntumassa sijaitseva alue, Pellingin alue ja Onas-Pirttisaaren alue, ovat saarien, syvänteiden ja matalikkojen muodostamia mosaiikkeja (kuva 5). Tä-

män kaltaiset **sokkelot** ovat monasti suurelta osin veden virtauksilta eristyneitä ja tuulten ja aaltojen vaikutuksista suhteellisen suojassa ja tästä syystä varsin alttiita hapettomuudelle. Verrattuna kraaterimaisiin syvänteisiin hapettomat kaudet ovat kuitenkin suhteellisen lyhyitä ja sääolosuhteiden säätelemiä (kuva 8). Hapettomuutta esiintyy erityisesti tyynten hellejaksojen aikana ja tyynten säiden jatkuessa pidempään voivat hapettomat alueet ulottua matalillekin vesille (alle 10 m syvyyteen). Yleensä vesi ei ole selkeästi kerrostunut lämpötilan tai suolaisuuden suhteen ja tuulten voimistuessa vesimassat sekoittuvat ja hapettavat pohjat.

Sisäsaariston **jokisuistot** (kuvan 5 esimerkkialueella Koskenkylänjoen, Ilolanjoen, Porvoonjoen ja Mustijoen suistot) ovat monasti tehokkaasti tuulettuneita pohjanläheiseen veteen saakka, eikä hapettomuutta yleensä esiinny. Alueiden mataluudesta ja jokien tuoman makean veden paineesta johtuen pohjanläheiset virtaukset ovat voimakkaita ja jokien tuoma aines kulkeutuu osin jokisuistoista ulommas merialueille. Mikäli k.o. merialueilla esiintyy geomorfologisia muodostumia, jotka keräävät pohjille laskeutuvan aineksen, johtaa se lisääntyvään hapettomuuden ja sisäisen kuormituksen riskiin.

Myös ravinteikkaiden jokivesien (ja muiden mantereella sijaitsevien kuormituslähteiden) aiheuttaman levätuotannon haittavaikutukset kohdistuvat herkille alueille, jotka sijaitsevat usein kaukana jokien suistoalueilta. Lisääntyvä kuolleen leväaineksen määrä, johon levätuotanto johtaa, kerääntyy geomorfologisesti herkille alueille, joilla se johtaa lisääntyvään hapenkulutukseen ja lisääntyvään merenpohjien sisäiseen kuormitukseen.

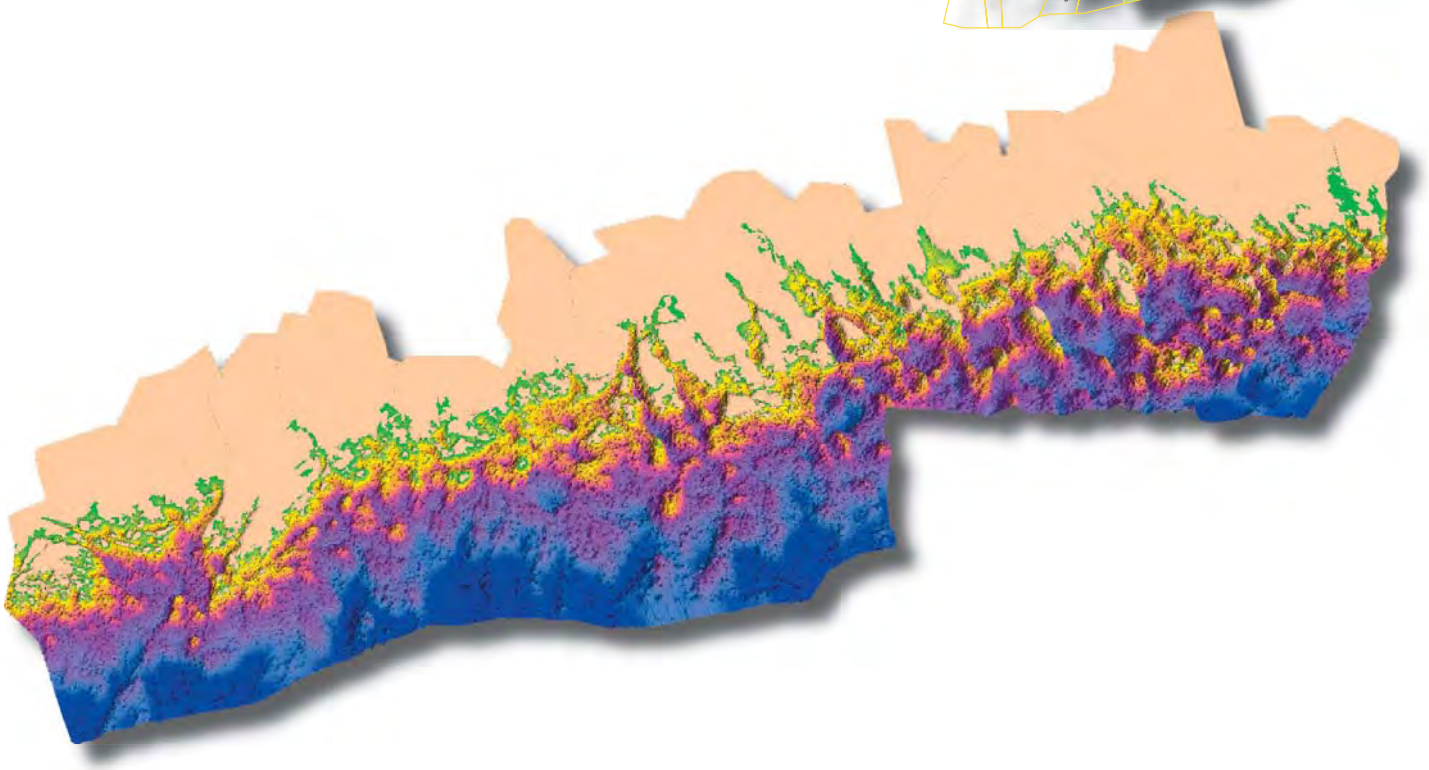
Valtaosa esimerkkialueen pohjista on **eroosiopohjia**, joilla ei ole geomorfologisia muodostumia, jotka merkittävästi akkumuloisivat happea kuluttavaa ainesta ja joissa hapettomuus on harvinaista ja sisäisen kuormituksen potentiaali on vähäinen.

3.2. Aluekohtaiset tulokset

Seuraavilla sivuilla tutkimusaluetta tarkastellaan osa-alueittain. Aluejako on tehty käytännöllisiin seikkoihin perustuen. Aluekohtaisessa tarkastelussa on 12 Suomen rannikkoalueen eri osa-alueiden geomorfologiaa kuvaavaa mallia. Mallit tulkitaan tekstiosuudessa vain lyhyesti, sillä geomorfologian monimuotoisuudesta aiheutuen seikkaperäisestä verbaalisesta tulkinnasta tulisi liian monisanainen ja monimutkainen. Mallien tarkoitus onkin visuaalisesti havainnollistaa ongelmakohtia ja niiden sijaintia.

Mallien tulkinnan helpottamiseksi lukija voi verrata kyseistä aluetta kuvassa 5 esitettyyn ja kuvatekstissä sekä kappaleessa 3.2 tulkittuun malliin esimerkkialueesta, jossa eri tyyppiset geomorfologiset muodostumat ovat hyvin edustettuja. Esimerkiksi geomorfologiset erityispiirteet kuten sokkeloinen saaristo ja kraaterimaiset syvänteet viittaavat usein alttiuteen hapettomuudelle (katso kuvateksti kuvassa 5).

Suomenlahti

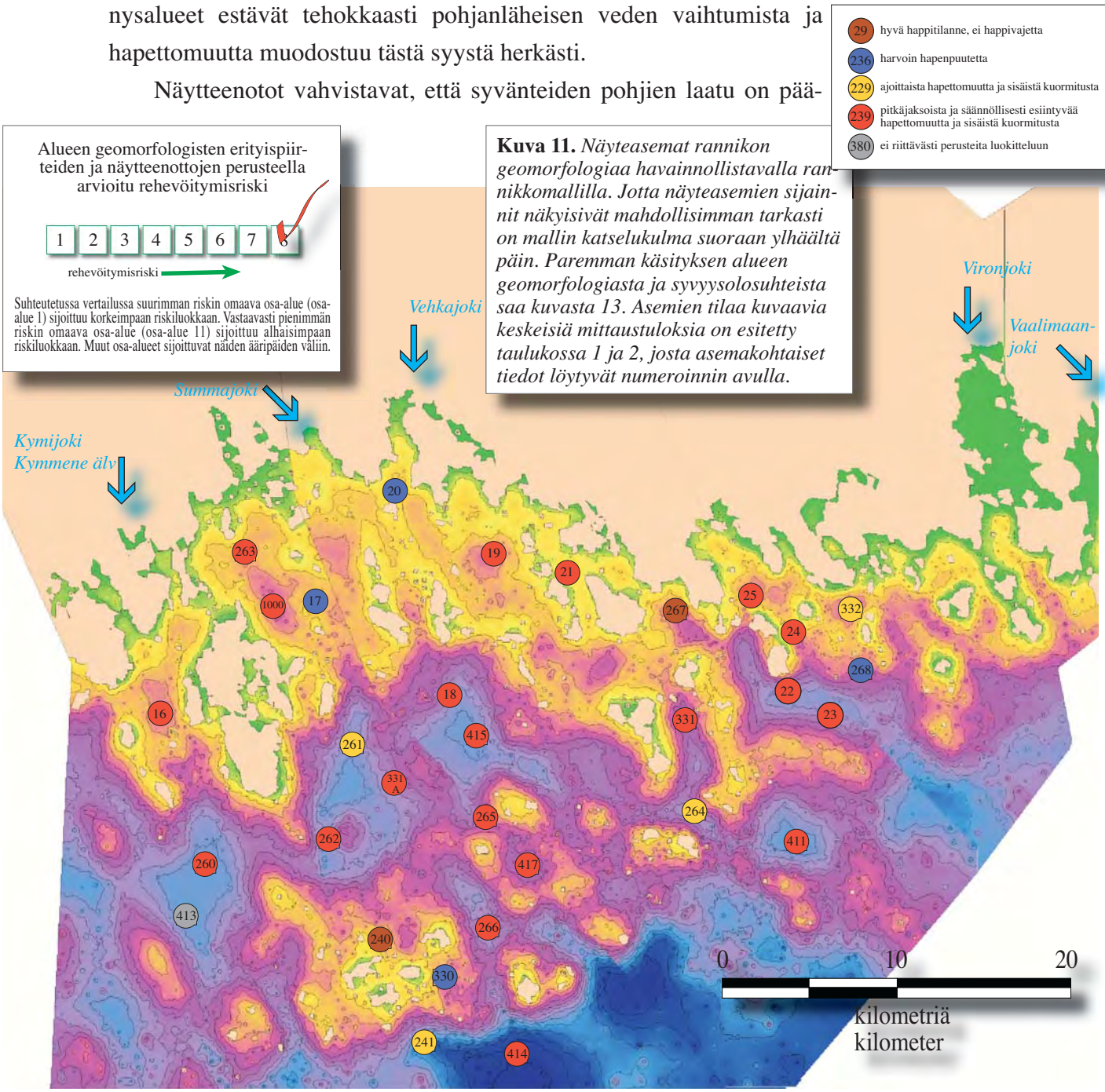


Alue 1. Virolahti, Hamina, Kotka

Itäinen Suomenlahti on tunnetusti Itämeren kuormitetuimpia ja rehevöityneimpiä alueita (Aura ym. 2001, Kauppila ym. 2001, Pitkänen 2004). Sisäisen kuormituksen alueella on todettu olevan voimakasta (Pitkänen ja Välipakka 1997, Pitkänen ym. 2001). On viitteitä siitä, että pohjien tila on heikentynyt ja pohjaeläinlajien kannat heikentyneet sitten 1990-luvun alun (Mankki 2000, Valkama ja Anttila-Huhtinen 2000, Haahti ja Kangas 2004, Jaala 2005, Lönnroth 2005).

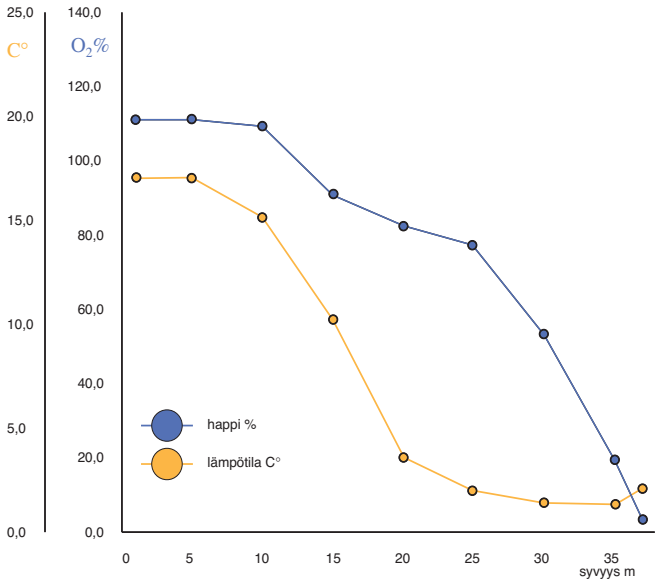
Rannikkomallin perusteella alue on kokonaisuudessaan kaikista osa-alueista eniten altis hapettomuudelle ja siitä johtuvalle sisäiselle kuormitukselle. Mantereen ja alueen ulompien osien välillä on useita vyöhykkeitä jyrkkäreunaisia ja selväpiirteisiä kraaterimaisia syvänteitä. Leveä saaristovyöhyke ja lukuisat syvänteet ja matalat kynnysalueet estävät tehokkaasti pohjanläheisen veden vaihtumista ja hapettomuutta muodostuu tästä syystä herkästi.

Näytteenotot vahvistavat, että syvänteiden pohjien laatu on pää-



Kuva 11. *Näyteasemat rannikon geomorfologiaa havainnollistavalla rannikkomallilla. Jotta näyteasemien sijainnit näkyisivät mahdollisimman tarkasti on mallin katselukulma suoraan ylhäältä päin. Paremman käsityksen alueen geomorfologiasta ja syvyysolosuhteista saa kuvasta 13. Asemien tilaa kuvaavia keskeisiä mittaustuloksia on esitetty taulukossa 1 ja 2, josta asemakohtaiset tiedot löytyvät numeroinnin avulla.*

sääntöisesti hienojakoista ja vesipitoista orgaanista liejua osoittaen, että syvänteet tehokkaasti keräävät pohjille laskeutuvaa ravinnepitoista ainesta. Perättäisinä vuosina suoritetut näytteenotot osoittavat, että **pitkät, säännöllisesti kerrostuneisuuskausina esiintyvät hapettomat ja sisäisesti kuormittavat** kaudet ovat yleisiä alueen kraaterimaisissa syvänteissä. Happitilanteen heiketessä ravinteita liukenee veteen ja pohjanläheisen veden kokonaisfosforipitoisuudet ovatkin monasti kymmenkertaisia verrattuna pinnanläheisen veden pitoisuuksiin. Sisäinen kuormituskierre on alueella käynnistynyt ja voimakkaan ulkoisen kuormituksen ohella alue kuormittuu sisäisesti veden kerrostuneisuuskausien aikana.



Kuva 12. *Happitilanne 8.7 2003 näyteasemalla 18. Veden kokonaissyvyys asemalla on 37,5 m. Samaan aikaan pohjanläheisen veden kokonaisfosforipitoisuus (0,21 mg/l) oli kymmenkertainen pinnanläheisen veden pitoisuuteen (0,022 mg/l) verrattuna viitaten voimakkaaseen sisäiseen kuormitukseen.*

asema no.	syvyys m	pohjaeläinistö	raekoko	savi	siltti	hiekka	hehkutushäviö	eloperäinen aines	lämpötila C°	happi-% pinta	happi-% pohja	fosfori pinta	fosfori pohja	P-aut.	P-detr.	P-org.	P-tot.
16	20.8	0	-	-	-	-	16.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	31.1	0	-	-	-	-	10.1	-	3.2	119	65	0.014	0.15	-	-	-	-
18	37.5	0	2.555	40.00	60.00	0	17.6	18.2124	1.4	111	4	0,022	-	0,152	0,715	1,164	2.067
19	17.2	0	-	-	-	-	16.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	15.7	+	3.366	35.08	64.92	0	8.6	8.1133	8.5	116	42	0.02	0.12	0,080	0,608	1,057	1,745
21	11.7	0	2.698	39.22	60.78	0	17.4	19.1048	7.5	107	3	0.023	0.21	0,184	0,434	1,210	1,828
22	37.1	0	2.738	38.20	61.80	0	17.4	20.8035	2.3	113	15	0.018	0.20	0,134	0,502	0.916	1,552
23	41.0	0	-	-	-	-	20.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	26.9	0	-	-	-	-	13.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	16.6	0	-	-	-	--	21.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
240	22.0	-	-	-	-	0	-	-	3.9	115	64	0.017	0.084	-	-	-	-
241	51.1	0	-	-	-	-	-	-	3.0	118	10	0.017	0.14	-	-	-	-
260	43.8	0	2.404	42.73	57.27	0	9.2	13.8435	1.7	116	35	0.016	0.2	0,158	0,480	0,872	1,511
261	59.0	+	2.562	40.14	59.86	0	15.6	15.1556	1.2	130	45	0.017	0.14	0,221	0,379	1,041	1,641
262	43.8	0	2.556	40.75	59.25	0	18.8	17.1222	1.1	125	49	0.13	0.12	0,177	0,884	1,123	2,184
263	16.2	+	2.670	39.55	60.45	0	12.1	13.2507	10.1	113	70	0.021	0.027	0,359	1,170	0,883	2,413
264	37.8	+	2.279	44.40	55.60	0	20.4	23.5214	2	113	52	-	-	0,191	0,200	0,861	1,253
265	36.5	0	2.796	37.88	62.12	-	21.7	21.8549	1.5	132	22	0.018	0.16	0,119	0,517	0,982	1,618
266	41.2	-	-	-	-	-	-	-	2.4	114	29	0.015	0.13	-	-	-	-
267	21.0	0	-	-	-	-	-	-	2.3	108	66	-	-	-	-	-	-
268	27.0	-	-	-	-	-	-	-	1.9	107	34	-	-	-	-	-	-
330	26.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
331	30.0	0	2.891	36.79	63.21	0	17.3	18.2081	2.1	118	77	0.018	0.12	0,099	0,436	1,022	1,557
331A	30.5	0	2.516	40.72	59.28	0	22.0	19.2777	1.9	112	55	0.017	0.53	0,101	0,342	0,779	1,222
332	21.0	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
411	38.0	0	-	-	-	-	12.1	-	2.3	115	-	0.025	0.080	-	-	-	-
413	44.5	0	-	-	-	-	2.2	-	1.8	117	-	0.028	0.081	-	-	-	-
414	52.5	0	-	-	-	-	14.2	-	2.3	116	-	0.026	0.095	-	-	-	-
415	37.0	0	-	-	-	-	22.6	-	2.3	114	-	0.029	0.11	-	-	-	-
417	30.0	0	-	-	-	-	-	-	2.5	111	-	0.027	0.075	-	-	-	-
1000	19.5	0	-	-	-	-	14.8	-	6.8	115	-	0.026	0.058	-	-	-	-

2002 2002-03 2003 2004

Taulukko 1. Virolahti, Hamina ja Kotka. *Keskeisiä veden- ja merenpohjan laatua kuvaavia muuttujia: Pohjaeläinten esiintyminen (+) tai puuttuminen (0), pohjasedimentin raekoko (mediaani d50), savi- (raekoko < 1.95 µm), siltti (raekoko 1.95-62.5 m) ja hiekkapitoisuus (raekoko 62.5-2000 µm), hehkutushäviö (g), eloperäisen aineen pitoisuus (%), pohjanläheisen veden lämpötila (+1 m), pinnan- (1 m syv.) ja pohjanläheisen (+1 m) veden happikyllästyneisyysaste ja kokonaisfosforipitoisuus (mg/l) sekä pohjasedimentin fosforifraktiot.*

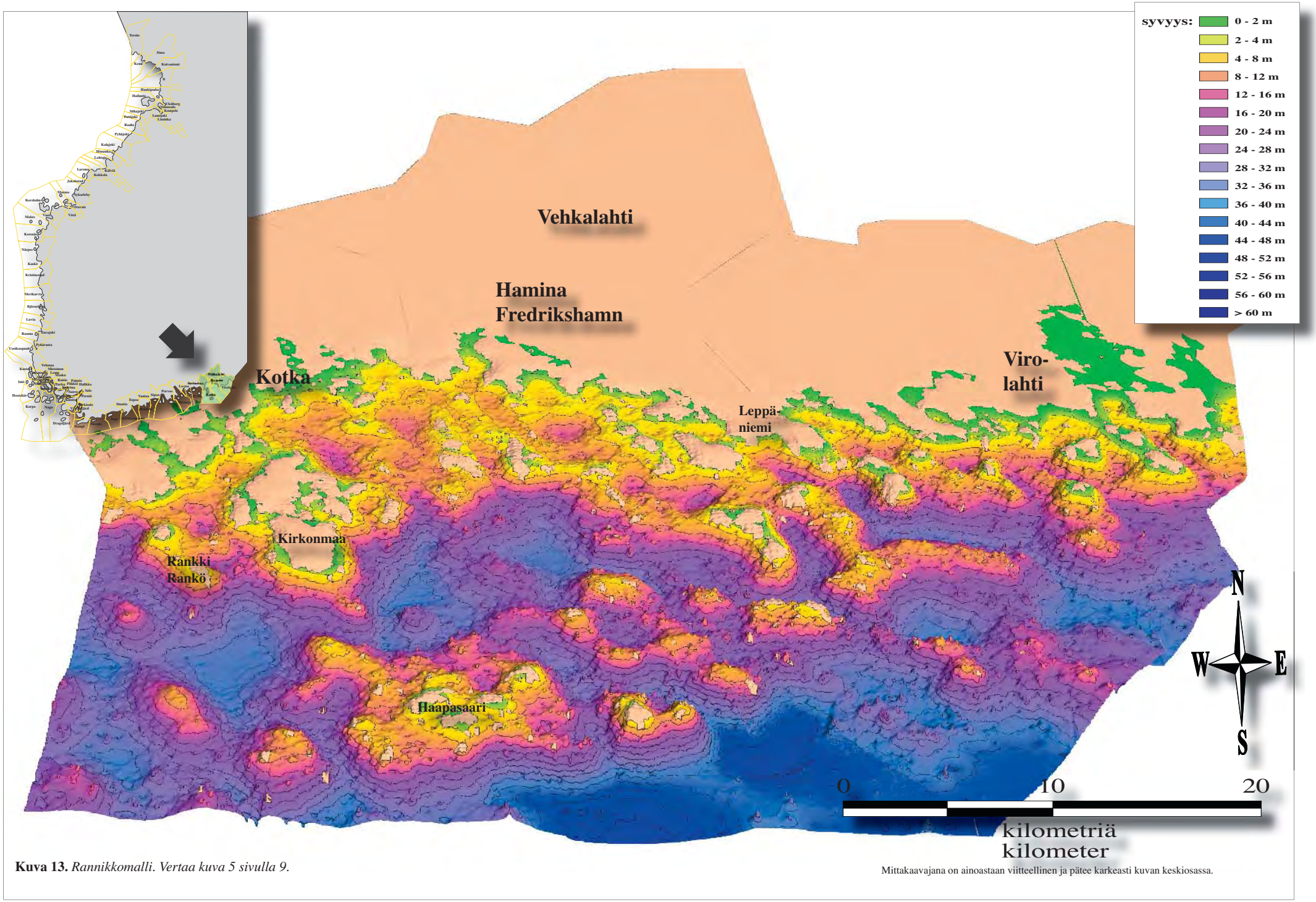
Saariston sisäosissakin pohjat ovat usein eloperäistä sulfidiliejua ja **ajoittaista, sääolosuhteista riippuvaa hapettomuutta ja sisäistä kuormitusta** esiintyy tyynten säiden vallitessa yleisesti jo noin kymmenen metrin syvyydellä. Kuormitus ja varsinkin hapettomuutta ja sisäistä kuormitusta suosiva geomorfologia, ovat aikaansaaneet sen, että alue on pohjien- ja vedenlaadun suhteen Suomen rannikon huonokuntoisin.

Alueelta puuttuu lähes kokonaan syvien pehmeiden pohjien tyypillinen makroskooppinen eliöstö. Elintilaa pohjaeläinyhdiskunnille löytyy lähinnä aaltoeroosiolle alttiilla pohjilla. Alueen merenpohjan vaihtelevasta topografiasta johtuen eroosiopohjia löytyykin melko runsaasti varsinkin alueen ulko-osista, missä aaltoeroosio on voimakasta ja syvälle ulottuvaa.

asema no.	syvyys m	latitud N	longitud E	Fe_{cdb} µmol/g	Fe_{cdb}:P_{spa}	N	C	H	S
16	20.8	60°24.526	26°57.250	-	-	-	-	-	-
17	31.1	60°27.473	27°06.136	-	-	-	-	-	-
18	37.5	60°25.074	27°14.806	156.320	13.677	-	-	-	-
19	17.2	60°28.883	27°16.409	-	-	-	-	-	-
20	15.7	60°30.970	27°11.184	93.470	5.677	-	-	-	-
21	11.7	60°28.770	27°20.607	237.434	13.180	-	-	-	-
22	37.1	60°25.046	27°33.308	143.428	9.616	-	-	-	-
23	41.0	60°24.671	27°36.058	-	-	-	-	-	-
24	26.9	60°26.507	27°33.635	-	-	-	-	-	-
25	16.6	60°27.683	27°31.822	-	-	-	-	-	-
240	22.0	60°17.943	27°09.846	-	-	-	-	-	-
241	51.1	60°15.098	27°11.954	-	-	-	-	-	-
260	43.8	60°20.456	27°00.830	366.895	23.098	-	-	-	-
261	59.0	60°23.580	27°08.445	155.246	10.978	-	-	-	-
262	43.8	60°21.104	27°06.622	152.022	12.262	-	-	-	-
263	16.2	60°28.955	27°01.928	129.998	2.862	-	-	-	-
264	37.8	60°21.718	27°27.842	344.871	22.536	-	-	-	-
265	36.5	60°21.584	27°15.664	139.130	10.640	-	-	-	-
266	41.2	60°18.127	27°16.422	-	-	-	-	-	-
267	21.0	60°27.501	27°27.290	-	-	-	-	-	-
268	27.0	60°25.587	27°37.644	32.177	3.425	-	-	-	-
330	26.0	60°17.007	27°12.863	-	-	-	-	-	-
331	30.0	-	-	259.459	15.851	-	-	-	-
331A	30.5	-	-	252.476	19.167	-	-	-	-
332	21.0	60°28.056	27°26.937	-	-	-	-	-	-
411	38.0	60°20.992	27°33.422	-	-	-	-	-	-
413	44.5	60°18.270	26°58.836	-	-	-	-	-	-
414	52.5	60°15.582	27°18.609	-	-	-	-	-	-
415	37.0	60°23.638	27°15.949	-	-	-	-	-	-
417	30.0	60°20.105	27°18.271	-	-	-	-	-	-
1000	19.5	60°27.578	27°03.788	-	-	-	-	-	-

2002 2002-03 2003 2004

Taulukko 2. Virolahti, Hamina ja Kotka. *Näyteasemien sijainti ja merenpohjan pohjasedimenttiä kuvaavia muuttujia: Pohjasedimentin rautapitoisuus (kyseessä on helposti P-FeOH fosforifraktion mukana liukeneva hydroksidirauta joka ilmeisesti on yksi tärkeimmistä raudan muodoista biologisia prosesseja ja fosforin sitoutumista ajatellen, vertaa Lindgren in prep.) ja rauta- sekä fosforipitoisuuksien välinen suhde. Lisäksi taulukossa on esitetty muutamien kaasukromatografisesti eroteltujen alkuaineiden pitoisuudet massaprosentteina.*



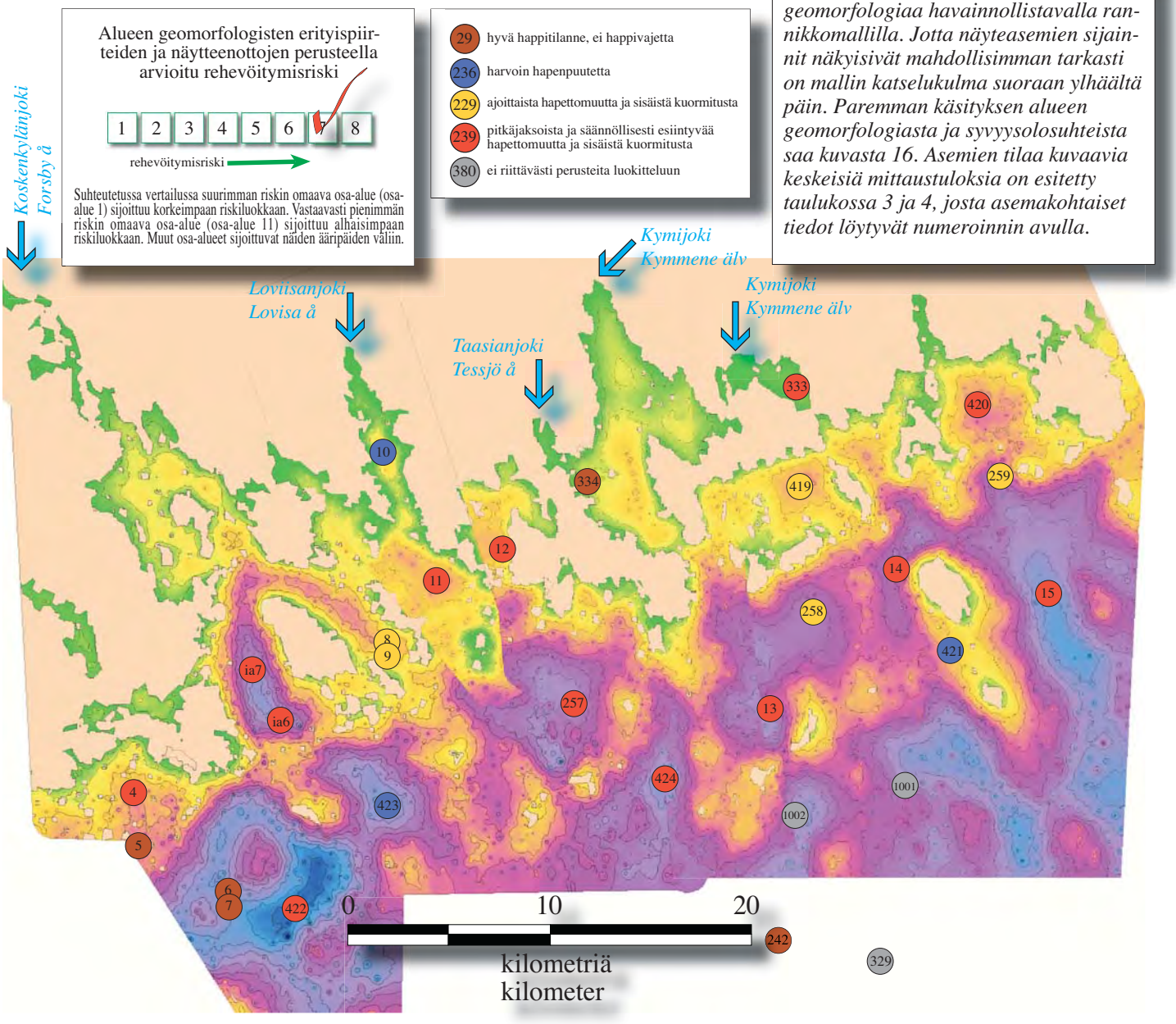
Kuva 13. *Rannikkomalli. Vertaa kuva 5 sivulla 9.*

Mittakaavajana on ainoastaan viitteellinen ja pätee karkeasti kuvan keskiosassa.

Alue 2. Pyhtää, Ruotsinpyhtää, Loviisa, Pernaja

Alue on voimakkaasti kuormitettu pääasiassa epäsuorasti jokien kautta, mutta myös suoraan merialueeseen kohdistuvalla kuormituksella. Pohjaeläimistö on laajoilla alueilla todettu köyhtyneeksi ja pohjanläheisen veden happitilanne heikoksi (Henriksson ja Myllyvirta 1991, 1992, Myllyvirta ja Henriksson 2001, Valkama ja Anttila-Huhtinen 2000). On viitteitä siitä, että pohjaeläimistön tila olisi heikentynyt viimeisten 20 - 30 vuoden aikana. Syy on mitä ilmeisemmin rehevöityminen ja siitä aiheutuneen lisääntyneen eloperäisen aineen määrä sedimenteissä ja pohjanläheisen veden heikentyneet happiolosuhteet (Ilus 1990, Kangas ym. 2001). Pohjaeläinten luonnolliset kannanvaihtelut ovat mahdollisesti osaltaan vaikuttaneet pohjaeläinyhdyskuntien taantumiseen (Laine ym. 1997, Kangas ym. 2001).

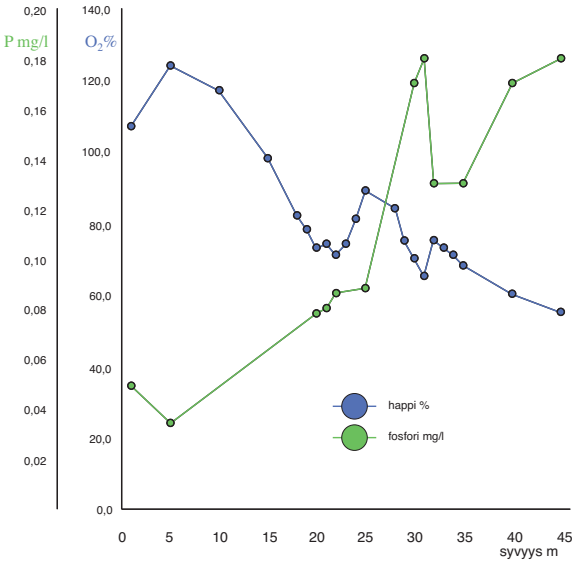
Alueelle luonteenomaista ovat matalat lahdet joihin laskevat alueen suurimmat joet; Kymijoen läntinen haara, Taasianjoki, Loviisanjoki ja Koskenkylänjoki. Lahtien mataluudesta ja jokien tuoman veden paineesta johtuen poh-



Kuva 14. *Näyteasemat rannikon geomorfologiaa havainnollistavalla rannikkomallilla. Jotta näyteasemien sijainnit näkyisivät mahdollisimman tarkasti on mallin katselukulma suoraan ylhäältä päin. Paremman käsityksen alueen geomorfologiasta ja syvyysolosuhteista saa kuvasta 16. Asemien tilaa kuvaavia keskeisiä mittaustuloksia on esitetty taulukossa 3 ja 4, josta asemakohtaiset tiedot löytyvät numeroinnin avulla.*

janläheinen vesi vaihtuu tehokkaasti eikä edellytyksiä anoksialle (hapettomuudelle) juurikaan esiinny. Kohti ulkosaaristoa geomorfologia muuttuu hapettomuutta suosivaksi syvänteiden ja kynnysalueiden mosaiikiksi. Alueen ulkosaaristovyöhyke on leveä ja pohjan topografia on kumpuilevaa.

Rannikkomallin ja paikan päälle suoritettujen näytteenottojen perusteella väli- ja ulkosaariston syvänteet ovat tehokkaita kevyen ja hienorakeisen, laskeutuvan aineen kerääjiä ja pohjat ovat pääsääntöisesti orgaanista liejua. Ajoittainen hapettomuus pohjanläheisessä vedessä on yleistä ja ulkosaariston kraaterimaisissa syvänteissä **hapettomuus ja siitä johtuvaa sisäistä kuormitusta esiintyy monesti säännöllisesti ja pitkäjaksoisesti.**



Kuva 15. *Happi- ja kokonaisfosforitilanne 15.8 2004 intensiviasemalla 7. Veden kokonaissyvyys asemalla on 46 m. Korkeat fosforipitoisuudet ja alhaiset happipitoisuudet vesipatsaan keskellä, noin 30 m syvyydessä, johtuvat todennäköisesti ravinteikkaan pohjanläheisen veden kumpuamisesta.*

Syvänteiden pohjaeliöstö on yleensä köyhtynyttä tai kokonaan puuttuvaa. Vuosina

asema no.	syvyys m	pohjaeläimistö	raekoko	savi	silti	hiekka	hehkutushäviö	eloperäinen aines	lämpötila C°	happi-% pinta	happi-% pohja	fosfori pinta	fosfori pohja	P-aut.	P-detr.	P-org.	P.tot.
4	24.9	0	-	-	-	-	16.2-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	24.4	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	42.5	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	15.9	+	-	-	-	-	10.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	11.7	+	-	-	-	-	10.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	22.8	0	-	-	-	-	17.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	15.7	0	-	-	-	-	16.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	38.6	0	-	-	-	-	17.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	39.0	0	-	-	-	-	12.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	42.0	0	-	-	-	-	10.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
242	47.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
257	31.0	-	-	-	-	-	15.1	-	2.5	110	77	0.016	-	-	-	-	-
258	28.7	0	-	-	-	-	14.0	-	3.5	-	-	0.018	-	-	-	-	-
259	32.1	0	-	-	-	-	16.5	-	-	-	-	0.017	0.14	-	-	-	-
329	51.8	0	-	-	-	-	9.0	-	-	-	-	0.014	0.091	-	-	-	-
333	3.0	+	3.183	36.31	63.69	0	12.7	12.4218	-	-	-	0.023	0.026	0,160	0,519	0,632	1,310
334	5.5	+	2.844	37.79	62.21	0	10.8	10.7346	-	-	-	-	-	0,208	0,795	0,841	1,844
419	15.5	+	-	-	-	-	16.3	-	8.3	109	-	0.026	0.045	-	-	-	-
420	21.0	0	-	-	-	-	17.0	-	5.8	113	-	0.026	0.14	-	-	-	-
421	26.0	+	-	-	-	-	3.1	-	4.1	112	74	0.025	0.056	-	-	-	-
422	58.0	0	-	-	-	-	-	-	1.8	111	-	0.032	0.15	-	-	-	-
423	37.0	0	-	-	-	-	10.9	-	1.9	110	-	0.032	0.077	-	-	-	-
424	45.0	0	-	-	-	-	17.4	-	1.7	110	-	0.023	0.10	-	-	-	-
1001	41.5	-	-	-	-	-	-	-	2.0	119	-	-	-	-	-	-	-
1002	37.0	-	-	-	-	-	-	-	2.2	119	70	-	-	-	-	-	-

2002 2002-03 2003 2004

Taulukko 3. Pyhtää, Ruotsinpyhtää, Loviisa ja Pernaja. *Keskeisiä veden- ja merenpohjan laatua kuvaavia muuttujia: Pohjaeläinten esiintyminen (+) tai puuttuminen (0), pohjasedimentin raekoko (mediaani d50), savi- (raekoko < 1.95 µm), siltti (raekoko 1.95-62.5 m) ja hiekkapitoisuus (raekoko 62.5-2000 µm), hehkutushäviö (g), eloperäisen aineen pitoisuus (%), pohjanläheisen veden lämpötila (+1 m), pinnan- (1 m syv.) ja pohjanläheisen (+1 m) veden happikyllä styneisyysaste ja kokonaisfosforipitoisuus (mg/l) sekä pohjasedimentin fosforifraktiot.*

1990 - 1991 Keipsalosta länteen sijaitsevassa kraaterimaisessa syvänteessä todettiin runsas ja hyvää happitilannetta kuvaava valkokatka – kilkki – itämerensimpukka – yhteisö yli 40 m syvyydellä (Henriksson ja Myllyvirta 1991, 1992). Tässä tutkimuksessa suoritettujen näytteenottojen perusteella saman alueen pohjat olivat kuolleita noin 30 m syvyydestä lähtien.

Hapettomina kausina pohjanläheisen veden fosforipitoisuudet ovat moninkertaisia verrattuna pinnanläheiseen veteen osoittaen, että voimakasta sisäistä kuormitusta esiintyy. Alue on hyvä esimerkki rannikon geomorfologian ratkaisevasta vaikutuksesta veden ja pohjien laadulle.

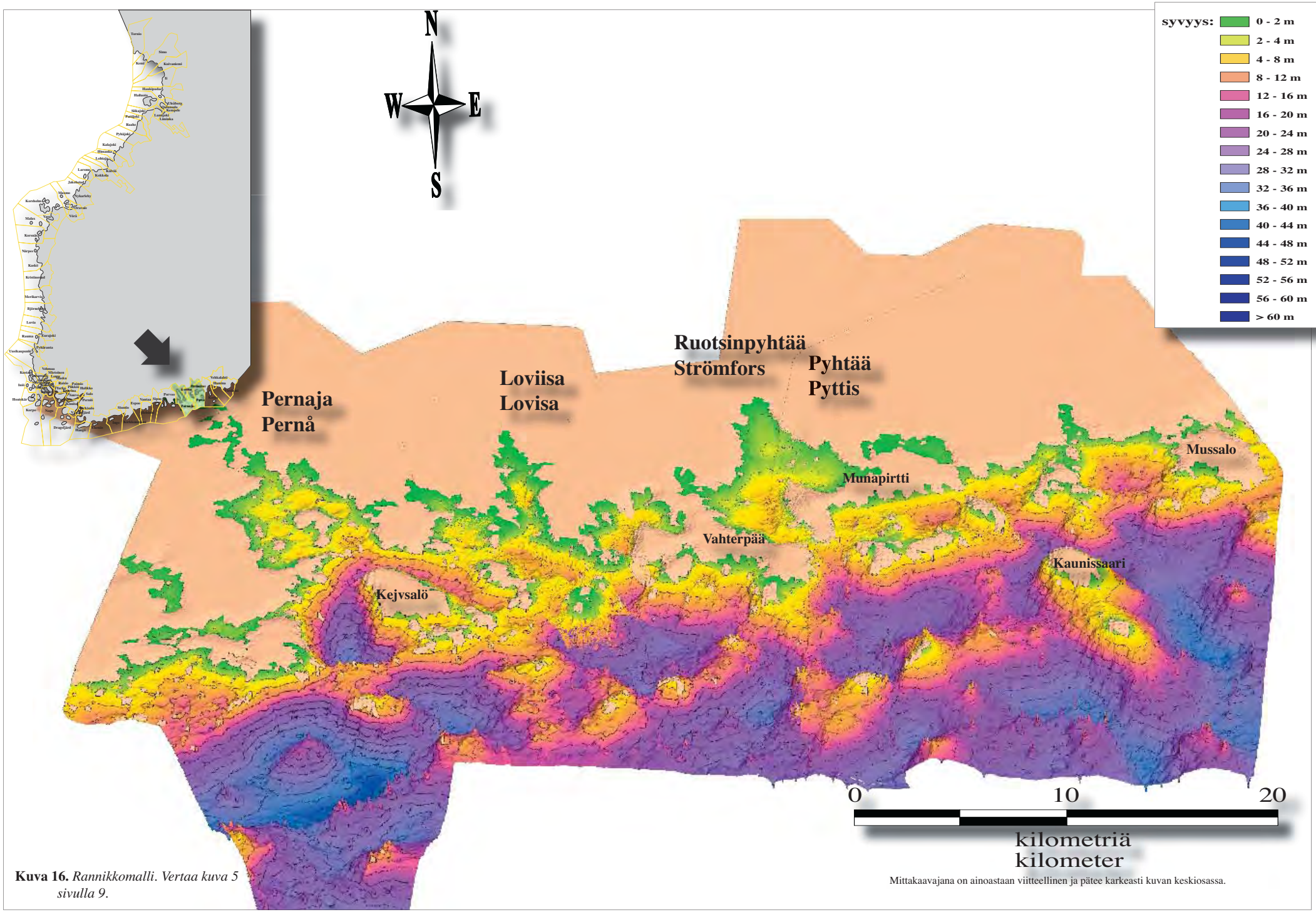
Syvien kraaterimaisten syvänteiden lisäksi hapettomuutta esiintyy matalammillakin alueilla. Runsassaarisilla, sokkeloisilla alueilla Keipsalon eteläkärjen tuntumassa ja läntisessä Pernajassa, **ajoittaista hapettomuutta ja sisäistä kuormitusta** esiintyy tyynten hellejaksojen vallitessa saarien lomassa sijaitsevissa paikallisissa syvänteissä.

Orgaanista ainesta akkumuloivien syvänteiden reuna-alueilta löytyy aaltoeroosiolle altistuneita alueita, jotka tarjoavat elintilaa vesikasvillisuudelle ja kivikkoista pohjaa suosivalle eliöstölle. Vaihtelevasta topografiasta johtuen laajat alueet ovat alttiita aaltoeroosiolle eikä happiongelmia pohjanläheisessä vedessä juurikaan esiinny.

asema no.	syvyys m	latitud N	longitud E	Fe_{cdb} µmol/g	Fe_{cdb}:P_{spa}	N	C	H	S
4	24.9	60°15.593	26°03.363	-	-	-	-	-	-
5	24.4	60°14.321	26°03.947	-	-	-	-	-	-
6	42.5	60°13.508	26°09.094	-	-	-	-	-	-
7	-	60°13.439	26°08.888	-	-	-	-	-	-
8	-	60°19.897	26°16.748	-	-	-	-	-	-
9	15.9	60°19.897	26°16.748	-	-	-	-	-	-
10	11.7	60°24.710	26°16.079	-	-	-	-	-	-
11	22.8	60°21.350	26°19.486	-	-	-	-	-	-
12	15.7	60°27.297	26°22.679	-	-	-	-	-	-
13	38.6	60°18.274	26°36.419	-	-	-	-	-	-
14	39.0	60°21.683	26°43.442	-	-	-	-	-	-
15	42.0	60°21.233	26°51.630	-	-	-	-	-	-
242	47.8	60°11.930	26°37.087	-	-	-	-	-	-
257	31.0	60°18.422	26°26.438	-	-	-	-	-	-
258	28.7	60°20.999	26°38.824	-	-	-	-	-	-
259	32.1	60°24.310	26°48.696	-	-	-	-	-	-
329	51.8	-	-	-	-	-	-	-	-
333	3.0	60°26.715	26°38.012	188.014	8.088	-	-	-	-
334	5.5	60°24.178	26°27.370	87.561	2.756	-	-	-	-
419	15.5	60°24.261	26°38.520	-	-	-	-	-	-
420	21.0	-	-	-	-	-	-	-	-
421	26.0	-	-	-	-	-	-	-	-
422	58.0	60°12.663	26°12.837	-	-	-	-	-	-
423	37.0	60°15.510	26°16.984	-	-	-	-	-	-
424	45.0	60°16.225	26°31.729	-	-	-	-	-	-
1001	41.5	60°16.504	26°44.451	-	-	-	-	-	-
1002	37.0	60°15.572	26°38.275	-	-	-	-	-	-

2002 2002-03 2003 2004

Taulukko 4. Pyhtää, Ruotsinpyhtää, Loviisa ja Pernaja. *Näyteasemien sijainti ja merenpohjan pohjasedimenttiä kuvaavia muuttujia: Pohjasedimentin rautapitoisuus (kyseessä on helposti P-FeOH fosforifraktion mukana liukeneva hydroksidirauta joka ilmeisesti on yksi tärkeimmistä raudan muodoista biologisia prosesseja ja fosforin sitoutumista ajatellen, vertaa Lindgren in prep.) ja rauta- sekä fosforipitoisuuksien välinen suhde. Lisäksi taulukossa on esitetty muutamien kaasukromatografisesti eroteltujen alkuaineiden pitoisuudet massaprosentteina.*



Kuva 16. *Rannikkomalli. Vertaa kuva 5 sivulla 9.*

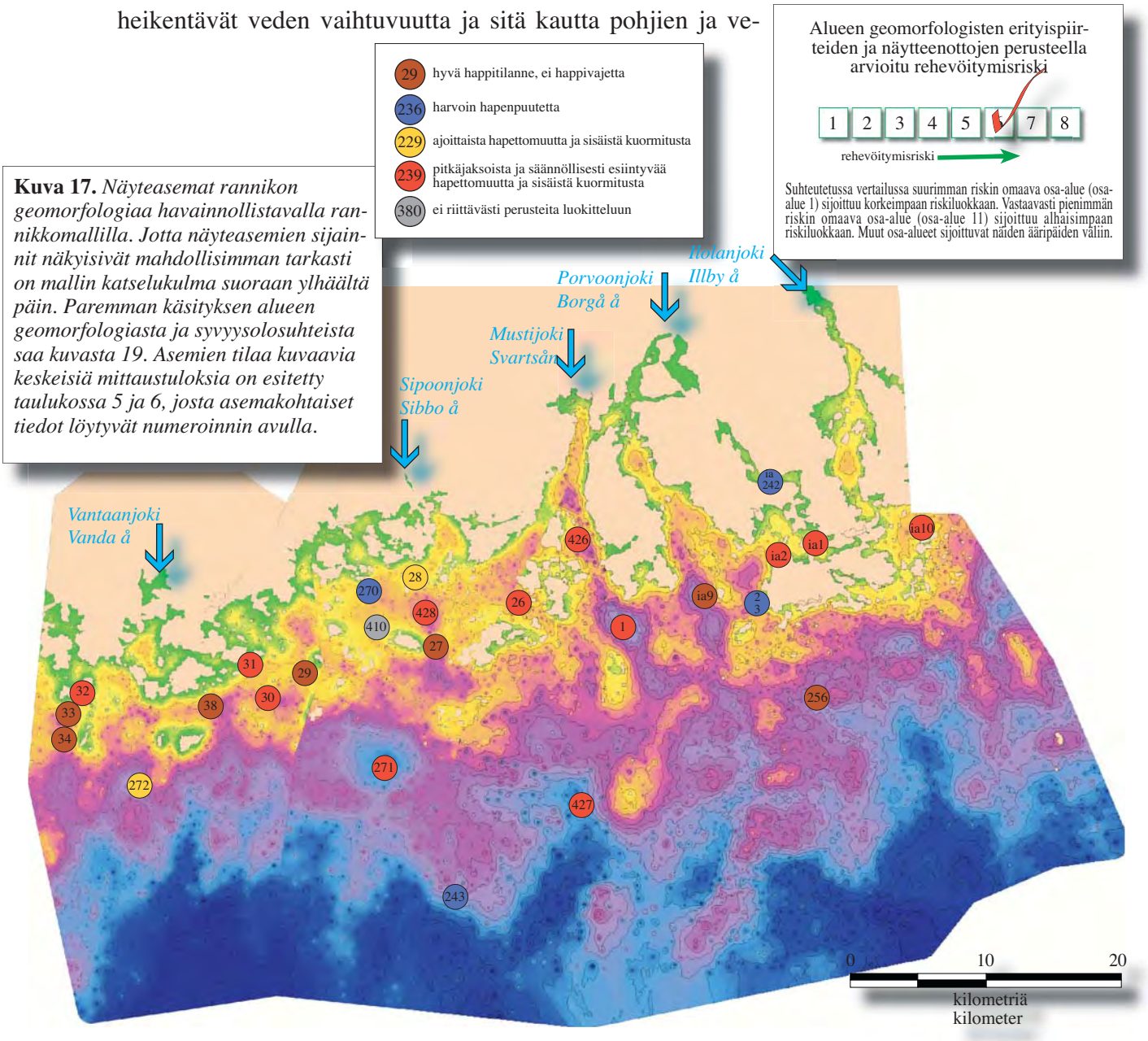
Mittakaavajana on ainoastaan viitteellinen ja pätee karkeasti kuvan keskiosassa.

Alue 3. Porvoo, Sipoo, Helsinki

Alue on voimakkaasti kuormitettu yhdyskunta- ja teollisuusjätevesillä ja jokien tuoma kuormitus on suuri. Vertailevassa tutkimuksessa alueen geomorfologian todettiin aiheuttavan huomattavasti suuremmat edellytykset anoksialle ja rehevöitymiselle verrattuna tilanteeseen Suomenlahden vastakkaisella puolella sijaitsevalla Viron rannikolla (vertaa kuva sivulla 3). Ajoittaista hapettomuutta pohjanläheisessä vedessä esiintyykin alueella yleisesti ja hapettomuudesta johtuva sisäinen kuormitus on paikoin voimakasta (Myllyvirta ja Henriksson 2001).

Alueen länsiosan (Helsingin edustan) seurantatutkimukset kattavat yli 30 vuoden ajanjakson ja tulokset indikoivat sekä rehevöitymiseen että Itämeren suolapitoisuusvaihteluun liittyviä muutoksia pohjaeläimistössä (Laine ym. 2003). Seurantatutkimukset osoittavat paikottaista ja ajoittaista hapen puutetta pohjanläheisessä vedessä (esim. Norha ja Varmo 1993, Varmo 1994, Kajaste 2004).

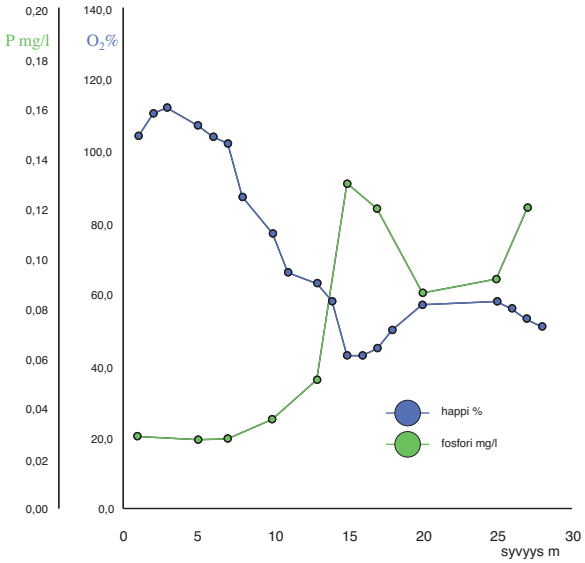
Pitkät lahdet, joihin laskevat Ilolanjoki ja Porvoonjoki sekä pirstoutunut saaristo heikentävät veden vaihtuvuutta ja sitä kautta pohjien ja ve-



Kuva 17. *Näyteasemat rannikon geomorfologiaa havainnollistavalla rannikkomallilla. Jotta näyteasemien sijainnit näkyisivät mahdollisimman tarkasti on mallin katselukulma suoraan ylhäältä päin. Paremman käsityksen alueen geomorfologiasta ja syvyysolosuhteista saa kuvasta 19. Asemien tilaa kuvaavia keskeisiä mittaustuloksia on esitetty taulukossa 5 ja 6, josta asemakohtaiset tiedot löytyvät numeroinnin avulla.*

den laatua alueen itäosassa. Mataluutensa ja jokien aiheuttamien virtausten ansiosta hapettomuuden esiintymisriski jokisuistojen ja lahtien pohjanläheisessä vedessä on kuitenkin vähäinen. Länsiosassa rannikkoviiva Sipoo – Helsinki on suorempi ja sisäsaaristovyöhyke kapeampi. Tämän takia veden vaihtuvuus saariston sisäosien ja merialueen välillä on tehokasta ja rehevöitynein vyöhyke on kapeampi.

Itäiseen Suomenlahteen verrattuna ulkosaariston geomorfologia on vähitellen muuttumassa vähemmän anoksiaa ja sisäistä kuormitusta suosivaksi. Rannikkomalli osoittaa, että matalien kynnysalueiden rajaamat kraaterimaiset pohjamuodostumat eivät ole yhtä hallitsevia kuin idempänä sijaitsevalla rannikkovyöhykkeellä. Sen sijaan pohja syvenee tasaisemmin sisäsaaristosta kohti merialuetta.



Kuva 18. *Happi- ja kokonaisfosforitilanne 22.7 2004 intensiviasemalla 10. Veden kokonaissyvyys asemalla on 31 m. Korkeat fosforipitoisuudet ja alhaiset happipitoisuudet vesipatsaan keskellä, noin 15 m syvyydessä, johtuvat todennäköisesti ravinteikkaan pohjanläheisen veden kumpuamisesta.*

Alueen ulommissa osissa on vain muutama selkeästi eristynyt syvänne jossa hapettomuudelle ja sisäiselle kuormitukselle on esiintymisedellytyksiä. Näytteenotot vahvis-

asema no.	syvyys m	pohjaeläimistö	raekoko	savi	siltti	hiekka	hehkutushäviö	eloperäinen aines	lämpötila C°	happi-% pinta	happi-% pohja	fosfori pinta	fosfori pohja	P-aut.	P-detr.	P-org.	P.tot.
1	41.0	0	-	-	-	-	20.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	31.0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	31.0	+	-	-	-	-	7,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	30.7	0	-	-	-	-	13.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	33.2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	21.1	+	-	-	-	-	13.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	25.5	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	33.0	0	-	-	-	-	7.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	30.6	0	-	-	-	-	11.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	23.2	+	-	-	-	-	11.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	26.5	0	-	-	-	-	3.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	22.8	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	23.4	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
243	52.0	+	2.169	46.39	53.61	0	2.1	1.8717	3.2	118	21	0.025	0.13	0,083	0,418	0,091	0,592
270	18.0	+	2.299	44.76	55.24	0	6.7	7.5871	11.4	113	70	0.021	0.023	0,256	2,395	0,494	3,144
271	48.9	0	2.607	40.64	59.36	0	17.5	17.7088	2.9	119	24	0.020	0.22	0,125	0,518	1,044	1,688
272	49.0	+	53.48	14.36	38.47	47.17	7.6	7.6658	2.3	123	47	0.022	0.11	0,161	0,329	0,581	1,071
410	18.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-				0,160	0,519	0,632	1,310
426	33.7	0	-	-	-	-	18.0	-	4.3	121	-	0.026	0.050	0,208	0,795	0,841	1,844
427	54.5	0	-	-	-	-	18.5	-	2.5	128	-	-	-	-	-	-	-
428	27.0	0	-	-	-	-	21.5	-	6.3	119	-	0.026	0.071	-	-	-	-

2002 | 2002-03 | 2003 | 2004

Taulukko 5. Porvoo, Sipoo ja Helsinki. *Keskeisiä veden- ja merenpohjan laatua kuvaavia muuttujia: Pohjaeläinten esiintyminen (+) tai puuttuminen (0), pohjasedimentin raekoko (mediaani d50), savi- (raekoko < 1.95 µm), siltti (raekoko 1.95-62.5 m) ja hiekkapitoisuus (raekoko 62.5-2000 µm), hehkutushäviö (g), eloperäisen aineen pitoisuus (%), pohjanläheisen veden lämpötila (+1 m), pinnan- (1 m syv.) ja pohjanläheisen (+1 m) veden happikyllästyneisyysaste ja kokonaisfosforipitoisuus (mg/l) sekä pohjasedimentin fosforifraktiot.*

tavat, että fosforipitoisuudet syvänteiden pohjanläheisessä vedessä ovat moninkertaisia verrattuna pinnanläheiseen veteen ja sisäisesti kuormittavat kaudet ovat todennäköisesti **säännöllisesti veden kerrostuneisuuskausina toistuvia ja pitkäjaksoisia**.

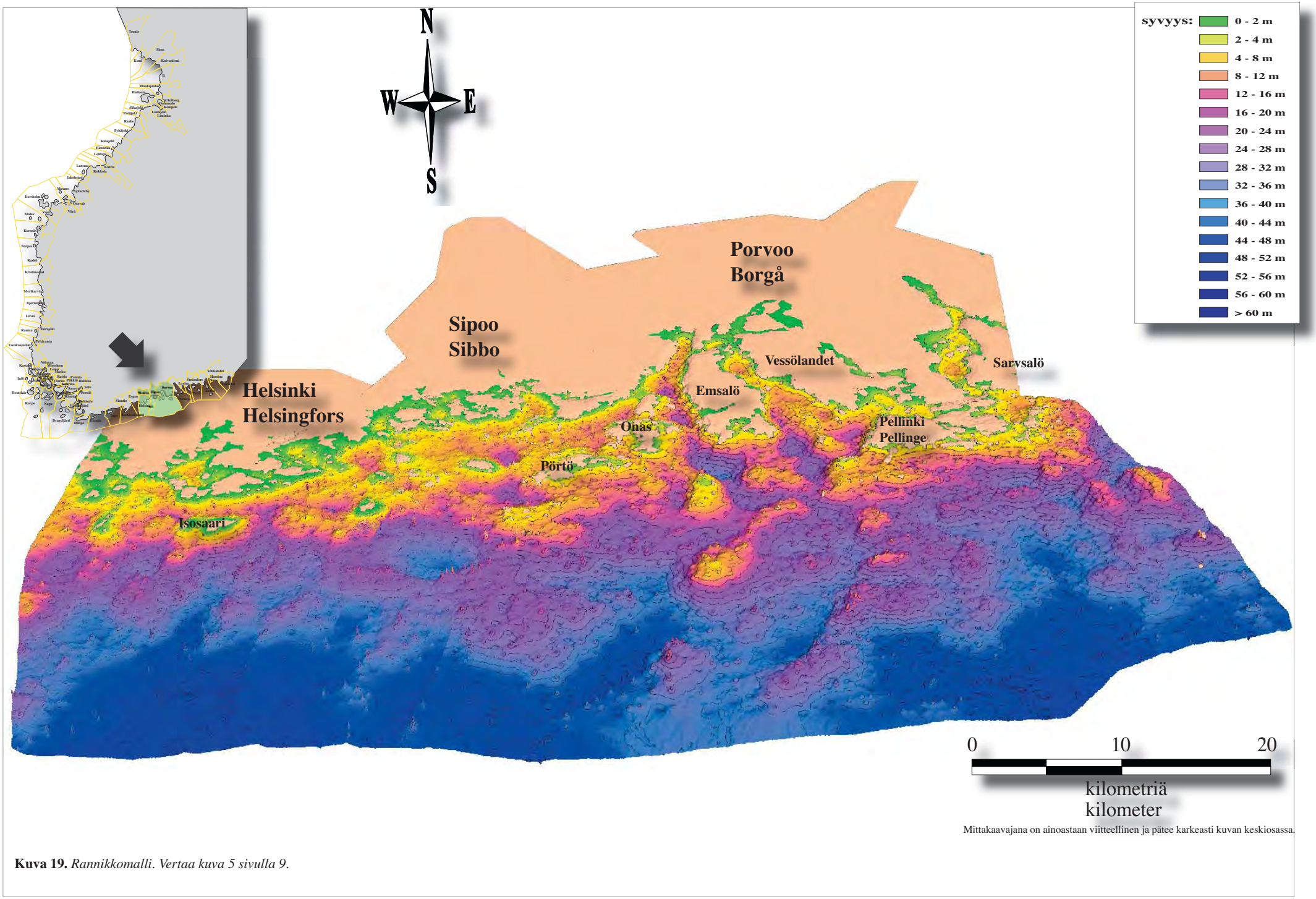
Alueen rannikko on varsin saaristoinen ja sokkeloinen moneen Suomen rannikkoalueeseen verrattuna ja osa väli-ulkosaariston syvänteistä tarjoaa esiintymisedellytyksiä **ajoittaiselle sääolosuhteista riippuvaiselle hapettomuudelle ja sisäiselle kuormitukselle**. Valtaosa ulommasta saaristosta ja merialueesta on kuitenkin enemmän tai vähemmän altista pohjaeroosiolle ja eloperäistä ainesta keräävät ja hapen puutteesta kärsivät alueet ovat pienialaisia verrattuna Suomenlahden itäisiin osiin.

Runsassaarisilla alueilla saaret ja matalikot suojaavat pohjia eroosiolta ja pohjat ovat pääasiassa pehmeitä orgaanisesta aineesta koostuvia liejupohjia, joilla hapettomuutta helposti syntyy varsinkin pitkien hellejaksojen vallitessa. Tämän tyyppisiä sokkeloisia alueita ovat Pellingin, Onaksen ja Pirttisaaren saaristoalueet, joilla ajoittaista hapettomuutta ja sisäistä kuormitusta esiintyy saarten lomassa sijaitsevissa paikallisissa syvänteissä (Henriksson ja Myllyvirta 1991, 1992, Henriksson ja Myllyvirta 1995, Myllyvirta ja Henriksson 1999, Henriksson ja Myllyvirta 2001, Myllyvirta ja Henriksson 2001). Pitkien tyynten jaksojen aikana ulottuvat hapettomat alueet paikoin matalille, alle 10 m syville vesialueille.

asema no.	syvyys m	latitud N	longitud E	Fe_{cdb} µmol/g	Fe_{cdb}:Pspa	N	C	H	S
1	41.0	60°10.909	25°36.388	-	-	-	-	-	-
2	31.0	60°11.952	25°47.633	-	-	-	-	-	-
3	31.0	60°11.844	25°47.482	-	-	-	-	-	-
26	30.7	60°11.674	25°28.466	-	-	-	-	-	-
27	33.2	60°10.553	25°22.048	-	-	-	-	-	-
28	21.1	60°12.780	25°20.927	-	-	-	-	-	-
29	25.5	60°08.531	29°12.335	-	-	-	-	-	-
30	33.0	60°07.858	25°09.486	-	-	-	-	-	-
31	30.6	60°08.997	25°08.044	-	-	-	-	-	-
32	23.2	60°07.154	24°55.167	-	-	-	-	-	-
33	26.5	60°06.682	24°52.587	-	-	-	-	-	-
34	22.8	60°05.399	24°51.544	-	-	-	-	-	-
38	23.4	60°07.229	25°04.220	-	-	-	-	-	-
243	52.0	60°00.322	25°24.516	14.665	6.056	-	-	-	-
270	18.0	60°12.207	25°17.373	100.453	2.897	-	-	-	-
271	48.9	60°05.694	25°19.210	175.658	8.281	-	-	-	-
272	49.0	60°03.827	24°59.503	47.594	3.613	-	-	-	-
410	18.8	60°11.812	25°18.854	-	-	-	-	-	-
426	33.7	60°14.297	25°34.339	-	-	-	-	-	-
427	54.5	60°04.410	25°33.503	-	-	-	-	-	-
428	27.0	60°11.366	25°21.733	-	-	-	-	-	-

2002 | 2002-03 | 2003 | 2004

Taulukko 6. Porvoo, Sipoo ja Helsinki. *Näyteasemien sijainti ja merenpohjan pohjasedimenttiä kuvaavia muuttujia: Pohjasedimentin rautapitoisuus (kyseessä on helposti P-FeOH fosforifraktion mukana liukeneva hydroksidirauta joka ilmeisesti on yksi tärkeimmistä raudan muodoista biologisia prosesseja ja fosforin sitoutumista ajatellen, vertaa Lindgren in prep.) ja rauta- sekä fosforipitoisuuksien välinen suhde. Lisäksi taulukossa on esitetty muutamien kaasukromatografisesti eroteltujen alkuaineiden pitoisuudet massaprosentteina.*



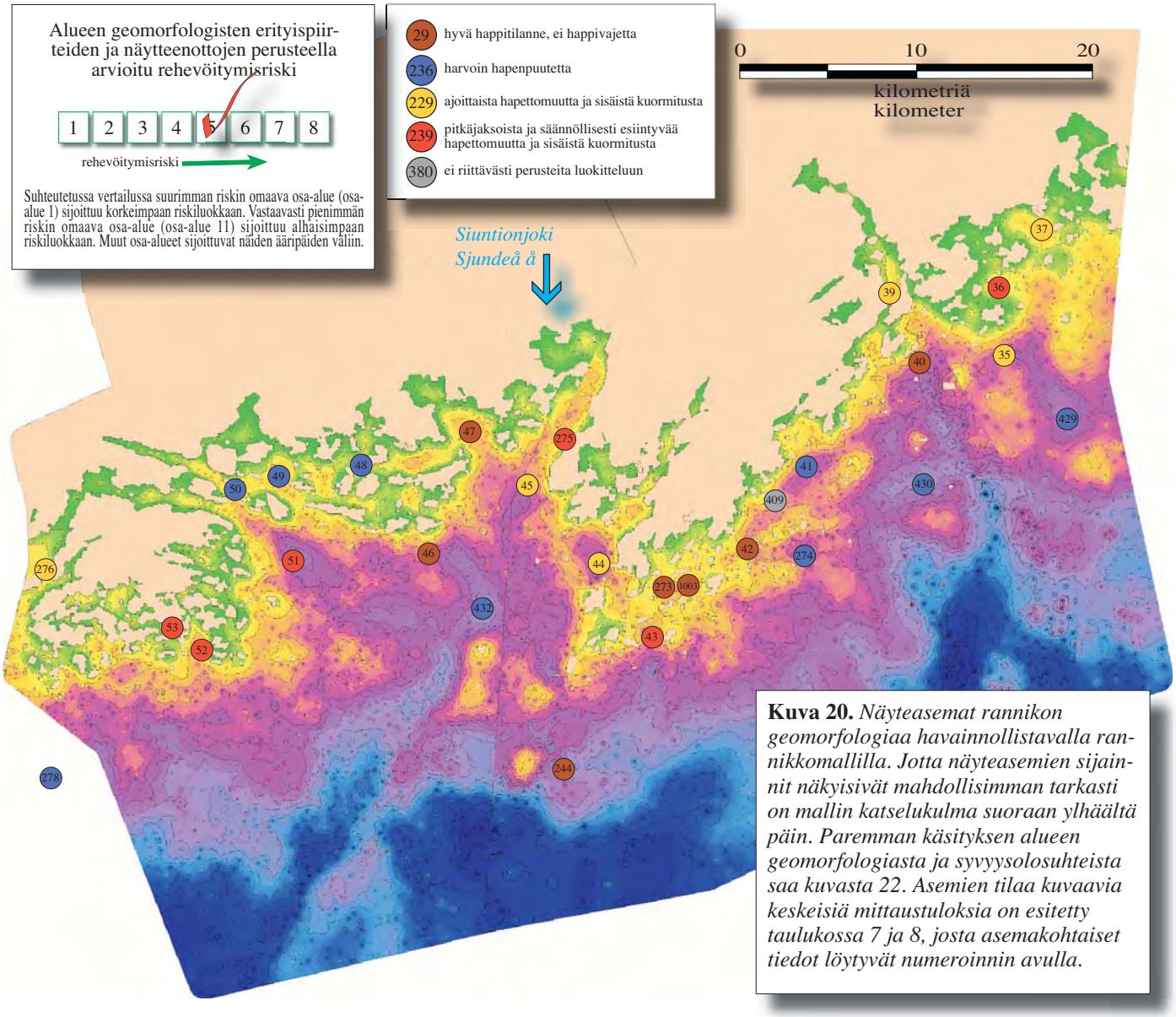
Kuva 19. *Rannikkomalli. Vertaa kuva 5 sivulla 9.*

Alue 4. Espoo, Kirkkonummi, Siuntio, Inkoo

Seurantatutkimukset kattavat osin alueen orgaanista ainesta kerääviä syvänteitä osoittaen paikallista ja ajoittaista hapen puutetta (esim. Norha ja Varmo 1993, Varmo 1994, Holmberg ym. 1999, Mettinen 2002, Kajaste 2004, Laine ym. 2003).

Rannikkomallin perusteella alueen geomorfologia ei tarjoa edellytyksiä suurelle rehevöitymisriskille. Suurin osa alueesta syvenee tasaisesti kohti avomerialueita ja eloperäistä liejua keräävät pohjamuodostumat ovat pienialaisia ja harvassa. Verrattuna itäiseen Suomenlahteen, jossa kraaterimaisten syvänteiden vyöhykkeet antavat leimansa koko rannikkovyöhykkeen geomorfologialle, on tilanne täällä luonteeltaan erilainen.

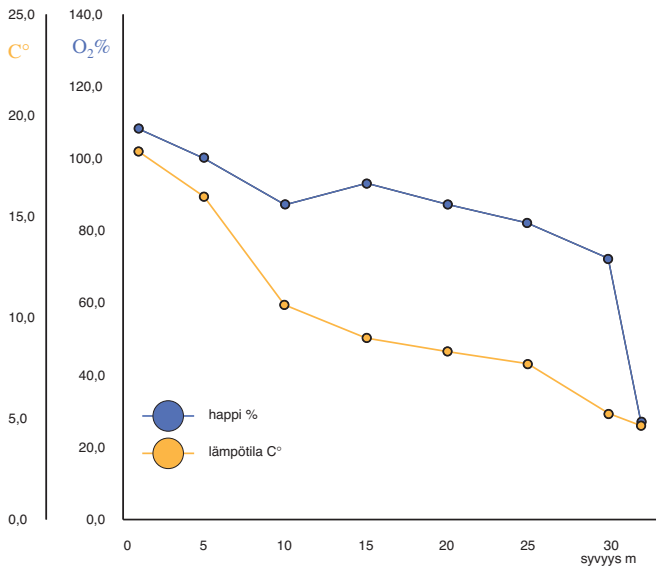
Myös sokkeloinen, orgaanista liejua keräävä saaristovyöhyke on suhteellisen kapea ja veden vaihtuvuus on useimmiten riittävä pitämään pohjat hapekkaina. Ulompana ovat kovat, saviset ja hiekkaiset pohjat vallitsevia eikä eristyneitä syvänteitä esiinny. Vain mantereen tuntumassa on muutamia kynnysaluiden eristämiä, melko paikallisia syvänteitä. Näistä muutamat ovat geomorfologialtaan sen kaltaisia, että ne keräävät pohjalle laskeutuvaa eloperäistä ainesta ja siten ovat olosuhteiden salliessa alttiita hapettomuu-



Kuva 20. *Näyteasemat rannikon geomorfologiaa havainnollistavalla rannikkomallilla. Jotta näyteasemien sijainnit näkyisivät mahdollisimman tarkasti on mallin katselukulma suoraan ylhäältä päin. Paremman käsityksen alueen geomorfologiasta ja syvyysolosuhteista saa kuvasta 22. Asemien tilaa kuvaavia keskeisiä mittaustuloksia on esitetty taulukossa 7 ja 8, josta asemakohtaiset tiedot löytyvät numeroinnin avulla.*

delle ja sisäiselle kuormitukselle.

Säännöllisesti kerrostuneisuuskausina esiintyvälle, pitkäjaksoiselle hapettomuudelle ja sisäiselle kuormitukselle on esiintymismahdollisuuksia vain muutamissa syvänteissä. Näissä, verraten pienialaisissa syvänteissä pohjanläheisen veden fosforipitoisuus on anoksiakausien aikana selkeästi kohonnut pinnanläheisiin pitoisuuksiin verrattuna osoittaen voimakasta sisäistä kuormitusta.



Kuva 21. *Happitilanne 20.7 2002 näyteasemalla 43. Veden kokonaissyvyys asemalla on 33 m.*

Pitkien ja tyynten hellekausien aikana **ajoittaiselle hapen puutteelle ja sisäiselle kuormitukselle** on esiintymismahdollisuuksia laajemmaltikin, sillä pohjasedimentin pintakerros muodostuu paikoin eloperäisestä ja ravinnepitoisesta liejusta. Poikkeuksellisen pitkien ja tyynten kausien aikana hapettomuudelle on edellytyksiä

asema no.	syvyys m	pohjaeläimistö	raekoko	savi	siltti	hiekka	hehkutushäviö	eloperäinen aines	lämpötila C°	happi-% pinta	happi-% pohja	fosfori pinta	fosfori pohja	P-aut.	P-detr.	P-org.	P.tot.
35	32.8	0	-	-	-	-	11.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	16.4	+	-	-	-	-	12.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	13.2	+	-	-	-	-	11.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	14.0	+	-	-	-	-	12.4	-	11.1	99.5	11.5	-	-	-	-	-	-
40	23.0	+	-	-	-	-	1.9	-	7.3	-	74.0	-	-	-	-	-	-
41	24.5	+	-	-	-	-	6.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	26.3	+	-	-	-	-	2.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	32.7	0	-	-	-	-	14.6	-	4.6	108	26	-	-	-	-	-	-
44	25.3	+	-	-	-	-	15.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	27.7	+	-	-	-	-	15.7	-	7.8	-	67	-	-	-	-	-	-
46	28.0	+	-	-	-	-	2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47	18.0	+	-	-	-	-	7.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	16.5	0	-	-	-	-	12.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
49	15.5	+	-	-	-	-	11.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	18.8	+	-	-	-	-	8.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
51	30.8	+	-	-	-	-	12.6	-	7.5	-	50	-	-	-	-	-	-
52	30.0	0	-	-	-	-	19.5	-	5.3	-	8	-	-	-	-	-	-
53	18,8	0	-	-	-	-	18.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
244	46.0	+	193.7	2.52	8.57	88.91	1.3	1.4055	2.4	129	64	0.024	0.071	0,116	0,834	0,531	1,481
273	20.0	+	-	-	-	-	-	-	13.9	124	88	0.033	0.035	-	-	-	-
274	34.5	+	137.5	5.00	16.27	78.73	2.7	2.5521	-	-	-	0.025	0.12	0,066	0,454	0,259	0,779
275	19.5	0	2.583	41.02	58.98	0	16.4	17.0533	-	-	-	0.025	0.43	0,148	0,423	0,991	1,562
276	16.4	+	3.627	31.47	68.53	0	12.6	11.8277	9.3	132	32	0.026	0.084	0,159	0,562	0,817	1,537
278	47.2	+	3.187	36.13	63.87	0	7.1	6.4885	9.3	147	73	0.021	0.059	0,170	0,348	0,332	0,851
409	18.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
429	35.0	0	-	-	-	-	12.5	-	3.8	121	43	0.024	0.066	-	-	-	-
430	41.0	0	-	-	-	-	9.8	-	4.2	122	-	0.022	0.058	-	-	-	-
432	34.0	+	-	-	-	-	6,1	-	6.1	120	75	0.027	0.020	-	-	-	-
1003	28.0	-	-	-	-	-	-	-	7.5	118	86	0.027	0.047	-	-	-	-

2002 2002-03 2003 2004

Taulukko 7. Espoo, Kirkkonummi, Siuntio ja Inkoo. *Keskeisiä veden- ja merenpohjan laatua kuvaavia muuttujia: Pohjaeläinten esiintyminen (+) tai puuttuminen (0), pohjasedimentin raekoko (mediaani d50), savi- (raekoko < 1.95 µm), siltti (raekoko 1.95-62.5 m) ja hiekkapitoisuus (raekoko 62.5-2000 µm), hehkutushäviö (g), eloperäisen aineen pitoisuus (%), pohjanläheisen veden lämpötila (+1 m), pinnan- (1 m syv.) ja pohjanläheisen (+1 m) veden happikyllästyneisyysaste ja kokonaisfosforipitoisuus (mg/l) sekä pohjasedimentin fosforifraktiot.*

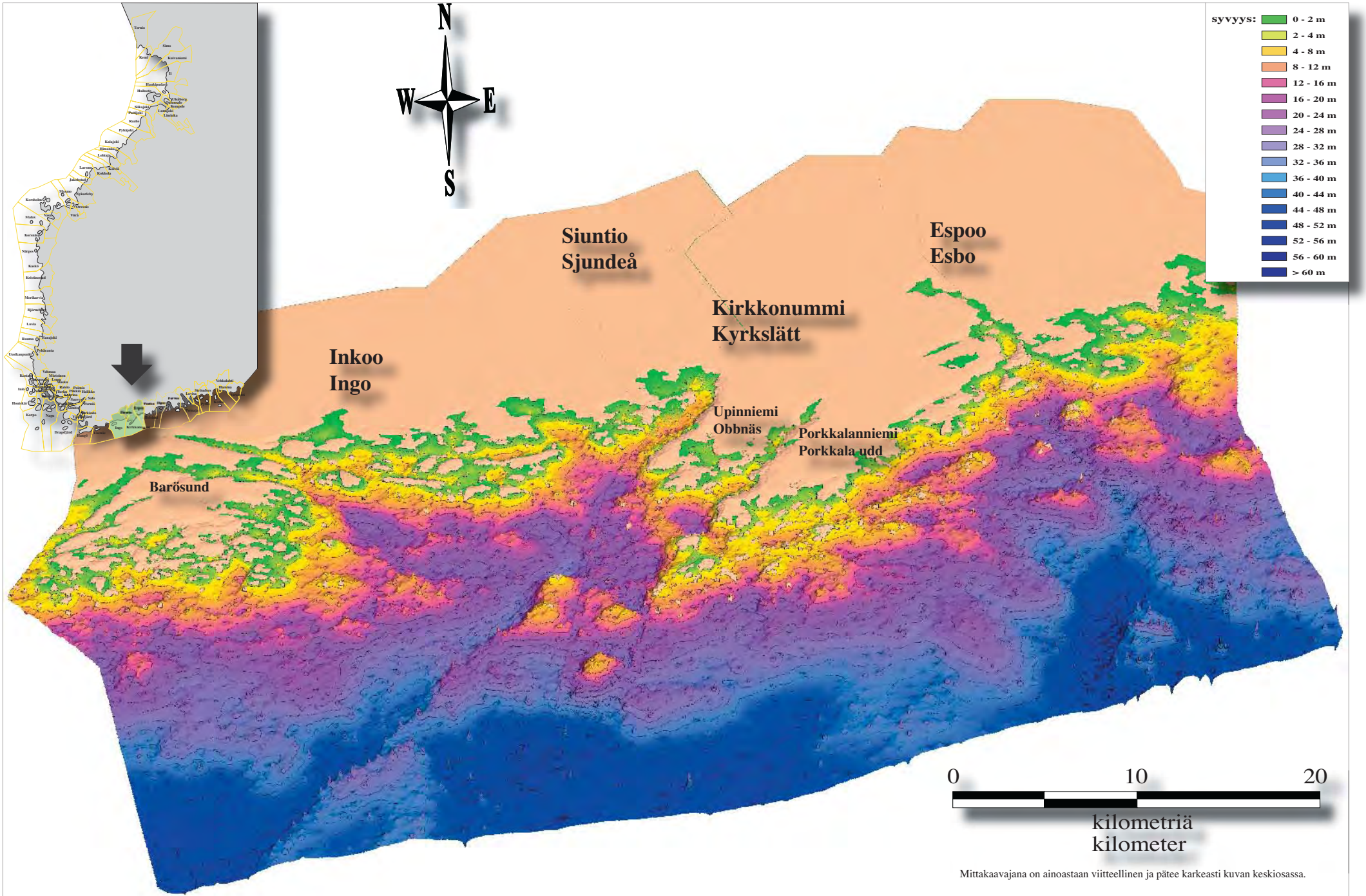
levitä matalillekin vesille alueen suojaisissa ja runsassaarisissa osissa.

Näytteenottojen perusteella alueella on verraten runsaasti melko hyväkuntoisia ja syviä liejupohjia tyypillisine pohjaeläimistöineen (itämerensimpukka, valkokatka, Nereis-monisukasmato). Idempänä tämän tyyppiset pehmeät pohjat ovat nykyään poikkeuksellisia. Alueen tilanteen heiketessä ovat nämä alueet ensisijaisesti vaarassa muuttua sisäisesti kuormittaviksi pohjiksi. Alueen seurantatukimuksissa olisi tarkoituksenmukaista seurata näiden, toistaiseksi hyväkuntoisten mutta herkkien ja muutoksia indikoivien pohja-alueiden tilaa.

asema no.	syvyys m	latitud N	longitud E	Fecdb mmol/g	Fecdb mmol/g	N	C	H	S
35	32.8	60°04.675	24°46.451	-	-	-	-	-	-
36	16.4	60°06.899	24°45.615	-	-	-	-	-	-
37	13.2	60°08.696	24°48.301	-	-	-	-	-	-
39	14.0	60°06.360	24°39.272	-	-	-	-	-	-
40	23.0	60°04.517	24°41.168	-	-	-	-	-	-
41	24.5	60°01.262	24°34.541	-	-	-	-	-	-
42	26.3	59°58.713	24°31.549	-	-	-	-	-	-
43	32.7	59°55.949	24°25.781	-	-	-	-	-	-
44	25.3	59°58.830	24°22.999	-	-	-	-	-	-
45	27.7	60°00.301	24°18.509	-	-	-	-	-	-
46	28.0	59°58.299	24°12.438	-	-	-	-	-	-
47	18.0	60°01.969	24°14.750	-	-	-	-	-	-
48	16.5	60°00.712	24°08.285	-	-	-	-	-	-
49	15.5	60°00.357	24°03.057	-	-	-	-	-	-
50	18.8	59°59.995	24°00.424	-	-	-	-	-	-
51	30.8	59°57.992	24°03.973	-	-	-	-	-	-
52	30.0	59°55.205	23°58.671	-	-	-	-	-	-
53	18,8	59°55.747	23°56.697	-	-	-	-	-	-
244	46.0	59°51.795	24°20.701	38.731	4.122	-	-	-	-
273	20.0	59°57.532	24°26.346	-	-	-	-	-	-
274	34.5	59°58.63	24°34.857	22.024	3.344	-	-	-	-
275	19.5	60°01.805	24°20.276	175.121	8.651	-	-	-	-
276	16.4	59°57.212	23°49.115	136.981-	3.312	-	-	-	-
278	47.2	59°50.709	23°34.566	19.392	2.275	-	-	-	-
409	18.8	59°59.712	24°32.555	-	-	-	-	-	-
429	35.0	60°02.895	24°50.093	-	-	-	-	-	-
430	41.0	60°00.835	24°42.026	-	-	-	-	-	-
432	34.0	59°57.198	24°15.125	-	-	-	-	-	-
1003	28.0	59°57.188	24°26.180		-	-	-	-	-

2002 2002-03 2003 2004

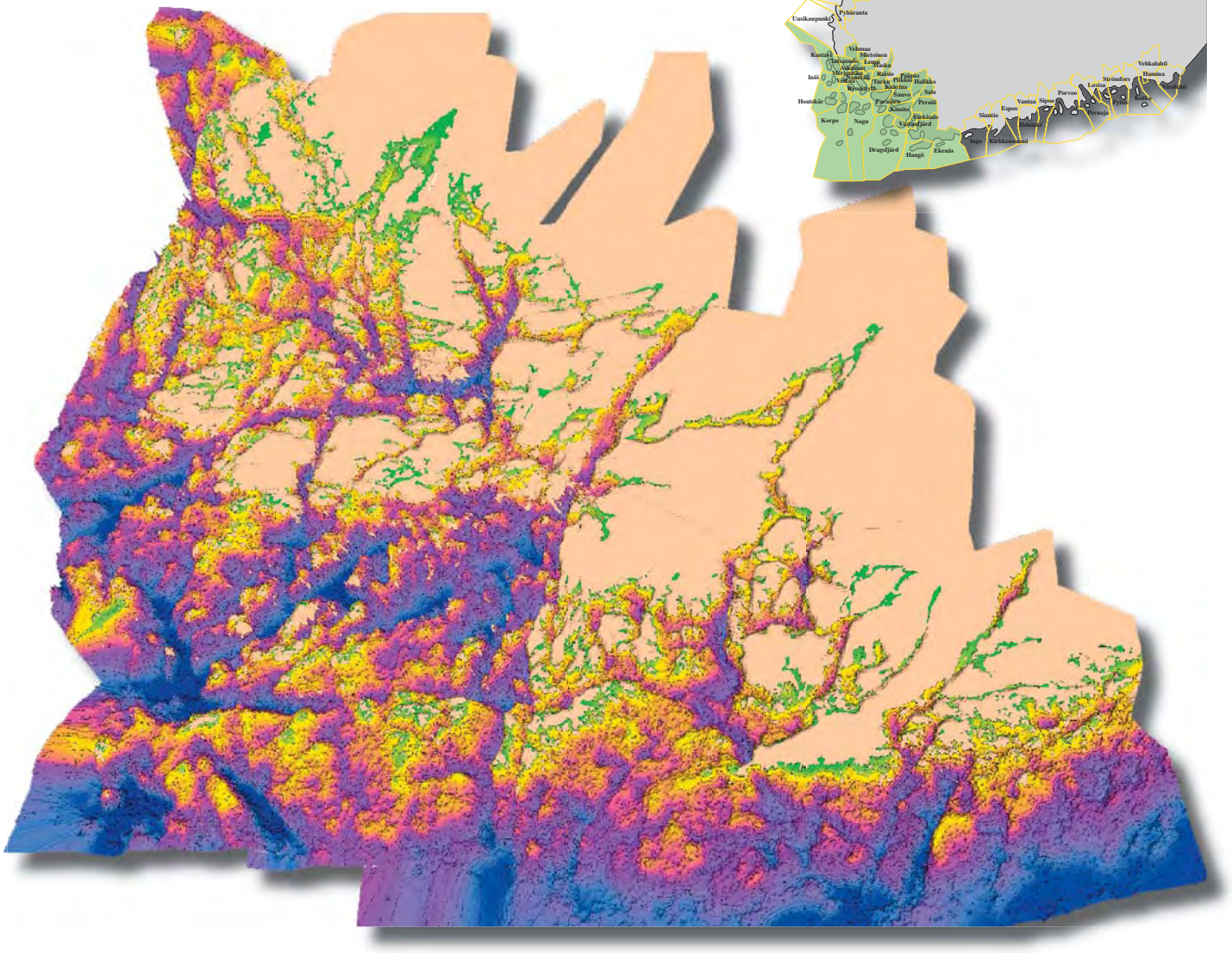
Taulukko 8. Espoo, Kirkkonummi, Siuntio ja Inkoo. *Näyteasemien sijainti ja merenpohjan pohjasedimenttiä kuvaavia muuttujia: Pohjasedimentin rautapitoisuus (kyseessä on helposti P-FeOH fosforifraktion mukana liukeneva hydroksidirauta joka ilmeisesti on yksi tärkeimmistä raudan muodoista biologisia prosesseja ja fosforin sitoutumista ajatellen, vertaa Lindgren in prep.) ja rauta- sekä fosforipitoisuuksien välinen suhde. Lisäksi taulukossa on esitetty muutamien kaasukromatografisesti eroteltujen alkuaineiden pitoisuudet massaprosentteina.*



Mittakaavajana on ainoastaan viitteellinen ja pätee karkeasti kuvan keskiosassa.

Kuva 22. *Rannikkomalli. Vertaa kuva 5 sivulla 9.*

Saaristomeri ja Hankoniemen alue

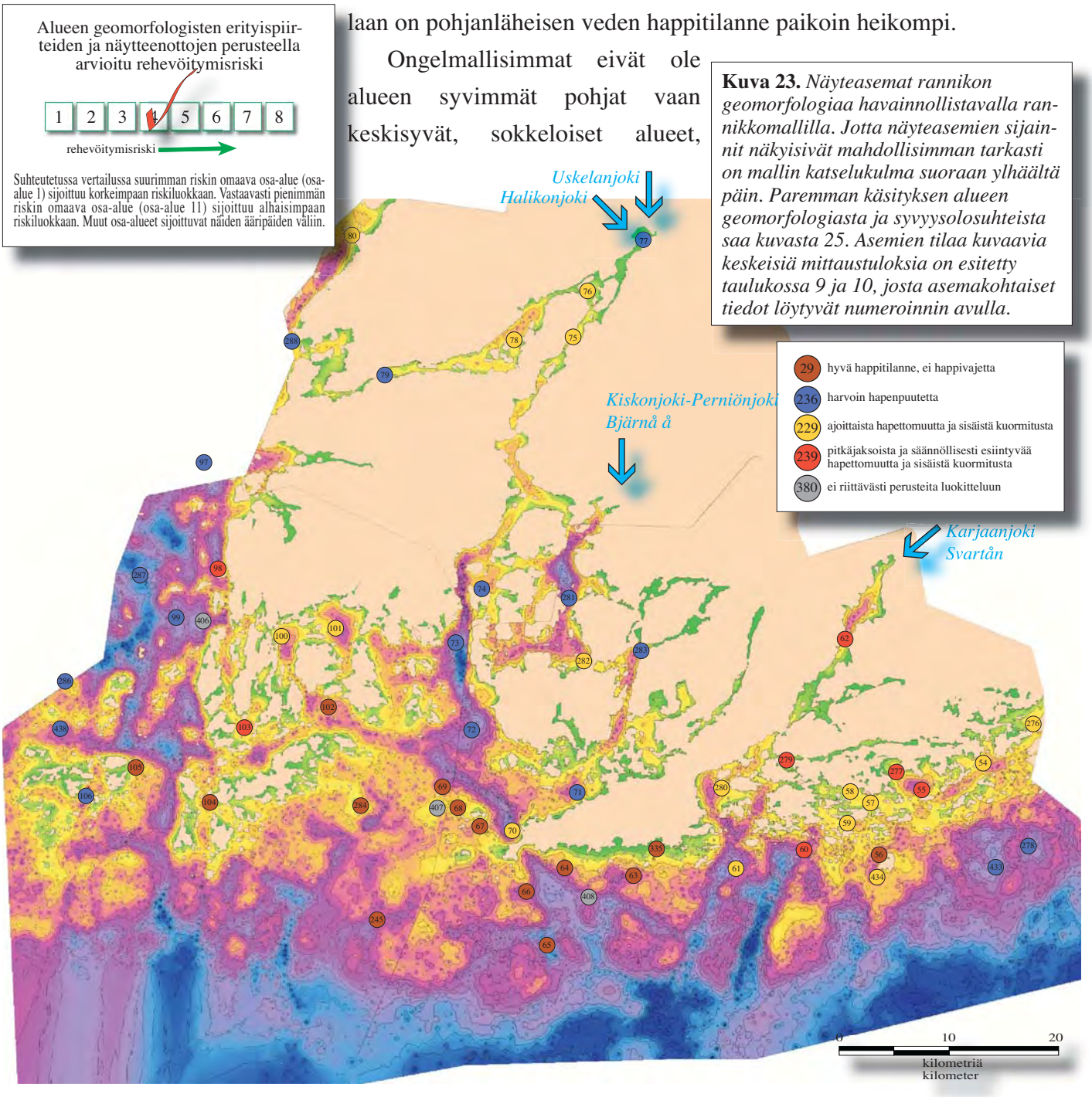


Alue 5. Tammisaari, Hanko, Kemiö

Aluetta leimaa leveä saaristovyöhyke ja kapeat, pitkälle sisämaahan ulottuvat vuonomaiset lahdet. Rehevöitymisen, hapen puutteen pohjanläheisessä vedessä, ja pohjaeläimistön diversiteetin alenemisen on alueen seurantatukimuksissa paikoin todettu olevan ongelma (Mettinen 1998, Holmberg ym. 1999, Holmberg ja Jokinen 1999, Mettinen 1999). Kokonaan hapettomia, kuolleita pohjia on todettu esiintyvän alueella (Haahti ja Kangas 2003, Lönnroth 2005, Virtasalo ym. in press).

Syvimmät alueet ovat rannikkomallin perusteella geomorfologialtaan kanjonimaisia, lahtien jatkeita. Ilmeisesti johtuen siitä, että vesi kanjoneissa virtaa voimakkaasti, on kanjonimaisten syvänteiden happitilanne pääsääntöisesti vähintään tyydyttävä. Sisäsaaristossa, lahtien perukoissa, joissa mantereen kuormitusvaikutus on suurimmillaan on pohjanläheisen veden happitilanne paikoin heikompi.

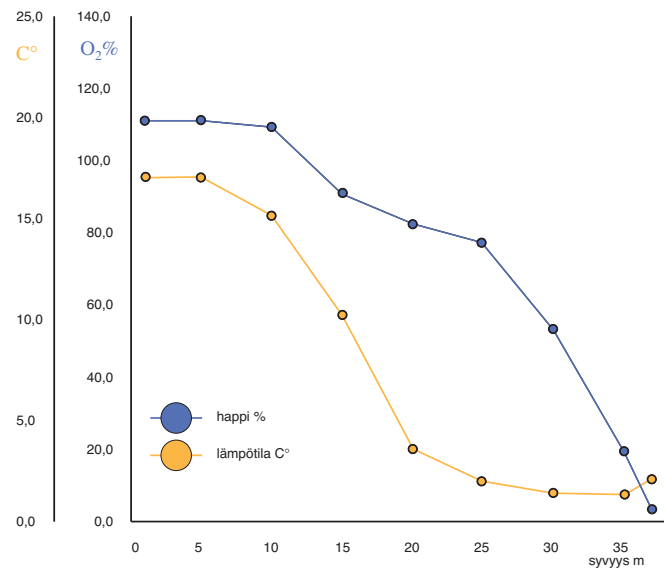
Ongelmallisimmat eivät ole alueen syvimmät pohjat vaan keskisyvät, sokkeloiset alueet,



Kuva 23. *Näyteasemat rannikon geomorfologiaa havainnollistavalla rannikkomallilla. Jotta näyteasemien sijainnit näkyisivät mahdollisimman tarkasti on mallin katselukulma suoraan ylhäältä päin. Paremman käsityksen alueen geomorfologiasta ja syvyysolosuhteista saa kuvasta 25. Asemien tilaa kuvaavia keskeisiä mittaustuloksia on esitetty taulukossa 9 ja 10, josta asemakohtaiset tiedot löytyvät numeroinnin avulla.*

joissa veden vaihtuvuus on tehotonta. Happitilanteen, sisäisen kuormituksen ja rehevöitymisriskin kannalta kriittiset alueet ovat pääsääntöisesti väli-ulkosaaristovyöhykkeessä sijaitsevia syvänteitä. Paikoin korkeat kokonaisfosforipitoisuudet pohjanläheisessä vedessä viittaavat voimakkaaseen sisäiseen kuormitukseen. Laaja-alaista sisäistä kuormitusta ei kuitenkaan näytä esiintyvän ja yleisesti ottaen happipitoisuudet ovat riittäviä ylläpitämään pohjaeläimistöä.

Säännöllisesti kerrostuneisuuskausina toistuva sisäinen kuormitus on alueen geomorfologiasta johtuen suhteellisen harvinaista. Sen sijaan **sääolosuhteis-**



Kuva 24. *Happitilanne 14.7 2003 näyteasemalla 35. Veden kokonaissyvyys asemalla on 27 m. Samaan aikaan pohjanläheisen veden kokonaisfosforipitoisuus (0,10 mg/l) oli nelinkertainen pinnanläheisen veden pitoisuuteen (0,025 mg/l) verrattuna viitaten sisäiseen kuormitukseen.*

asema no.	syvyys m	pohjaeläimistö	raekoko	savi	siltti	hiekka	hehkutushäviö	eloperäinen aines	lämpötila C°	happi- % pinta	happi- % pohja	fosfori pinta	fosfori pohja	P-aut.	P-detr.	P-org.	P.tot.
54	17.1	+	-	-	-	-	18.5	-	10.7	106	47	-	-	-	-	-	-
55	27.2	0	2.603	40.26	59.74	0	18.2	16.8210	4.6	138	13	0.025	0.1	0.104	0,510	0,483	1,097
56	34.5	+	-	-	-	-	8.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
57	16.2	0	-	-	-	-	18.4	-	11.0	-	44	-	-	-	-	-	-
58	13.2	0	-	-	-	-	14.5	-	11.3	-	18	-	-	-	-	-	-
59	24.3	0	-	-	-	-	21.8	-	6.6	-	8	-	-	-	-	-	-
60	46.4	0	-	-	-	-	16.0	-	6.3	-	70	-	-	-	-	-	-
61	40.2	+	-	-	-	-	15.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
62	34.7	0	-	-	-	-	11.6	-	3.3	-	33	-	-	-	-	-	-
63	28.7	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
64	22.4	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65	51.9	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
66	35.0	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
67	26.0	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
68	24.7	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
69	46.0	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70	72.8	+	-	-	-	-	6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
71	28.7	+	-	-	-	-	15.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
72	40.8	+	-	-	-	-	13.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
73	57.5	+	-	-	-	-	14.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
74	16.3	+	-	-	-	-	7.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
75	25.0	+	-	-	-	-	9.5	-	11.5	113	2.0	-	-	-	-	-	-
76	13.2	+	-	-	-	-	8.9	-	7.0	-	-	-	-	-	-	-	-
77	2.6	+	-	-	-	-	7.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
78	23.5	+	-	-	-	-	10.3	-	3.0	101	2.3	-	-	-	-	-	-
79	30.0	+	-	-	-	-	9.4	-	3.0	-	42	-	-	-	-	-	-
80	19.7	+	-	-	-	-	9.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
97	10.3	+	-	-	-	-	10.9	-	19.2	-	65	-	-	-	-	-	-
98	51.3	0	-	-	-	-	21.2	-	2.6	99	12	-	-	-	-	-	-
99	40.5	+	-	-	-	-	12.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	27.0	+	-	-	-	-	13.7	-	8.5	103	11	-	-	-	-	-	-
101	30.0	+	-	-	-	-	13.2	-	8.0	-	26	-	-	-	-	-	-
102	27.2	+	-	-	-	-	8.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
103	33.3	0	-	-	-	-	17.8	-	5.9	106	2	-	-	-	-	-	-
104	33.9	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
105	13.4	+	-	-	-	-	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
106	51.1	+	-	-	-	-	5.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
245	43.0	+	-	-	-	-	-	-	6.1	127	72	0.016	0.037	-	-	-	-
277	16.0	0	2.514	41.17	58.83	0	16.0	16.5062	7.6	124	22	0.086	0.02	0,164	0,379	0,716	1,259
279	12.6	0	2.840	37.42	62.58	0	12.7	13.2213	7.6	116	16	0.023	0.23	0,162	0,488	0,761	1,411
280	33.2	+	2.605	40.60	59.40	0	14.0	13.6314	5.2	129	69	0.019	0.061	0,252	0,464	0,819	1,535
281	47.7	+	2.789	38.01	61.99	0	9.5	9.2735	2.4	103	70	0.016	0.029	0,176	0,632	0,549	1,357
282	37.3	+	3.018	35.61	64.39	0	10.9	11.2419	1.3	112	22	-	-	0,100	0,507	0,484	1,090
283	19.6	+	2.961	36.83	63.17	0	11.7	12.3407	5.5	111	73	0.018	0.027	0,231	0,566	0,830	1,616
284	26.0	+	-	-	-	-	-	-	8.7	125	81	0.022	0.032	-	-	-	-
286	59.0	+	2.661	40.20	59.80	0	11.8	12.0092	5.4	135	79	0.020	0.033	0,159	o,543	0,673	1,376
287	82.0	+	2.471	41.96	58.04	0	12.2	14.7809	-	-	-	-	-	2,262	0,366	0,777	1,405
288	24.0	+	2.037	48.50	51.50	0	8.1	8.6432	6.1	123	62	0.024	0.022	0,226	1,167	0,739	2,133
335	14.0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.020	0.038	-	-	-	-
406	30.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
407	28.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
408	34.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
433	38.6	+	-	-	-	-	2.9	-	4.7	109	61	0.024	0.053	-	-	-	-
434	43.3	0	-	-	-	-	19.8	-	5.8	109	28	0.028	0.045	-	-	-	-
438	35.6	+	-	-	-	-	15.7	-	5.1	100	78	0.030	0.037	-	-	-	-

2002 2002-03 2003 2004

Taulukko 9. Tammisaari, Hanko ja Kemiö. *Keskeisiä vedenjamerenpohjanlaatuakuvaavia muuttujia: Pohjaeläinten esiintyminen (+) tai puuttuminen (0), pohjasedimentin raekoko (mediaani d50), savi- (raekoko < 1.95 µm), siltti (raekoko 1.95-62.5 m) ja hiekkapitoisuus (raekoko 62.5-2000 µm), hehkutushäviö (g), eloperäisen aineen pitoisuus (%), pohjanläheisen veden lämpötila (+1 m), pinnan- (1 m syv.) ja pohjanläheisen (+1 m) veden happikyllästyneisyysaste ja kokonaisfosforipitoisuus (mg/l) sekä pohjasedimentin fosforifraktiot.*

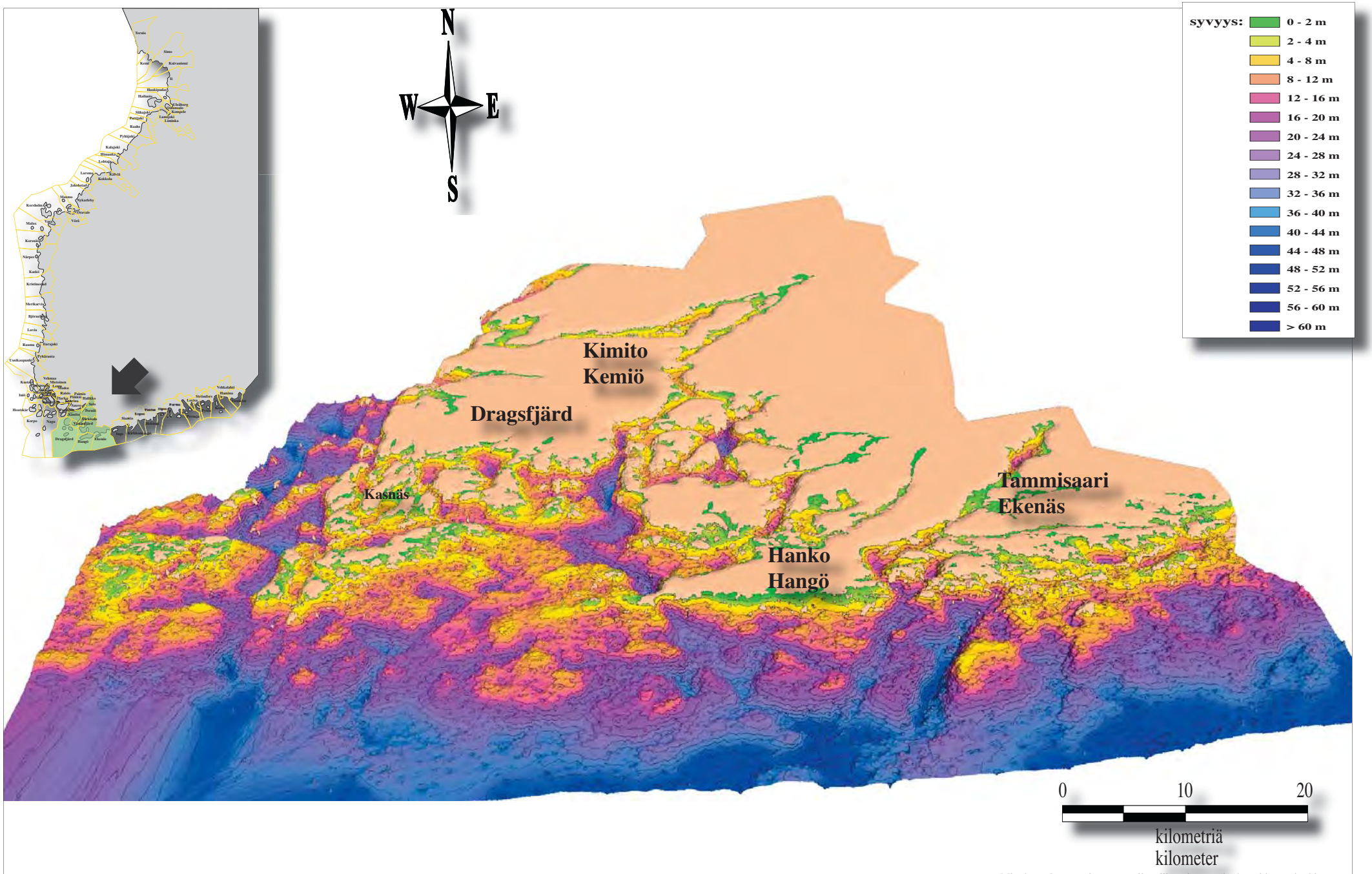
ta johtuva, tyyninä kausina esiintyvä, ajoittainen pohjien hapettomuus on verraten yleistä ja tyynten ilmojen pitkittyessä on sisäinen kuormitus ilmeisesti huomattava fosforikuormituksen lähde.

Alueen rehevöitymisen voimistuessa on uhkana, että entistä laajemmat alueet alkavat vuotaa ravinteita pohjasedimenteistä. Näytteenotot osoittavat, että edellytyksiä laaja-alaiselle sisäiselle kuormitukselle on, sillä on yleistä, että pohjat ovat paksujen eloperäisten ja ravinnepitoisten liejukerrosten peittämiä.

asema no.	syvyys m	latitud N	longitud E		Fe_{cdb} mmol/g	Fe_{cdb}:P_{spa}	N	C	H	S
54	17.1	59°55.388	23°44.277		-	-	-	-	-	-
55	27.2	59°53.615	23°36.764		154.708	15.212	-	-	-	-
56	34.5	59°49.846	23°32.762		-	-	-	-	-	-
57	16.2	59°52.388	23°31.973		-	-	-	-	-	-
58	13.2	59°53.131	23°29.423		-	-	-	-	-	-
59	24.3	59°51.651	23°29.910		-	-	-	-	-	-
60	46.4	59°49.805	23°24.975		-	-	-	-	-	-
61	40.2	59°48.964	23°18.029		-	-	-	-	-	-
62	34.7	60°01.545	23°28.688		-	-	-	-	-	-
63	28.7	59°48.357	23°07.697		-	-	-	-	-	-
64	22.4	59°48.315	23°00.334		-	-	-	-	-	-
65	51.9	59°44.308	22°58.592		-	-	-	-	-	-
66	35.0	59°46.950	22°56.065		-	-	-	-	-	-
67	26.0	59°50.256	22°50.198		-	-	-	-	-	-
68	24.7	59°51.086	22°47.983		-	-	-	-	-	-
69	46.0	59°52.221	22°46.122		-	-	-	-	-	-
70	72.8	59°50.181	22°54.580		-	-	-	-	-	-
71	28.7	59°52.370	23°01.000		-	-	-	-	-	-
72	40.8	59°55.255	22°49.888		-	-	-	-	-	-
73	57.5	59°59.074	22°46.809		-	-	-	-	-	-
74	16.3	60°03.157	22°49.151		-	-	-	-	-	-
75	25.0	60°16.450	22°57.492		-	-	-	-	-	-
76	13.2	60°18.996	22°58.461		-	-	-	-	-	-
77	2.6	60°21.538	23°03.811		-	-	-	-	-	-
78	23.5	60°16.491	22°51.996		-	-	-	-	-	-
79	30.0	60°13.919	22°37.372		-	-	-	-	-	-
80	19.7	60°21.341	22°33.694		-	-	-	-	-	-
97	10.3	60°08.549	22°17.700		-	-	-	-	-	-
98	51.3	60°03.237	22°21.005		-	-	-	-	-	-
99	40.5	60°00.488	22°17.092		-	-	-	-	-	-
100	27.0	59°59.407	22°28.360	-	-	-	-	-	-	-
101	30.0	60°00.705	22°34.203	-	-	-	-	-	-	-
102	27.2	59°56.084	22°34.017	-	-	-	-	-	-	-
103	33.3	59°54.810	22°25.931	-	-	-	-	-	-	-
104	33.9	59°50.962	22°21.413	-	-	-	-	-	-	-
105	13.4	59°51.937	22°14.240	-	-	-	-	-	-	-
106	51.1	59°50.715	22°09.205	-	-	-	-	-	-	-
245	43.0	59°49.956	22°40.509	-	-	-	-	-	-	-
277	16.0	59°54.655	23°34.566	-	373.879	19.796	-	-	-	-
279	12.6	59°54.885	23°24.028	-	230.988	12.685	-	-	-	-
280	33.2	59°53.114	23°16.739	-	121.940	2.407	0.7340	4.6372	0.9608	0.3619
281	47.7	60°03.245	22°58.718	-	239.583	3.970	-	-	-	-
282	37.3	59°59.694	23°00.458	-	229.377	15.580	-	-	-	-
283	19.6	60°00.330	23°07.893	-	255.161	4.663	0.5012	3.9529	0.8986	0.1773
284	26.0	59°50.860	22°38.102	-	-	-	-	-	-	-
286	59.0	59°56.604	22°06.626	-	107.974	5.114	-	-	-	-
287	82.0	60°02.256	22°12.767	-	104.750	6.635	-	-	-	-
288	24.0	60°15.026	22°26.741	-	111.197	3.437	0.4383	2.1570	0.7009	0.1481
335	14.0	59°51.795	24°20.701	-	-	-	-	-	-	-
406	30.4	60°00.639	22°19.659	-	-	-	-	-	-	-
407	28.9	59°51.639	22°46.862	-	-	-	-	-	-	-
408	34.5	59°46.667	23°01.993	-	-	-	-	-	-	-
433	38.6	59°49.836	23°46.021	-	-	-	-	-	-	-
434	43.3	59°48.811	23°32.594	-	-	-	-	-	-	-
438	35.6	59°53.462	22°06.507	-	-	-	-	-	-	-

2002 2002-03 2003 2004

Taulukko 10. Tammisaari, Hanko ja Kemiö. *Näyteasemien sijainti ja merenpohjan pohjasedimenttiä kuvaavia muuttujia: Pohjasedimentin rautapitoisuus (kyseessä on helposti P-FeOH fosforifraktion mukana liukeneva hydroksidirauta joka ilmeisesti on yksi tärkeimmistä raudan muodoista biologisia prosesseja ja fosforin sitoutumista ajatellen, vertaa Lindgren in prep.) ja rauta- sekä fosforipitoisuuksien välinen suhde. Lisäksi taulukossa on esitetty muutamien kaasukromatografisesti eroteltujen alkuaineiden pitoisuudet massaprosentteina.*



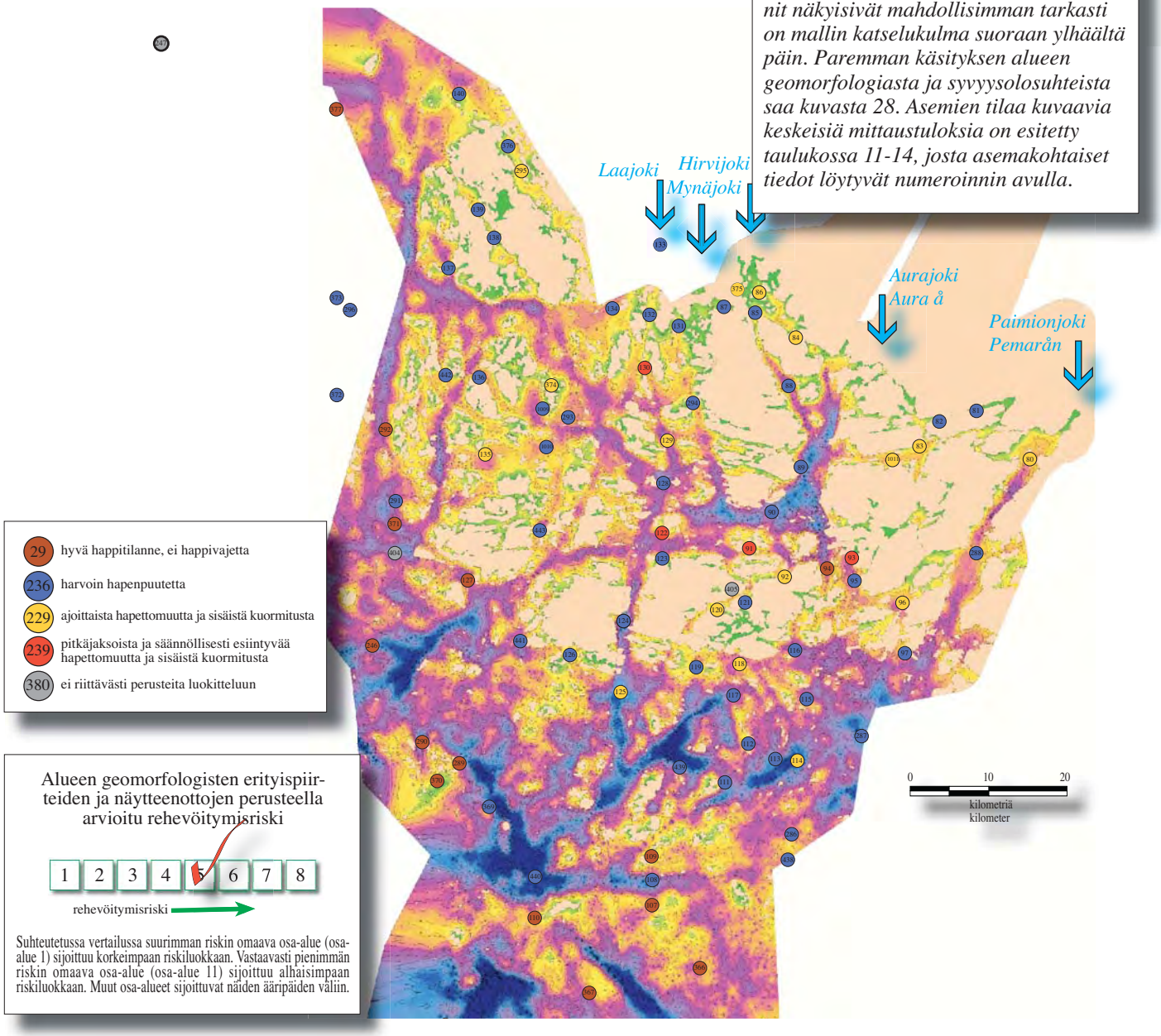
Mittakaavajana on ainoastaan viitteellinen ja pätee karkeasti kuvan keskiosassa.

Kuva 25. *Rannikkomalli. Vertaa kuva 5 sivulla 9.*

Alue 6. Korpo, Nauvo, Houtskari, Kaarina, Parainen, Sauvo, Turku, Naantali, Rymättylä, Velkua, Masku, Merimasku, Askainen, Kustavi, Piikkiö, Raisio, Salo

Myös Saaristomeri on rehevöitynyt, mutta siellä rehevöityminen ei ole edennyt yhtä pitkälle kuin itäisellä Suomenlahdella (Kauppila ja Lepistö 2001, Pitkänen 2004). On viitteitä siitä, että rehevöityminen olisi lisääntymässä ja ravinnepitoisuudet, erityisesti fosforipitoisuudet, kasvamassa (Pitkänen ym. 2001). Pohjien tilassa ei ole havaittavissa selkeätä kehityssuunta (Kangas ym. 2001). Paikoin on merkkejä pohjaeläimistön runsastumisesta rehevöitymisen seurauksena (Bonsdorff ym. 1997, 1997a) ja paikoin on merkkejä pohjien happivajeesta (Räisänen 1997). Viime aikoina on osoittautunut, että vähähappisia- ja hapettomia pohjia esiintyy Saaristomerellä huomattavasti arvioitua yleisemmin sekä sisä- väli- että ulkosaaristossa (Virtasalo ym. in press.).

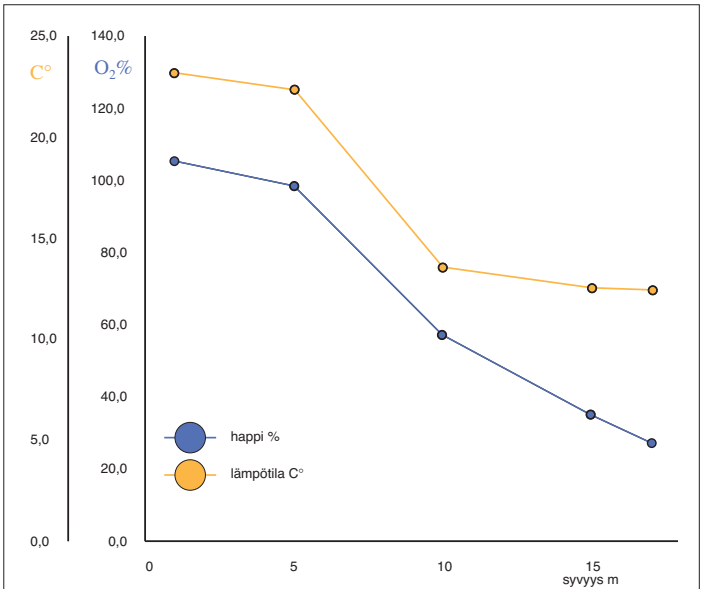
Alueen vedenlaadullinen tila on ainakin viime aikoihin saakka säilynyt parempana kuin voisi olettaa huo-



Kuva 26. *Näyteasemat rannikon geomorfologiaa havainnollistavalla rannikkomallilla. Jotta näyteasemien sijainnit näkyisivät mahdollisimman tarkasti on mallin katselukulma suoraan ylhäältä päin. Paremman käsityksen alueen geomorfologiasta ja syvyysolosuhteista saa kuvasta 28. Asemien tilaa kuvaavia keskeisiä mittaustuloksia on esitetty taulukossa 11-14, josta asemakohtaiset tiedot löytyvät numeroinnin avulla.*

mioiden alueen saariston runsautta ja pirstoutuneisuutta. Huolimatta alueen geomorfologian veden vaihtuvuutta estävistä muodoista, alueen maantieteellinen sijainti mahdollistaa avomeren vesien pääsyä rajoitetusti useasta ilmansuunnasta Saaristomerelle. Vähäravinteisemman avomeriveden ansiosta saaristovyöhykkeen korkeat ravinnepitoisuudet laimenevat vähentäen paikallisen kuormituksen rehevöittäviä vaikutuksia.

Rannikkomallin perusteella alue poikkeaa geomorfologialtaan selkeästi muusta rannikosta. Verrattuna Suomen itäisimpiin rannikkoalueisiin syvimmät altaat eivät ole



Kuva 27. *Happitilanne 26.7 2003 näyteasemalla 376. Veden kokonaissyvyys asemalla on 18 m.*

asema no.	syvyys m	pohjaeläimistö	raekoko	savi	siltti	hiekka	hehkutushäviö	eloperäinen aines	lämpötila C°	happi-% pinta	happi-% pohja	fosfori pinta	fosfori pohja	P-aut.	P-detr.	P-org.	P.tot.
81	6.7	+	-	-	-	-	9.5	-	20.1	87	7.5	-	-	-	-	-	-
82	8.0	+	-	-	-	-	8.8	-	19.5	76	16	-	-	-	-	-	-
83	33.8	0	-	-	-	-	9.8	-	2.8	78	15	-	-	-	-	-	-
84	26.3	+	-	-	-	-	9.7	-	7.3	98.5	5.5	-	-	-	-	-	-
85	22.5	+	-	-	-	-	8.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
86	20.0	+	-	-	-	-	9.1	-	12.5	108	1.3	-	-	-	-	-	-
87	13.8	+	-	-	-	-	8.7	-	21.0	-	47	-	-	-	-	-	-
88	44.0	+	-	-	-	-	12.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
89	71.6	+	-	-	-	-	10.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	54.5	+	-	-	-	-	11.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
91	18.7	0	2.178	46.13	53.87	0	10.2	11.6234	6.8	126	8	0.013	0.11	0,075	0,429	0,574	1,078
92	22.0	0	-	-	-	-	11.9	-	4.7	-	0.9	-	-	-	-	-	-
93	11.5	0	2.106	47.22	52.78	0	11.4	10.5051	8.0	112	1	0.019	0.68	0,073	0.570	0,603	1,245
94	22.8	+	-	-	-	-	2.5	-	14.2	-	60	-	-	-	-	-	-
95	21.2	+	-	-	-	-	10.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
96	26.9	+	-	-	-	-	10.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
107	72.0	+	-	-	-	-	4.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
108	29.7	+	-	-	-	-	16.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
109	15.6	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
110	52.8	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
111	45.1	+	-	-	-	-	11.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
112	42.1	+	-	-	-	-	10.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
113	54.1	+	-	-	-	-	15.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
114	72.8	+	-	-	-	-	16.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
115	31.0	+	-	-	-	-	13.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
116	38.0	+	-	-	-	-	12.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
117	38.9	+	-	-	-	-	12.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
118	39.2	+	-	-	-	-	13.8	-	8.7	-	12	-	-	-	-	-	-
119	37.1	+	-	-	-	-	6.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
120	26.8	+	-	-	-	-	12.6	-	9.2	100	1.5	-	-	-	-	-	-

2002 2002-03 2003 2004

Taulukko 11. Korpo, Nauvo, Houtskari, Kaarina, Parainen, Turku, Naantali, Askainen, Kustavi, Piikkiö, Raisio ja Salo. *Keskeisiä veden- ja merenpohjan laatua kuvaavia muuttujia: Pohjaeläinten esiintyminen (+) tai puuttuminen (0), pohjasedimentin raekoko (mediaani d50), savi- (raekoko < 1.95 µm), siltti (raekoko 1.95-62.5 m) ja hiekkapitoisuus (raekoko 62.5-2000 µm), hehkutushäviö (g), eloperäisen aineen pitoisuus (%), pohjanläheisen veden lämpötila (+1 m), pinnan- (1 m syv.) ja pohjanläheisen (+1 m) veden happikyllästyneisyysaste ja kokonaisfosforipitoisuus (mg/l) sekä pohjasedimentin fosforifraktiot.*

kraaterimaisia vaan saaristoa halkovia kanjoneita, jotka edesauttavat veden läpivirtauksia. Osittain syvänteiden kanjonimaisuuden takia alueen pohjien tila on huomattavasti parempi kuin esim. itäisellä Suomenlahdella.

Pohjanläheisten virtausten ansiosta alueen syvimmät kanjonimaiset syvänteet ovat pääsääntöisesti hapekkaita pohjaan asti siitäkin huolimatta, että pohjasedimentin pintakerros usein sisältää runsaasti eloperäistä ja hajotessaan happea kuluttavaa liejua. Tästä syystä alueen geomorfologia ei juurikaan tarjoa esiintymisedellytyksiä

asema no.	syvyys m	pohjaeläimistö	raekoko	savi	siltti	hiekka	hehkutushäviö	eloperäinen aines	lämpötila C°	happi-% pinta	happi-% pohja	fosfori pinta	fosfori pohja	P-aut.	P-detr.	P-org.	P.tot.
121	15.0	+	-	-	-	-	12.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
122	18.0	0	-	-	-	-	11.5	-	13.8	106	3.4	-	-	-	-	-	-
123	43.4	+	-	-	-	-	12.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
124	63.4	+	-	-	-	-	7.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
125	55.0	0	-	-	-	-	14.3	-	6.9	107	60	-	-	-	-	-	-
126	29.6	+	-	-	-	-	17.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
127	43.0	+	-	-	-	-	2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
128	48.5	+	-	-	-	-	11.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
129	44.4	+	-	-	-	-	10.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
130	24.8	0	2.308	44.18	55.82	0	12.0	9.9295	6,2	114	54	0,022	0,028	0.071	0,466	0,539	1,076
131	11.6	+	-	-	-	-	9.1	-	18.1	107	25	-	-	-	-	-	-
132	11.6	+	-	-	-	-	8.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
133	16.2	+	2.346	43.24	56.76	0	9.4	8.2781	9.6	103	26	0.033	0.041	0,066	0,466	0,744	1,277
134	25.2	+	-	-	-	-	9.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
135	21.5	+	-	-	-	-	12.2	-	10.1	99	4	-	-	-	-	-	-
136	36.8	+	-	-	-	-	9.7	-	11.0	118	35	-	-	-	-	-	-
137	54.3	+	-	-	-	-	1.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
138	28.0	+	-	-	-	-	10.4	-	19.0	107	53	-	-	-	-	-	-
139	31.5	+	-	-	-	-	10.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
140	28.0	+	-	-	-	-	11.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
246	66.0	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
289	47.0	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
290	63.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
291	47.5	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-
292	51.0	-	-	-	-	-	-	-	5.3	124	95	0.015	0.025	-	-	-	-
293	27.5	0	2.230	45.04	54.96	0	11.4	11.1200	7.0	114	71	0.042	0.014	0,392	0,916	0,795	2,103
294	28.0	+	2.128	46.91	53.09	0	10.4	11.1486	5.5	117	69	0.016	0.03	0,320	0,834	0,889	2,042
295	20.0	+	2.287	43.93	56.07	0	10.2	9.7597	11.2	100	48	0.016	0.022	0,054	0,505	0,596	1,155
296	27	+	-	-	-	-	-	-	7.7	119	90	-	-	-	-	-	-
366	41.0	+	-	-	-	-	-	-	6.2	124	78	-	0.032	-	-	-	-
367	101	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
368	83.5	+	2.612	40.79	59.21	0	7.5	7.6393	6.2	124	78	-	-	0,196	0,458	0,270	
369	85.0	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
370	63.0	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
371	60.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
372	21.0	+	2.663	39.15	60.85	0	12.6	12.0015	12.6	124	78	0.015	0.039	0,069	0,593	0,766	
373	18.0	+	2.433	41.83	58.17	0	10.8	10.4827	7.7	118	93	0.010	0.021	0.067	0,632	0,801	
374	19.0	+	2.318	43.88	56.12	0	10.6	9.9782	7.5	112	68	0.015	0.022	0,088	0,594	0,792	
375	6.9	+	2.602	41.32	58.68	0	8.2	7.0495	14.0	103	7	0.021	0.031	0,063	0,486	0,335	
376	18.0	-	-	-	-	-	-	-	12.4	105	27	-	-	-	-	-	
377	36.0	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
405	17.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
439	72.0	-	-	-	-	-	-	-	5.0	112	90	0.022	0.047	-	-	-	
440	77.0	+	-	-	-	-	17.2	-	5.0	103	85	0.023	0.060	-	-	-	
441	50.6	+	-	-	-	-	8.9	-	8.0	108	80	0.023	0.036	-	-	-	
442	46.2	-	-	-	-	-	-	-	9.4	105	74	0.019	0.028	-	-	-	
443	36.8	+	-	-	-	-	12.3	-	10.5	104	43	0.019	0.042	-	-	-	
1009	32.2	+	-	-	-	-	10.9	-	11.3	101	59	0.019	0.036	-	-	-	
1010	20.1	+	-	-	-	-	10.8	-	12.3	105	54	0.019	0.037	-	-	-	
1011	22.4	+	-	-	-	-	9.0	-	9.8	130	26	0.026	0.014	-	-	-	

2002 2002-03 2003 2004

Taulukko 12. Korpo, Nauvo, Houtskari, Kaarina, Parainen, Turku, Naantali, Askainen, Kustavi, Piikkiö, Raisio ja Salo. *Keskeisiä veden- ja merenpohjan laatua kuvaavia muuttujia: Pohjaeläinten esiintyminen (+) tai puuttuminen (0), pohjasedimentin raekoko (mediaani d50), savi- (raekoko < 1.95 µm), siltti (raekoko 1.95-62.5 m) ja hiekkapitoisuus (raekoko 62.5-2000 µm), hehkutushäviö (g), eloperäisen aineen pitoisuus (%), pohjanläheisen veden lämpötila (+1 m), pinnan- (1 m syv.) ja pohjanläheisen (+1 m) veden happikyllästyneisyysaste ja kokonaisfosforipitoisuus (mg/l) sekä pohjasedimentin fosforifraktiot.*

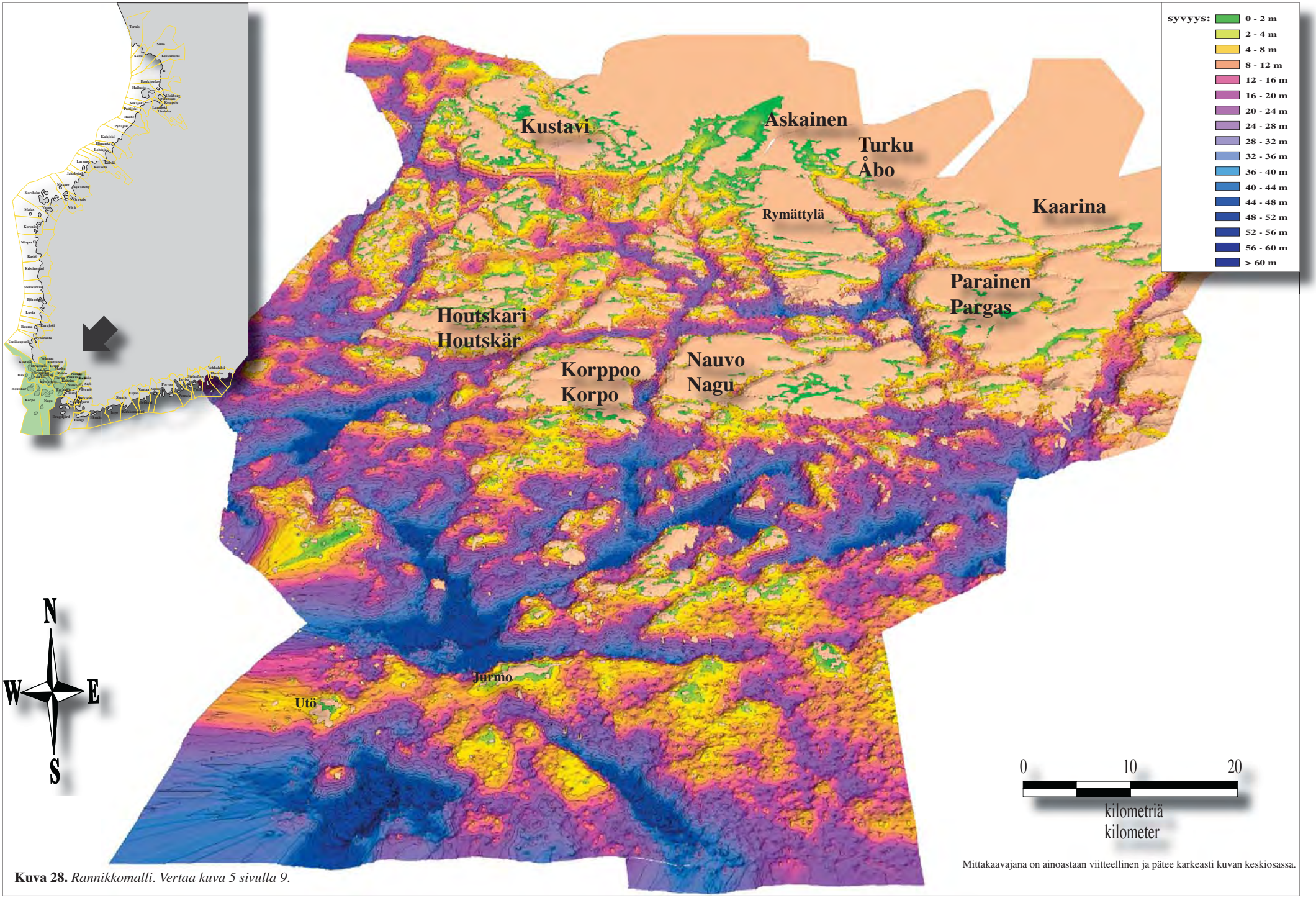
kerrostuneisuuskausina **säännöllisesti toistuvalle ja pitkäjaksoiselle hapettomuudelle ja sisäiselle kuormitukselle**.

Näytteenottojen perusteella happiongelmia esiintyy yleisemmin suhteellisen matalilla ja suojaisilla alueilla. Matalilla syvyyksillä tuulet sekoittavat vesimassaa pohjaan asti ja **säätilasta riippuvaa, ajoittain esiintyvää hapettomuutta ja siitä johtuvaa sisäistä kuormitusta** esiintyy vain pitkien tyynten ja lämpimien jaksojen yhteydessä. Hapettomien kausien aikana pohjanläheisen veden fosforipitoisuudet ovat paikoittain selkeästi kohonneita verrattuna pinnanläheisen veden pitoisuuksiin.

asema no.	syvyys m	latitud N	longitud E	Fe_{cdb} mmol/g	Fe_{cdb}:Pspa	N	C	H	S
81	6.7	60°24.099	22°25.047	-	-	-	-	-	-
82	8.0	60°23.391	22°20.647	-	-	-	-	-	-
83	33.8	60°22.544	22°18.331	-	-	-	-	-	-
84	26.3	60°28.348	21°59.758	-	-	-	-	-	-
85	22.5	60°29.160	21°55.273	-	-	-	-	-	-
86	20.0	60°30.968	21°55.529	-	-	-	-	-	-
87	13.8	60°29.382	21°51.577	-	-	-	-	-	-
88	44.0	60°25.030	21°59.978	-	-	-	-	-	-
89	71.6	60°19.118	22°02.728	-	-	-	-	-	-
90	54.5	60°15.902	21°59.574	-	-	-	-	-	-
91	18.7	60°14.006	21°56.293	142.890	16.576	-	-	-	-
92	22.0	60°12.285	22°01.445	-	-	-	-	-	-
93	11.5	60°14.881	22°10.705	235.823	21.547	-	-	-	-
94	22.8	60°13.670	22°07.804	-	-	-	-	-	-
95	21.2	60°12.793	22°11.009	-	-	-	-	-	-
96	26.9	60°10.606	22°16.304	-	-	-	-	-	-
107	72.0	59°51.631	21°48.175	-	-	-	-	-	-
108	29.7	59°52.413	21°47.130	-	-	-	-	-	-
109	15.6	59°53.366	21°47.342	-	-	-	-	-	-
110	52.8	59°49.273	21°31.880	-	-	-	-	-	-
111	45.1	59°58.716	21°56.025	-	-	-	-	-	-
112	42.1	60°01.217	21°58.340	-	-	-	-	-	-
113	54.1	60°00.186	22°01.894	-	-	-	-	-	-
114	72.8	60°00.061	23°03.655	-	-	-	-	-	-
115	31.0	60°04.923	22°05.519	-	-	-	-	-	-
116	38.0	60°07.429	22°03.552	-	-	-	-	-	-
117	38.9	60°04.381	21°55.277	-	-	-	-	-	-
118	39.2	60°06.462	21°57.075	-	-	-	-	-	-
119	37.1	60°06.027	21°50.644	-	-	-	-	-	-
120	26.8	60°10.159	21°53.029	-	-	-	-	-	-
121	15.0	60°10.960	21°59.292	-	-	-	-	-	-
122	18.0	60°14.607	21°45.163	-	-	-	-	-	-
123	43.4	60°13.380	21°45.456	-	-	-	-	-	-
124	63.4	60°08.387	21°41.308	-	-	-	-	-	-
125	55.0	60°03.847	21°41.372	-	-	-	-	-	-
126	29.6	60°06.244	21°35.523	-	-	-	-	-	-
127	43.0	60°10.385	21°19.586	-	-	-	-	-	-
128	48.5	60°17.903	21°45.388	-	-	-	-	-	-
129	44.4	60°20.407	21°44.545	-	-	-	-	-	-
130	24.8	60°25.452	21°41.079	174.584	4.241	-	-	-	-
131	11.6	60°27.838	21°44.837	-	-	-	-	-	-
132	11.6	60°28.761	21°40.755	-	-	-	-	-	-
133	16.2	60°33.666	21°41.214	172.435	7.878	0.5337	2.6950	0.9207	0.2388
134	25.2	60°29.083	21°35.831	-	-	-	-	-	-
135	21.5	60°18.750	21°21.133	-	-	-	-	-	-
136	36.8	60°23.529	21°19.890	-	-	-	-	-	-
137	54.3	60°31.042	21°13.739	-	-	-	-	-	-
138	28.0	60°32.795	21°19.636	-	-	-	-	-	-
139	31.5	60°34.338	21°17.169	-	-	-	-	-	-
140	28.0	60°42.638	21°13.708	-	-	-	-	-	-
246	66.0	60°05.029	21°05.594	-	-	-	-	-	-
289	47.0	59°59.655	21°19.770	-	-	-	-	-	-
290	63.0	59°59.793	21°16.295	-	-	-	-	-	-
291	47.5	60°15.204	21°08.257	-	-	-	-	-	-
292	51.0	60°19.846	21°07.038	-	-	-	-	-	-
293	27.5	60°22.416	21°32.722	131.072	4.282	0.6265	3.4830	0.9404	0.1734
294	28.0	60°24.023	21°47.122	113.345	2.696	0.6772	4.4419	0.8699	0.1367
295	20.0	60°37.125	21°22.163	181.030	6.651	0.5500	2.9596	0.8146	0.4039
296	27	60°28.006	21°01.955	-	-	-	-	-	-
366	41.0	59°46.196	21°53.323	-	-	-	-	-	-
367	101	59°44.650	21°45.092	-	-	-	-	-	-
368	83.5	59°42.353	21°20.366	34.111	1.968	-	-	-	-
369	85.0	59°57.727	21°24.267	-	-	-	-	-	-
370	63.0	59°59.408	21°19.485	-	-	-	-	-	-
371	60.0	60°14.064	21°08.592	-	-	-	-	-	-
372	21.0	60°21.594	21°00.760	74.668	5.280	0.7489	4.1233	0.9296	0.1752
373	18.0	60°28.189	21°01.521	90.784	6.333	-	-	-	-
374	19.0	60°23.702	21°28.287	189.625	5.862	0.3716	2.9070	0.8346	0.3229
375	6.9	60°30.523	21°54.768	129.998	11.984	-	-	-	-
376	18.0	60°38.872	21°19.949	-	-	-	-	-	-
377	36.0	60°40.956	20°56.507	-	-	-	-	-	-
405	17.5	60°12.285	22°01.445	-	-	-	-	-	-
439	72.0	59°59.298	21°52.526	-	-	-	-	-	-
440	77.0	59°52.400	21°31.639	-	-	-	-	-	-
441	50.6	60°06.000	21°28.000	-	-	-	-	-	-
442	46.2	60°23.078	21°17.070	-	-	-	-	-	-
443	36.8	60°14.109	21°29.236	-	-	-	-	-	-
1009	32.2	60°21.073	21°27.228	-	-	-	-	-	-
1010	20.1	60°19.387	21°27.409	-	-	-	-	-	-
1011	22.4	60°20.364	22°15.369	-	-	-	-	-	-

2002 2002-03 2003 2004

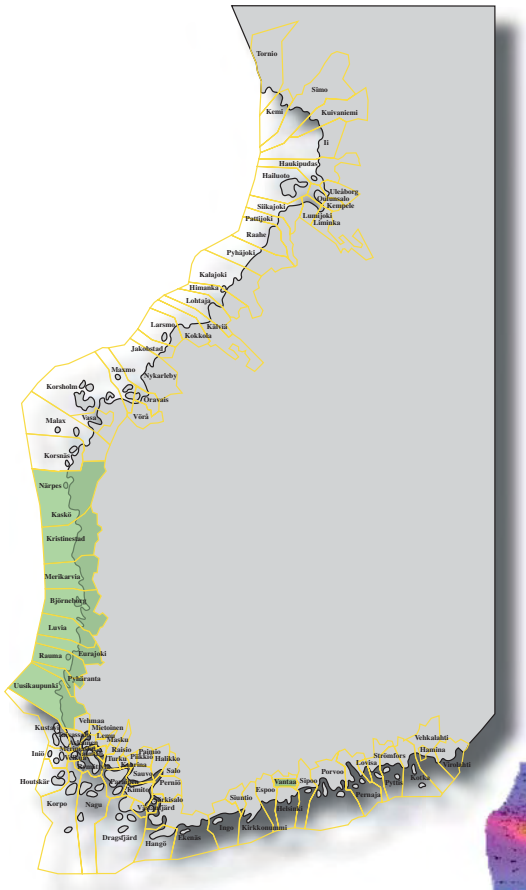
Taulukko 13 ja 14. Korpo, Nauvo, Houtskari, Kaarina, Parainen, Turku, Naantali, Askainen, Kustavi, Piikkiö, Raisio ja Salo. *Näyteasemien sijainti ja merenpohjan pohjasedimenttiä kuvaavia muuttujia: Pohjasedimentin rautapitoisuus (kyseessä on helposti P-FeOH fosforifraktion mukana liukeneva hydroksidirauta joka ilmeisesti on yksi tärkeimmistä raudan muodoista biologisia prosesseja ja fosforin sitoutumista ajatellen, vertaa Lindgren in prep.) ja rauta- sekä fosforipitoisuuksien välinen suhde. Lisäksi taulukossa on esitetty muutamien kaasukromatografisesti eroteltujen alkuaineiden pitoisuudet massaprosentteina.*

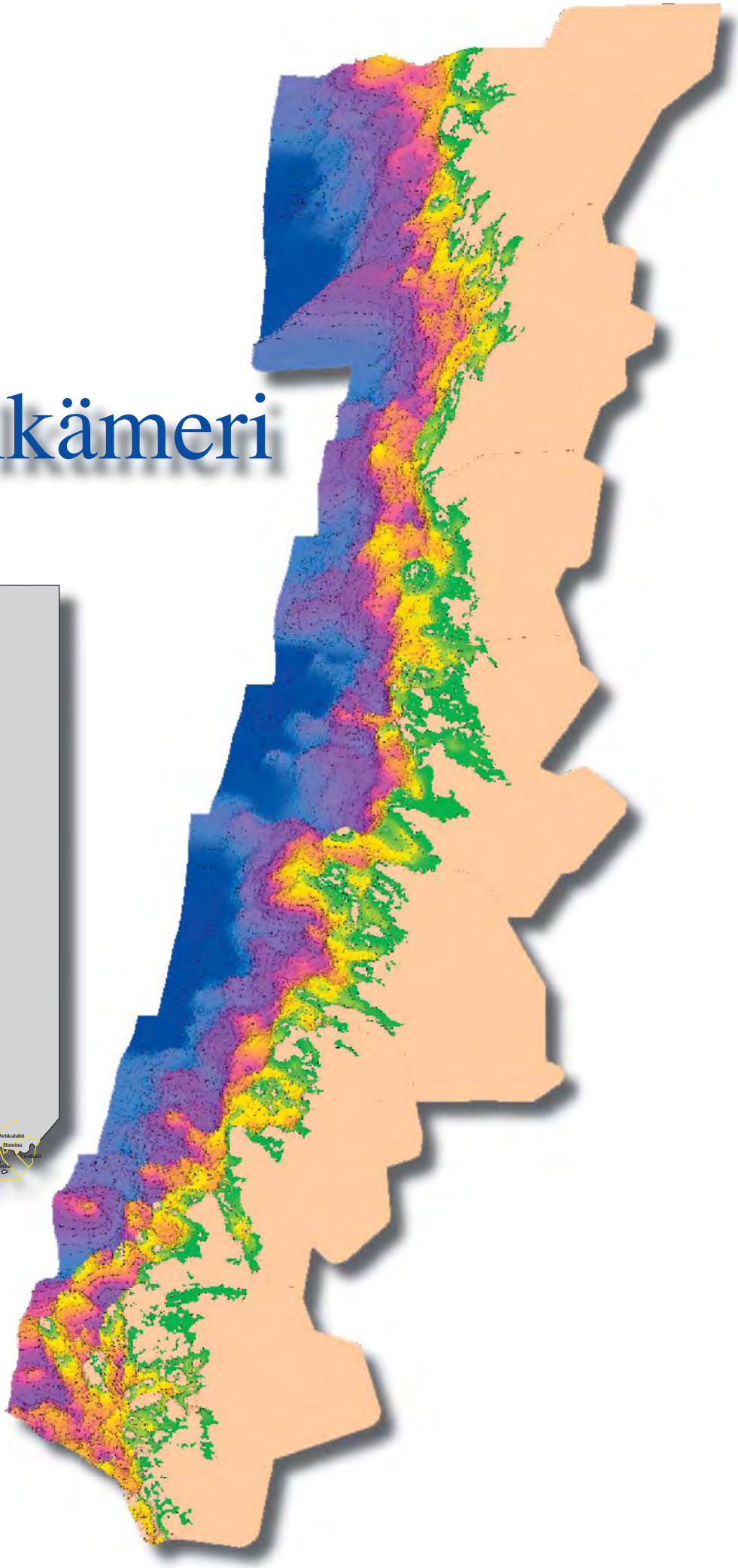


Kuva 28. *Rannikkomalli. Vertaa kuva 5 sivulla 9.*

Mittakaavajana on ainoastaan viitteellinen ja pätee karkeasti kuvan keskiosassa.

Selkämeri


Tornio
Simo
Kemi
Kuivaniemi
Ii
Haukipudas
Hailuoto
Uleåborg
Oulunsalo
Kempele
Siikajoki
Lumijoki
Liminka
Pattijoki
Raahe
Pyhäjoki
Kalajoki
Himanka
Lohtaja
Larsmo
Kälviä
Kokkola
Jakobstad
Maxmo
Nykarleby
Korsholm
Oravais
Vörå
Malax
Vasa
Korsnäs
Närpes
Kaskö
Kristinestad
Merikarvia
Björneborg
Luvia
Rauma
Eurajoki
Pyhäranta
Uusikaupunki
Vehmaa
Mietoinen
Lemu
Masku
Raisio
Paimio
Pukkio
Halikko
Turku
Kaarina
Salo
Sauvo
Pernio
Kimito
Inio
Houtskär
Korpo
Nagu
Dragsfjärd
Hangö
Ekenäs
Ingo
Kirkkonummi
Siuntio
Espoo
Vantaa
Sipoo
Helsinki
Porvoo
Lovisa
Strömfors
Pyttis
Pernaja
Vehkalahti
Hamina
Virolahti



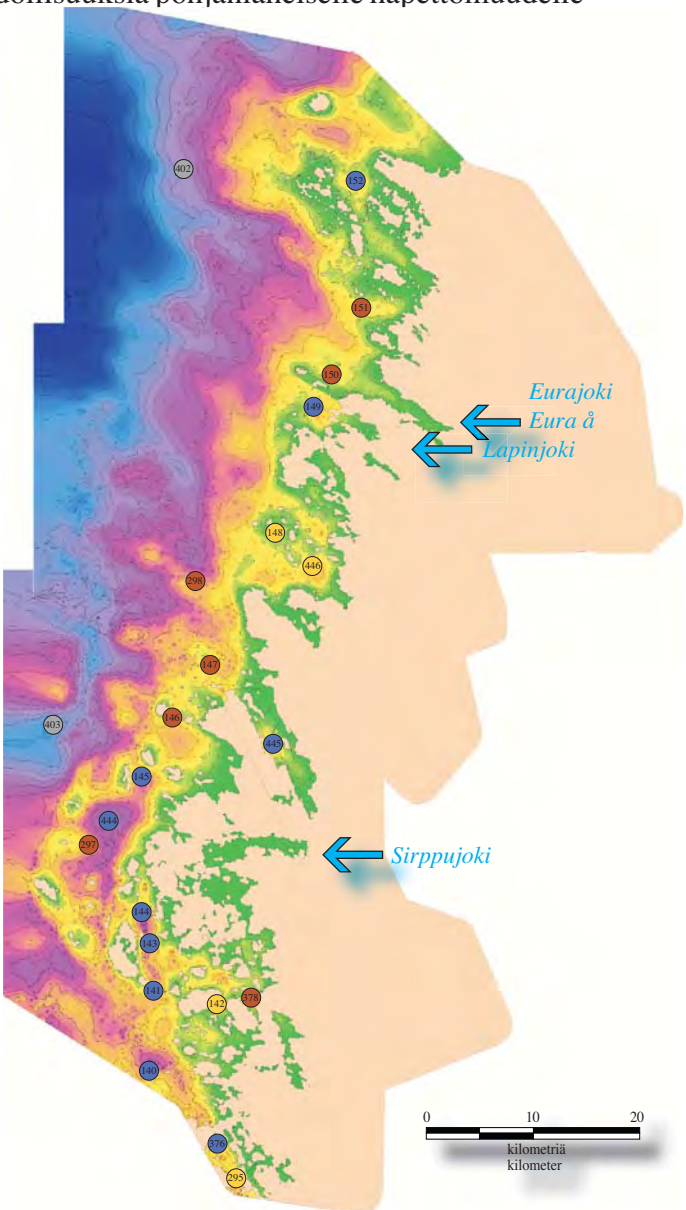
Alue 7. Uusikaupunki, Pyhäranta, Rauma, Eurajoki, Luvia

1990-luvulla Uudenkaupungin ja Rauman alueen sisäosien pohjien tila on eniten kuormitettujen alueiden osalta jonkin verran parantunut. Kuolleita pohjia ei tiettävästi ole alueella 1990 ja 2000-luvuilla todettu (Mattila 1993, Kangas ym. 2001, Ikonen ym. 2003, Kirkkala ja Turkki 2005, Kirkkala ja Turkki 2005a, Oravainen 2005).

Alueen ulko-osissa muutokset pohjien ja pohjaeläinyhteisöjen tilassa ovat olleet varsin vähäisiä (Pitkänen 2004). Pohjanlahdella veden kerrostuneisuus on heikko eikä havaintoja happikadoista ole.

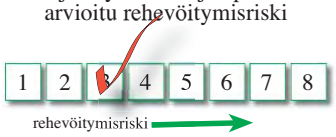
Geomorfologisten erityispiirteiden perusteella alueen rehevöitymisriski on suhteellisen pieni. Rannikkovyöhyke on monin paikoin kapea ja avomeriveden vaikutus on voimakasta. Jokien ravinteikkaat vedet sekoittuvat nopeasti suriin vesitilavuuksiin ja laimenevat tehokkaasti.

Rannikkomallin perusteella alueen merenpohja syvenee tasaisesti kohti avomerta ja suurin osa alueesta ei tarjoa esiintymismahdollisuuksia pohjanläheiselle hapettomuudelle



Kuva 29. *Näyteasemat rannikon geomorfologiaa havainnollistavalla rannikkomallilla. Jotta näyteasemien sijainnit näkyisivät mahdollisimman tarkasti on mallin katselukulma suoraan ylhäältä päin. Paremman käsityksen alueen geomorfologiasta ja syvyysolosuhteista saa kuvasta 31. Asemien tilaa kuvaavia keskeisiä mittaustuloksia on esitetty taulukossa 15 ja 16, josta asemakohtaiset tiedot löytyvät numeroinnin avulla.*

Alueen geomorfologisten erityispiirteiden ja näytteenottojen perusteella arvioitu rehevöitymisriski

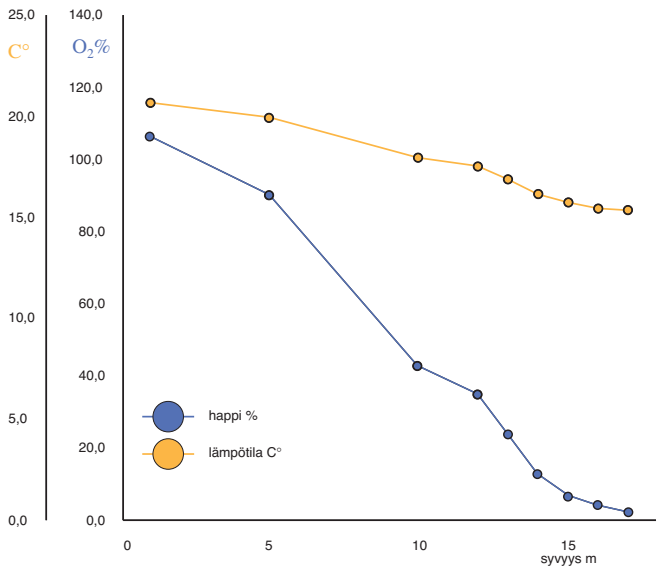


Suhteutetussa vertailussa suurimman riskin omaava osa-alue (osa-alue 1) sijoittuu korkeimpaan riskiluokkaan. Vastaavasti pienimmän riskin omaava osa-alue (osa-alue 11) sijoittuu alhaisimpaan riskiluokkaan. Muut osa-alueet sijoittuvat näiden ääripäiden väliin.

- 29 hyvä happitilanne, ei happivajetta
- 236 harvoin hapenpuutetta
- 229 ajoittaista hapettomuutta ja sisäistä kuormitusta
- 239 pitkäjaksoista ja säännöllisesti esiintyvää hapettomuutta ja sisäistä kuormitusta
- 380 ei riittävästi perusteita luokitteluun

ja siitä johtuvalle sisäiselle kuormitukselle. Syvät altaat ovat alueella harvalukuiset ja muutamissa ulomman saariston altaissakin pohjien tila on tyydyttävä, sillä kynnysalueet eivät riitä eristämään altaiden pohjanläheistä vettä ympäröivistä alueista. Altaissa pohjanläheisen veden liikkeet pitävät pohjat hapekkaina ja virtaukset ovat monasti riittävän voimakkaita huuhtelemaan pois pohjien kevyemmän eloperäisen aineen.

Syvien hapettomien altaiden puuttuessa alueella ei esiinny **säännöllistä ja pitkäjaksoista hapettomuutta ja sisäistä kuormitusta**. Näytteenotot vahvistavat, että alusveden ravinnepitoisuudet eivät ole merkittävästi pintaveden pitoisuuksia korkeampia eikä viitteitä voimakkaaseen sisäiseen kuormitukseen alueen vedenlaadun perusteella ole nähtävissä.



Kuva 30. *Happitilanne 10.8 2002 näyteasemalla 142. Veden kokonaissyvyys asemalla on 18 m.*

Paikoin, pääasiassa alueen matalimmissa osissa, happea kuluttavaa eloperäistä or-

asema no.	syvyys m	pohjaeläimistö	raekoko	savi	siltti	hiekka	hehkutushäviö	eloperäinen aines	lämpötila C°	happi-% pinta	happi-% pohja	fosfori pinta	fosfori pohja	P-aut.	P-detr.	P-org.	P.tot.
141	31.0	+	-	-	-	-	10.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
142	17.9	+	-	-	-	-	11.8	-	15.3	106	2.5	-	-	-	-	-	-
143	43.6	+	-	-	-	-	9.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
144	70.0	-	-	-	-	-	-	-	8.7	110	40	-	-	-	-	-	-
145	23.5	+	-	-	-	-	2.0	-	8.7	111	68	-	-	-	-	-	-
146	22.5	+	-	-	-	-	2.5	-	8.7	110	80	-	-	-	-	-	-
147	17.1	+	-	-	-	-	-	-	11.1	109	5.7	-	-	-	-	-	-
148	12.5	+	-	-	-	-	13.9	-	15.4	99	59	-	-	-	-	-	-
149	14.0	+	-	-	-	-	13.2	-	14.2	108	46	-	-	-	-	-	-
150	11.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
151	13.1	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
152	13.7	+	-	-	-	-	8.2	-	15.9	104	52	-	-	-	-	-	-
247	54.0	0	-	-	-	-	-	-	6.0	111	81	0.007	0.025	-	-	-	-
297	25.0	+	85.52	3.48	26.15	83.27	-	2.1104	3.8	108	81	0.007	0.015	0,084	0,512	0,056	0,652
298	27.0	0	-	-	-	-	-	-	3.9	108	94	0.011	0.01	-	-	-	-
378	16.0	0	-	-	-	-	-	-	8.4	100	55	0.020	0.026	-	-	-	-
402	28.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
403	38.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,056	0,522	0,655	1,232
444	28.0	+	-	-	-	-	2.1	-	11.8	110	82	0.012	0.016	-	-	-	-
445	14.5	+	-	-	-	-	13.2	-	15.4	109	76	0.017	0.019	-	-	-	-
446	13.1	+	-	-	-	-	11.9	-	14.1	107	58	0.023	0.019	-	-	-	-

2002 2002-03 2003 2004

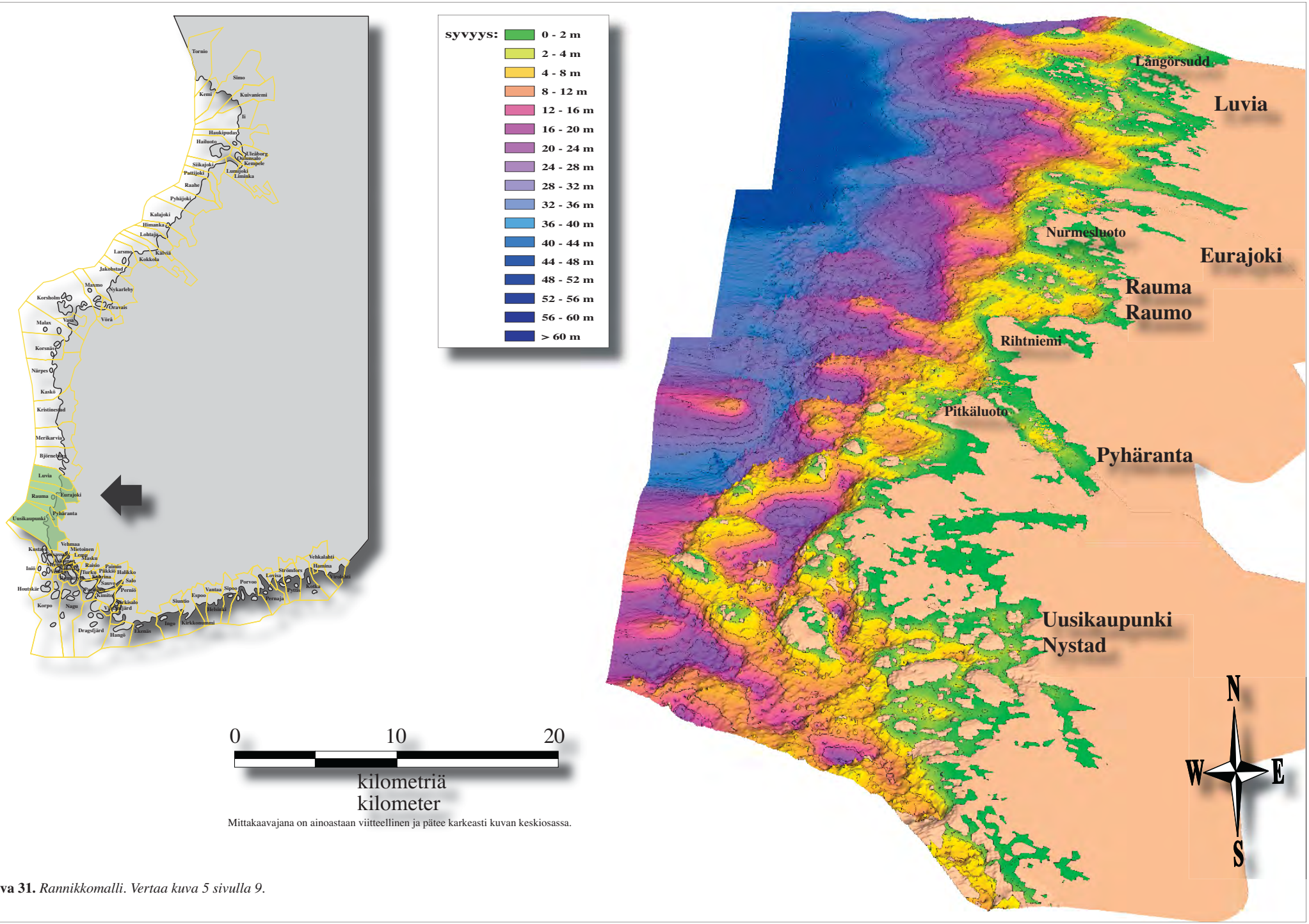
Taulukko 15. Uusikaupunki, Pyhäranta, Rauma, Eurajoki ja Luvia. *Keskeisiä veden- ja merenpohjan laatua kuvaavia muuttujia: Pohjaeläinten esiintyminen (+) tai puuttuminen (0), pohjasedimentin raekoko (mediaani d50), savi- (raekoko < 1.95 µm), siltti (raekoko 1.95-62.5 m) ja hiekkapitoisuus (raekoko 62.5-2000 µm), hehkutushäviö (g), eloperäisen aineen pitoisuus (%), pohjanläheisen veden lämpötila (+1 m), pinnan- (1 m syv.) ja pohjanläheisen (+1 m) veden happikyllästyneisyysaste ja kokonaisfosforipitoisuus (mg/l) sekä pohjasedimentin fosforifraktiot.*

gaanista liejua kerääntyy pohjille ja ajoittaista happivajetta esiintyy pohjanläheisessä vedessä. Pitkinä tyyninä kausina esiintyy ilmeisesti myös täydellistä hapettomuutta ja hapettomuudesta johtuvaa sisäistä kuormitusta. Ongelma-alueiden mataluuden takia **hapettomat ja sisäisesti kuormittavat kaudet ovat tilapäisiä ja sääolosuhteista riippuvaisia**. Elokuussa 2002 pitkän tyynen hellekauden lopussa happipitoisuus lähenteli nollaa 18 metrin syvyydessä Uudenkaupungin edustalla. Kestävimmät pohjaeläinlajit pystyivät kuitenkin selviytymään osoittaen, että heikentynyt happitilanne oli vain väliaikaista ja luonteeltaan nopeasti ohimenevä.

asema no.	syvyys m	latitud N	longitud E	näkösyvyys	Fe_{CDB} mmol/g	Fe_{CDB}:P_{SPA}	N	C	H	S
141	31.0	60°46.350	21°13.534	-	-	-	-	-	-	-
142	17.9	60°46.060	21°19.328	-	-	-	-	-	-	-
143	43.6	60°48.641	21°11.867	-	-	-	-	-	-	-
144	70.0	60°49.200	21°11.300	-	-	-	-	-	-	-
145	23.5	60°56.161	21°09.551	-	-	-	-	-	-	-
146	22.5	60°58.931	21°12.197	-	-	-	-	-	-	-
147	17.1	61°01.974	21°16.023	-	-	-	-	-	-	-
148	12.5	61°07.704	21°22.405	-	-	-	-	-	-	-
149	14.0	61°13.735	21°23.380	-	-	-	-	-	-	-
150	11.9	61°15.750	21°24.632	-	-	-	-	-	-	-
151	13.1	61°18.980	21°27.665	-	-	-	-	-	-	-
152	13.7	61°24.575	21°26.061	-	-	-	-	-	-	-
247	54.0	60°42.522	20°40.086	-	-	-	-	-	-	-
297	25.0	60°52.273	21°05.495	2.901	1.198	0.3098	0.1567	0.2286	0.2006	
298	27.0	61°04.609	21°11.153	-	-	-	-	-	-	-
378	16.0	60°45.796	21°22.163	-	-	-	-	-	-	-
402	28.9	61°24.573	21°09.535	-	-	-	-	-	-	-
403	38.8	60°58.174	21°01.307	-	-	-	-	-	-	-
444	28.0	60°54.616	21°06.339	-	-	-	-	-	-	-
445	14.5	60°58.240	21°22.910	-	-	-	-	-	-	-
446	13.1	61°06.488	21°24.589	-	-	-	-	-	-	-

2002 2002-03 2003 2004

Taulukko 16. Uusikaupunki, Pyhäranta, Rauma, Eurajoki ja Luvia. *Näyteasemien sijainti ja merenpohjan pohjasedimenttiä kuvaavia muuttujia: Pohjasedimentin rautapitoisuus (kyseessä on helposti P-FeOH fosforifraktion mukana liukeneva hydroksidirauta joka ilmeisesti on yksi tärkeimmistä raudan muodoista biologisia prosesseja ja fosforin sitoutumista ajatellen, vertaa Lindgren in prep.) ja rauta- sekä fosforipitoisuuksien välinen suhde. Lisäksi taulukossa on esitetty muutamien kaasukromatografisesti eroteltujen alkuaineiden pitoisuudet massaprosentteina.*



Mittakaavajana on ainoastaan viitteellinen ja pätee karkeasti kuvan keskiosassa.

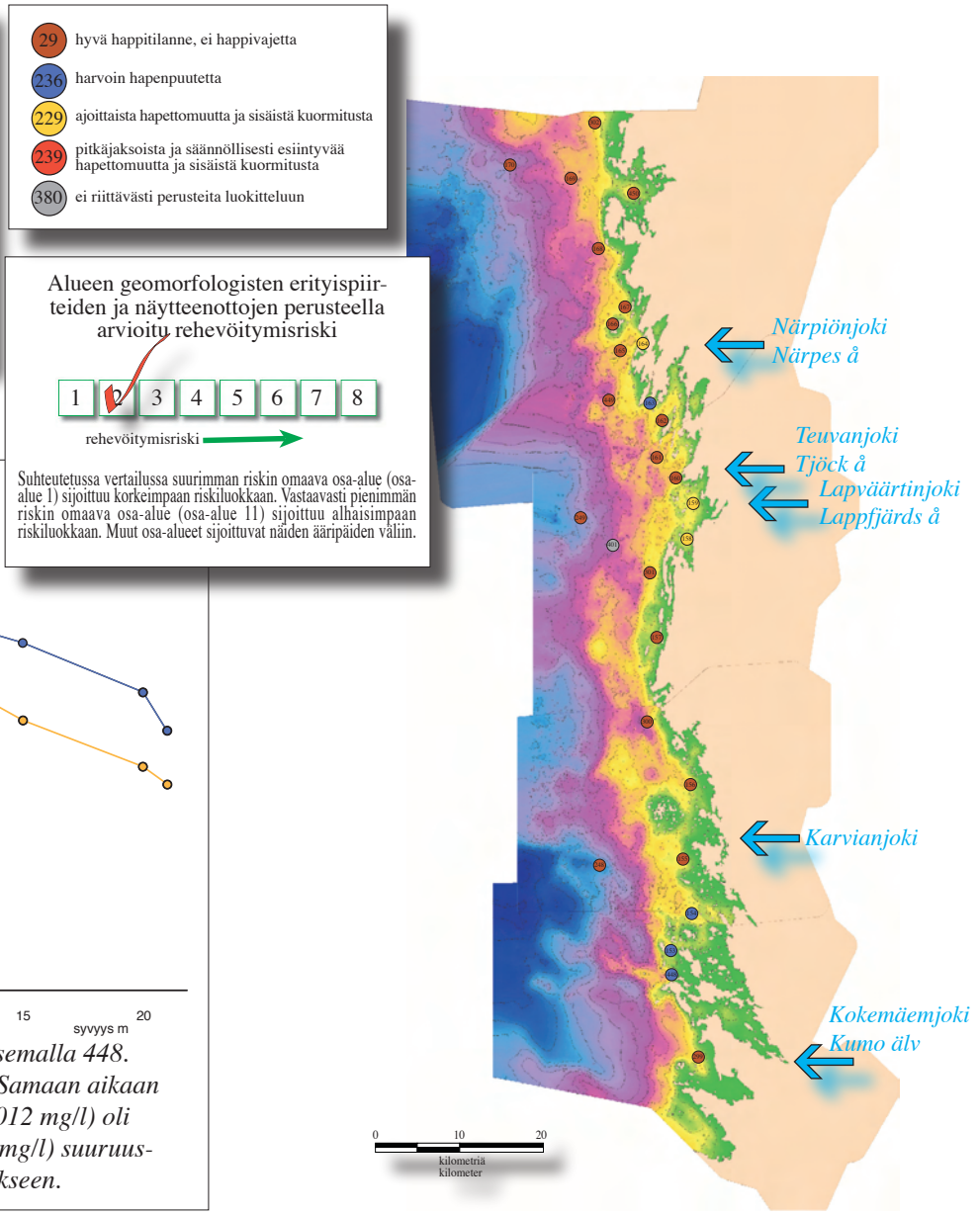
Kuva 31. *Rannikkomalli. Vertaa kuva 5 sivulla 9.*

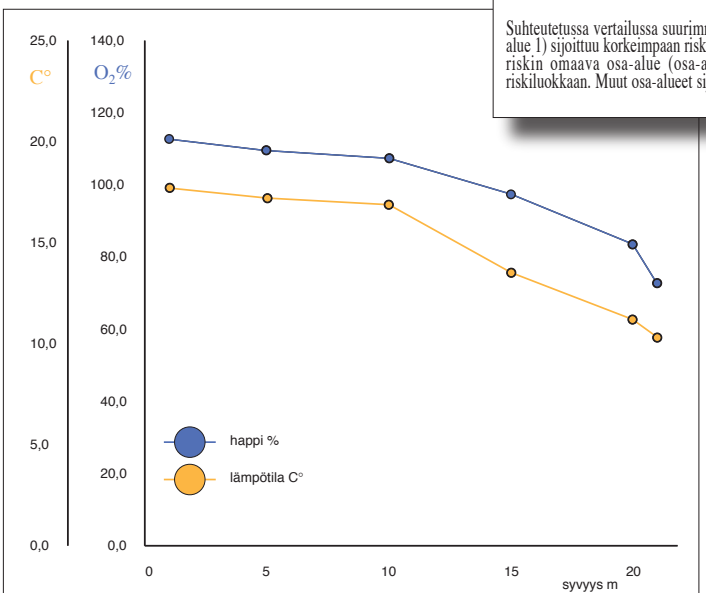
Alue 8. Pori, Merikarvia, Kristiinankaupunki, Kaskinen, Närpiö

Yleisesti ottaen alueen pohjien ja vedenlaadullinen tilanne on parantunut kaupunkien ja teollisuuslaitosten edustoilla viime vuosikymmenien aikana (Kangas ym. 2001, Oravainen 2005). Selkämeren ulkosaariston ja avomeren tilassa on viitteitä vähittäisestä rehevöitymisestä mutta alue on edelleenkin Suomea ympäröivistä Itämeren alueista hyväkuntoisimpia (Pitkänen ym. 1987, Kauppila ja Lepistö 2001). Pohjanläheisen veden ja pohjien tila on pääsääntöisesti hyvä eikä happikatoja esiinny.

Rannikkomallin perusteella alueen rehevöitymisriski on pieni. Merenpohja syvenee pääasiassa loivasti ja tasaisesti ulkomerta kohti. Koska rannikkovyöhyke on kapea jäävät jokivesien vaikutuspiirit suppeiksi. Ravinteikkaat jokivedet laimenevat karussa merivedessä jo jokisuistojen tuntumassa. Paikoin saaristo on rikkonaisempi mutta saaristovyöhykkeen kapeuden takia on veden vaihtuvuus enimmäkseen tehokasta huolimatta siitä, että runsaat luodot ja matalikot jossain määrin vaikuttavat veden virtauksiin.

Kuva 32. *Näyteasemat rannikon geomorfologiaa havainnollistavalla rannikkomallilla. Jotta näyteasemien sijainnit näkyisivät mahdollisimman tarkasti on mallin katselukulma suoraan ylhäältä päin. Paremman käsityksen alueen geomorfologiasta ja syvyysolosuhteista saa kuvasta 35. Asemien tilaa kuvaavia keskeisiä mittaustuloksia on esitetty taulukossa 17 och 18, josta asemakohtaiset tiedot löytyvät numeroinnin avulla.*

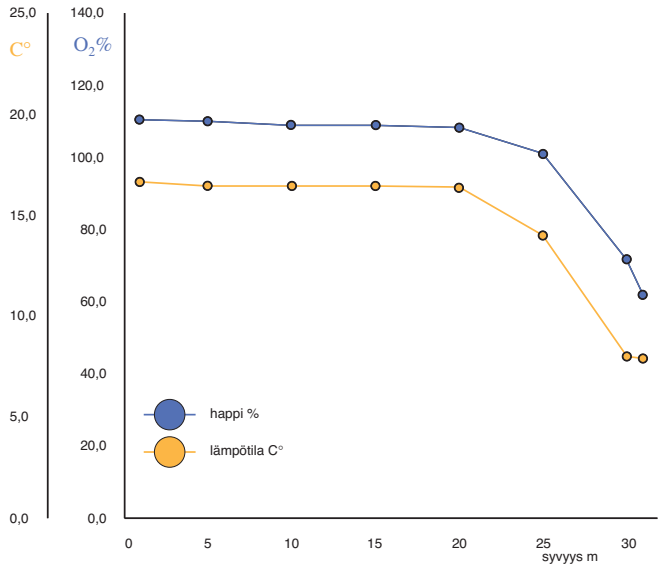




Kuva 33. *Happitilanne 20.7 2004 näyteasemalla 448. Veden kokonaissyvyys asemalla on 22 m. Samaan aikaan pohjanläheisen veden fosforipitoisuus (0.012 mg/l) oli pinnanläheisen veden pitoisuuden (0,016 mg/l) suuruusluokkaa eikä viitannut sisäiseen kuormitukseen.*

Näytteenotot vahvistavat, että pohjien ja pohjanläheisen veden tila on hyvä eikä hapettomuutta ja hapettomuudesta johtuvaa sisäistä kuormitusta suuremmassa mittakaavassa esiinny.

Syviä, kynnysmäisten pohjamuodostumien eristämiä altaita, ei rannikkomallin perusteella ole eikä säännölliselle veden kerrostuneisuuskausina esiintyvälle, **pitkäjaksoiselle hapettomuudelle ja sisäiselle kuormitukselle** ole esiintymismahdollisuuksia. Rannikkomallin perusteella valtaosa alueen ulompien osien pohjista altistuvat voimakkaalle eroosiolle ja näytteenotot vahvistavat, että pohjasedimentit sisältävät hyvin vähän kevyempää eloperäistä ainesta.



Kuva 34. *Happitilanne 21.7 2004 näyteasemalla 449. Veden kokonaissyvyys asemalla on 32 m. Samaan aikaan asemalla mitattiin alueelle poikkeuksellisen korkea alusveden kokonaisfosforipitoisuus (0,077 mg/l). Suhteessa pinnanläheisen veden pitoisuuteen (0,017 mg/l) alusveden pitoisuus oli yli nelinkertainen viitaten mahdolliseen sisäiseen kuormitukseen.*

asema no.	syvyys m	pohjaeläimistö	raekoko	savi	silti	hiekka	hehkutushäviö	eloperäinen aines	lämpötila C°	happi-% pinta	happi-% pohja	fosfori pinta	fosfori pohja	P-aut.	P-detr.	P-org.	P.tot.
153	17.0	+	-	-	-	-	6.0	-	12.7	114	57	-	-	-	-	-	-
154	16.9	+	-	-	-	-	3.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
155	12.0	+	-	-	-	-	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
156	15.0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
157	9.8	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
158	11.2	+	-	-	-	-	12.1	-	17.8	103	61	-	-	-	-	-	-
159	12.4	+	-	-	-	-	10.9	-	18.0	102	48	-	-	-	-	-	-
160	19.0	0	-	-	-	-	1.7	-	15.0	98	52	-	-	-	-	-	-
161	30.2	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
162	23.6	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
163	14.0	+	-	-	-	-	9.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
164	13.3	0	-	-	-	-	33.6	-	12.8	100	1.5	-	-	-	-	-	-
165	25.7	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
166	15.6	+	-	-	-	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
167	14.4	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
168	24.0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
169	19.0	0	-	-	-	-	-	-	13.2	102	64	-	-	-	-	-	-
170	26.2	+	-	-	-	-	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
248	46.0	+	74.52	3.82	32.49	63.69	2.5	2.8408	2.0	113	90	0.019	0.022	0,050	0,454	0,139	0,643
249	42.5	+	92.56	7.67	35.36	56.97	1.7	1.6000	3.0	102	92	0.008	0.008	0,087	0,337	0,086	0,509
299	11.7	+	107.9	2.58	14.15	83.27	-	0.4746	4.7	106	90	0.026	0.017	0,069	0,504	0,049	0,622
300	25.0	0	-	-	-	-	-	-	2.9	110	91	0.016	0.012	-	-	-	-
301	25.0	0	-	-	-	-	-	-	3.5	111	91	0.008	0.013	-	-	-	-
302	14.0	+	-	-	-	-	-	-	5.7	98	92	0.007	0.011	-	-	-	-
401	33.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
448	22.0	0	-	-	-	-	4.3	-	10.3	113	68	0.016	0.012	-	-	-	-
449	32.4	+	-	-	-	-	0.7	-	7.8	110	62	0.077	0.017	-	-	-	-
450	11.3	+	-	-	-	-	-	-	17.9	107	100	0.020	0.023	-	-	-	-

2002 | 2002-03 | 2003 | 2004

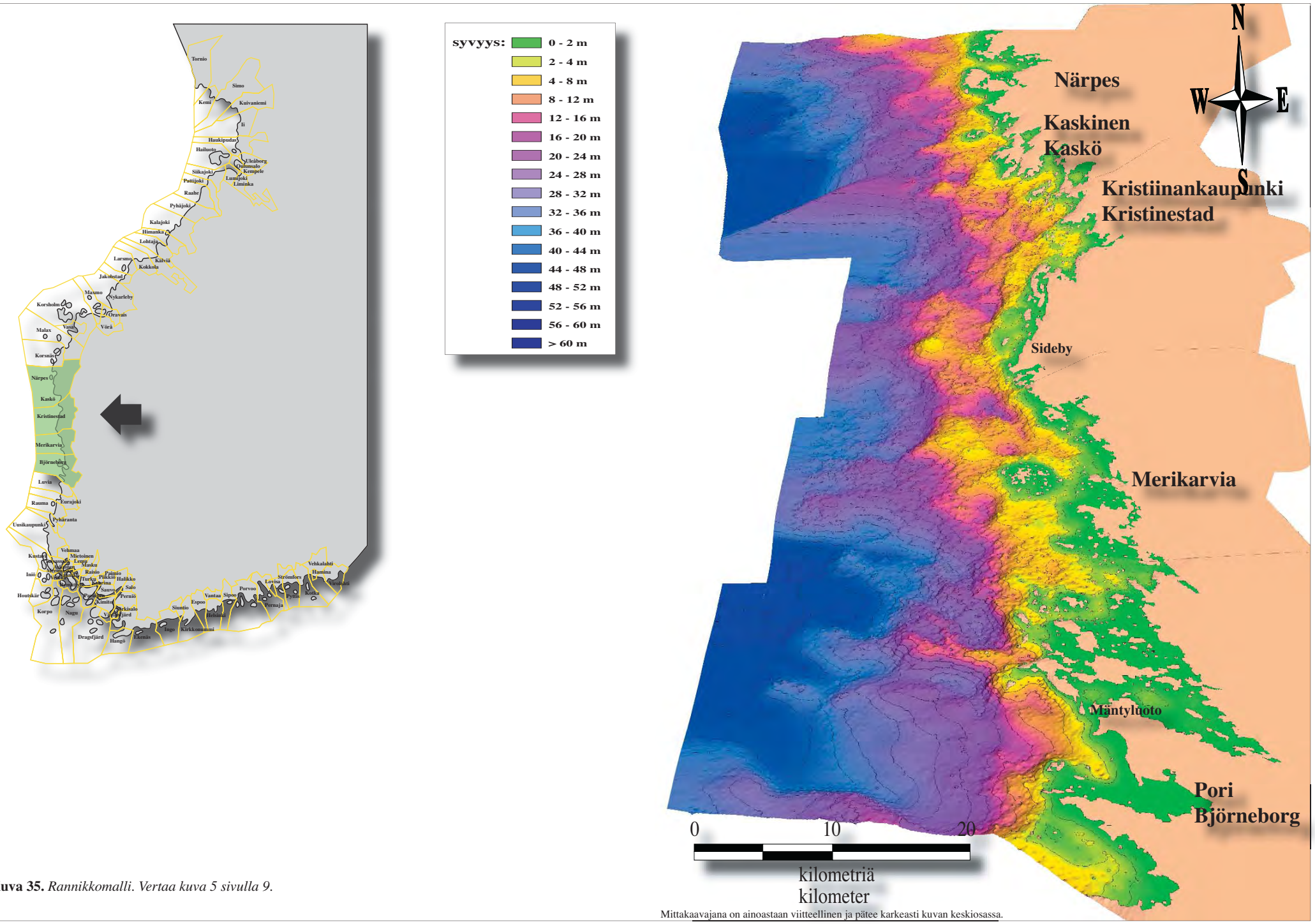
Taulukko 17. Pori, Merikarvia, Kristinankaupunki, Kaskinen ja Närpiö. *Keskeisiä veden- ja merenpohjan laatua kuvaavia muuttujia: Pohjaeläinten esiintyminen (+) tai puuttuminen (0), pohjasedimentin raekoko (mediaani d50), savi- (raekoko < 1.95 µm), siltti (raekoko 1.95-62.5 m) ja hiekkapitoisuus (raekoko 62.5-2000 µm), hehkutushäviö (g), eloperäisen aineen pitoisuus (%), pohjanläheisen veden lämpötila (+1 m), pinnan- (1 m syv.) ja pohjanläheisen (+1 m) veden happikyllästyneisyysaste ja kokonaisfosforipitoisuus (mg/l) sekä pohjasedimentin fosforifraktiot.*

Alueen geomorfologian ja näytteenottojen perusteella **ajoittaiselle hapettomuudelle ja siitä johtuvalle sisäiselle kuormitukselle** on todennäköisimmät esiintymismahdollisuudet alueen suojaisissa ja suhteellisen matalissa sisäosissa. Paikoittain alueen sisäosien pohjille on kertynyt ravinnepitoista ja hajotessaan happea kuluttavaa eloperäistä liejua. Pääsääntöisesti alueiden veden vaihtuvuus on kuitenkin riittävä pitämään pohjat hapekkaina ja mahdolliset hapettomat kaudet rajoittuvat poikkeuksellisen pitkiin lämpimiin ja tyyniin jaksoihin. Esiintyessään hapettomuus on alueellisesti suppeaa ja ajallisesti tilapäistä.

asema no.	syvyys m	latitud N	longitud E	Fe_{cdb} mmol/g	Fe_{cdb}:Pspa	N	C	H	S
153	17.0	61°40.941	21°22.983	-	-	-	-	-	-
154	16.9	61°43.637	21°25.748	-	-	-	-	-	-
155	12.0	61°46.958	21°23.994	-	-	-	-	-	-
156	15.0	61°53.006	21°22.407	-	-	-	-	-	-
157	9.8	62°03.291	21°17.177	-	-	-	-	-	-
158	11.2	62°10.824	21°20.727	-	-	-	-	-	-
159	12.4	62°13.063	21°21.181	-	-	-	-	-	-
160	19.0	62°14.865	21°17.441	-	-	-	-	-	-
161	30.2	62°16.131	21°13.498	-	-	-	-	-	-
162	23.6	62°18.982	21°14.245	-	-	-	-	-	-
163	14.0	62°20.412	21°12.511	-	-	-	-	-	-
164	13.3	62°24.493	21°10.715	-	-	-	-	-	-
165	25.7	62°23.955	21°06.079	-	-	-	-	-	-
166	15.6	62°25.861	21°04.500	-	-	-	-	-	-
167	14.4	62°27.193	21°07.241	-	-	-	-	-	-
168	24.0	62°30.983	21°00.906	-	-	-	-	-	-
169	19.0	62°36.081	20°58.880	-	-	-	-	-	-
170	26.2	62°36.724	20°52.644	-	-	-	-	-	-
248	46.0	61°46.364	21°12.474	123.552	11.289	-	-	-	-
249	42.5	62°12.170	21°04.202	34.057	6.762	-	-	-	-
299	11.7	61°32.500	21°29.504	17.405	7.188	-	-	-	-
300	25.0	61°57.237	21°15.656	-	-	-	-	-	-
301	25.0	62°07.800	21°13.819	-	-	-	-	-	-
302	14.0	62°40.669	20°59.354	-	-	-	-	-	-
401	33.7	62°11.723	21°06.873	-	-	-	-	-	-
448	22.0	60°54.616	21°06.339	-	-	-	-	-	-
449	32.4	60°58.240	21°22.910	-	-	-	-	-	-
450	11.3	61°06.488	21°24.589	-	-	-	-	-	-

2002 2002-03 2003 2004

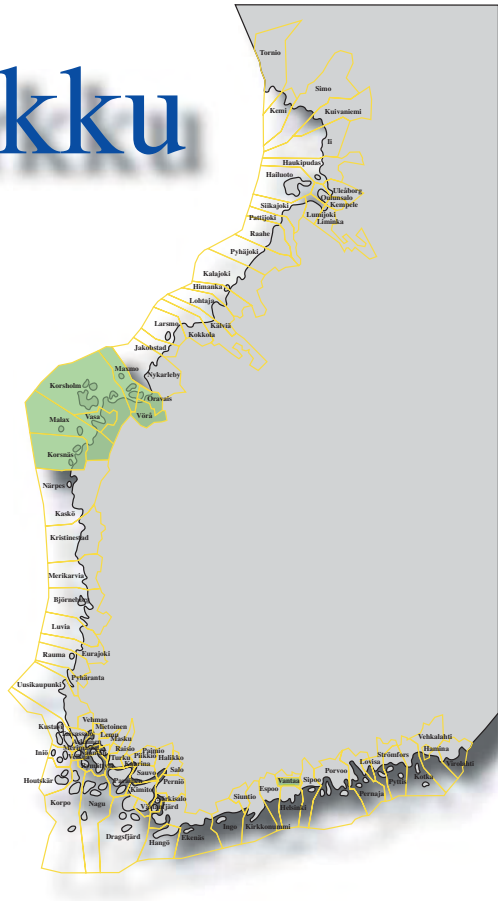
Taulukko 18. Pori, Merikarvia, Kristinankaupunki, Kaskinen ja Närpiö. *Näyteasemien sijainti ja merenpohjan pohjasedimenttiä kuvaavia muuttujia: Pohjasedimentin rautapitoisuus (kyseessä on helposti P-FeOH fosforifraktion mukana liukeneva hydroksidirauta joka ilmeisesti on yksi tärkeimmistä raudan muodoista biologisia prosesseja ja fosforin sitoutumista ajatellen, vertaa Lindgren in prep.) ja rauta- sekä fosforipitoisuuksien välinen suhde. Lisäksi taulukossa on esitetty muutamien kaasukromatografisesti eroteltujen alkuaineiden pitoisuudet massaprosentteina.*

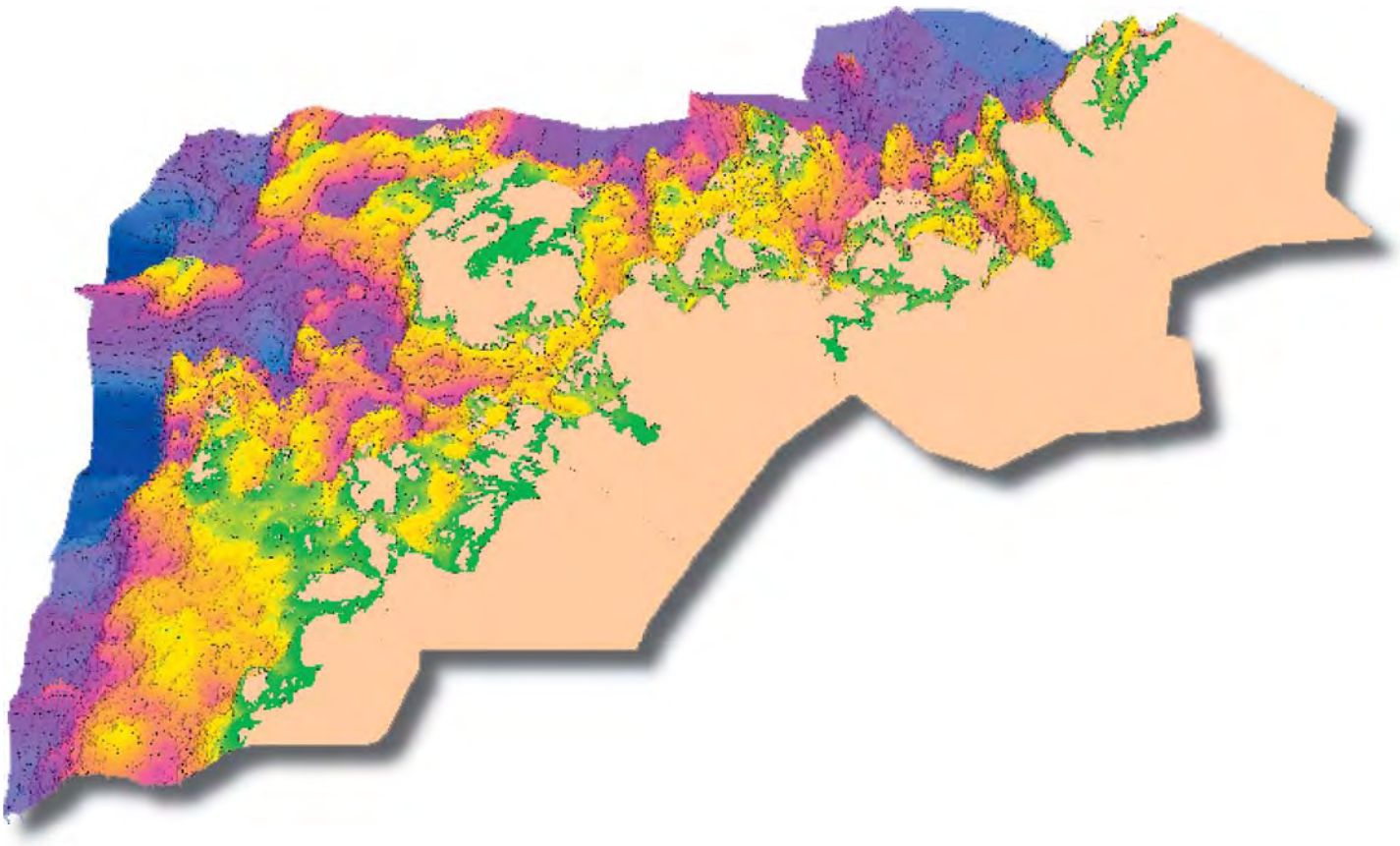


Kuva 35. *Rannikkomalli. Vertaa kuva 5 sivulla 9.*

Mittakaavajana on ainoastaan viitteellinen ja pätee karkeasti kuvan keskiosassa.

Merenkurkku



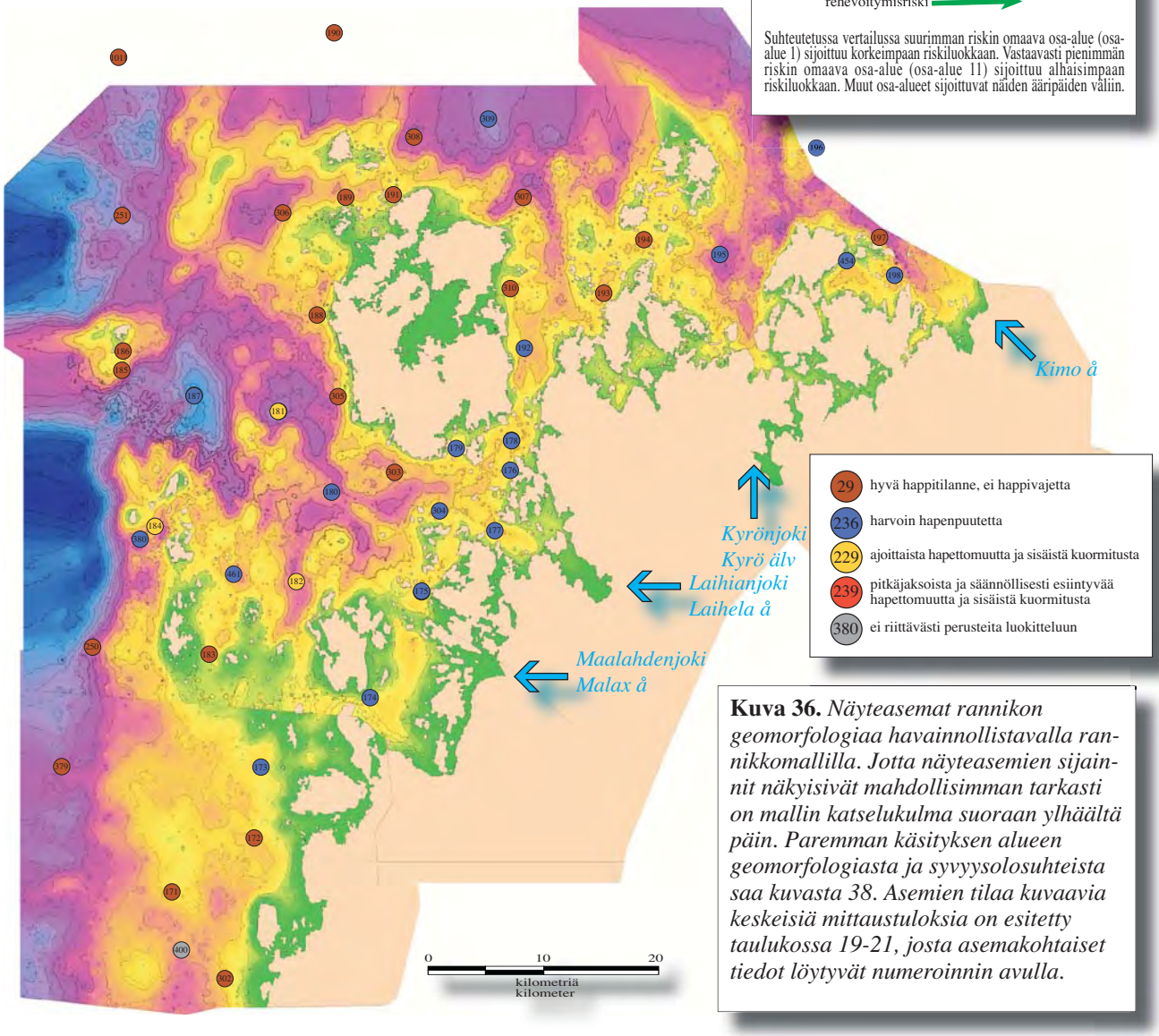


Alue 9. Korsnäs, Maalahti, Mustasaari, Vaasa, Maksamaa, Vöyri

Pohjanlahden rannikon suhteellisen hyväkuntoisilla alueilla Merenkurkku ja varsinkin Vaasan edusta kuuluvat eniten rehevöityneimpiin alueisiin (Pitkänen ym. 2004). Merenkurkunkin alueella rehevöityminen on kuitenkin huomattavasti vähäisempää kuin Etelä-suomen rannikon saaristoisilla alueilla (HELCOM 1996, Kauppila ja Lepistö. 2001).

Alue on matala ja sen saaristovyöhyke on varsin leveä ja pirstoutunut. Vastakkaisella puoleisella Pohjanlahtea sijaitseva Ruotsin puoleinen rannikko on geomorfologialtaan erillainen. Ruotsin puolella saaristovyöhyke on kapeampi eivätkä rannat ole yhtä matalia kuin Suomen puolella. Tästä syystä paikan päälle suoritetuissa tutkimuksissa otettiin vertailunäytteitä myös Ruotsin rannikon puolelta.

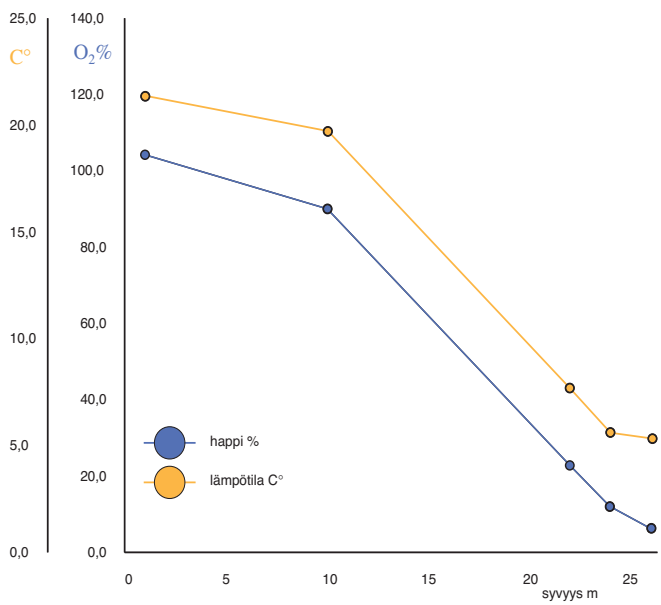
Rannikkomallin perusteella alueella on runsaasti melko syviä orgaanista ainesta akkumuloivia altaita. Näytteenotot osoittavat kuitenkin, että veden vaihtuvuus pohjanläheisissä vesikerroksissa useimmissa tapauksissa on riittävä pitämään pohjat hapekkaina eikä



Kuva 36. *Näyteasemat rannikon geomorfologiaa havainnollistavalla rannikkomallilla. Jotta näyteasemien sijainnit näkyisivät mahdollisimman tarkasti on mallin katselukulma suoraan ylhäältä päin. Paremman käsityksen alueen geomorfologiasta ja syvyysolosuhteista saa kuvasta 38. Asemien tilaa kuvaavia keskeisiä mittaustuloksia on esitetty taulukossa 19-21, josta asemakohtaiset tiedot löytyvät numeroinnin avulla.*

alueella ole esiintymisedellytyksiä **säännölliselle, veden kerrostuneisuuskausina esiintyvälle, pitkäjaksoiselle hapettomuudelle ja siitä johtuvalle sisäiselle kuormitukselle.**

Ajoittaiselle, sääolosuhteista riippuvalle hapettomuudelle ja sisäiselle kuormitukselle on paikoin esiintymisedellytyksiä alueen suojaisissa ja verraten matalissa osissa. Veden vaihtuvuus on kuitenkin pääsääntöisesti riittävä pitämään myös näiden syvänteiden pohjat hapekkaina. Myös pohjien eläimistöt on yleisesti ottaen melko vakaita happioloja indikoivia eivätkä viittaa tilapäisten hapettomien jaksojen esiintymiseen.



Kuva 37. *Happitilanne 22.8 2002 näyteasemalla 184. Veden kokonaissyvyys asemalla on 26,3 m.*

asema no.	syvyys m	pohjaeläimistö	raekoko	savi	siltti	hiekka	hehkutushäviö	eloperäinen aines	lämpötila C°	happi-% pinta	happi-% pohja	fosfori pinta	fosfori pohja	P-aut.	P-detr.	P-org.	P.tot.
171	17.8	+	-	-	-	-	1.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
172	13.3	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
173	14.8	+	-	-	-	-	-	-	19.2	100	30	-	-	-	-	-	-
174	10.5	+	-	-	-	-	11.6	-	21.1	103	84	-	-	-	-	-	-
175	13.3	+	3.346	32.27	67.73	0	11.6	11.5563	5.2	105	72	0.011	0.025	0.070	0,686	0,893	1,649
176	10.6	+	-	-	-	-	3.6	.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
177	9.0	+	-	-	-	-	12.7	.	20.4	107	84	-	-	-	-	-	-
178	16.7	+	-	-	-	-	4.6	.	6.1	102	79	0.012	0.016	-	-	-	-
179	11.3	+	-	-	-	-	9.0	.	18.5	103	35	-	-	-	-	-	-
180	24.3	+	-	-	-	-	5.2	.	15.8	108	60	-	-	-	-	-	-
181	34.0	+	4.098	29.05	70.95	0	10.5	9.0525	2.2	102	84	0.007	0.014	0.059	0,500	0,409	0,968
182	20.1	+	-	-	-	-	9.8	.	16.5	106	57	-	-	-	-	-	-
183	20.1	+	-	-	-	-	5.2	.	18.5	104	30	-	-	-	-	-	-
184	26.3	+	-	-	-	-	5.5	.	5.3	104	6	-	-	-	-	-	-
185	17.4	0	-	-	-	-	-	.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
186	11.1	+	-	-	-	-	-	.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
187	51.0	+	3.935	30.31	69.69	0	8.7	8.8728	1.8	102	78	0.007	0.025	0,187	0,963	0,524	1,674
188	23.9	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
189	20.3	+	-	-	-	-	-	-	15.0	104	75	-	-	-	-	-	-
190	49.3	0	-	-	-	-	-	-	8.7	100	82	-	-	-	-	-	-
191	12.6	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
192	18.1	+	-	-	-	-	8.6	-	15.6	98	56	-	-	-	-	-	-
193	14.9	+	-	-	-	-	3.0	-	14.9	96	28	-	-	-	-	-	-
194	14.7	+	-	-	-	-	-	-	13.2	100	55	-	-	-	-	-	-
195	22.2	+	-	-	-	-	10.3	-	9.2	102	7.1	-	-	-	-	-	-
196	29.7	+	-	-	-	-	1.7	-	7.6	97	69	-	-	-	-	-	-
197	51.5	+	-	-	-	-	1.4	-	9.1	-	79	-	-	-	-	-	-
198	18.9	+	-	-	-	-	10.1	-	10.8	107	61	-	-	-	-	-	-
250	50.5	0	-	-	-	-	-	-	1.8	102	90	0.008	0.012	-	-	-	-
251	44.0	+	-	-	-	-	-	-	2.5	105	95	0.007	0.014	-	-	-	-

2002 2002-03 2003 2004

Taulukko 19. Korsnäs, Maalahti, Mustasaari, Vaasa, Maksamaa ja Vöyri. *Keskeisiä veden- ja merenpohjan laatua kuvaavia muuttujia: Pohjaeläinten esiintyminen (+) tai puuttuminen (0), pohjasedimentin raekoko (mediaani d50), savi- (raekoko < 1.95 µm), siltti (raekoko 1.95-62.5 m) ja hiekkapitoisuus (raekoko 62.5-2000 µm), hehkutushäviö (g), eloperäisen aineen pitoisuus (%), pohjanläheisen veden lämpötila (+1 m), pinnan- (1 m syv.) ja pohjanläheisen (+1 m) veden happikyllästyneisyysaste ja kokonaisfosforipitoisuus (mg/l) sekä pohjasedimentin fosforifraktiot.*

Alueen suojaisten osien syvänteiden pohjat ovat suurelta osalta fosforia varastoivia liejupohjia. Toistaiseksi veden vaihtuvuus on pääsääntöisesti riittävä pitämään pohjat hapekkaina mutta ei tarpeeksi voimakasta kuljettamaan eloperäistä ainesta muualle.

Rehevyystason noustessa ja pohjille laskeutuvan aineen määrän lisääntyessä on uhkana, että sisäisestä kuormituksesta tulee merkittävä kuormituslähde alueella. Erityisesti poikkeuksellisten pitkien tyynten jaksojen aikana esiintyvälle hapettomuudelle ja sen seurauksena tapahtuvalle sisäiselle kuormitukselle on edellytyksiä.

Ruotsin puoleiselta rannikolta otettujen näytteiden avulla ei löydetty eloperäistä ainesta kerääviä, hapettomuudelle alttiita pohjia. Rannikon geomorfologiasta johtuen Merenkurkun Suomen puoleinen alue on ilmeisesti huomattavasti alttiimpi hapettomuudelle, hapettomuudesta johtuvalle sisäiselle kuormitukselle ja rehevöitymiselle kuin Ruotsin puoleinen rannikko.

Erityispiirteenä alueen pohjaeläimistössä on Itämerelle uuden tulokaslajin amerikanmonisukasmadon (*Marenzelleria viridis*) yleisyys. Runsaslukuisena *Marenzelleria viridis*-monisukasmadon epäillään vähentävän alkuperäiseliöstöä (Zettler 1995, Zettler ym 1995, Zettler ym. 1996, Stigzelius ym. 1997).

Tulevia muutoksia alueen tilassa on parhaiten todettavissa seuraamalla suojaisten ja matalien alueiden syvänteiden tilannetta sekä myös jatkuvalla seurannalla alueen ulko-

asema no.	syvyys m	pohjaeläimistö	raekoko	savi	siltti	hiekka	hehkutushäviö	eloperäinen aines	lämpötila C°	happi- % pinta	happi- % pohja	fosfori pinta	fosfori pohja	P-aut.	P-detr.	P-org.	P-tot.
303	21.0	+	68.66	9.64	36.33	54.03	3.8	4.0786	3.7	101	83	0.007	0.014	0,052	0,550	0,255	0,856
304	9.8	+	-	-	-	-	-	-	18.9	110	82	0.008	0.012	-	-	-	-
305	23.0	+	100.2	4.17	19.23	76.60	2.3	2.5089	-	-	-	0.006	0.008	0,055	0,551	0,167	0,773
306	22.9	+	-	-	-	-	-	-	5.7	103	88	0.008	0.012	-	-	-	-
307	26.0	+	-	-	-	-	-	-	-	-	80	0.006	0.008	-	-	-	-
308	29.0	0	-	-	-	-	-	-	7.2	103	90	0.007	0.008	-	-	-	-
309	43.0	+	49.54	6.30	61.50	32.20	3.6	2.8585	6.1	105	88	0.005	0.009	0,048	0,893	0,151	1,091
310	15.9	0	-	-	-	-	-	-	11.3	107	97	0.007	0.009	-	-	-	-
379	49.5	0	-	-	-	-	-	-	1.6	104	86	0.007	0.015	-	-	-	-
380	30.0	0	3.389	31.97	68.03	0	8.6	10.1408	2.0	98	72	0.007	0.026	-	-	-	-
400	17.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
454	13.5	+	-	-	-	-	9.9	-	14.2	111	62	0.010	0.038	-	-	-	-
461	18.5	+	-	-	-	-	11.4	-	12.2	110	68	0.072	0.032	-	-	-	-
1011	44.9	0	-	-	-	-	-	-	3.5	117	92	0.005	0.017	-	-	-	-
1012	31.0	+	-	-	-	-	-	-	8.9	118	103	0.005	0.010	-	-	-	-
1013	27.7	+	-	-	-	-	-	-	8.3	118	93	0.007	0.009	-	-	-	-

2002 2002-03 2003 2004

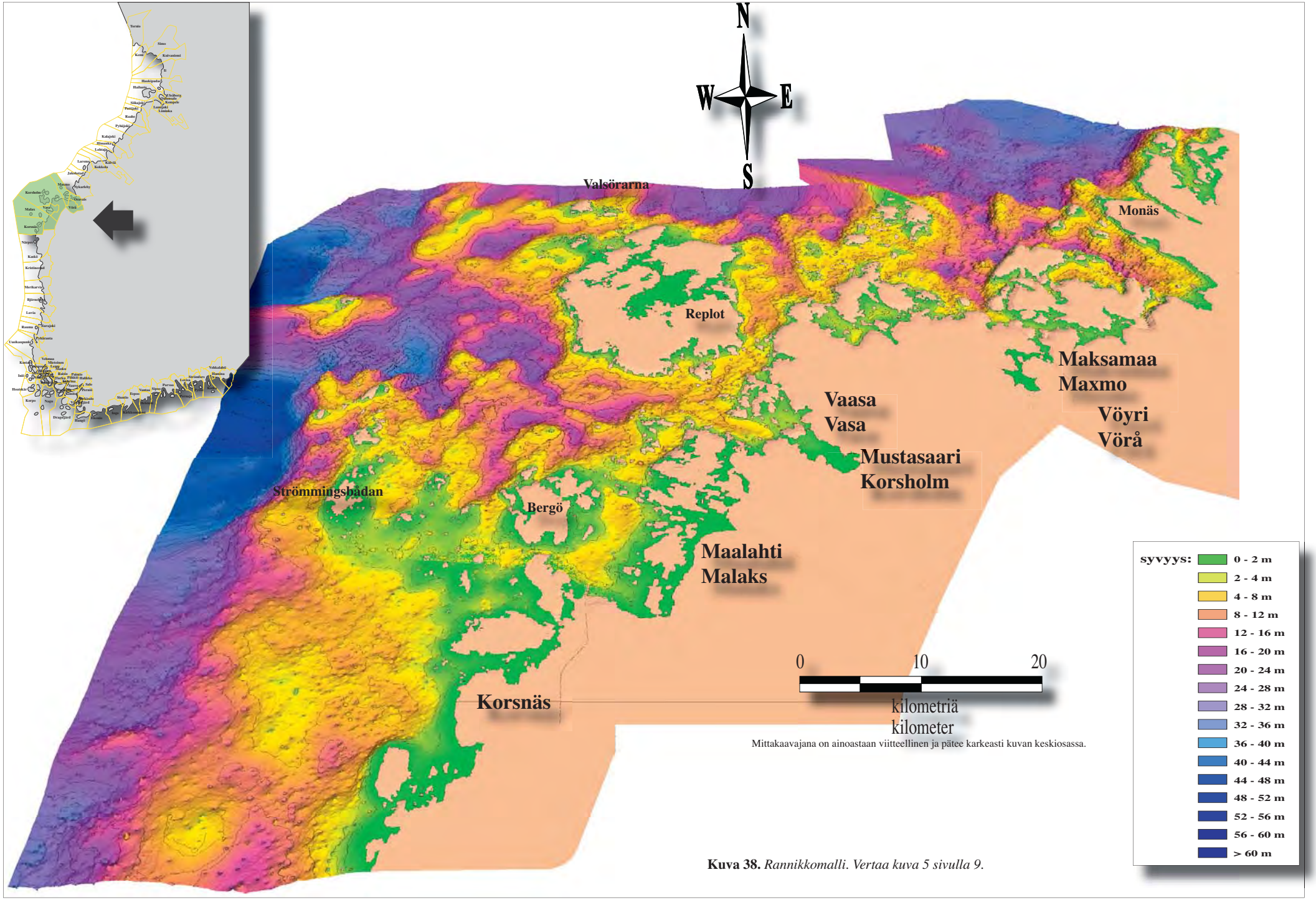
Taulukko 20. Korsnäs, Maalahti, Mustasaari, Vaasa, Maksamaa ja Vöyri. . *Keskeisiä veden- ja merenpohjan laatua kuvaavia muuttujia: Pohjaeläinten esiintyminen (+) tai puuttuminen (0), pohjasedimentin raekoko (mediaani d50), savi- (raekoko < 1.95 µm), siltti (raekoko 1.95-62.5 m) ja hiekkapitoisuus (raekoko 62.5-2000 µm), hehkutushäviö (g), eloperäisen aineen pitoisuus (%), pohjanläheisen veden lämpötila (+1 m), pinnan- (1 m syv.) ja pohjanläheisen (+1 m) veden happikyllästyneisyysaste ja kokonaisfosforipitoisuus (mg/l) sekä pohjasedimentin fosforifraktiot.*

osien suhteellisen syvien altaiden tilanteesta. Molemmissa tapauksissa seurattujen syvänteiden tulisi edustaa mahdollisimman tehokkaasti eloperäistä ainesta kerääviä ja varastoivia syvänteitä, t.s. rannikkoalueita joissa rehevöitymisen kielteiset vaikutukset ensimmäisenä tulee näkyviin. Alueen rehevöitymiskehityksen ja sen seurantamahdollisuuksien kannalta, on perusteltua sisällyttää pohjanläheisen veden happi- ja fosforitilannetta sekä pohjaeläimistön ja pohjasedimentin tilaa mahdollisiin seurantaohjelmiin.

asema no.	syvyys m	latitud N	longitud E	Fe_{ctb} mmol/g	Fe_{ctb}:P_{spa}	N	C	H	S
171	17.8	62°45.259	20°58.213	-	-	-	-	-	-
172	13.3	62°47.344	21°02.758	-	-	-	-	-	-
173	14.8	62°52.930	21°01.946	-	-	-	-	-	-
174	10.5	62°56.049	21°14.664	-	-	-	-	-	-
175	13.3	63°02.682	21°18.937	278.260	7.482	-	-	-	-
176	10.6	63°08.948	21°28.047	-	-	-	-	-	-
177	9.0	63°05.785	21°27.174	-	-	-	-	-	-
178	16.7	63°09.934	21°27.931	-	-	-	-	-	-
179	11.3	63°09.684	21°21.518	-	-	-	-	-	-
180	24.3	63°06.899	21°10.100	-	-	-	-	-	-
181	34.0	63°10.852	20°59.483	197.683	10.521	-	-	-	-
182	20.1	63°02.536	21°03.403	-	-	-	-	-	-
183	20.1	62°58.114	20°55.377	-	-	-	-	-	-
184	26.3	63°04.461	20°47.513	-	-	-	-	-	-
185	17.4	63°12.125	20°39.740	-	-	-	-	-	-
186	11.1	63°12.878	20°39.893	-	-	-	-	-	-
187	51.0	63°11.643	20°48.968	211.650	4.010	-	-	-	-
188	23.9	63°17.972	21°03.623	-	-	-	-	-	-
189	20.3	63°23.532	21°04.670	-	-	-	-	-	-
190	49.3	63°31.065	21°04.096	-	-	-	-	-	-
191	12.6	63°24.083	21°13.319	-	-	-	-	-	-
192	18.1	63°15.316	21°28.656	-	-	-	-	-	-
193	14.9	63°18.807	21°37.207	-	-	-	-	-	-
194	14.7	63°22.058	21°41.261	-	-	-	-	-	-
195	22.2	63°21.618	21°51.675	-	-	-	-	-	-
196	29.7	63°28.080	22°00.239	-	-	-	-	-	-
197	51,5	63°23.088	22°10.956	-	-	-	-	-	-
198	18,9	63°20.649	22°12.407	-	-	-	-	-	-
250	50.5	62°58.678	20°37.927	-	-	-	-	-	-
251	44.0	63°21.448	20°37.046	-	-	-	-	-	-
303	21.0	63°09.192	21°11.686	159.006	9.435	0.3541	0.7486	0.3972	0.2243
304	9.8	63°06.596	21°20.171	-	-	-	-	-	-
305	23.0	63°11.618	21°06.344	61.239	7.104	-	-	-	-
306	22.9	63°23.039	20°57.747	-	-	-	-	-	-
307	26.0	63°25.323	21°27.939	-	-	-	-	-	-
308	29.0	63°26.755	21°12.982	-	-	-	-	-	-
309	43.0	63°28.176	21°23.061	80.577	4.837	-	-	-	-
310	15.9	63°19.189	21°28.607	-	-	-	-	-	-
379	49.5	62°52.663	20°36.208	-	-	-	-	-	-
380	30.0	63°04.299	20°47.129	192.848	11.443	0.5352	2.7558	0.7133	0.5036
400	17.0	62°41.345	20°56.253	-	-	-	-	-	-
454	13.5	62°24.493	21°10.715	-	-	-	-	-	-
461	18.5	62°23.955	21°06.079	-	-	-	-	-	-
1011	44.9	62°25.861	21°04.500	-	-	-	-	-	-
1012	31.0	62°27.193	21°07.241	-	-	-	-	-	-
1013	27.7	62°30.983	21°00.906	-	-	-	-	-	-

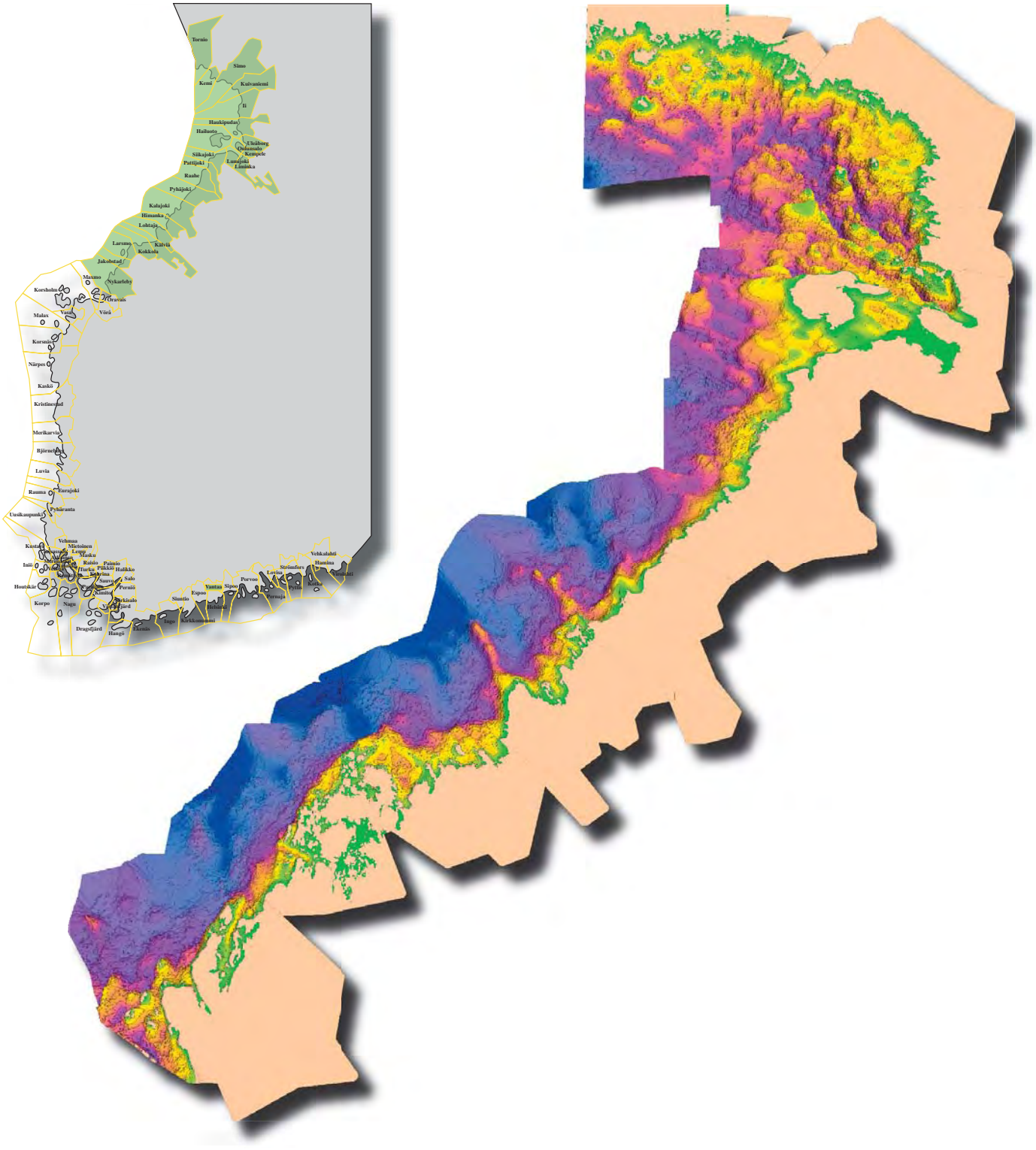
2002 2002-03 2003 2004

Taulukko 21. Korsnäs, Maalahti, Mustasaari, Vaasa, Maksamaa ja Vöyri. *Näyteasemien sijainti ja merenpohjan pohjasedimenttiä kuvaavia muuttujia: Pohjasedimentin rautapitoisuus (kyseessä on helposti P-FeOH fosforifraktion mukana liukeneva hydroksidirauta joka ilmeisesti on yksi tärkeimmistä raudan muodoista biologisia prosesseja ja fosforin sitoutumista ajatellen, vertaa Lindgren in prep.) ja rauta- sekä fosforipitoisuuksien välinen suhde. Lisäksi taulukossa on esitetty muutamien kaasukromatografisesti eroteltujen alkuaineiden pitoisuudet massaprosentteina.*



Kuva 38. *Rannikkomalli. Vertaa kuva 5 sivulla 9.*

Perämeri


Tornio
Simo
Kemi
Kuivaniemi
Ii
Haukipudas
Hailuoto
Ulkaborg
Oulunsalo
Kempele
Siikajoki
Pattijoki
Lumijoki
Limingka
Raahe
Pyhäjoki
Kalajoki
Himanka
Lohtaja
Larsmo
Kalvia
Kokkola
Jakobstad
Maxmo
Nykarleby
Korsholm
Oravais
Vasa
Vörå
Malax
Korsnäs
Närpes
Kaskö
Kristinestad
Merikarvia
Björneborg
Lavia
Rauma
Eurajoki
Pyhäranta
Uusikaupunki
Vehmaa
Mietoinen
Lieto
Kustavi
Nauvo
Kimito
Taivassalo
Inio
Houtskär
Turku
Raisio
Naantali
Parainen
Pargas
Kaarina
Sauvo
Salo
Halikko
Perniö
Korpo
Nagu
Dragsfjärd
Hangö
Ekenäs
Lojo
Kirkkonummi
Siuntio
Espoo
Vantaa
Sipoo
Helsinki
Porvoo
Lovisa
Pernaja
Strömfors
Hamina
Fredrikshamn
Vehkalahti
Kotka

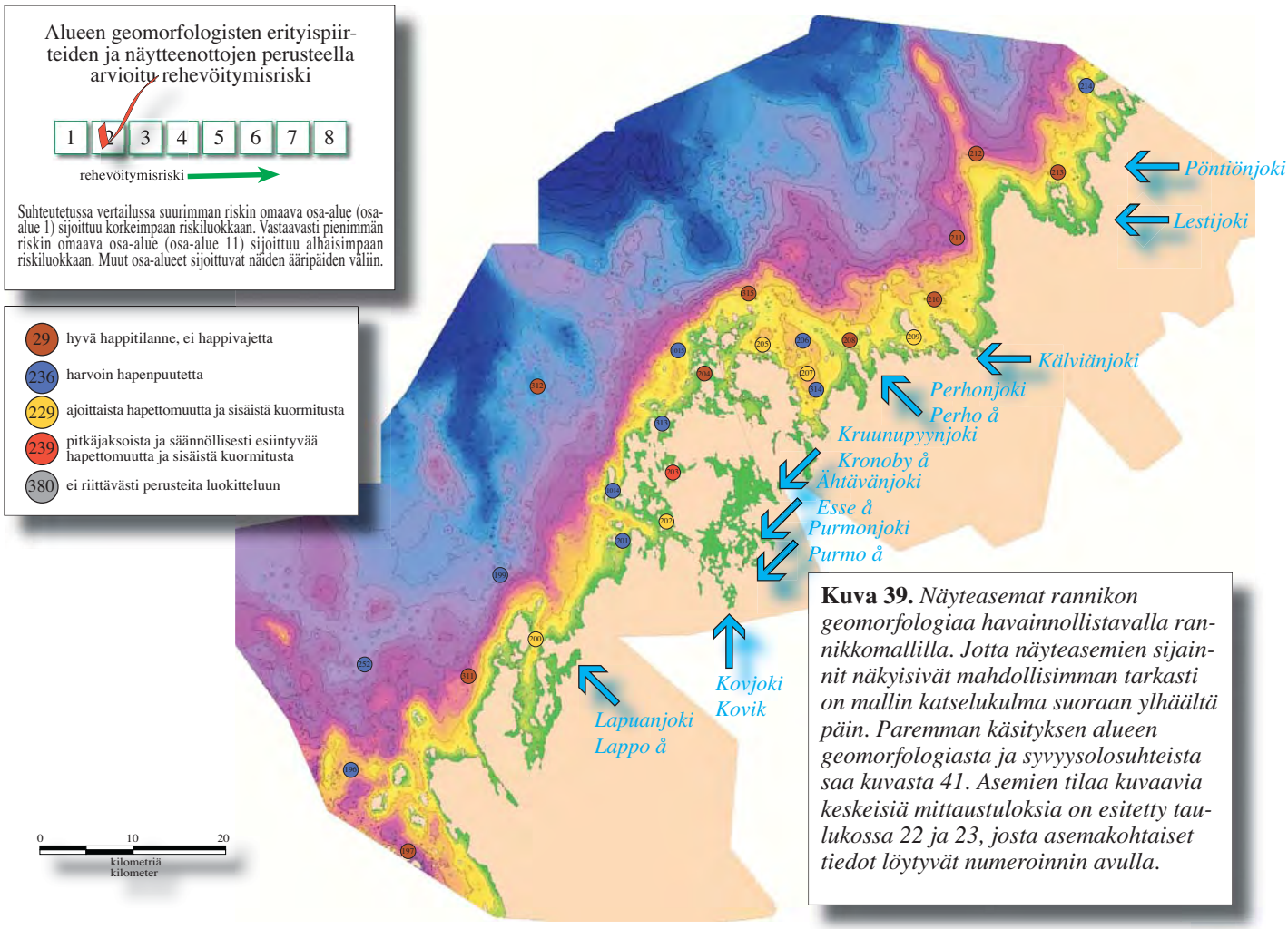
Alue 10. Uusikaarlepyy, Pietarsaari, Luoto, Kokkola, Kälviä, Lohtaja, Himanka

Pohjanlahden ulapan ravinnepitoisuuksissa ja rehevöitymisessä on viime vuosina ollut havaittavissa nouseva kehityssuunta, Perämerellä erityisesti typen suhteen (Pitkänen ym. 1987, HELCOM 1996, Kauppila ja Lepistö 2001). Itämeren oloissa Perämertä voidaan kuitenkin ainakin toistaiseksi pitää karuna merialueena.

Laajimmat alueet jotka veden kasviplanktonin määrän perusteella ovat selkeästi rehevöityneet sijaitsevat Kokkolan ja Pietarsaaren edustoilla (Kauppila ja Lepistö 2001). Näiden alueiden sisimmän saariston pohjien tila on parantunut 1990 ja 2000-luvulla aluetta kuormittavien jätevesien tehostuneen puhdistuksen myötä eikä pohjaeläimistöltään kuolleita pohjia ole viime vuosina esiintynyt (Nyman ja Nystubb 1998, Nyman 2000, Vääränen ja Nyman 2000).

Rannikkomallin perusteella ulkosaariston ja avomeren pohjat altistuvat voimakkaalle eroosiolle. Näytteenotot osoittavat, että pohjille on kerääntynyt hyvin vähän eloperäistä ainesta eikä esiintymisedellytyksiä anoksialle (hapettomuudelle) alueen ulko-osissa ole.

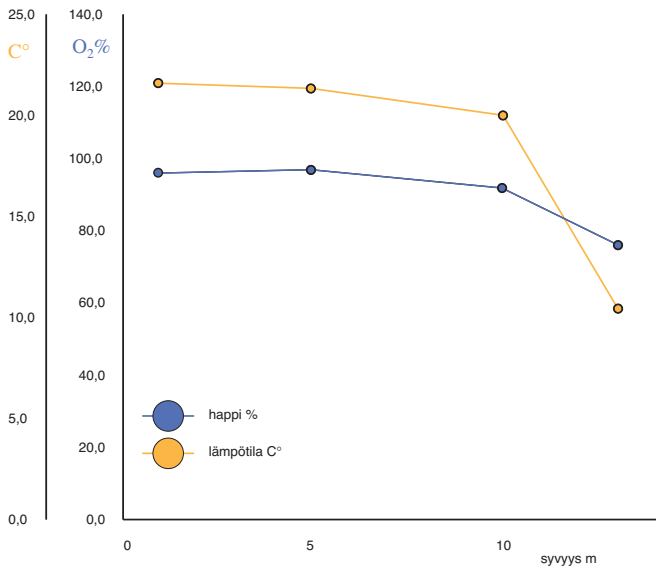
Kynnysmuodostumien eristämiä syviä altaita alueella ei esiinny, eikä **säännöllisesti kerrostuneisuuskausina toistuvalle ja pitkäjaksoiselle hapettomuudelle ja sisäiselle kuormitukselle** ole esiintymisedellytyksiä. Näytteenotot vahvistavat, että alueen ulko-



Kuva 39. *Näyteasemat rannikon geomorfologiaa havainnollistavalla rannikkomallilla. Jotta näyteasemien sijainnit näkyisivät mahdollisimman tarkasti on mallin katselukulma suoraan ylhäältä päin. Paremman käsityksen alueen geomorfologiasta ja syvyysolosuhteista saa kuvasta 41. Asemien tilaa kuvaavia keskeisiä mittaustuloksia on esitetty taulukossa 22 ja 23, josta asemakohtaiset tiedot löytyvät numeroinnin avulla.*

osien pohjanläheisen veden happitilanne on hyvä eivätkä fosforipitoisuudet viittaa sisäiseen kuormitukseen.

Rannikkomallin perusteella alueen ainoa laajempi suurempaa rehevöitymisriskiä omaava osa-alue sijaitsee alueen keskiosassa Kokkola-Pietarsaaren edustalla. Alueen keskiosaa lukuunottamatta on saaristovyöhyke kapea ja rannat tasaisesti ja katkeamattomasti viettäviä kohti ulkomerta ja esiintymismahdollisuudet hapettomuudesta johtuvalle sisäiselle kuormitukselle ovat vähäisiä.



Kuva 40. *Happitilanne 4.8. 2003 näyteasemalla 314. Veden kokonaissyvyys asemalla on 13 m. Samaan aikaan pohjanläheisen veden fosforipitoisuus (0.019 mg/l) oli pinnanläheisen veden pitoisuuden (0,010 mg/l) suuruusluokkaa eikä viitannut sisäiseen kuormitukseen.*

Kokkola-Pietarsaari alueelta löytyy aalto eroosiolta suojassa sijaitsevia paikallisia syvänteitä jotka keräävät ja varastoivat eloperäistä liejua. Syvänteet ovat alttiita **tilapäiselle, tyynten jaksojen aikana esiintyvälle hapettomuudelle ja sisäiselle kuormitukselle**. Alueen syvänteet ovat suhteellisen pienialaisia eikä laajemmalle

asema no.	syvyys m	pohjaeläimistö	raekoko	savi	silttti	hiekka	hehkutushäviö	eloperäinen aines	lämpötila C°	happi- % pinta	happi- % pohja	fosfori pinta	fosfori pohja	P-aut.	P-detr.	P-org.	P.tot.
199	44.0	+	-	-	-	-	3.4	-	6.0	-	90	-	-	-	-	-	-
200	15.9	+	-	-	-	-	9.5	-	10.2	103	73	-	-	-	-	-	-
201	13.7	+	-	-	-	-	4.0	-	7.0	103	56	-	-	-	-	-	-
202	4.1	+	-	-	-	-	17.3	-	19.3	105	52	-	-	-	-	-	-
203	7.1	+	-	-	-	-	20.7	-	16.1	95	9	-	-	-	-	-	-
204	12.9	+	-	-	-	-	-	-	19.9	100	88	-	-	-	-	-	-
205	15.1	+	-	-	-	-	8.5	-	11.0	99	48	-	-	-	-	-	-
206	18.2	+	-	-	-	-	2.1	-	8.1	104	71	-	-	-	-	-	-
207	16.5	+	-	-	-	-	4.7	-	10.6	105	42	-	-	-	-	-	-
208	11.5	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
209	10.3	+	-	-	-	-	8.8	-	18.0	100	55	-	-	-	-	-	-
210	16.0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
211	28.6	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
212	28.9	+	-	-	-	-	-	-	5.8	103	96	-	-	-	-	-	-
213	11.0	+	-	-	-	-	-	-	15.0	94	48	-	-	-	-	-	-
214	11.0	+	-	-	-	-	2.0	-	19.2	98	94	-	-	-	-	-	-
252	37.5	+	24.89	9.93	74.83	15.24	3.2	3.2617	-	-	85	0.007	0.008	0,060	0,985	0,193	1,238
311	20.0	+	37.01	7.69	61.98	30.33	-	1.1031	7.1	114	112	0.008	0.006	0,048	0,749	0,104	0,900
312	50.5	0	-	-	-	-	-	-	5.4	106	102	0.007	0.007	-	-	-	-
313	13.3	+	5.773	20.54	79.46	0	10.4	9.1507	5.6	98	81	0.011	0.017	0,041	0,625	0,257	0,923
314	13.0	+	13.02	13.75	78.03	8.22	4.7	4.6681	10.4	96	76	0.010	0.019	0,065	0,982	0,297	1,344
315	25.0	0	-	-	-	-	-	-	-	110	100	0.006	0.007	-	-	-	-
1014	15.5	+	-	-	-	-	1.4	-	10.6	110	104	0.016	0.008	-	-	-	-
1015	17.4	+	-	-	-	-	3.4	-	7.9	110	102	0.008	0.007	-	-	-	-

2002 2002-03 2003 2004

Taulukko 22. Uusikaarlepyy, Pietarsaari, Luoto, Kokkola, Kälviä, Lohtaja ja Himanka. *Keskeisiä veden- ja merenpohjan laatua kuvaavia muuttujia: Pohjaeläinten esiintyminen (+) tai puuttuminen (0), pohjasedimentin raekoko (mediaani d50), savi- (raekoko < 1.95 µm), silttti (raekoko 1.95-62.5 m) ja hiekkapitoisuus (raekoko 62.5-2000 µm), hehkutushäviö (g), eloperäisen aineen pitoisuus (%), pohjanläheisen veden lämpötila (+1 m), pinnan- (1 m syv.) ja pohjanläheisen (+1 m) veden happikyllästyneisyysaste ja kokonaisfosforipitoisuus (mg/l) sekä pohjasedimentin fosforifraktiot.*

leviävälle hapettomuudelle ole esiintymisedellytyksiä kuin ainoastaan poikkeuksellisen pitkien tyynten ja lämpimien jaksojen vallitessa.

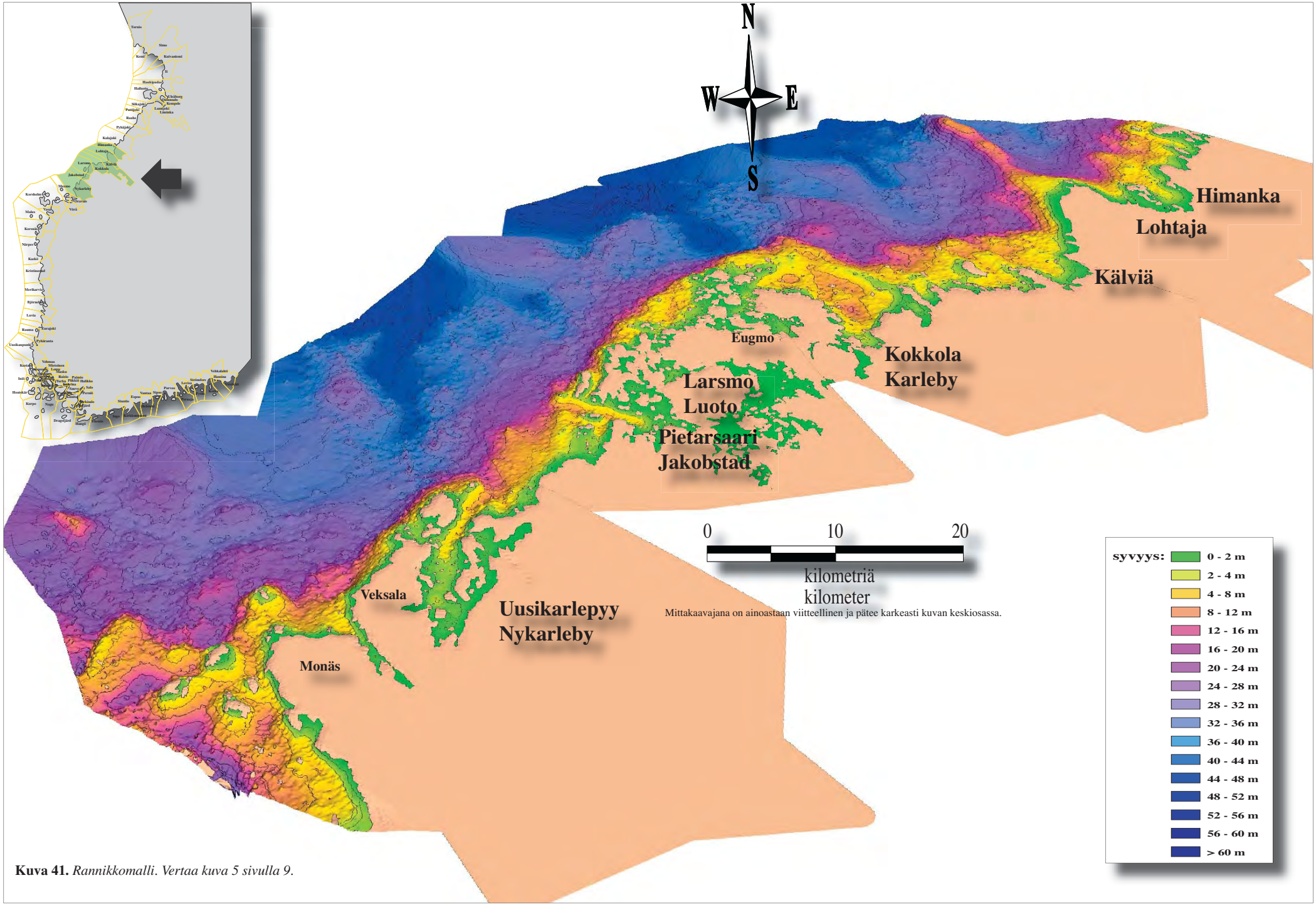
Mikäli alueen rehevöityminen kiihtyy ja hapettomuus yleistyy käynnistäen sisäisen kuormituskierteen, ovat seuraukset varsin arvaamattomia. Rehevöittävä vaikutus pohjaliejuihin varastoituneen fosforin vapautumisesta levien tuotantoon olisi todennäköisesti varsin voimakas fosforirajoitteisella Perämeren alueella. Geomorfologisten erityspiirteiden takia sisäisen kuormituskierteen riski on kuitenkin varsin pieni alueen nykyisellä rehevöitymistasolla. Jotta tuotanto alueella kasvaisi siinä määrin, että pohjille laskeutuva eloperäinen aine kuluttaisi hapen nopeammin kuin pohjanläheinen vesi ehtii vaihtua, vaatisi se alueen rehevyystason huomattavaa nousua.

Alueen seurantaohjelmiin olisi perusteltua sisällyttää myös paikallisia, suojaisilla alueilla ja etäällä kuormituslähteistä sijaitsevia syvänteitä. Muutokset näissä antavat ensivaroituksen muutoksista alueen yleistilassa.

asema no.	syvyys m	latitud N	longitud E	Fe_{cdb} mmol/g	Fe_{cdb}:P_{spa}	N	C	H	S
199	44.0	63°39.897	22°18.386	-	-	-	-	-	-
200	15.9	63°35.995	22°25.031	-	-	-	-	-	-
201	13.7	63°43.098	22°35.504	-	-	-	-	-	-
202	4.1	63°43.919	22°41.397	-	-	-	-	-	-
203	7.1	63°47.307	22°41.851	-	-	-	-	-	-
204	12.9	63°52.599	22°46.083	-	-	-	-	-	-
205	15.1	63°54.906	22°52.470	-	-	-	-	-	-
206	18.2	63°55.244	22°58.871	-	-	-	-	-	-
207	16.5	63°53.204	22°58.962	-	-	-	-	-	-
208	11.5	63°56.028	23°04.589	-	-	-	-	-	-
209	10.3	63°55.830	23°13.846	-	-	-	-	-	-
210	16.0	63°58.609	23°15.385	-	-	-	-	-	-
211	28.6	64°02.557	23°16.783	-	-	-	-	-	-
212	28.9	64°08.209	23°19.484	-	-	-	-	-	-
213	11.0	64°06.248	23°32.198	-	-	-	-	-	-
214	11.0	64°11.433	23°34.882	-	-	-	-	-	-
252	37.5	63°32.808	22°00.567	114.957	9.420	-	-	-	-
311	20.0	63°32.074	22°15.052	69.834	28.840	0.2063	0.0000	0.1437	0.1180
312	50.5	63°51.745	22°22.808	-	-	-	-	-	-
313	13.3	63°50.083	22°40.014	380.862	16.662	-	-	-	-
314	13.0	63°51.932	22°59.875	221.319	16.802	-	-	-	-
315	25.0	63°59.264	22°51.717	-	-	-	-	-	-
1014	15.5	63°45.530	22°34.199	-	-	-	-	-	-
1015	17.4	63°52.146	22°41.106	-	-	-	-	-	-

2002 2002-03 2003 2004

Taulukko 23. Uusikaarlepyy, Pietarsaari, Luoto, Kokkola, Kälviä, Lohtaja ja Himanka. *Näyteasemien sijainti ja merenpohjan pohjasedimenttiä kuvaavia muuttujia: Pohjasedimentin rautapitoisuus (kyseessä on helposti P-FeOH fosforifraktion mukana liukeneva hydroksidirauta joka ilmeisesti on yksi tärkeimmistä raudan muodoista biologisia prosesseja ja fosforin sitoutumista ajatellen, vertaa Lindgren in prep.) ja rauta- sekä fosforipitoisuuksien välinen suhde. Lisäksi taulukossa on esitetty muutamien kaasukromatografisesti eroteltujen alkuaineiden pitoisuudet massaprosentteina.*

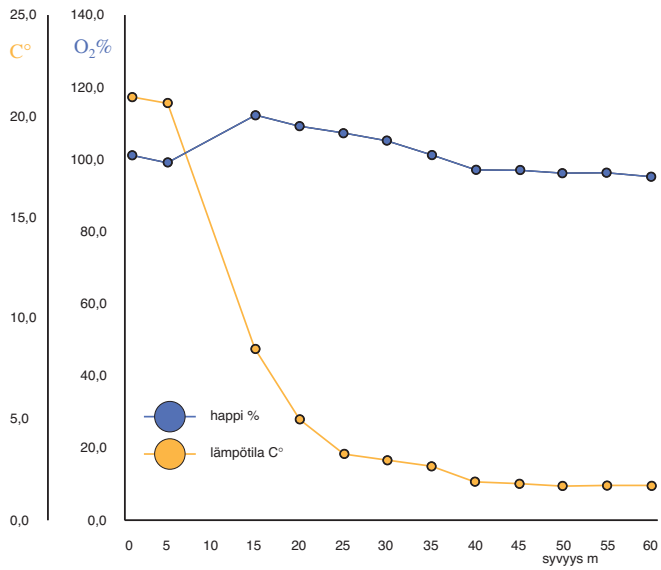


Kuva 41. *Rannikkomalli. Vertaa kuva 5 sivulla 9.*

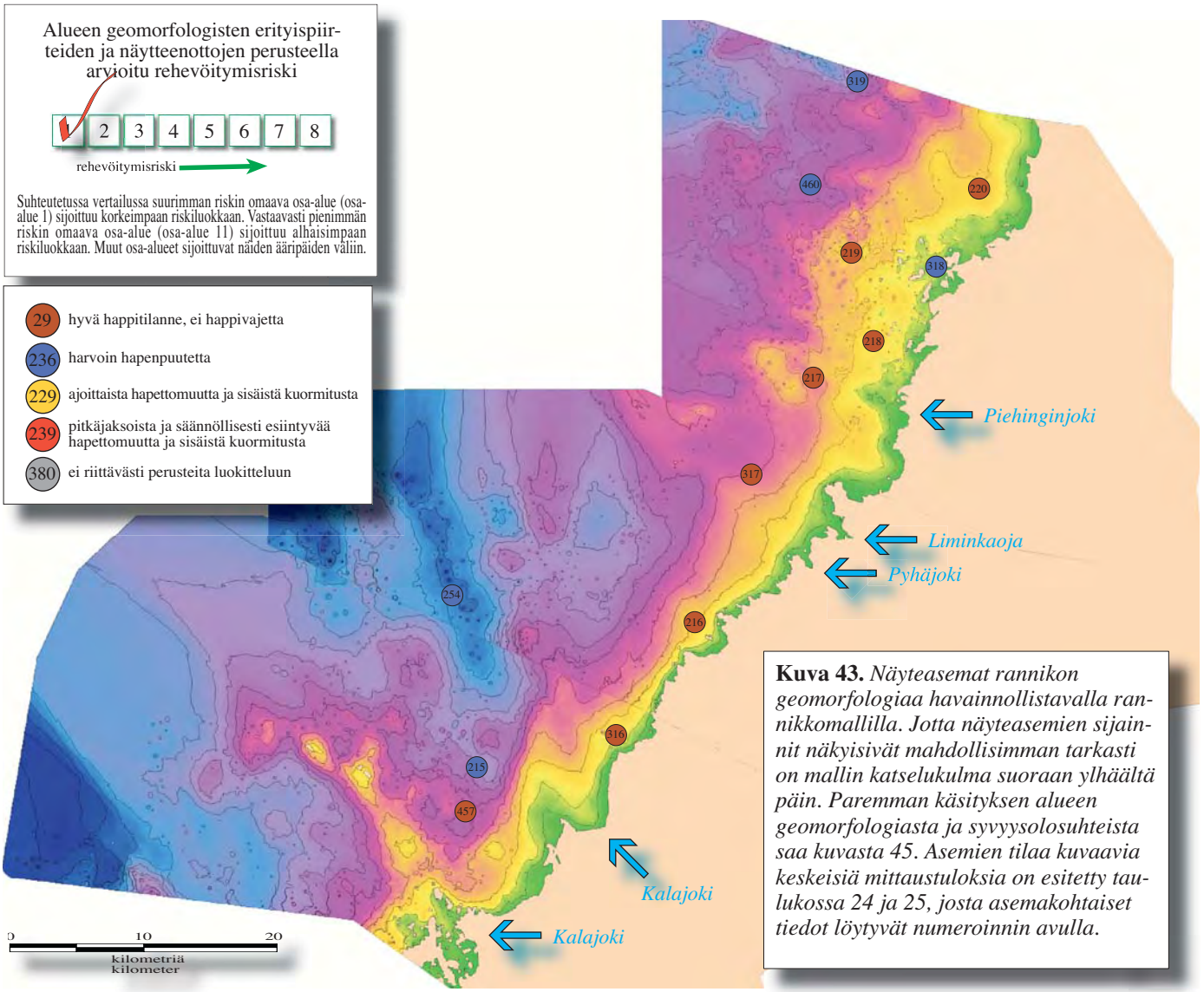
Alue 11. Kalajoki, Pyhäjoki, Raahe

Rannikkomallin perusteella alueen rehevöitymisriski on varsin pieni. Mallin avulla ei löydetty yhtäkään pohjamuodostumaa, jonne happea kuluttavalla eloperäisellä aineella olisi merkittäviä edellytyksiä kerääntyä. Suotuisa rannikon geomorfologia merialueella, joka on varsin vähäravinteinen, saa aikaan sen, että alue on Suomen vähäravintesin rannikkoalueita.

Saaristovyöhyke on kapea ja voimakas aaltoeroosio ulottuu mantereen rantoihin asti. Veden vaihtuvuus alueen rannanlä-

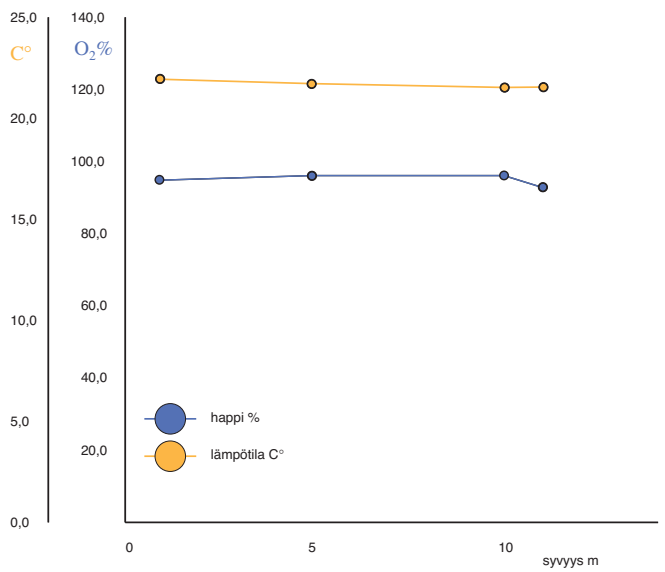


Kuva 42. *Happitilanne 4.8. 2003 näyteasemalla 254. Veden kokonaissyvyys asemalla on 61 m. Samaan aikaan pohjanläheisen veden fosforipitoisuus (0.005 mg/l) oli pinnanläheisen veden pitoisuuden (0,004 mg/l) suuruusluokkaa eikä viitannut sisäiseen kuormitukseen.*



Kuva 43. *Näyteasemat rannikon geomorfologiaa havainnollistavalla rannikkomallilla. Jotta näyteasemien sijainnit näkyisivät mahdollisimman tarkasti on mallin katselukulma suoraan ylhäältä päin. Paremman käsityksen alueen geomorfologiasta ja syvyysolosuhteista saa kuvasta 45. Asemien tilaa kuvaavia keskeisiä mittaustuloksia on esitetty taulukossa 24 ja 25, josta asemakohtaiset tiedot löytyvät numeroinnin avulla.*

heisten osien ja karun avomeren kanssa on tehokasta. Sokkeloisia eloperäistä ainesta akkumuloivia saaristoalueita ei ole. Rannat syvenevät tasaisesti kohti avomerta ilman veden virtausliikkeitä estäviä kynnyksiä eikä eloperäistä ainesta kerääviä muodostumia esiinny. Veden sekoittumisolosuhteet pohjaan asti ovat hyvät koska kynnysalueiden eristämiä syvännealtaita ei rannikkomallin perusteella esiinny. Näin ollen pohjanläheisen veden happitilanne on hyvä eikä edellytyksiä hapettomuudesta johtuvalle voimakkaalle sisäiselle kuormitukselle ole.



Kuva 44. *Happitilanne 4.8. 2003 näyteasemalla 318. Veden kokonaissyvyys asemalla on 12 m. Samaan aikaan pohjanläheisen veden fosforipitoisuus (0.008 mg/l) oli pinnanläheisen veden pitoisuuden (0,013 mg/l) suuruusluokkaa eikä viitannut sisäiseen kuormitukseen.*

Paikan päälle suoritetut näytteenotot vahvistavat, että alueen pohja-aines poikkeuksetta sisältää vain pieniä määriä eloperäistä ainesta. Pohjanläheisen veden happitilanne on kauttaaltaan hyvä eikä myöskään kohonneita fosforipitoisuuksia havaittu. Alue on hyvä esimerkki geomorfologian ratkaisevasta merkityksestä rannikon veden laadulle ja rehevöitymisriskille.

Alueen tilaa seuratessa on erityisesti tarkkailtava muutamia harvoja pehmeitä pohjia, joissa mahdolliset muutokset ensisijaisesti saattavat tulla näkyviin. Poikkeuksellisten pitkien tyynten jaksojen aikana on mahdollista, että happitilanne näillä alueilla heikkenee siinä määrin, että **tilapäistä ja paikallista sisäistä kuormitusta** esiintyy. **Säännöllisesti kerrostuneisuuskausina toistuvalle pitkäjaksoiselle hapettomuu-**

asema no.	syvyys m	pohjaeläimistö	raekoko	savi	siltti	hiekka	hehkutushäviö	eloperäinen aines	lämpötila C°	happi-% pinta	happi-% pohja	fosfori pinta	fosfori pohja	P-aut.	P-detr.	P-org.	P.tot.
215	32.5	+	-	-	-	-	3.1	-	5.7	101	90	-	-	-	-	-	-
216	7.1	0	-	-	-	-	-	-	19.4	98	97	-	-	-	-	-	-
217	20.8	0	-	-	-	-	-	-	13.6	100	85	-	-	-	-	-	-
218	13.0	+	-	-	-	-	-	-	18.4	96	80	-	-	-	-	-	-
219	18.5	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
220	11.1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
254	61.0	+	15.30	12.44	77.73	9.83	8.0	7.0122	1.7	101	96	0.004	0.005	0,053	0,715	0,217	0,985
316	17.0	+	174.9	0.264	2.326	97.41	-	0.2071	21.1	99	99	0.007	0.005	0,060	0,616	0,044	0,720
317	19.0	0	569.9	0.294	3.156	96.55	-	0.3181	21.1	100	99	0.006	0.006	0,019	0,251	0,076	0,347
318	12.0	+	56.09	7.77	48.03	44.20	1.7	2.0428	21.5	95	93	0.013	0.008	0,044	0,838	0,091	0,972
319	40.0	0	72.72	4.69	37.28	58.03	2.5	2.3954	4.0	98	96	0.006	0.007	0,051	0,912	0,129	1,092
457	24.9	0	-	-	-	-	0.5	-	4.8	112	104	0.008	0.006	-	-	-	-
460	36.6	+	-	-	-	-	3.9	-	2.6	115	101	0.005	0.006	-	-	-	-

2002 2002-03 2003 2004

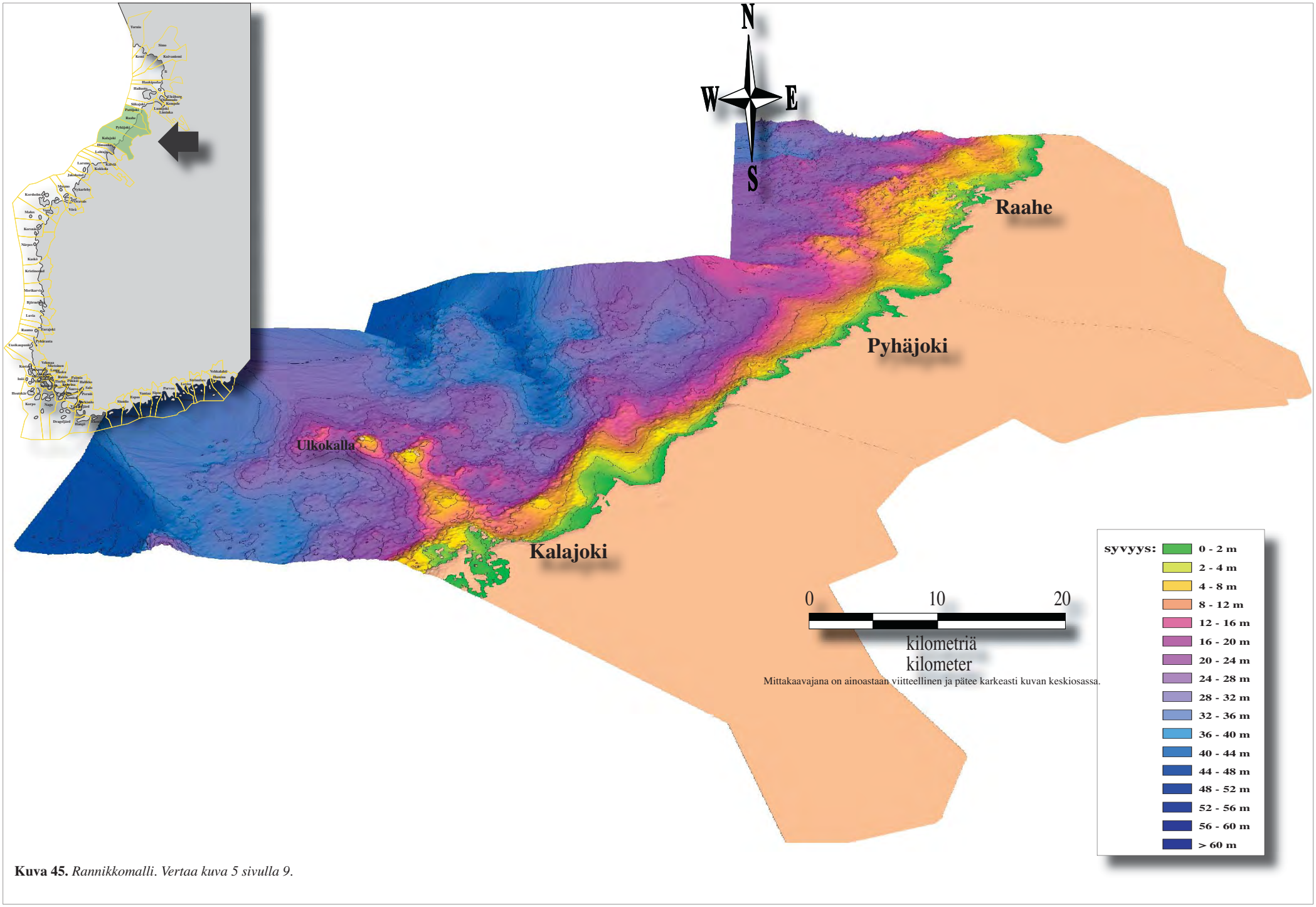
Taulukko 24. Kalajoki, Pyhäjoki ja Raahe. *Keskeisiä veden- ja merenpohjan laatua kuvaavia muuttujia: Pohjaeläinten esiintyminen (+) tai puuttuminen (0), pohjasedimentin raekoko (mediaani d50), savi- (raekoko < 1.95 µm), siltti (raekoko 1.95-62.5 m) ja hiekkapitoisuus (raekoko 62.5-2000 µm), hehkutushäviö (g), eloperäisen aineen pitoisuus (%), pohjanläheisen veden lämpötila (+1 m), pinnan- (1 m syv.) ja pohjanläheisen (+1 m) veden happikyllästyneisyysaste ja kokonaisfosforipitoisuus (mg/l) sekä pohjasedimentin fosforifraktiot.*

delle ja siitä seuraavalle sisäiselle kuormitukselle ei alueen geomorfologian takia ole esiintymisedellytyksiä.

asema no.	syvyys m	latitud N	longitud E	Fe_{cdb} mmol/g	Fe_{cdb}:Pspa	N	C	H	S
215	32.5	64°19.142	23°43.086	-	-	-	-	-	-
216	7.1	64°25.877	24°03.870	-	-	-	-	-	-
217	20.8	64°36.934	24°13.117	-	-	-	-	-	-
218	13.0	64°37.961	24°19.740	-	-	-	-	-	-
219	18.5	64°42.311	24°18.499	-	-	-	-	-	-
220	11.1	64°45.254	24°29.073	-	-	-	-	-	-
254	61.0	64°27.612	23°38.536	427.597	19.534	3.4520	12.2343	2.5617	0.0000
316	17.0	64°22.264	23°52.831	13.000	5.369	-	-	-	-
317	19.0	64°32.558	24°05.742	1.289	0.532	0.0000	0.0000	0.1330	0.0000
318	12.0	64°41.071	24°22.055	78.966	13.365	-	-	-	-
319	40.0	64°49.547	24°17.157	55.330	6.209	-	-	-	-
457	24.9	64°17.129	23°40.134	-	-	-	-	-	-
460	36.6	64°44.820	24°11.938	-	-	-	-	-	-

2002 2002-03 2003 2004

Taulukko 25. Kalajoki, Pyhäjoki ja Raahe. *Näyteasemien sijainti ja merenpohjan pohjasedimenttiä kuvaavia muuttujia: Pohjasedimentin rautapitoisuus (kyseessä on helposti P-FeOH fosforifraktion mukana liukeneva hydroksidirauta joka ilmeisesti on yksi tärkeimmistä raudan muodoista biologisia prosesseja ja fosforin sitoutumista ajatellen, vertaa Lindgren in prep.) ja rauta- sekä fosforipitoisuuksien välinen suhde. Lisäksi taulukossa on esitetty muutamien kaasukromatografisesti eroteltujen alkuaineiden pitoisuudet massaprosentteina.*



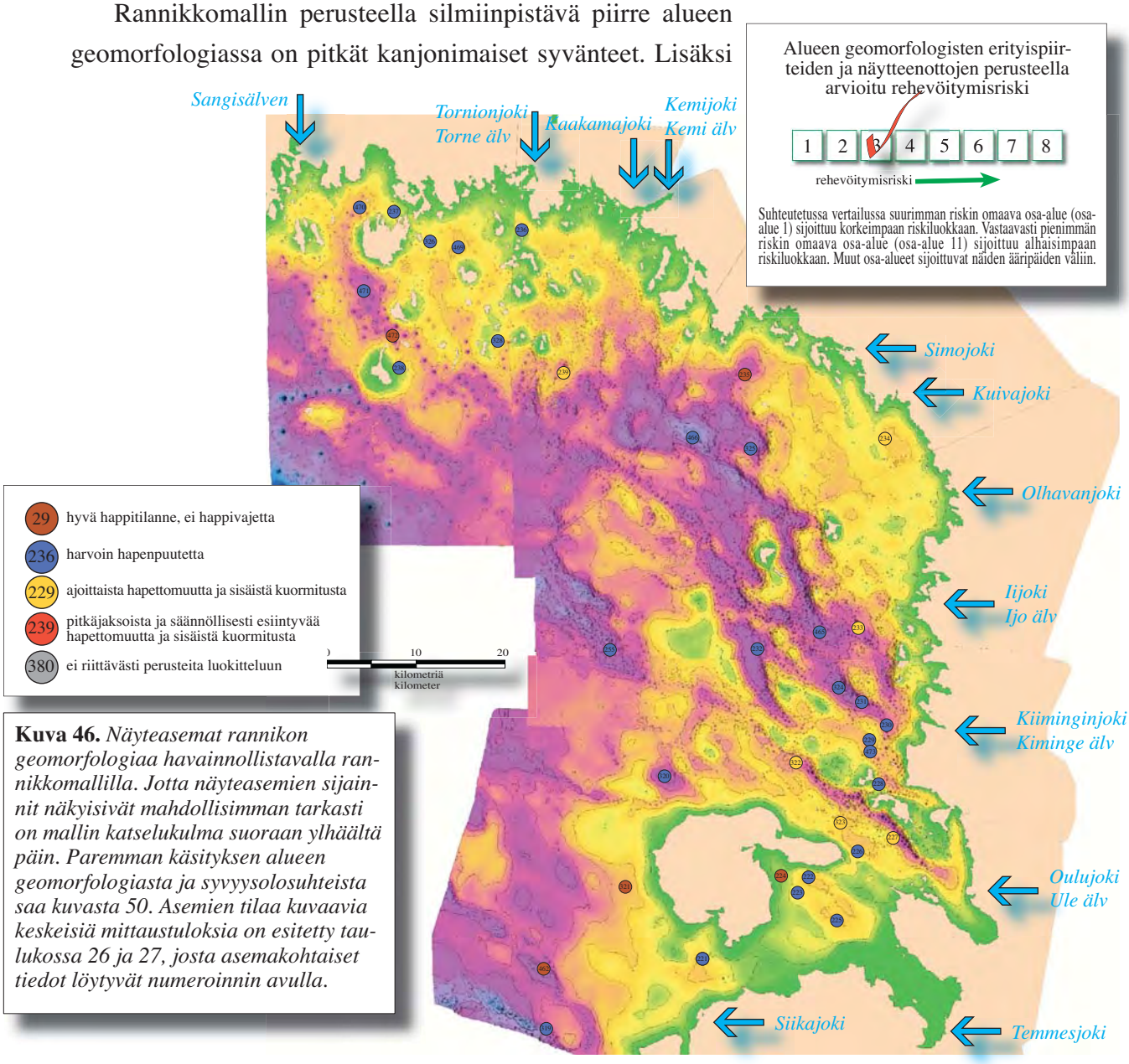
Kuva 45. *Rannikkomalli. Vertaa kuva 5 sivulla 9.*

Alue 12. Siikajoki, Hailuoto, Lumijoki, Liminka, Oulunsalo, Oulu, Haukipudas, Ii, Kuivaniemi, Simo, Kemi, Tornio, Haaparanta

Veden kasviplanktonin määrän perusteella alue on Perämeren rehevöitynein (Kauppila ja Lepistö 2001) mutta kuitenkin huomattavasti karumpi kuin Etelä-Suomen rannikot pääsääntöisesti ovat. Myös ravinnepitoisuudet ovat Pohjanlahden keskiarvoja korkeammat (Kauppila ja Lepistö 2001, HELCOM 1996).

Alueella todettu Pohjanlahden keskitasoa voimakkaampi rehevöityminen ja kohonneet ravinnepitoisuudet selittyvät pitkälti alueen maantieteellisellä sijainnilla. Perämeren perukassa veden vaihtuvuus Pohjanlahden suurten vesimassojen kanssa on muita rannikkoalueita heikompaa. Tästä syystä rannikkovaikutus ulottuu pidemmälle. Toisin sanoen, jokivedet nostattavat ravinnepitoisuuksia suhteellisen kauas mantereelta. Alueen mataluus voimistaa osaltaan rannikkovaikutusta.

Rannikkomallin perusteella silmiinpistävä piirre alueen geomorfologiassa on pitkät kanjonimaiset syvänteet. Lisäksi

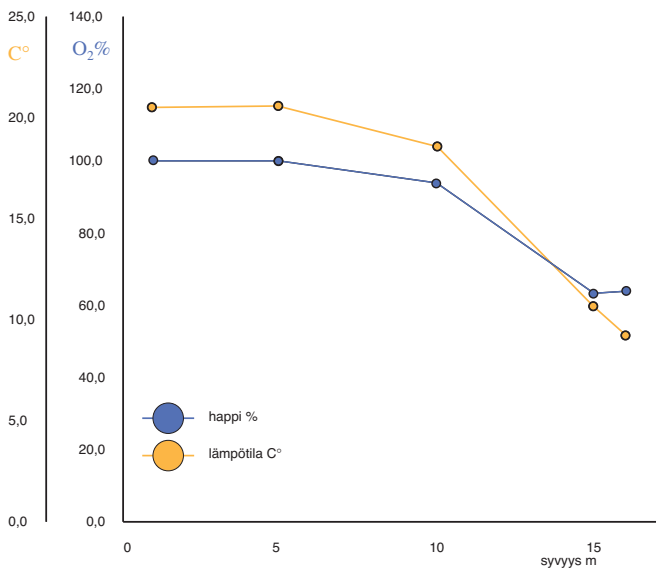


Kuva 46. *Näyteasemat rannikon geomorfologiaa havainnollistavalla rannikkomallilla. Jotta näyteasemien sijainnit näkyisivät mahdollisimman tarkasti on mallin katselukulma suoraan ylhäältä päin. Paremman käsityksen alueen geomorfologiasta ja syvyysolosuhteista saa kuvasta 50. Asemien tilaa kuvaavia keskeisiä mittaustuloksia on esitetty taulukossa 26 ja 27, josta asemakohtaiset tiedot löytyvät numeroinnin avulla.*

alueelta löytyy useita syviä altaita. Valtaosa alueesta on kuitenkin matalaa ja eroosiolle altista. Saaristovyöhyke on kapea ja yhtenäinen eikä sokkeloisia sedimentaatioalueita juurikaan ole.

Näytteenotot osoittavat, että syvänteiden pohjat suurelta osin ovat erittäin paksujen, eloperäisten ja runsaasti fosforia sisältävien liejukerrosten peittämiä. Paikoin happipitoisuudet ovat alhaisia mutta happikatoa ei todettu. Fosforipitoisuudet pohjanläheisessä vedessä eivät näytteenottojen aikana olleet merkittävästi kohonneita pinnanläheisen veden pitoisuuksiin verrattuna.

Geomorfologian perusteella alueella

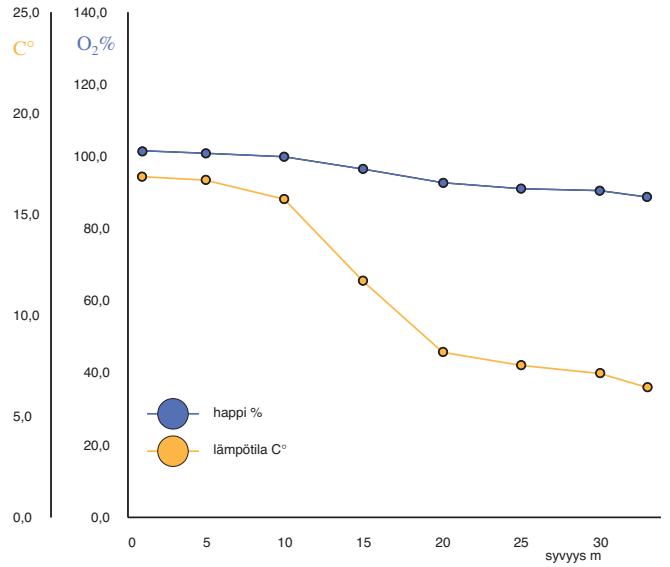


Kuva 47. *Happitilanne 6.8. 2003 näyteasemalla 323. Veden kokonaissyvyys asemalla on 17 m. Samaan aikaan pohjanläheisen veden fosforipitoisuus (0.032 mg/l) oli pinnanläheisen veden pitoisuuden (0,029 mg/l) suuruusluokkaa eikä viitannut sisäiseen kuormitukseen.*

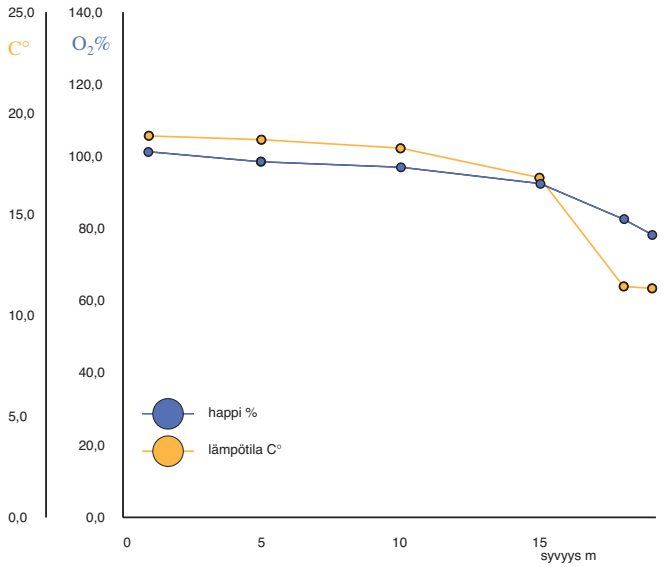
asema no.	syvyys m	pohjaeläimistö	raekoko	savi	siltti	hiekka	hehkutushäviö	eloperäinen aines	lämpötila C°	happi-% pinta	happi-% pohja	fosfori pinta	fosfori pohja	P-aut.	P-detr.	P-org.	P.tot.
221	11.1	+	-	-	-	-	4.4	-	19.5	92	88	-	-	-	-	-	-
222	11.8	+	-	-	-	-	10.1	-	19.8	99	94	-	-	-	-	-	-
223	11.8	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
224	3.8	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
225	7.9	+	-	-	-	-	11.8	-	19.7	97	94	-	-	-	-	-	-
226	10.8	+	-	-	-	-	6.7	-	19.0	96	75	-	-	-	-	-	-
227	38.7	+	-	-	-	-	8.2	-	14.9	96	43	-	-	-	-	-	-
228	32.7	-	-	-	-	-	-	-	16.0	-	58	-	-	-	-	-	-
229	27.4	+	-	-	-	-	5.6	-	15.7	96	66	-	-	-	-	-	-
230	19.0	+	5.659	21.21	78.79	0	8.7	8.8728	7.0	101	89	0.011	0.016	0,055	0,698	0,290	1,043
231	40.0	+	5.097	23.03	76.97	0	9.3	7.5135	5.3	101	91	0.011	0.011	0,039	0,644	0,285	0,968
232	28.0	+	39.22	7.87	58.95	33.18	5.4	4.3842	17.8	98	74	0.005	0.008	0,052	0,651	0,170	0,874
233	30.7	+	-	-	-	-	12.1	-	16.5	99	60	-	-	-	-	-	-
234	10.3	+	4.874	25.58	74.42	0	14.3	12.8883	12.4	102	41	0.013	0.014	0,069	0,881	0,569	1,519
235	20.7	+			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
236	9.5	+	-	-	-	-	4.7	-	16.8	102	60	-	-	-	-	-	-
237	13.8	+	-	-	-	-	11.7	-	12.6	98	59	-	-	-	-	-	-
238	36.0	+	9.222	17.12	82.66	0.22	6.2	5.6801	4.3	99	91	0.005	0.008	0,049	0,876	0,433	1,357
239	30.5	+	-	-	-	-	8.4	-	9.5	96	57	-	-	-	-	-	-
255	34.0	0	66.76	4.76	41.55	53.69	2.0	2.5663	4.8	99	100	0.006	0.006	0,045	1,187	0,168	1,400
320	24.0	+	6..244	20.81	79.19	0	6.0	6.5494	3.1	98	90	0.009	0.009	0,037	0,690	0,221	0,948
321	15.0	+	-	-	-	-	-	-	18.8	97	81	0.011	0.006	-	-	-	-
322	25.4	+	10.06	15.46	77.04	7.50	6.4	6.8035	7.0	100	86	0.007	0.015	0,064	0,998	0,382	1,445
323	16.8	+	4.736	25.01	74.99	0	5.9	6.0294	9.2	100	64	0.029	0.032	0,163	1,229	0,299	1,691
324	54.0	0	2.844	37.79	62.21	0	10.0	10.7346	5.2	101	90	0.009	0.011	0,051	0,616	0,237	0,903
325	37.0	0	6.550	20.22	79.78	0	8.5	11.4159	4.1	103	96	0.006	0.009	0,050	0,547	0,264	0,861
326	15.5	+	3.779	29.41	70.59	0	9.8	9.5962	8.9	97	82	0.007	0.009	0,110	1,293	0,538	1,931
328	25.0	0	5.112	24.17	75.83	0	11.9	11.6735	6.6	97	93	0.008	0.013	0,112	1,035	0,580	1,728
462	23.9	0	-	-	-	-	-	-	4.6	116	104	0.006	0.006	-	-	-	-
465	33.6	+	-	-	-	-	11.3	-	6.5	101	88	0.009	0.008	-	-	-	-
466	34.2	+	-	-	-	-	8.1	-	6.5	104	91	0.006	0.009	-	-	-	-
469	13.7	+	-	-	-	-	12.7	-	15.5	97	79	0.012	0.014	-	-	-	-
470	19.2	+	-	-	-	-	12.8	-	11.3	101	78	0.014	0.020	-	-	-	-
471	28.9	0	-	-	-	-	15.2	-	8.6	98	89	0.014	0.029	-	-	-	-
472	49.1	+	-	-	-	-	0.9	-	6.4	101	89	0.009	0.009	-	-	-	-
473	17.5	+	-	-	-	-	5.7	-	7.9	103	86	0.014	0.012	-	-	-	-

2002 2002-03 2003 2004

Taulukko 26. Siikajoki, Hailuoto, Lumijoki, Liminka, Oulunsalo, Haukipudas, Ii, Kuivaniemi, Simo, Kemi, Tornio ja Haaparanta. *Keskeisiä veden- ja merenpohjan laatua kuvaavia muuttujia: Pohjaeläinten esiintyminen (+) tai puuttuminen (0), pohjasedimentin raekoko (mediaani d50), savi- (raekoko < 1.95 µm), siltti (raekoko 1.95-62.5 m) ja hiekkapitoisuus (raekoko 62.5-2000 µm), hehkutushäviö (g), eloperäisen aineen pitoisuus (%), pohjanläheisen veden lämpötila (+1 m), pinnan- (1 m syv.) ja pohjanläheisen (+1 m) veden happikyllästyneisyysaste ja kokonaisfosforipitoisuus (mg/l) sekä pohjasedimentin fosforifraktiot.*



Kuva 48. *Happitilanne 26.7. 2004 näyteasemalla 465. Veden kokonaissyvyys asemalla on 34 m. Samaan aikaan pohjanläheisen veden fosforipitoisuus (0.008 mg/l) oli pinnanläheisen veden pitoisuuden (0,009 mg/l) suuruusluokkaa eikä viitannut sisäiseen kuormitukseen.*



Kuva 49. *Happitilanne 27.7. 2004 näyteasemalla 470. Veden kokonaissyvyys asemalla on 19,2 m. Samaan aikaan pohjanläheisen veden fosforipitoisuus (0.020 mg/l) oli pinnanläheisen veden pitoisuuden (0,014 mg/l) suuruusluokkaa eikä viitannut sisäiseen kuormitukseen.*

ei ole esiintymisedellytyksiä **säännölliselle veden kerrostuneisuuskausina toistuvalle hapettomuudelle ja sisäiselle kuormitukselle**. Sen sijaan **tilapäiselle, säätilojen säätelemälle hapettomuudelle ja siitä johtuvalle sisäiselle kuormitukselle** on monin paikoin esiintymisedellytykset.

Vaihtelevissa sääoloissa hapettomuutta ei esiinny. Vaikka pohjat varastoivatkin runsaasti ravinteita, mahdollistavat syvänteiden geomorfologiat riittävän voimakkaita virtauksia pohjanläheisten vesien pysymiseksi hapekkaina ja elinvoimaisen pohjaeläimistön esiintymiseksi. Alueen mataluuden takia vertikaalinen, pinnanläheisen ja pohjanläheisen veden vaihtuvuus on tehokasta. Lisäksi jokien vaikutukset pohjanläheisiin virtauksiin ovat matalalla alueella suuret. Myös suhteellisen karun luonteensa takia alue on säästynyt voimakkaalta sisäiseltä kuormitukselta. Karuissa oloissa eloperäisen aineen tuotanto on alhainen ja pohjille laskeutuvan, hajoavan ja happea kuluttavan aineen määrät ovat verraten pieniä.

Sisäisen kuormituksen riski on suurimmillaan poikkeuksellisen pitkien tyynten ja lämpimien jaksojen aikana jolloin levien tuotanto on voimakasta ja pohjille laskeutuvan eloperäisen aineen määrä on suuri. Tällöin happea kuluttava hajoitustoiminta on voimakasta samalla kuin pohjanläheinen vesi ei vaihdu riittävän tehokkaasti.

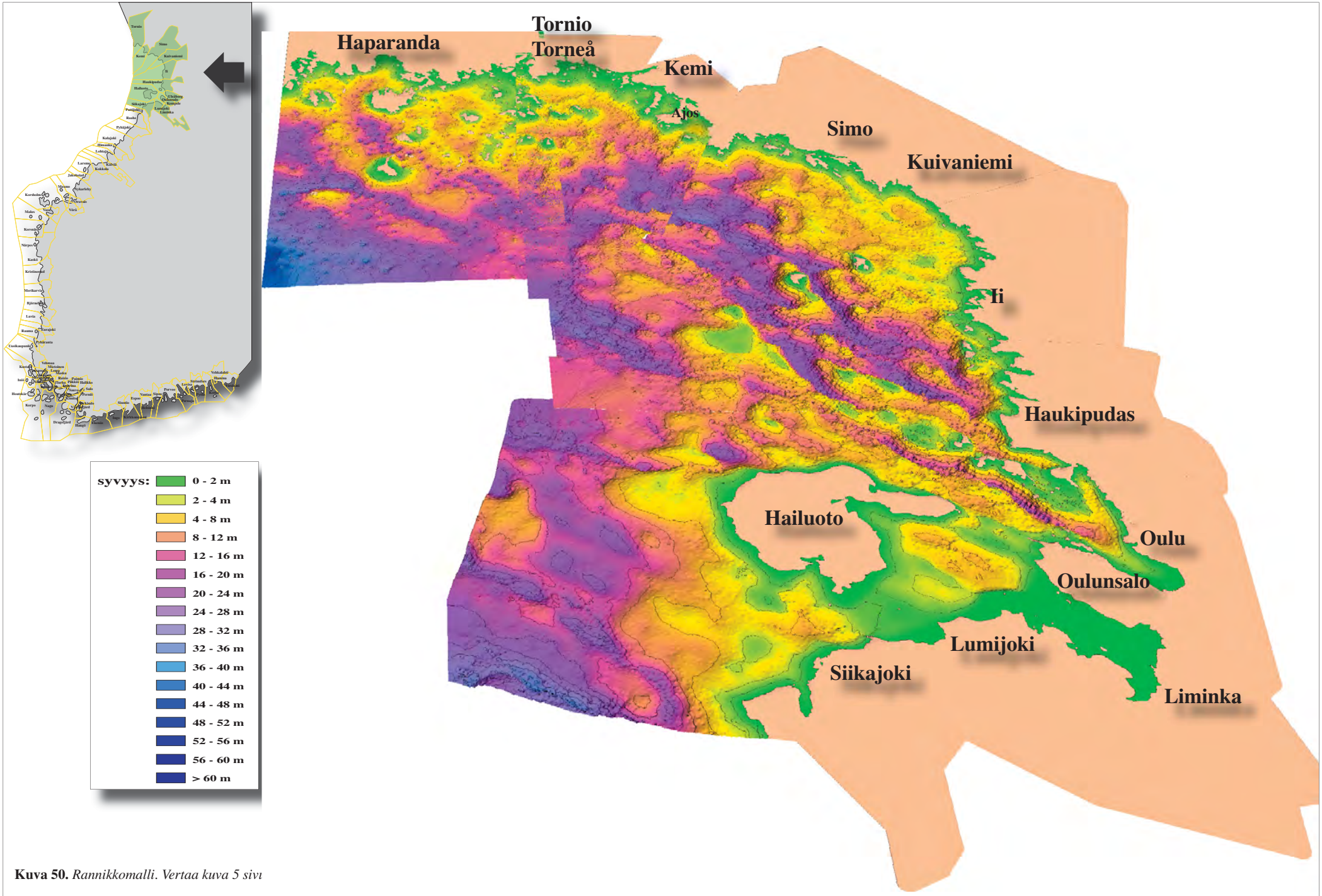
Alueella on riski laajamittaiselle itseänsä vahvistavalle sisäiselle kuormitukselle, mikäli alueen rehevyystaso nousee nykyisestään. Ilmeisesti alueella liikutaan yleisemminkin melko lähellä rajaa, jolloin veden vaihtuvuus ei enää riitä kompensoimaan hajoitustoiminnan kuluttamaa happea. Tällöin alusvedessä syntyy happikatoa ja pohjien liejukerrosten sisältämiä fosforiravinteita alkavat liueta veteen. Koska perustuotanto alueella on hyvin fosforirajoitteista, olisivat seuraukset sisäisen kuormituskierteen käynnistämisestä ilmeisesti voimakkaasti rehevöittäviä.

Alueen tilan kehitystä voidaan parhaiten seurata tarkkailemalla eri tyyppisten syvänteiden happipitoisuutta sekä happitilanteesta kertovia parametrejä sedimenteissä ja pohjaeläimistössä. Keski- tai loppukesällä suoritetuilla näytteenotoilla on suurimmat indikaattoriarvot.

asema no.	syvyys m	latitud N	longitud E	Fe_{cdb} mmol/g	Fe_{cdb}:Pspa	N	C	H	S
221	11.1	64°55.100	24°41.113	-	-	-	-	-	-
222	11.8	65°01.005	24°57.686	-	-	-	-	-	-
223	11.8	65°01.112	24°56.798	-	-	-	-	-	-
224	3.8	65°01.150	24°56.100	-	-	-	-	-	-
225	7.9	64°58.261	25°03.700	-	-	-	-	-	-
226	10.8	65°02.619	25°08.353	-	-	-	-	-	-
227	38.7	65°04.015	25°13.075	-	-	-	-	-	-
228	32.7	65°07.182	25°11.166	-	-	-	-	-	-
229	27.4	65°11.753	25°10.753	-	-	-	-	-	-
230	19.0	65°12.186	25°12.870	397.515	11.828	0.3607	2.0742	0.6007	0.3325
231	40.0	65°13.038	25°07.465	325.532	29.226	-	-	-	-
232	28.0	65°13.256	24°49.910	188.551	7.850	-	-	-	-
233	30.7	65°17.617	25°06.758	-	-	-	-	-	-
234	10.3	65°31.577	25°08.459	396.977	18.975	-	-	-	-
235	20.7	65°35.639	24°44.956	-	-	-	-	-	-
236	9.5	65°45.012	24°07.201	-	-	-	-	-	-
237	13.8	65°46.127	23°45.660	-	-	-	-	-	-
238	36.0	65°35.391	23°47.083	342.185	16.132	-	-	-	-
239	30.5	65°35.096	24°15.470	-	-	-	-	-	-
255	34.0	65°15.133	24°26.415	165.452	15.672	0.2735	0.1172	0.2269	0.1390
320	24.0	65°07.681	24°34.385	183.716	12.903	0.3956	1.5535	0.4443	0.2167
321	15.0	64°59.990	24°29.326	-	-	-	-	-	-
322	25.4	65°09.179	24°56.715	233.137	10.991	0.2765	2.2237	0.5320	0.2588
323	16.8	65°05.392	25°01.831	116.031	5.901	-	-	-	-
324	54.0	65°13.874	25°02.578	407.721	20.336	-	-	-	-
325	37.0	65°31.519	24°35.343	526.975	13.880	-	-	-	-
326	15.5	65°43.770	23°51.627	442.638	18.653	-	-	-	-
328	25.0	65°36.664	24°05.793	438.340	19.937	0.5635	3.9957	0.8471	0.1699
462	23.9	64°51.604	24°12.122	-	-	-	-	-	-
465	33.6	65°18.308	24°57.649	-	-	-	-	-	-
466	34.2	65°31.644	24°35.827	-	-	-	-	-	-
469	13.7	65°43.223	23°56.821	-	-	-	-	-	-
470	19.2	65°46.627	23°40.306	-	-	-	-	-	-
471	28.9	65°40.922	23°41.122	-	-	-	-	-	-
472	49.1	65°37.614	23°46.439	-	-	-	-	-	-
473	17.5	64°51.604	24°12.122	-	-	-	-	-	-

2002 2002-03 2003 2004

Taulukko 27. Siikajoki, Hailuoto, Lumijoki, Liminka, Oulunsalo, Haukipudas, Ii, Kuivaniemi, Simo, Kemi, Tornio ja Haaparanta. *Näyteasemien sijainti ja merenpohjan pohjasedimenttiä kuvaavia muuttujia: Pohjasedimentin rautapitoisuus (kyseessä on helposti P-FeOH fosforifraktion mukana liukeneva hydroksidirauta joka ilmeisesti on yksi tärkeimmistä raudan muodoista biologisia prosesseja ja fosforin sitoutumista ajatellen, vertaa Lindgren in prep.) ja rauta- sekä fosforipitoisuuksien välinen suhde. Lisäksi taulukossa on esitetty muutamien kaasukromatografisesti eroteltujen alkuaineiden pitoisuudet massaprosentteina.*



Kuva 50. *Rannikkomalli. Vertaa kuva 5 sivu*

4. Johtopäätökset

4.1. Rehevöitymisriski ja geomorfologia

Rannikon geomorfologia (rannikon maankuoren ja kallioperän muoto) on ratkaiseva eri rannikko-osuuksien alttiudelle hapettomuuteen ja siitä johtuvalle sisäiselle kuormitukselle. Rannikkomallit pohjien topografisista oloista *in situ* suoritettujen näytteenottojen tukemina osoittivat, että pohjien tilaa voidaan arvioida geomorfologian perusteella. *Mitä kompleksisempi geomorfologia, sitä todennäköisempää on, että pohjien happitilanne on heikko ja, että sisäistä kuormitusta esiintyy.*

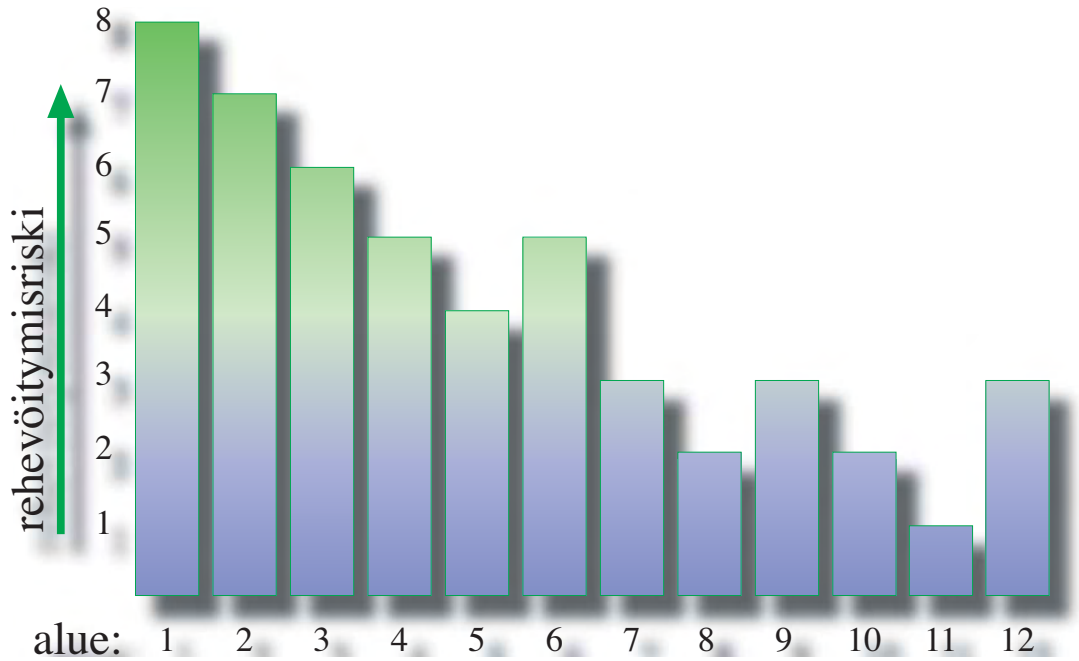
Rehevöitymisriskikartoitukset osoittavat *suuria suhteellisia eroja rehevöitymisriskissä Suomen eri rannikko-osuuksilla* (kuva 51) ja näytteenotot osoittavat vedenlaadun ja pohjien tilan perusteella riskien selkeästi realisoituneen suurella osalla rannikkoa. Heikolla happitilanteella ja rikkivedyn esiintymisellä on myös ratkaiseva vaikutus esim. pohjaeläinten ja niitä ravintona käyttävien kalojen esiintymiseen.

Erot veden laadussa Suomen rannikon eri osissa selittyvät *ei niinkään eri alueiden absoluuttisilla kuormitusmäärillä, vaan rannikkoalueiden erilaisilla geomorfologisilla erityispiirteillä,* jotka vaikuttavat alueiden kuormituksen sietokykyyn ja rehevöitymisriskiin. Korkean rehevöitymisriskin omaavilla alueilla saavat suhteellisen pienetkin päästöt aikaan rehevöitymiskehityksen. Toisaalta suhteellisen suuretkaan päästöt eivät saa aikaan voimakkaita rehevöitymisvaikutuksia alueilla, joiden geomorfologia ei anna sisäiselle kuormitukselle edellytyksiä.

4.2. Rehevöitymisriski, geomorfologia ja veden vaihtuvuus

Rannikon geomorfologian ja rehevöitymisriskin vahva kytkentä aiheutuu siitä, että *rannikkoalueiden geomorfologia säätelee veden vaihtuvuutta*. Erilaiset geomorfologiset muodostumat muovaavat ja ohjaavat veden vertikaalista ja horisontaalista vaihtuvuutta ja luovat erilaiset edellytykset hapettomuuden synnylle. Veden syvyys ei ole ratkaiseva alueiden alttiudelle hapettomuuteen ja hapettomia pohjia esiintyy kaikilla saariston syvyysvyöhykkeillä. Esimerkiksi Saaristomeren kanjonimaisissa syvänteissä (kuva 28) pohjien hapettomuus on harvinaista huolimatta siitä, että kanjonit erottuvat selkeästi lähialueitaan syvempinä. Pitkälti ratkaisevaa tietyn rannikkoalueen pohjien tilan kannalta ovat alueen merenpohjan geomorfologiset muodot, jotka määräävät perusedellytykset veden vaihtuvuudelle alueella.

Heikko vertukaalinen (syvyyssuuntainen) veden vaihtuvuus on edellytys pohjanläheisen veden hapettomuudelle ja sisäiselle kuormitukselle. *Heikko horisontaalinen (vaakatasoinen) veden vaihtuvuus tiivistää rehevöitymistä* alueille, joille vähäravinteisempien avomerivesien pääsy on esim. matalikkojen ja kynnysmäisten pohjamuodostumien takia estynyt.



Kuva 51. *Tutkimusalueen eri osa-alueet järjestettyinä rehevöitymisriskin perusteella. 1 - 4: Suomenlahti. 5 - 6: Saaristomeri ja Hankoniemen alue. 7 - 8: Selkämeri. 9: Merenkurkku. 10 - 12: Perämeri. Katso myös kuva 52.*

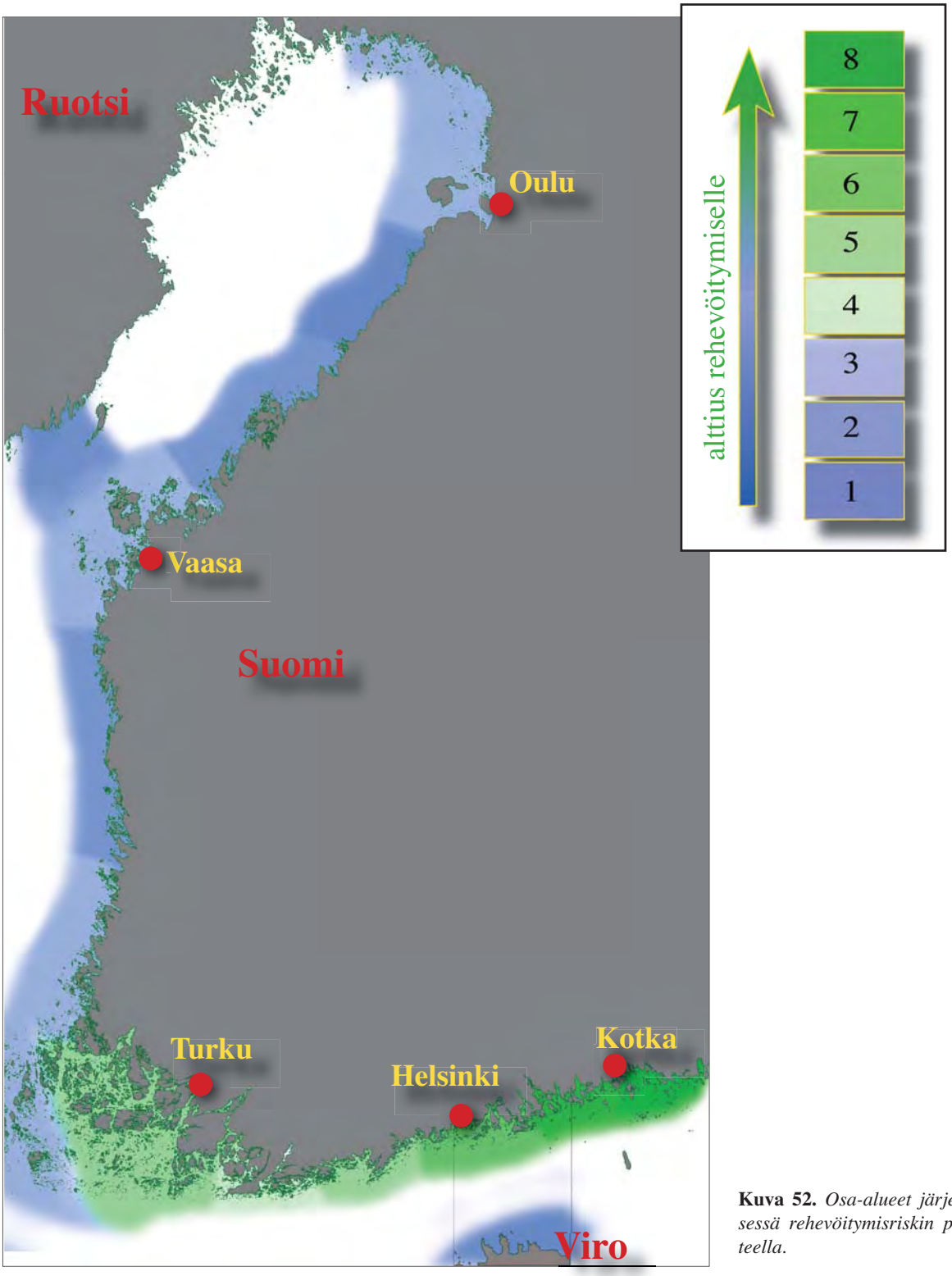
3D-rannikkomallien avulla selvästi erottuvat kraaterimaiset syvänteet, sokkeloiset saaristoalueet tai muuta veden vaihtuvuutta heikentävät muodostumat eivät yksittäisinä esiintyessään yleensä johda hapettomuuden esiintymiseen pohjanläheisessä vedessä. Sen sijaan tämän tyyppisten muodostumien alueellinen runsaus jakaa rannikon *lokeroihin,* joiden pohjanläheisen veden vaihtuvuus on tehotonta. Laajasti lokeroituneella alueella lokeroiden yhteisvaikutus veden vaihtuvuuteen on suuri ja pohjanläheisen veden hapettuminen on tehotonta. Mitä laajemmin geomorfologisesti lokeroitunut rannikkoalue on, sitä todennäköisempää on, että pehmeät pohjat kärsivät hapettomuudesta ja kuormittavat kyseistä aluetta sisäisesti ja sitä suurempi on alueen rehevöitymisriski.

4.3. Rehevöitymisriski, geomorfologia, veden vaihtuvuus ja kuormitus

4.3.1. Paikallinen kuormitus

Laaja lokeroituminen saa aikaan sen, että kuormitusvaikutukset alueella voimistuvat heikon veden vaihtuvuuden ja kuormittavien aineiden heikon laimenemisen myötä. Tästä syystä *paikallisen kuormituksen vaikutukset saattavat olla moninkertaisesti suurempia tietyillä rannikkoalueilla,* verrattuna vähemmän lokeroituneisiin rannikkoalueisiin, joilla kuormittavat aineet laimenevat nopeasti suurempaan vesitilavuuteen.

Heikko horisontaalinen veden vaihtuvuus korostaa paikallisten päästöjen osuutta kuormituksesta. *Erityisesti korkean rehevöitymisriskin alueilla kompleksinen geomorfologia estää vähäravinteisempien avomerivesien pääsyä alueille ja ulappavesien reheviä rannikkovesiä laimentava vaikutus jää vähäiseksi*. Itämerellä yleensä, ku-



Kuva 52. *Osa-alueet järjestyksessä rehevöitymisriskin perusteella.*

ten myös Suomen rannikon edustalla, ovat avomeren veden ravinnepitoisuudet keskimäärin selkeästi alemmat kun ravinnepitoisuudet rannikkovesillä ja siinä määrin kuin ulappa-alueiden merivedet pääsevät tunkeutumaan rannikkovesillemme, on niillä välitön ravinnepitoisuuksia alentava vaikutus.

Geomorfologisesti voimakkaasti lokeroituneilla alueilla kuormitusvaikutukset eivät välttämättä muodosta etäisyysgradienttia, jossa kielteiset vaikutukset vähenevät etäisyy-

den kasvaessa päästölähteeseen. Sen sijaan *kuormitusvaikutukset tulevat näkyviin vaihtelevalla voimakkuudella vastaanottavan vesistön eri osissa, paikallisten geomorfologisten edellytysten mukaisesti*. Johtuen rannikkoalueiden vaihtelevasta kuormitusherkkyydestä, paikallisen kuormituksen vaikutukset jäävät pieniksi kuormituslähteiden läheisyydessä, mikäli lähialueet eivät ole erityisen herkkiä kuormitukselle. Etäämpänä päästölähteistä, herkemmin lisäkuormitukseen reagoivilla alueilla, voivat paikallisen kuormituksen negatiiviset vaikutukset kumuloitua sisäisen kuormituksen myötä, vaikka alueet sijaitsisivatkin varsin kaukana kuormituslähteistä.

4.3.2. Kaukokulkeutunut kuormitus

Kuvaava esimerkki geomorfologian merkityksestä on Suomenlahden rannikko, joka on Suomen puolella laajalti lokeroitunut. Suomenlahden vastakkaisella puolella Viron rannikko on jääkausien mannerjäätiköiden hioma ja tasaisesti syvenevä ja hyvin vähän lokeroitunut (Myllyvirta ja Henriksson 2001). Suomen rannikon vaihteleva ja epätasainen geomorfologia antaa edellytykset pohjien hapettomuudelle ja sisäiselle kuormitukselle kun taas geomorfologia Viron puolella Suomenlahtea ei juurikaan anna edellytyksiä sisäiselle kuormitukselle ja sen kautta itseään ruokkivalle rehevöitymiskehitykselle (kuva sivulla 3). Suomenlahden rannikkovesien pohjien tila ja veden laatu onkin huonommassa kunnossa Suomen rannikolla kuin Viron rannikolla. Viron rannikovedet ovat niukkaravinteisia verrattuna Suomen rannikon runsasravinteisiin vesiin.

Paikallisten päästölähteiden ravinteet ja ilmasta tuleva laskeuma, kuormittavat vastaanottavia rannikkovesiä. Muu Suomen rannikkoalueille kohdistuva ravinnekuormitus tulee avomeren suunnasta, jossa ravinnepitoisuudet ovat keskimäärin selkeästi alhaisemmat kuin monin paikoin ylirehevillä rannikkoalueillamme. Esimerkiksi Pietarin ja Nevan suunnalta, m.m. koriolisvoiman aikaansaamien merivirtojen mukana tulevat ravinteet, sekoittuvat matkalla avoimien vesien suuriin vesitilavuuksiin ja laimenevat niin, että saapuessaan Suomen rannikon läheisyyteen *ovat ravinnepitoisuudet keskimäärin rannikkovesiemme pitoisuuksia huomattavasti alhaisemmat*.

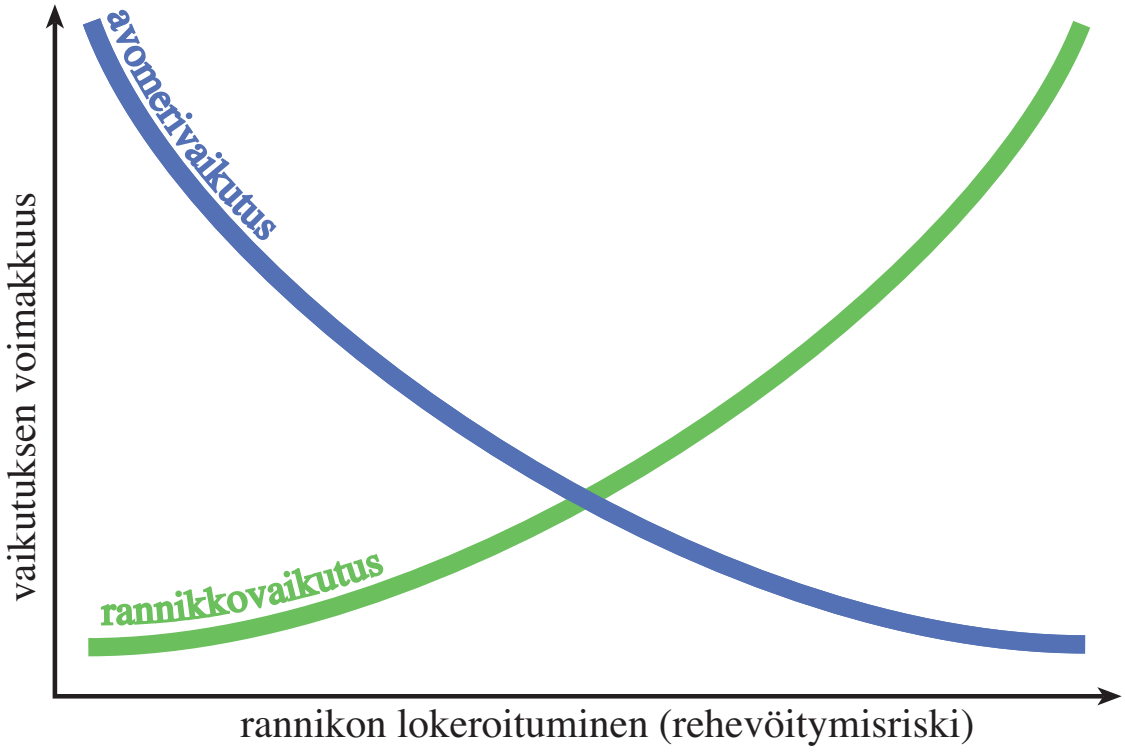
Jotta omien päästöjemme vaikutusta rannikkovesiemme tilaan ei aliarvioitaisi, on syytä ottaa huomioon myös se näkökulma, että rannikkovesiemme laatua heikentävät pääasiassa omat päästömme. Siltä osin kun esim. naapurimaiden päästöt pääsevät rannikkovesillemme, tulevat ne pääosin avoimen meren keskimäärin vähäravinteikkaamman veden mukana. Sekoittuessaan reheviin rannikkovesiimme, avomerivesi alentaa rannikkovesiemme ravinnepitoisuuksia ja parantaa rannikon veden laatua. Avomeren veden laimentava vaikutus on riippuvainen avomeriveden ja rannikkovesien ravinnepitoisuuseroista. *Mitä vähäravinteisempia avomerivedet ovat rannikkovesiin nähden, sitä tehokkaampi on laimentava vaikutus*.

4.4. Avomerivaikutus / rannikkovaikutus

Avomeriveden rannikon ravinnepitoisuuksia laimentava avomerivaikutus ja mantereelta alueelle suoraan kohdistuva rannikkovaikutus, eivät vaikuta tasapuolisesti pitkin rannikkoa. Ne *vaihtelevat riippuen siitä, kuinka lokeroituneita ja kuinka tehokkaasti veden vaihtuvuutta estäviä rannikko-osuuksien geomorfologiat ovat. Alueilla, joissa paikallinen geomorfologia ei estä vähäravinteisemman avomeriveden pääsyä rannikolle, on veden laatu myös parempi*. Tällaisilla, alhaisen rehevöitymisriskin rannikkoalueilla, joilla geomorfologia ei muodosta runsaita lokeroita, on avomerivaikutus voimakkaampi ja rannikkovaikutus heikompi. Vastaavasti korkean rehevöitymisriskin rannikkoalueilla avomerivaikutus on heikompi ja rannikkovaikutus voimakkaampi (kuva 53).

Saaristomeri on kokonaisuudessaan esimerkki *poikkeuksellisen voimakkaasta ja pitkälle ulottuvasta rannikkovaikutuksesta*. Leveä saaristovyöhyke ja Salpausselän vedenalaiset jatkeet sekä veden vaihtuvuutta estävät geomorfologiset muodostumat Uudenkaupungin suuntaan saavat aikaan sen, että alueen vedenvaihtuvuus avomeren kanssa on varsin rajoittunutta ja avomerivaikutus on heikko sekä myös sen, että rannikkovaikutus on voimakas ja pitkälle ulottuva.

Saaristomeren ravinteikkaita vesiä siirtyy vallitsevien virtausten mukana kohti pohjoista Selkämerelle. Selkämeren alue poikkeaa geomorfologiselta luonteeltaan ja rehevöitymisriskiltään Saaristomerestä. Selkämerellä avomerivaikutus on voimakas ja



Kuva 53. *Rannikon lokeroitumisen lisääntyessä (veden vaihtuvuuden heiketessä), vähenee avomerivaikutus ja rannikkovaikutus lisääntyy, jolloin rehevöitymisriski kasvaa.*

rannikkovaikutus heikko ja rannikon lähialueille rajoittuva. Koska Selkämeren rannikon päästöt laimenevat tehokkaasti pääaltaan suuriin vesitilavuuksiin, ovat alueen rannikkovedet paljon niukkaravinteisempia kuin Saaristomerellä. Jyrkkä vaihettumisvyöhyke Saaristomeren rehevämpien ja Selkämeren suhteellisen karujen olosuhteiden välillä korostaa Saaristomeren vaikutusta Selkämeren kuormittajana. Selkämeren rannikkoalueen geomorfologiset olosuhteet eivät kuitenkaan suosi pohjanläheisen veden hapettomuutta eikä sisäistä kuormitusta, ja sikäli alueen rehevöitymisriski on vähäinen.

4.5. Geomorfologia ja 3D-tekniikka vesistötutkimuksissa

Geomorfologian lisäksi joukko muita tekijöitä vaikuttaa pohjien happitilanteeseen, sisäiseen kuormitukseen ja rannikkoalueiden rehevöitymisriskiin. Esimerkiksi Pohjanlahden perukan geomorfologia tarjoaa edellytyksiä hapettomuudelle, sillä eloperäistä ainesta keräämiä muodostumia esiintyy runsaasti ja pohjien sedimenttikerrokset ovat monin paikoin eloperäistä liejua. Hapettomuus ja siitä johtuva sisäinen kuormitus on kuitenkin alueella harvinaista. Mahdollisesti alueen pohjanläheiset virtaukset ovat riittäviä pitämään pohjanläheisen veden hapekkaana mutta eivät tarpeeksi voimakkaita aiheuttamaan pohjien eroosiota. On ilmeistä, että alueen sedimenttien korkeat rautapitoisuudet sitovat fosforia sedimentteihin ja estävät fosforin rehevöittäviä vaikutuksia alueella. Alueen vesien alhaiset suola- ja sulfaattipitoisuudet voimistavat fosforin sitoutumista rautaan. Voimme kuitenkin päätellä, että geomorfologia on ratkaisevassa asemassa hapettomuuden ja sisäisen kuormituksen muodostumisessa luodessaan edellytyksiä hienojakoisen sedimentin kerääntymiseen ja heikentämällä veden vaihtuvuutta.

Geomorfologia luo perusedellytykset sisäiselle kuormitukselle. Sen jälkeen esim. veden lämpötila- ja suolakerrostuneisuus sekä pohjasedimentin ja veden rajapinnan fysikaaliskemialliset tekijät vaikuttavat siihen, josko pohjasedimentistä alkaa liueta ravinteita pohjanläheiseen veteen.

Huomioimalla rannikon geomorfologiaa ympäristövaikutustutkimusten suunnittelussa ja mittaustulosten tulkinnoissa saavutetaan suurempaa tarkkuutta eri kuormittavien toimien ympäristövaikutusten arvioinneissa. 3D-mallit rannikon geomorfologiasta ovat tehokkaita ja käytännöllisiä työkaluja tähän tarkoitukseen. Tämän rannikon geomorfologiaa huomioivan tutkimusprojektin tuloksia ja sovellutuksia voidaan käyttää mm.

- päätöksenteon apuvälineenä rannikkoalueiden kestävän käytön suunnittelussa
- ohjaamaan vesialueiden käyttöä alueiden kuormituskestävyyden mukaisesti
- vesiensuojelutoimien kohdistamisessa
- ympäristön tilan seurannassa
- arvioitaessa kuormituksen vaikutuksia vesiluontoon

- vähentämään vesialueiden käytöstä aiheutuvia ympäristövaikutuksia sekä
- kestävän kalatalouden, virkistyskäytön ym. toiminnan suunnitteluun.

Hyödyntäen tässä työssä kehiteltyä menetelmää voidaan tehdä yksityiskohtaisia kolmiuloitteisesti visualisoivia malleja valituista rannikkoalueista. Malleilla ja tarpeen vaatiessa kontrollinäytteenotoilla, pystytään arvioimaan pienempien alueiden paikallista kuormitusherkkyyttä ja rehevöitymisriskiä.

4.5. Rehevöitymisriskin vähentäminen

Mitä vähäravinteisempia avomeren vedet ovat verrattuna rannikkovesiimme, sitä voimakkaampi on avomeren veden ravinnepitoisuuksia laimentava vaikutus rannikoillamme. Tämä näkyy selvästi parempana vedenlaatuna rannikkoalueillamme, joilla avoimen meren vedet pääsevät tehokkaasti huuhtelemaan rannikkoa. *On tärkeätä estää avomeren vesien tilan heikkeneminen ja saada aikaan kohenemista, jotta ravinnepitoisuudet olisivat myös tulevaisuudessa selkeästi rannikkovesiemme pitoisuuksia alhaisemmat ja avomerivesien ravinnepitoisuuksia laimentava vaikutus säilyisi*. Esim. Pietarin suurien fosforipäästöjen vähentäminen ja kaikkien muidenkin Itämerta kuormittavien päästöjen vähentäminen on sekä avomeren tilan että rannikkojen vedenlaadun kannalta tärkeätä.

Rannikkovesiemme laadun palauttamiseksi tilaan, jossa ne ovat olleet ennen huomattavaa ulkoisen kuormituksen kasvua ja sisäisen kuormituksen pääsemistä vauhtiin, päästään katkaisemalla sisäisen kuormituskierteen hallitseva rooli osana kuormitusta. Tämä onnistuu vähentämällä paikallista kuormitusta tasolle, jolla tilanne alkaa palautua voimakkaista rehevöitymisvaikutuksista. Saaristo- ja rannikkoalueiden vesien vaihtuvuutta estävien geomorfologisten esteiden poistaminen avomerivaikutuksen voimistamiseksi ei suuressa mittakaavassa ole realistista, ja ainoa jäljelle jäävä vaihtoehto veden laadun parantamiseksi ja ekologisen tilan kohentamiseksi on ulkoisen kuormituksen vähentäminen.

Keino saada rehevöitymiskehitys kuriin rannikollamme on toteuttaa kuormituksen vähentämistoimenpiteet siten, että vastaanottavien rannikkoalueiden kuormituksen sietokyky ei ylity. Suuren rehevöitymisriskin omaavilla rannikkoalueilla tämä edellyttää monin paikoin kuormittavien tahojen (yhdyskunnat, teollisuus, maa- ja metsätalous, haja-asutus, kalankasvatus jne.) päästöjen vähentämistä pieneen osaan entisestään. Kestävimmillä rannikkoalueilla jo nykyinen puhdistustaso saattaa olla jopa riittävä. *Koska tietyt rannikkoalueet ovat erittäin herkkiä rehevöitymiselle tulisi jätevesien puhdistukselle asetettavien vaatimusten ja puhdistustulosten olla aivan eri tasoa näillä herkimmillä alueilla kuin kuormitusta hyvin sietävillä alueilla* (kuva 52). Tälläinen lähestymistapa vaatii suuria investointeja rehevöitymisherkillä alueilla.

Lisäresurssien suuntaamiseksi yhteisvastuullisesti esim. monille korkean rehevöitymisriskin alueille, joilla nykyinen päästöjen taso selkeästi ylittää alueiden kuormituksensietokapasiteetin, olisi perusteltua perustaa tarkoitukseen rahasto. ”*Rannikkorahaston*” tehtävänä olisi mm. investoida kuormituksen vähentämistoimenpiteisiin niin, *että ei millään rannikkoalueella, ei myöskään korkean rehevöitymisriskin alueilla, kuormitus ylittäisi tasoa, joka mahdollistaa veden laadun paranemisen*.

Rehevöitymiskehityksen katkaiseminen suuntaamalla kuormituksen vähentäminen erityisen voimakkaasti korkean rehevöitymisriskin alueille on kiireellistä, sillä potentiaalisia pohja-alueita, joille voimakas sisäinen kuormitus voi levitä, on runsaasti (katso kpl. aluekohtaiset tulokset sivuilla 14 - 69). Mikäli merkkejä itsestään jo antanut ilmastonmuutos saa aikaan selkeätä keskilämpötilan nousua näillä seuduilla, voimistaa se vesiemme rehevöitymistä, sillä korkeampi lämpötila kiihdyttää biologisia prosesseja ja pitkittää kasvukautta.

Rannikkoalueiden käytön suunnittelun perusteena, on oltava rehevöitymisriskin huomioiminen ja sen perusteella kuormituksen haittavaikutusten minimoiminen, kestävän kehityksen periaatteiden mukaisesti.

5. Viiteluettelo

Anderson, L. D. & Delaney, M. L. 2000. Sequential extraktion and analysis of phosphorus in marine sediments: Streamlining of the SEDEX prosedure. Limnology and Oceanography 45, 509-515.

Aura, R., Kauppi, M., Mannio, J., Tossavainen, J., Törrönen, J. & Välipakka, P. 2001. Vesi. Julkaisussa Kaakkois- Suomen ympäristön tila: Kaakkois- Suomen ympäristökeskus, Kouvola. 73-105.

Bonsdorff, E., Blomqvist, E. M., Mattila, J. & Norkko, A. 1997. Long-term changes and coastal eutrophication. Examples from the Åland Islands and the Archipelago Sea, northern Baltic Sea. Oceanologica Acta 20.

Bonsdorff, E., Blomqvist, E. M., Mattila, J. & Norkko, A. 1997a. Coastal eutrophication: causes, consequences and perspectives in the archipelago areas of the northern Baltic Sea. Estuarine, Coastal and Shelf Sci. 44 (Supplement A).

Haahti, H. & Kangas P. (editors) 2004. State of the Gulf of Finland in 2003. Meri. Report Series of the Finnish Institute of Marine Research 51, 2004.

HELCOM, 1996. Third periodic assessement of the state of the marine environment of the Baltic Sea, 1989-93; Background document. Balt. Sea Environ. Proc. No. 64 B.

Henriksson, M. & Myllyvirta, T. 1991. Itä-Uudenmaan saaristoalueen bioindikaattoritutkimus 1990. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y.

Henriksson, M. & Myllyvirta, T. 1992. Itä-Uudenmaan saaristoalueen bioindikaattoritutkimus 1991. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y.

Henriksson, M. & Myllyvirta, T. 1995. Onaksen saaristoalueen pohjaeläinten intensiivitutkimus. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y. Monistettu tutkimusraportti.

Henriksson, M. & Myllyvirta, T. 2001. Pellingin saaristoalueen vesiluonnon tila. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y. Monistettu tutkimusraportti.

Holmberg, R., Jokinen, O., Kuosa, H. & Ranta, E. 1998. Mustionjoen, Fiskarsinjoen, Pohjanpitäjänlahden ja Tammisaaren merialueen yhteistarkkailun yhteenveto vuodelta 1997. Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry. Julkaisu 86. ISSN 0789-9084.

Holmberg, R. & Jokinen, O. 1999. Hangon merialueen ja Bengtsårin vesien yhteistarkkailun yhteenveto vuodelta 1997. Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry. Julkaisu 87. ISSN 0789-9084.

Holmberg R., Mettinen, A. & Ranta, E. 1999. Inkoon Fagervikenin yhteistarkkailun yhteenveto vuodelta 1998. Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry. Julkaisu 92. ISSN 0789-9084.

Ikonen, A. T. K., Kaapu, J., Lehtonen, K., Mattila, J., Räisänen, R., Turkki, H. & Sauvonkaari, J. 2003 Environment Studies in the Olkiluoto Area. Working Report 2003-15.

Ilus, E. 1990. Loviisan ydinvoimalaitosta ympäröivän merialueen biologinen tarkkailu vuonna 1989. Monistettu raportti. Säteilyturvakeskus, Helsinki. Liitteenä: Ilus, E., Keskitalo, J. Loviisan voimalaitosta ympäröivän merialueen kasviplankton tutkimus vuonna 1988.

Jaala, E. 2005. Hamina-Kotka-Pyhtää merialueen lahtien veden tila 1993-2003. Kymijoen vesi ja ympäristö ry:n julkaisu no 126/2005.

Kajaste, I. 2004. Helsingin ja Espoon merialueen pohjaeläimistö. Julkaisussa Pellikka, K. (toim.): Helsingin ja Espoon merialueiden velvoitetarkkailu vuonna 2004. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen monisteita 1/2004: 52-66.

Kangas, P., Byholm, L., & Stigzelius, J. 2001. Changes in zoobenthic communities. Julkaisussa Kauppila, P. and Beck, S. (toim.): The state of Finnish coastal waters in the 1990s. The Finnish Environment 472, s. 79-88.

Kauppila, P., Korhonen, M., Pitkänen, H., Kenttämies, K., Rekolainen, S. & Kotilainen, P. 2001. Loading of pollutants. Julkaisussa Kauppila, P. and Beck, S. (toim.): The state of Finnish coastal waters in the 1990s. Publications of the Finnish Water and Environment Administration, no 472, s. 15-29.

Kauppila, P. & Lepistö. 2001. Changes in phytoplankton. Julkaisussa Kauppila, P. and Beck, S. (toim.): The state of Finnish coastal waters in the 1990s. Publications of the Finnish Water and Environment Administration, no 472, s. 61-70.

Kirkkala, T. & Turkki, H. 2005. Uudenkaupungin ja Pyhämaan edustan merialue. Teoksessa: Sarvala, M. & Sarvala, J. (toim.) Miten voit, Selkämeri? Ympäristön tila Lounais-Suomessa 4. Lounais-Suomen ympäristökeskus. Turku 144 s.

Kirkkala, T. & Turkki, H. 2005a. Rauman ja Eurajoen edustan merialue. Teoksessa: Sarvala, M. & Sarvala, J. (toim.) Miten voit, Selkämeri? Ympäristön tila Lounais-Suomessa 4. Lounais-Suomen ympäristökeskus. Turku 144 s.

Laine, A. O., Sandler H., Andersin, A.-B. & Stigzelius, J. 1997. Long-term changes of macrozoobenthos in the Eastern Gotland Basin and the Gulf of Finland (Baltic sea) in relation to the hydrographical regime. J.Sea. Res. 38.

Laine, A. O., Pesonen, L., Myllynen, K. & Norha, T. 2003. Veden Laadun muutosten vaikutus Helsingin ja Espoon edustan merialueiden pohjaeläimistöön vuosina 1973-2001. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 10/2003.

Lindgren, S. & Reijonen, H. 2005. CHNS-analyysi. Työselostus. Geologian laitos, Turun yliopisto.

Lindgren, S. In prep. Suomen rannikon akkumulaatiopohjien alueelliset erot. Pro. gradu-työ. Geologian laitos, Turun yliopisto.

Lönnroth, M. 2005. Vattenkvaliteten längs Finlands sydkust 1970 - 2000. Nylands miljö-central - Duplikat 161.

Norha, T. & Varmo, R. 1993. Pohjaeläimistö Helsingin ja Espoon merialueilla vuonna 1992. Julkaisussa Pesonen, L., Norha, T., Rinne. I., Varmo, R. & Viljamaa, H. Helsingin ja Espoon merialueiden velvoitetarkkailu vuonna 1992. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 9/1993: 82-99.

Nyman, C. & Nystubb, M. 1998. Kartläggning av bottenfaunan i havet utanför Jakobstad. Staden Jakobstad. Miljövårdsbyrån. Rapport 3/98.

Nyman, C. 2000. Kartläggning av bottenfaunan i norra delen av Larsmo skärgård 1998. Miljönämnden i Larsmo, Eugmo bys fiskelag, 2000.

Mankki, J. 2000. Pyhtää – Kotka – Haminan merialueen yhteistarkkailun yhteenveto vuosilta 1997-1999. Kymijoen vesiensuojeluyhdistys ry:n julkaisu no 82.

Mattila, J. 1993. Long-term changes in the bottom fauna along the Finnish coast of the southern Bothnian Sea. Aqua Fennica 23,2:143-152.

Mettinen, A. 1998. Pohjanpitäjänlahden, Tammisaaren merialueen, Mustionjoen ja Fiskarsinjoen yhteistarkkailun pohjaeläintutkimukset vuodelta 1997. Pohjaeläimistön muuttuminen vuodelta 1985 Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry. Julkaisu 76. ISSN 0789-9084.

Mettinen, A. 1999. Hangon merialueen ja Bengtsårin vesien yhteistarkkailun pohjaeläintutkimus vuodelta 1997. Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry. Julkaisu 85. ISSN 0789-9084.

Mettinen, A. 2002. Pikkalanlahden yhteistarkkailun yhteenveto vuodelta 2001. Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry. Julkaisu 126. ISSN 0789-9084.

Myllyvirta, T. & Henriksson, M. 1999. Tiepenkereiden ja siltojen vaikutuksesta Pellingin alueen pohjaeläimistöihin. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y. Monistettu tutkimusraportti.

Myllyvirta, T. & Henriksson, M. 2001. Suomen ja Viron rannikkojen tila - Vertaileva tutkimus Suomen ja Viron rannikkoalueiden vesien ja pohjien tilasta. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y. Monistettu tutkimusraportti.

Oravainen, R. 2005. Luvian, Porin ja Merikarvian edustan merialue. Teoksessa: Sarvala, M. & Sarvala, J. (toim.) Miten voit, Selkämeri? Ympäristön tila Lounais-Suomessa 4. Lounais-Suomen ympäristökeskus. Turku 144 s.

Pitkänen, H. (toim) 2004. Rannikko- ja avomerialueiden tila vuosituhannen vaihteessa. Suomen Itämeren suojeluohjelman taustaselvitykset. Suomen ympäristökeskus. ISBN 952-11-1571-8.

Pitkänen, H., Kangas, P., Miettinen, V. & Ekholm, P. 1987. The state of the Finnish coastal waters in 1979-1983. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja 8.

Pitkänen, H. & Välipakka, P. 1997. Extensive deep water oxygen deficit and benthic phosphorous release in the Gulf of Finland in late summer 1996. In: J. Sarkkula /ed.). Proceedings of the Final Seminar of the Gulf of Finland Year 1996, March 17-18, 1997 Helsinki. Suomen Ympäristökeskuksen moniste 105: 51-59.

Pitkänen, H., Kauppila, H. & Laine. Y. 2001. Nutrients. Julkaisussa Kauppila, P. and Beck, S. (toim.): The state of Finnish coastal waters in the 1990s. Publications of the Finnish Water and Environment Administration, no 472, s. 37-60.

Pitkänen, H., Lehtoranta, J. & Räike, A. 2001. Internal nutrient fluxes counteract decreases in external load. The case of the estuarial Gulf of Finland.-Ambio 30:195-2001.

Ruttenberg, K. C. 1992. Development of sequential extraction method for different forms of phosphorus in marine sediments. Limnology and Oceanography 37, 1460-1482.

Räisänen, R. 1997. Turun merialueen pohjaeläintutkimus vuonna 1995. Lounais-Suomen vesiensuojeluyhdistys ry. Tutkimusselosteita 117.

Stigzelius, J., Laine, A., Rissanen, J., Andersin, A-B. & Ilus, E. 1997. The introduction of Marenzelleria viridis (Polychaeta, Spionidae) into the Gulf of Finland and the Gulf of Bothnia (northern Baltic Sea). Ann. Zool. Fennici 34:205-212.

Varmo, R. 1994. Pohjaeläimistö Helsingin ja Espoon merialueilla vuonna 1991. Julkaisussa Varmo, R. & Riiheläinen, T. Pohjaeläimistö ja pohjasedimentti Helsingin ja Espoon merialueilla vuonna 1991. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 10/1994: 1-26.

Valkama, J. & Anttila-Huhtinen, M. 2000. Pohjaeläintutkimukset Kymijoella 1998 ja 1999 sekä Pyhtään, Kotkan ja Haminan merialueilla vuosina 1993-1999. Kymijoen vesiensuojeluyhdistys ry:n julkaisu no 86/2000.

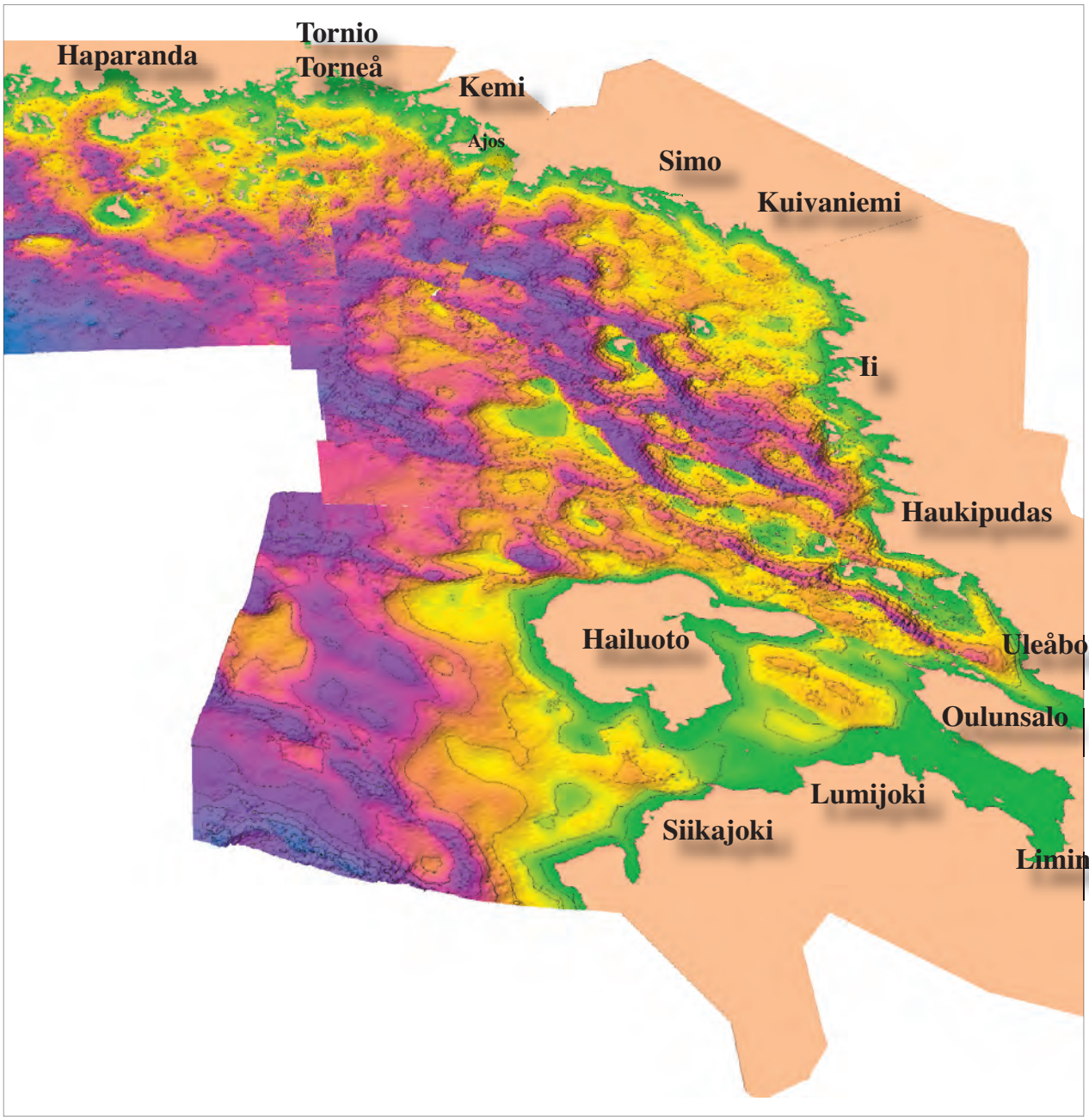
Virtasalo, J., Kohonen, T., Vuorinen, I. & Huttula T. In press. Sea bottom anoxia in the Archipelago Sea, northern Baltic sea - Implications for phosphorous reminerialization at the sediment surface. Mar. Geol.

Vääränen, P. & Nyman, C. 2000. Kokkolan edustan merialueen pohjaeläinkartoitus 1999. Pohjanmaan Tutkimuspalvelu Oy. Kaustinen 2000.

Zettler, M. L. 1995. Untersuchungen zur Verteilung des Makrozoobenthos in einem Küstengewäsern der südlichen Ostsee in Abhängigkeit von abiotischen Faktoren. – Rostock. Meeresbiol. Beitr. 3: 171-188.

Zettler, M. L. 1996. Successful establishment of the spionid polychaete, Marenzelleria viridis (Verrill, 1873), in the Darss-Zingst estuary (southern Baltic) and its influence on the indigenous macrozoobenthos. Arch. Fish. Mar. Res. 43: 273-284.

Zettler, M. L., Bick, A. & Bochert, R. 1995. Distribution and population dynamics of Marenzelleria viridis (Polychaeta, Spionidae), in a coastal water of the southern Baltic. – Arch. Fish. Mar. Res. 42: 209-224.


Haparanda
Tornio
Torneå
Kemi
Ajos
Simo
Kuivaniemi
Ii
Haukipudas
Hailuoto
Uleåborg
Oulunsalo
Lumijoki
Siikajoki
Liminka