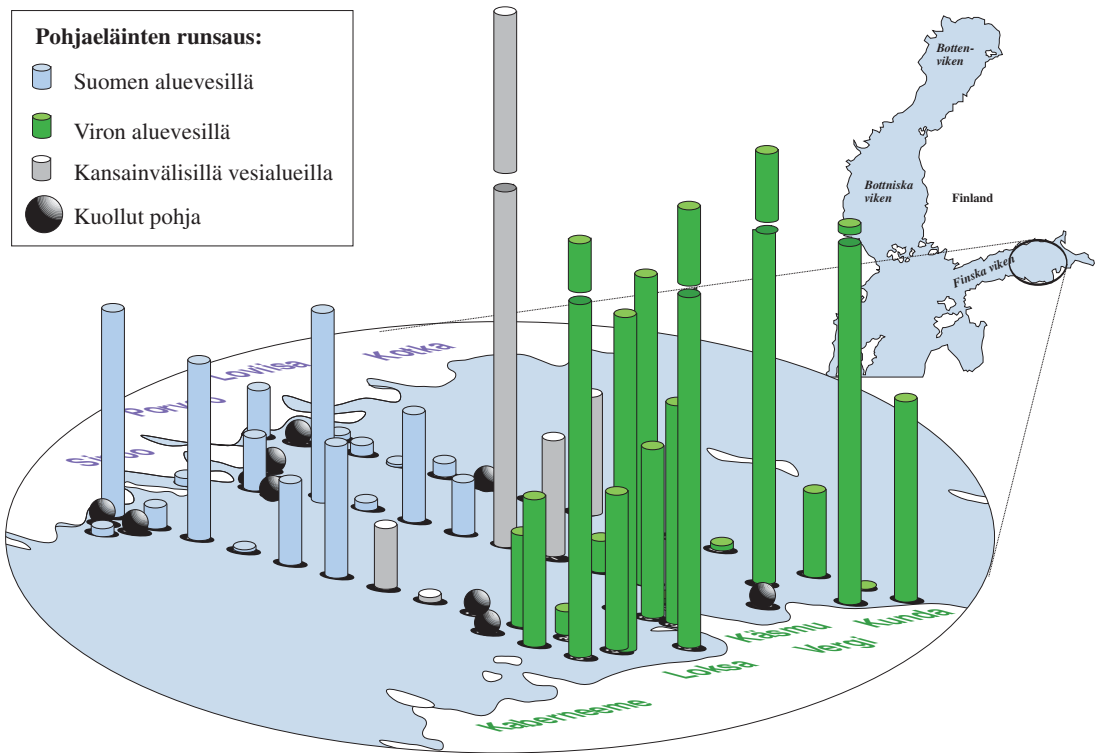




Suomen ja Viron rannikkojen tila

*Vertaileva tutkimus Suomen ja Viron rannikkoalueiden
vesien- ja pohjien tilasta*



Tero Myllyvirta
Mikael Henriksson

Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja
ilmansuojeluyhdistys r.y.



Esipuhe

Tämä tutkimusprojekti sai alkuunsa siitä, että Suomenlahden tilassa viime vuosina tapahtuneet muutokset ovat nostaneet esille uusia kysymyksiä merialueemme tilasta ja tulevaisuusnäkymistä. Projektin puitteissa tehtiin kaksi tutkimusmatkaa Suomen ja Viron rannikkovesille sekä Suomenlahden avomerialueelle. Tutkimusmatkat ja näytteiden analysointi suoritettiin yhteistyössä Viron ja Suomen asiantuntijatahojen kanssa.

Tutkimustuloksista on tiedotettu suurelle yleisölle ja ne ovat osaltaan vaikuttaneet siihen, että on havahduttu huomaamaan ja suuntamaan resursseja Suomenlahden rannikkovesien tutkimiseen. Tutkimusprojektin suurin ansio on, että vertailemalla Itä-Uudenmaan ja Itä-Viron rannikkoja sekä näiden välistä avomerialuetta keskenään oli mahdollista suhteuttaa kunkin alueen tila suurempaan kokonaisuuteen ja siten laajentaa perspektiiviä aluiden ongelmien tarkastelussa.

Työ on ollut meille tekijöille huikea ja palkitseva haaste, toivottavasti se on yhtä antoisa myös lukijoille. Tässä raportissa olemme ainutlaatuisesta ja laajasta aineistosta pyrkineet seulomaan esiin oleellimmän. Tästä eteenpäin projekti jatkuu julkaisujen laatimisena kansainvälisissä tieteellisissä sarjoissa.

Tämä työ ei olisi ollut mahdollista ilman useampien tahojen ja henkilöiden osallistumista projektin virittämään yhteistyöverkkoon. Viron puolella yhteistyötahoina ovat olleet Länsi-Viron maakuntahallitus ja Itä-Viron maakuntahallitus. Viralliset luvat toteuttaa tutkimukseen liittyvä näytteenotto Viron aluevesillä saatiin Viron Helsingin suurlähestyksen kautta Viron viranomaisilta. Työtä on ohjannut ohjausryhmä, jonka puheenjohtajana toimi maakuntajohtaja Esa Halme Itä-Uudenmaan liitosta ja jäsenenä olivat Anna-Stiina Heiskanen Suomen ympäristökeskuksesta, Ari Laine Suomen Merentutkimuslaitokselta, Leena Villa Uudenmaan ympäristökeskuksesta ja Tero Myllyvirta Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistyksestä.

Projektia ovat rahoittaneet Loviisan ja Porvoon kaupungit, Sipoon kunta, Svenska litteratursällskapet i Finland, jonka kautta projekti sai rahoitusta Ingrid, Margit ja Henrik Höijers donationsfondetilta ja Itä-Uudenmaan liitto, jonka kautta projekti sai Suomen rannikkoseudun Interreg II A-ohjelman mukaisesti EU osarahoitusta.

Lopuksi, aivan erityisesti kiitos Ari Laineelle (Suomen Merentutkimuslaitos) joka on työn kuluessa monin tavoin asiantuntemuksellaan vaikuttanut työn edistymiseen, Jonne Kotalle (Viron Merentutkimuslaitos), Aarno Mettiselle (Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry), M/S Milkarin kipparille Pentti Maunulle ja laivakokki Johanna Raittiselle.

Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien-
ja ilmansuojeluyhdistyksen puolesta
20.4.2001

Tero Myllyvirta

Sisällys	s.
1. Johdanto	2
2. Tutkimusalue	3
3. Aineisto ja menetelmät	4
4. Tulokset	6
4.1. Pohjaeläimet	6
4.1.1. Pohjaeläinten runsaus	6
4.1.2. Pohjaeläinten biomassa	7
4.1.3. Pohjaeläinlajisto	8
4.1.4. Kuolleet pohjat	8
4.2. Orgaanisen aineksen määrä sedimentissä ja sedimentin vesipitoisuus	11
4.3. Pohjanläheisen veden happipitoisuus	12
4.4. Pohjanläheisen veden fosforipitoisuus	13
4.5. Näkösyvyys	14
5. Tulosten tarkastelu	15
5.1. Pohjaeläimet	15
5.2. Happi, fosfori ja sisäinen kuormitus	16
5.3. Sedimentin laatu	17
5.4. Morfometrian ja kuormituksen yhteisvaikutuksesta rannikon tilaan	17
6. Yhteenveto	18
7. Viiteluettelo	21
Liite 1. Näytteenottopäivämäärä, näytealojen sijainti ja näytteenottosyvyys	
Liite 2. Näyteasemakohtaiset pohjaeläintulokset	



1

Johdanto

Tämän työn tarkoitus on selvittää Itä-Uudenmaan ja sen eteläpuolella sijaitsevan Viron rannikkoalueen veden ja merenpohjan tilaa. Tutkimuksessa verrataan Suomen ja Viron rannikoiden pehmeiden pohjien pohjaeliöstöjä veden laatua ja pohjasedimenttejä keskenään kyseisiltä rannikoilta yli Suomenlahden ulottuvilla näytteenotoilla.

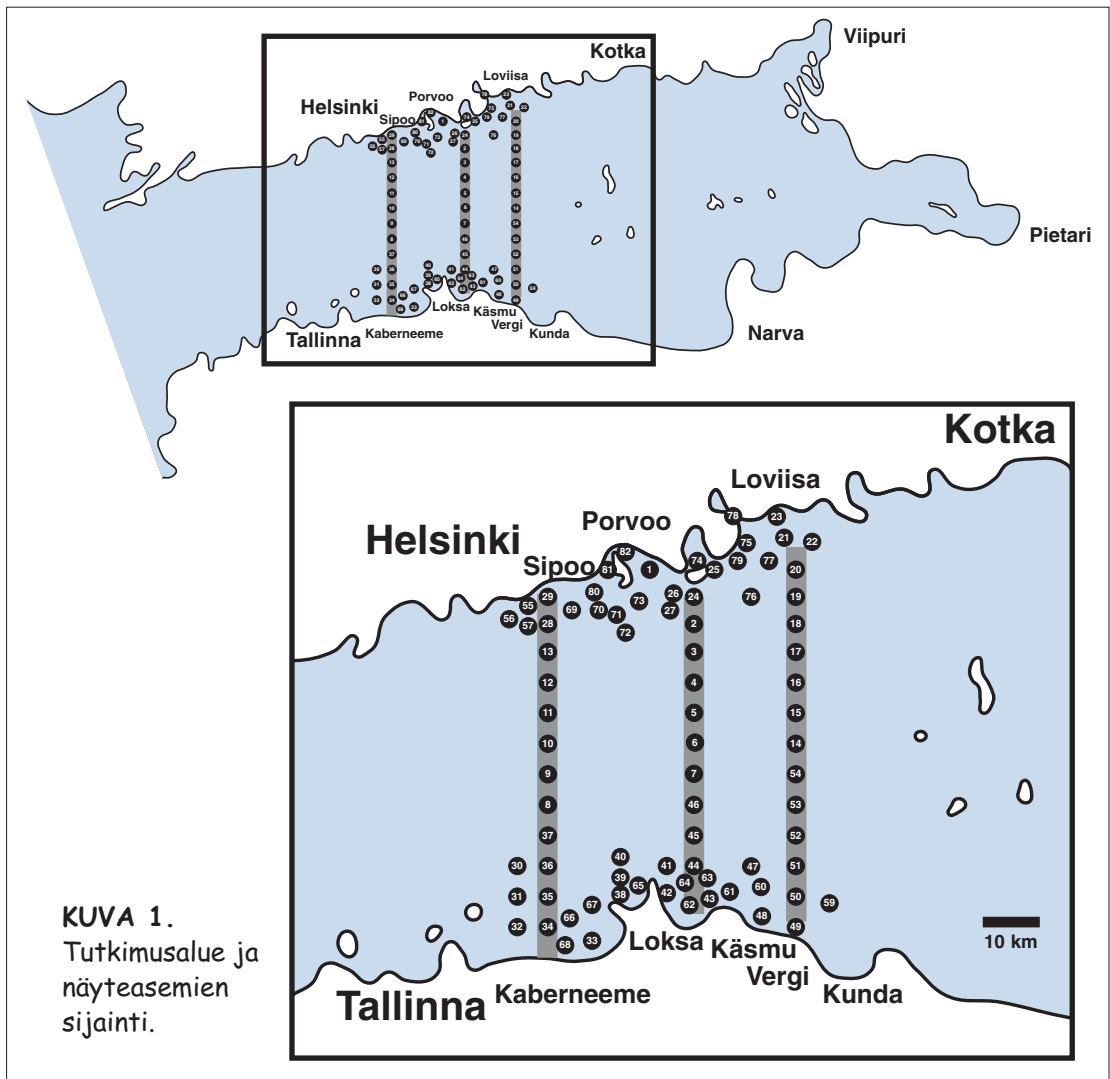
Itämeren ja Suomenlahden syvien merenpohjien happi- ja pohjaeläintilannetta on seurattu jo pitkään (Möbius 1873, Andersin ja Sandler 1991, Laine ym. 1997) mutta rannikkoalueiden hapettomiin, autioutuneisiin pohjiin on kiinnitetty huomiota vasta viime vuosina huolimatta siitä, että ensimmäiset havainnot tehtiin jo 1920-luvulla (Segerstråle 1933). Viime vuosina tutkimusalueen Suomen puoleisella rannikolla on havaittu, että laajat merenpohja-alueet ovat ajoittain hapettomia ja vailla pohjaeläimiä (Henriksson ja Myllyvirta 1995, 1997, Pitkänen 1999). Hapettomissa olosuhteissa tapahtuva sisäinen kuormitus on tästä syystä ilmeisesti luultua paljon merkittävämpi kuormituslähde matalassa rannikkovyöhykkeessäkin. Vertaamalla tutkimusalueen Suomen puoleista aluetta lähellä sijaitsevaan - mutta silti hyvin eriluonteiseen - Viron rannikkoon, on mahdollista saada tietoa rannikkojen erityispiirteiden vaikutuksesta veden ja merenpohjan tilaan.

Tutkimusalueen Suomen puoleisen alueen tilassa on tapahtunut silminnähtävä muutos noin 30 vuoden takaiseen tilanteeseen nähden. Osoituksia muutoksesta ovat m.m. rantojen rihmalevien lisääntyminen ja rakkolevän väheneminen, merenpohjan ja rantavyöhykkeen paksut levämatot, vesialueiden umpeenkasvu, kalastomuutokset, pyydysten limoittuminen, veden samentuminen ja sinilevän lisääntyminen sekä myös esim. veden heikentynyt happitilanne ja eliöstön monimuotoisuuden väheneminen (Henriksson ja Myllyvirta 1991, 1992, 1995, 1997, Lehtonen ja Haavisto 1997, Pitkänen 1997, Pitkänen 1999). Ratkaisevaa muutosta alueen ulkoisessa kuormituksessa ei tänä aikana ole tapahtunut selitykseksi alueen tilan heikentymiselle. Mikäli alueen tilan heikentyminen johtuu siitä, että pitkään jatkunut voimakas alueen sietokykyvyn ylittävä kuormitus on käynnistänyt mittavan sisäisen kuormituskierteen (esim. Bonsdorff ym. 1997), on tilanne erittäin vakava ja vaikeasti korjattavissa.

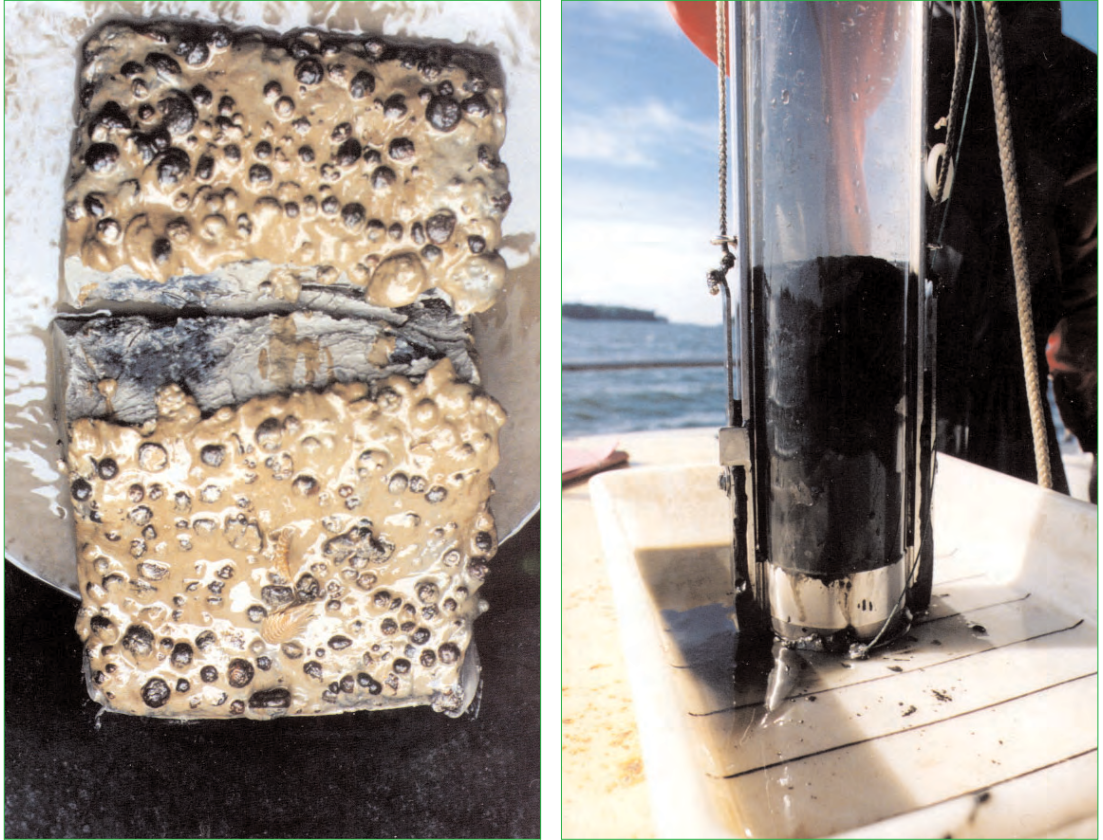
2 Tutkimusalue

Tutkimusalue käsittää Suomenlahden rannikko- ja avomerialueita (kuva 1). Suomenlahti on matala ja se on voimakkaasti kuormitetun Itämeren kuormitetuimpia osa-alueita (HELCOM 1996). Suomenlahden vuosittainen kuormitus on suuruusluokkaa 7000 tonnia fosforia ja 120000 tonnia typpeä (Pitkänen 1994, Pitkänen ym. 1988, 1997, Kuusisto 2001). Kuormitus on vähentynyt hienoisesti 1980-luvun jälkeen mutta on edelleen liian suuri alueen sietokykyyn nähden. Suuri osa kuormituksesta kohdistuu Suomenlahden itäisimpiin osiin Pietarista ja Nevan kautta.

Luonteenomaista tutkimusalueen Suomen puoleiselle alueelle on kauas jokisuistoista ulottuva sokkeloinen ja matala saaristoinen rannikkovyöhyke. Tutkimusalueen Viron puoleisella alueella rannikkovyöhyke on lähes saareton ja syvenee jyrkemmin.



KUVA 1.
Tutkimusalue ja
näyteasemien
sijainti.




KUVA 2. Van Veen-noutimella otettu pohjaeläinnäyte (vasemmalla) ja Limnos putki-noutimella otettu sedimenttinäyte (oikealla).

3

Aineisto ja menetelmät

Näytteenotossa seurattiin kolmea linjaa, jotka lähtevät Sipoon, Porvoon ja Loviisan saaristoista ja ulottuvat Suomenlahden halki pohjois-eteläsuunnassa Viron rannikolle. Kunkin linjan näyteasemat ovat noin 6 km etäisyydellä toisistaan avomerellä (kuva 1). Linjojen ulkopuolelle sijoitettiin Suomen ja Viron rannikoille näyteasemia rannikkojen alle 50 m syville pohjille. Näyteasemilta kerättiin pohjaeläinnäytteet, pohjasedimenttinäytteet ja vesinäytteet alusvedestä. Näytteet kerättiin loppukesällä vuosina 1998 (24.8 - 6.9) ja 1999 (5.8 - 10.8, liite 1).

Pohjaeläinnäytteet kerättiin van Veen-pohjanoutimella (pinta-ala 1110cm², kuva 2). Näytteet seulottiin seulalla, jonka silmäkoko oli 0.5 mm. Näytteet säilöttiin 4 % puskuroituun formaliiniin ja näytteiden pohjaeläimet laskettiin ja määritettiin laboratoriossa preparointimikroskoopilla. Jokaisen taksonin märkä- ja kuivapaino punnittiin yhden mg:an tarkkuudella.



Näyteasemien pohjasedimentin pintakerroksen orgaanisen aineksen pitoisuus määritettiin hehkutushäviönä. Sedimenttinäytteet otettiin Limnos putkinoutimella (kuva 2). Jokaisella näyteasemalla tehtiin pohjan laadun kuvaukset sekä pohjasedimentin läpileikkauskuvaukset. Asema-kohtaisesti mitattiin veden näkösyvyys secchi levyllä.

Pohjanläheiset vesinäytteet otettiin yksi metri pohjasta. Näytteistä analysoitiin suola- ja kokonaisfosforipitoisuudet. Happisondilla (YSI 52 dissolved oxygen meter) mitattiin happi- ja lämpötilaprofiilit näyteasemilla.

Vertailua varten tutkimusalue jaettiin siten, että rannikonäytteiksi katsottiin alle 50 m syvyydeltä Suomen ja Viron rannikoilta otetut näytteet ja avomerenäytteiksi yli 50 m syvyydeltä otetut näytteet. Verrattaessa rannikkoja keskenään verrataan siis alle 50 metrin syvyydessä sijainneita näytealoja.

Vertailussa käytetään pääasiassa vuoden 1998 tuloksia. Vuoden 1999 tuloksiin tukeudutaan pääasiassa johtopäätöksiä vedettäessä, sillä kyseisten vuosien näytteiden keruu suoritettiin eri perustein: Vuonna 1998 näytteet kerättiin peruskartoitusmaisesti ja tulokset soveltuvat hyvin tilastolliselle käsittelylle rannikkoja verrattaessa. Vuonna 1999 haettiin edellisen vuoden tulosten perusteella pohjia, joiden happitilanteiden voitiin olettaa olevan heikko: Edellisvuoden tulosten, syvyyden ja pohjan topografian perusteella pyrittiin löytämään mahdollisimman huonoja happiolosuhteita ja heikkoja esiintymismahdollisuuksia pohjaeläimistölle. Tämä tehtiin sen takia, että haluttiin selvittää esiintyykö huonosta happitilanteesta kärsiviä sedimentaatiopohjia lainkaan Viron puolella. Vuoden 1998 tulosten perusteella kävi ilmi, että mikäli kyseisiä pohjaolosuhteita esiintyy ovat ne varsin harvinaisia ja paikallisia, sillä yhdelläkään Viron puoleisen peruskartoitusverkoston näytealoista alle 50 m syvyydessä, ei todettu happivajetta vuonna 1998.

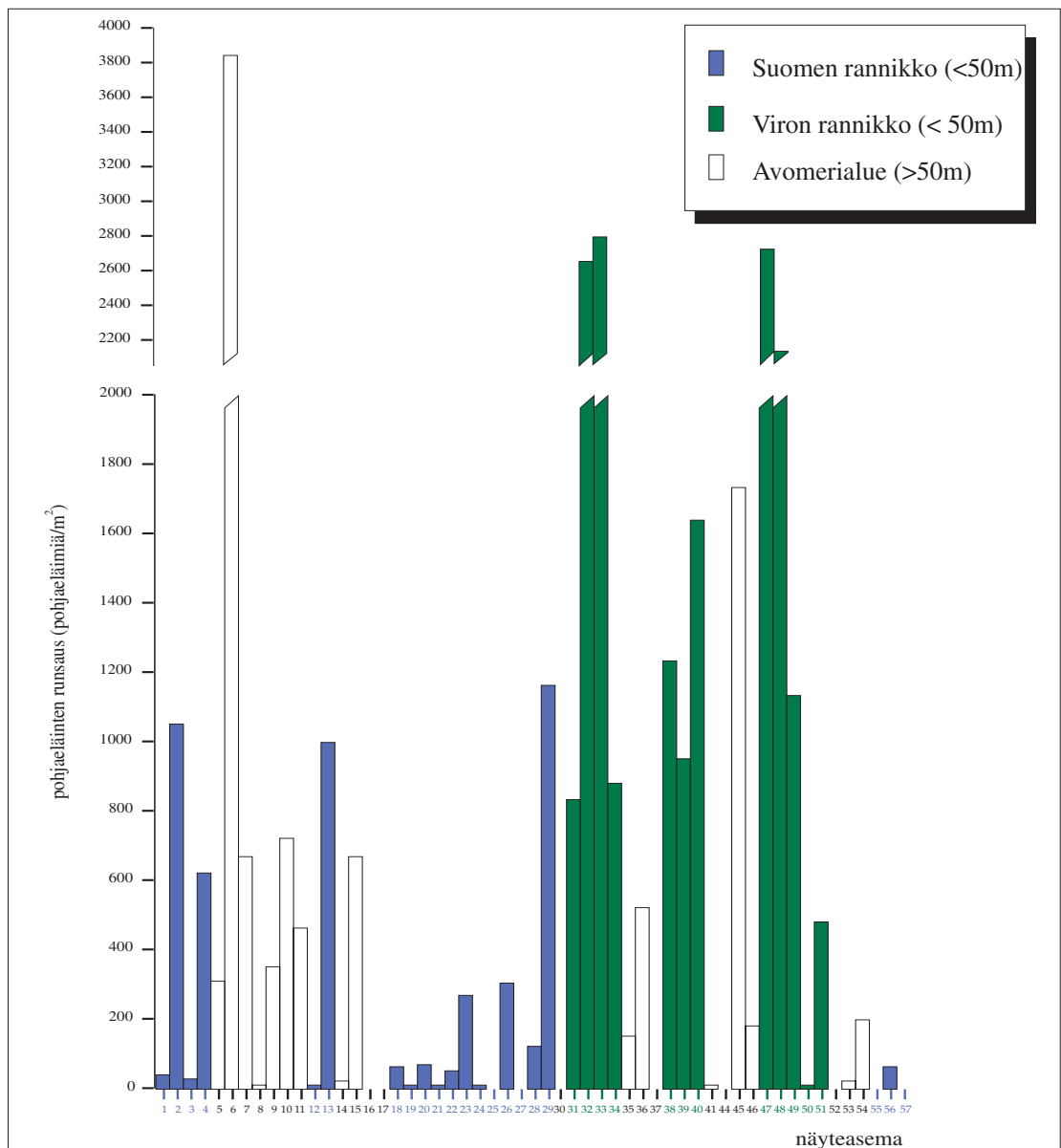
Aineiston numeerisessa käsittelyssä käytettiin Student's t-testiä verrattaessa Suomen ja Viron rannikkoja keskenään sekä verrattaessa kyseisiä rannikkoja avomerialueeseen. Korrelaatioanalyysiä käytettiin yhteyksien testaamiseksi eri tekijöiden välillä.

4 Tulokset

4.1. Pohjaeläimet

4.1.1. Pohjaeläinten runsaus

Pohjaeläimistö oli runsaampaa Viron puoleisella alueella kun Suomen puoleisella alueella (kuva 3). Suomen puolella pohjaeläimiä oli keskimäärin 232 yksilöä/m². Viron rannikolla pohjaeläimiä oli keskimäärin 1456 yksilöä/m² ja avomerialueella 448 yksilöä/m². Erot Suomen ja Viron rannikkojen välillä ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä ($p < 0,001$, t-test).

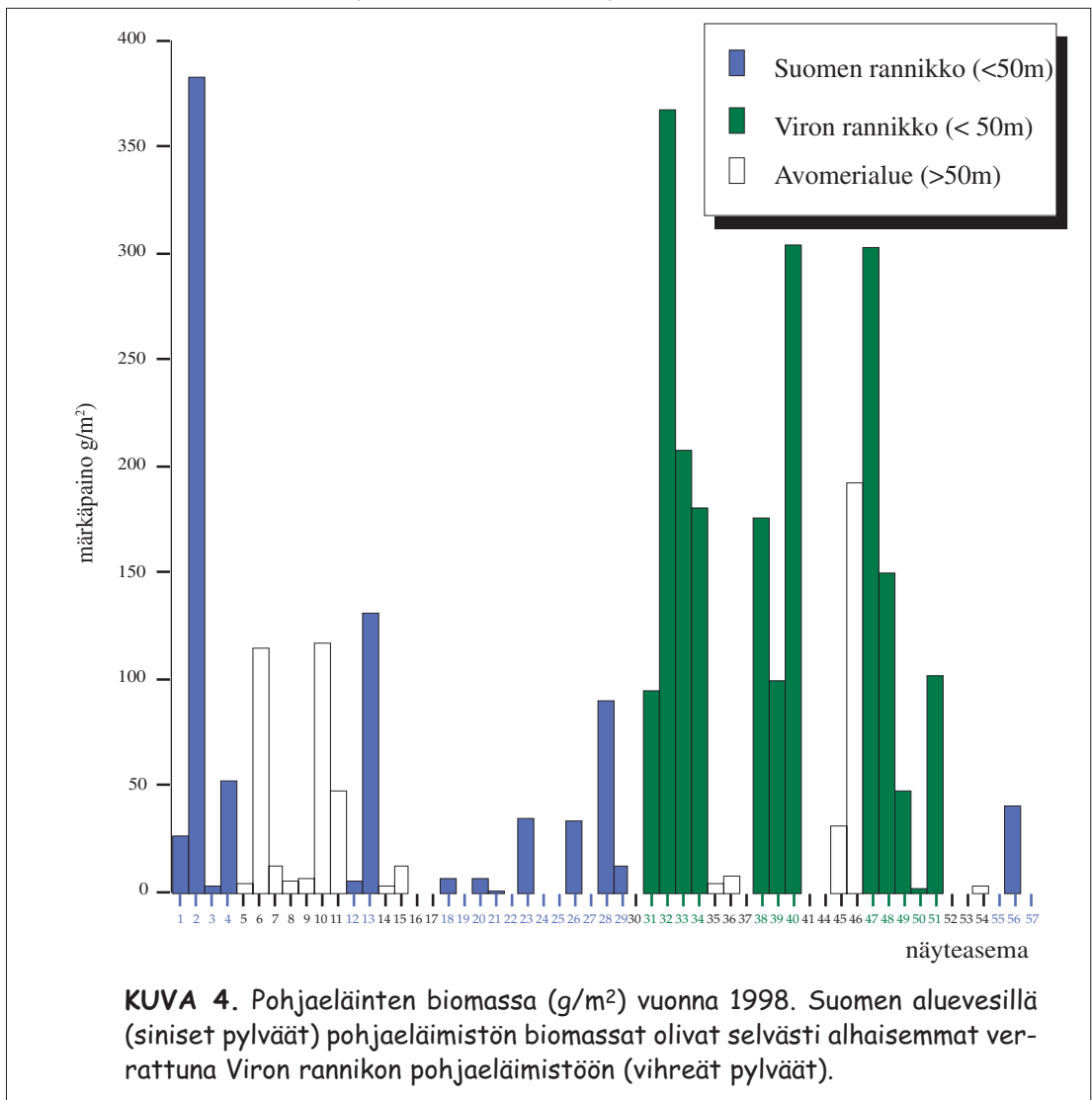


KUVA 3. Pohjaeläinten runsaus (pohjaeläinyksilöä/m²) vuonna 1998. Suomen rannikon (siniset pylväät) pohjaeläimistö oli Viron rannikon pohjaeläimistöä (vihreät pylväät) selkeästi köyhtyneempää. Suomen rannikolla kahdella kolmasosalla näyteasemista esiintyi vain muutama pohjaeläinlaji (pääsääntöisesti 1 - 3 lajia) ja kokonaisyksilömäärä oli alle 100 yksilöä/m² tai asemat olivat täysin vailla pohjaeläimiä. Katso näyteasemien sijainnit kuvassa 1 sivulla 3.

Viron puolella runsaina esiintyvät pääasiassa liejusimpukka (*Macoma balthica*), katkat (*Monoporeia affinis*, *Gammarus* sp.) ja harvasukasmadot (*Oligochaeta*). Suomen puolella runsaina esiintyviä pohjaeläimiä olivat harvasukasmadot, surviaissääsket, liejusimpukka (*Macoma balthica*) ja monisukasmato *Marenzelleria viridis*. Avomerialueilla esiintyivät varsinkin katkat (*Monoporeia affinis*, *Pontoporeia femorata*) ja kilkki (*Saduria entomon*) runsaina. Myös liejusimpukka (*Macoma balthica*) oli melko runsas avomerellä.

4.1.2. Pohjaeläinten biomassa

Pohjaeläimistön biomassa oli keskimäärin 40 g/m² Suomen puolella, keskimäärin 170 g/m² Viron puolella ja avomerialueella keskimäärin 26 g/m² (kuva 4). Biomassojen erot Suomen ja Viron välillä ovat tilastollisesti



KUVA 4. Pohjaeläinten biomassa (g/m²) vuonna 1998. Suomen aluevesillä (siniset pylväät) pohjaeläimistön biomassat olivat selvästi alhaisemmat verrattuna Viron rannikon pohjaeläimistöön (vihreät pylväät).

erittäin merkitseviä ($p < 0,001$, t-test). Suuret biomassat Viron puolella johtuvat paitsi pohjaeläimien runsaudesta, myös suurikokoisten simpukoiden (bivalvia) osuudesta. Avomerialueella (yli 50 m syvyydellä) biomassat olivat alhaisia, sillä avomerellä runsaina esiintyvien katkojen biomassat ovat alhaisia ja simpukoita esiintyi rannikkoalueita niukemmin (kuva 12). Liejusimpukan esiintyessä runsaampana (näyteasema 10) kohottavat ne biomassaa (kuva 4). Myös suurikokoiset kilkit kohottavat paikoin (asema 6 ja 46) biomassaa avomerialueella.

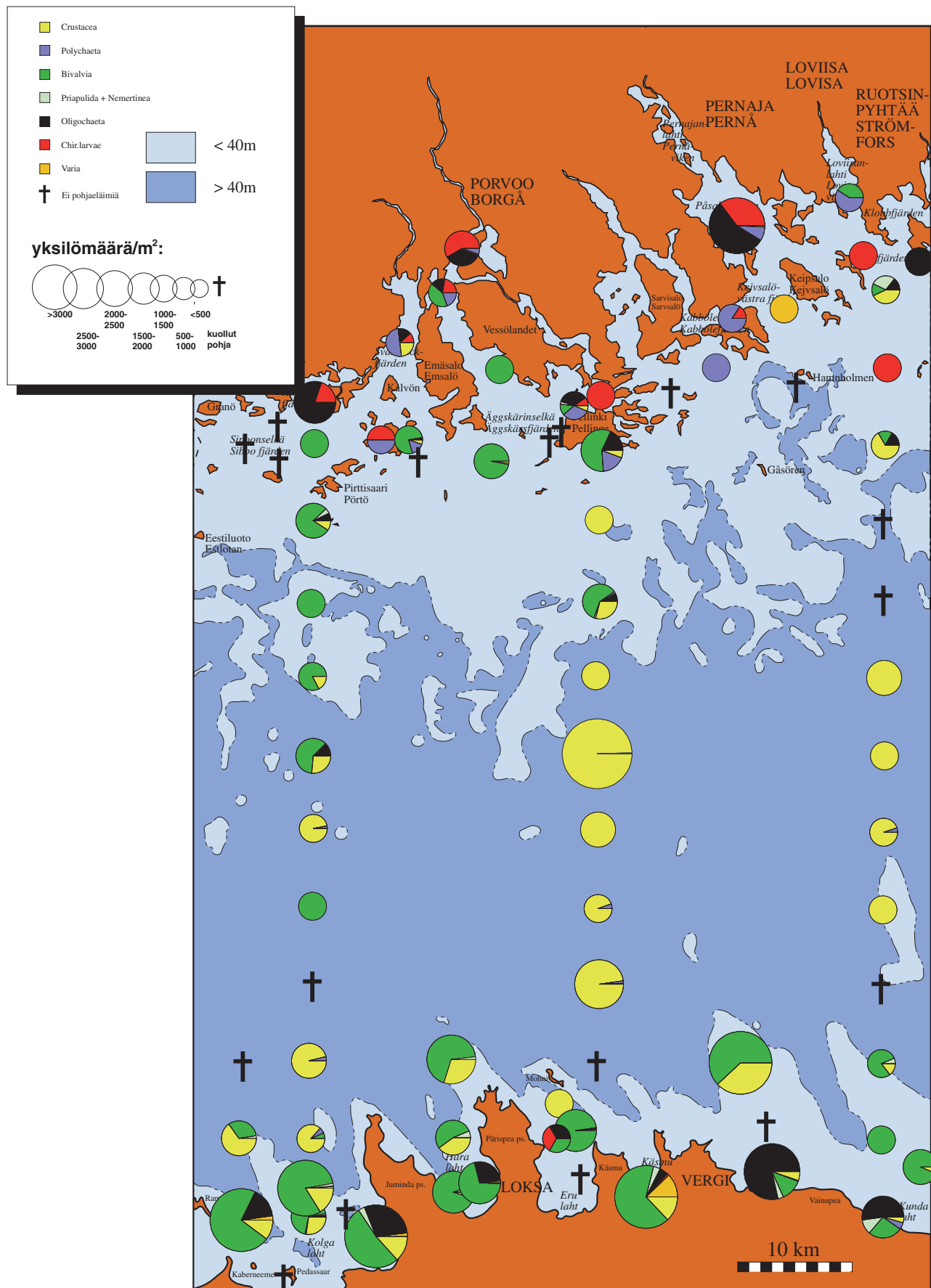
4.1.3. Pohjaeläinlajisto

Pohjaeläinlajiston lajimäärä oli Suomen rannikolla keskimäärin 2,1 pohjaeläinlajia/näyteasema. Viron rannikolla pohjaeläinlajeja oli keskimäärin 5,6/näyteasema. Ero Suomen ja Viron rannikoiden välillä on tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p < 0,001$). Avomerialueilla pohjaeläinlajeja oli keskimäärin 2,1/näyteasema (kuva 5).

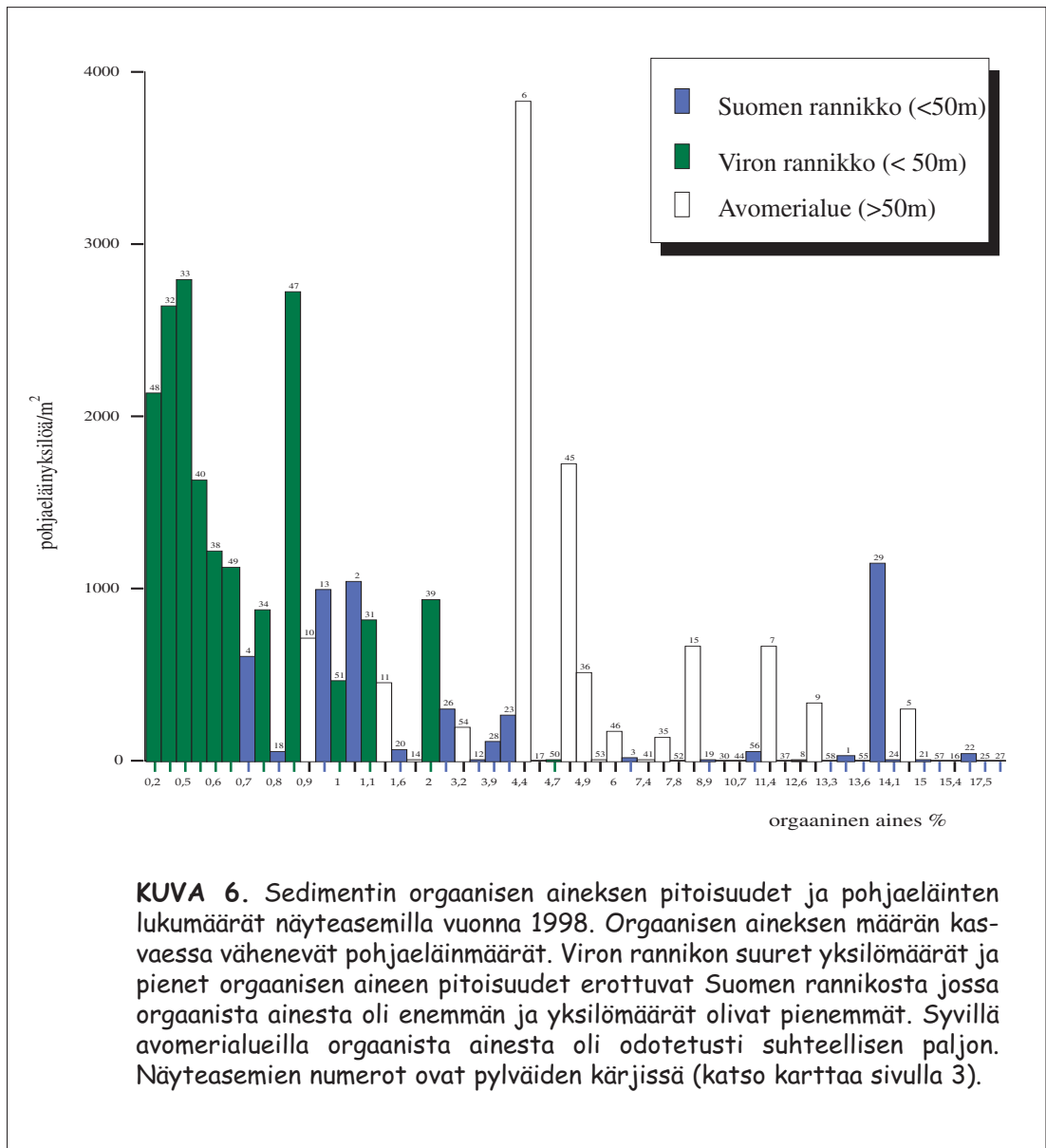
Suomen puolella lajistoa dominoivat pääasiassa surviaissääsket (Chironomiidae) ja harvasukasmadot (Oligochaeta). Muita yleisiä pohjaeläimiä olivat liejusimpukka (*Macoma balthica*), kilkki (*Saduria entomon*), valkokatka (*Monoporeia affinis*) ja monisukasmato *Marenzelleria viridis*. Viron puolella dominoivat "suodattajat" (filter-feeders) pääasiassa liejusimpukka (*Macoma balthica*) ja sinisimpukka (*Mytilus edulis*). Makkaramoto (*Halicryptus spinulosus*) esiintyi runsaana Viron puolella. Yleisiä olivat myös valkokatka (*Monoporeia affinis*), harvasukasmadot (*Oligochaeta*) ja kilkki (*Saduria entomon*). Avomerialueilla (yli 50 m syvyydellä) valkokatkat (*Monoporeia affinis* ja *Pontoporeia femorata*), kilkki (*Saduria entomon*) ja liejusimpukka (*Macoma balthica*), olivat valtalajeja (kuva 12).

4.1.4. Kuolleet pohjat

Täysin vailla pohjaeläimiä olevia kuolleita pohjia (ei makroskooppista pohjaeläimistöä) löytyi yhteensä 11 näyteasemalta vuoden 1998 kartoituksissa (kuva 5). Näistä näyteasemista kuusi sijaitsi avomerialueella ja viisi Suomen rannikolla alle 50 m syvyydellä. Lisäksi useat Suomen rannikon ja

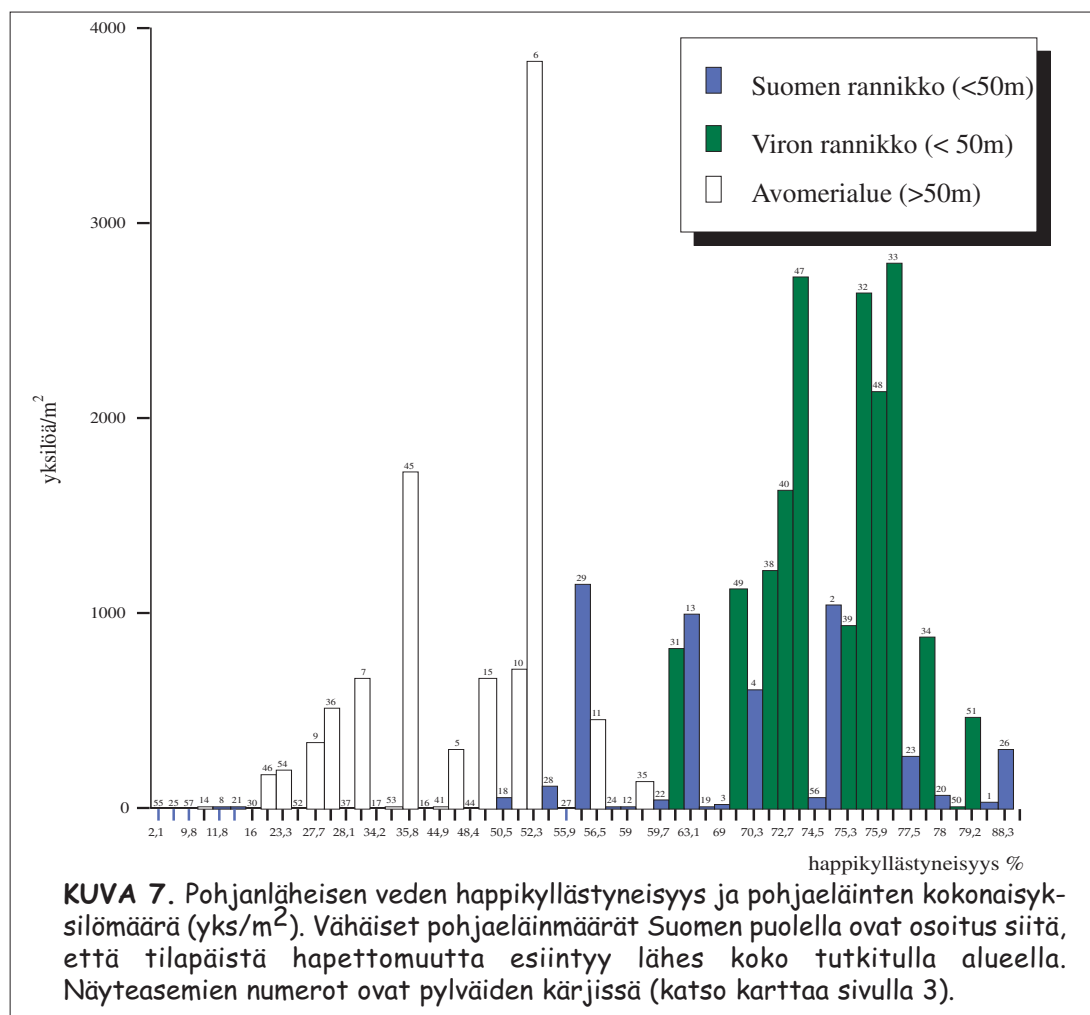


KUVA 5. Pohjaeläimistön koostumus tutkimusalueella vuosien 1998 ja 1999 näytteenottojen perusteella. Diagrammien osuudet kuvaavat eri eliöryhmien yksilömäärien jakautumista näyteasemilla. Diagrammien koot ovat suhteessa kokonaisyksilömääriin.



avomerialueen näytetealojen pohjajeläimistöjä olivat köyhtyneitä (kuva 3 ja 4). Viron rannikolla ei pohjajeläimiä vailla olleita näyteasemia löytynyt vuonna 1998. Vuonna 1999 (jolloin yritettiin selvittää esiintyykö kyseisiä pohjia ylipäätensä Viron puolella tutkimusaluetta) löydettiin neljä pohjajeläimiä vailla olevaa näyteasemaa Viron rannikolta alle 50 m syvyydellä.

Pohjajeläimiä vailla olevien näyteasemien pohjanläheisen veden happikyllästyneisyys oli keskimäärin 25% poiketen selvästi muista asemista joiden happikyllästyneisyys oli keskimäärin 58%. Orgaanisen aineksen määrät sedimenteissä oli vastaavasti keskimäärin 12,7% ja 5,1% ja pohjanläheisen veden fosforipitoisuudet vastaavasti keskimäärin 0,3 ja 0,08 mg/l. Erot ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä ($p < 0,001$, t-test).



Viron puolelta vuonna 1999 löydettyjen pohjaeläimiä vailla olevien näyteasemien pohjanläheisen veden happipitoisuudet eivät olleet poikkeuksellisen alhaisia. Kyseisten neljän aseman pohjanläheisen veden fosforipitoisuudet olivat kuitenkin muita näyteasemia korkeampia mikä viittaa paikalliseen sisäisen kuormituksen potentiaaliin myös Viron rannikolla.

4.2. Orgaanisen aineksen määrä sedimenteissä ja sedimentin vesipitoisuus

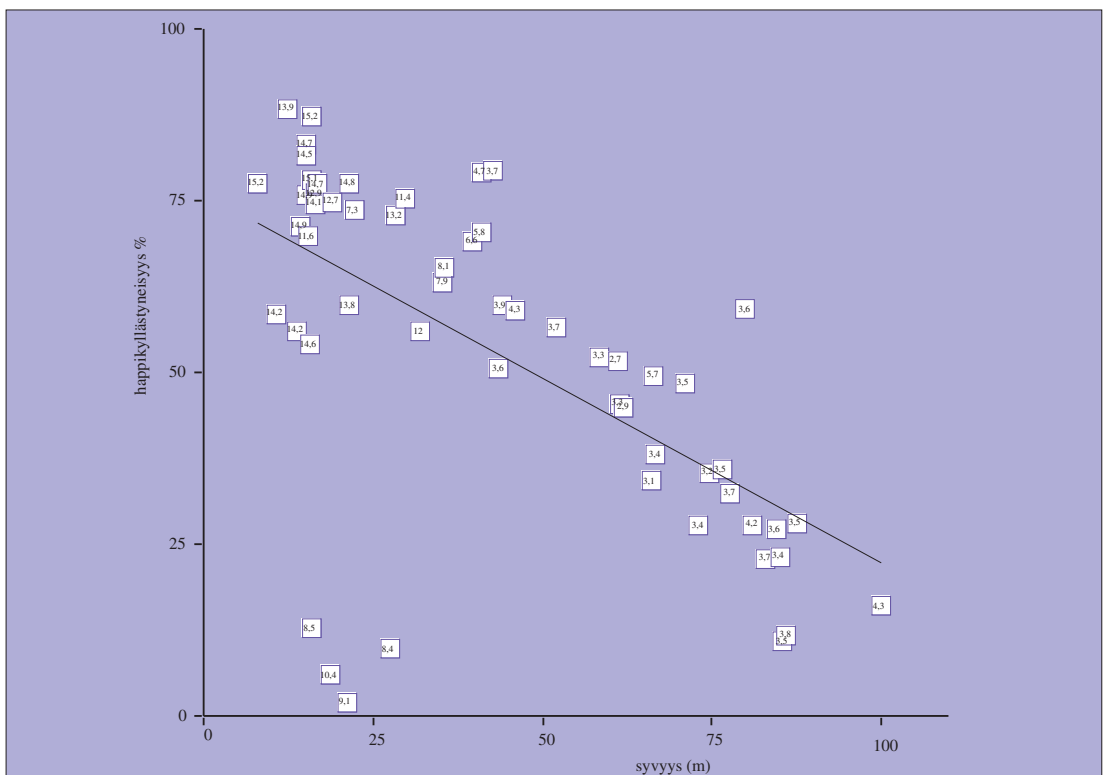
Orgaanisen, eloperäisen aineksen määrä sedimenteissä oli Suomen puolella (< 50 m syvyydellä) keskimäärin 8,6%, avomerellä keskimäärin 7,6% ja Viron rannikolla 1,1%. Vastaavasti sedimentin vesipitoisuus Suomen rannikolla oli keskimäärin 64%, avomerellä myös keskimäärin 64% ja Viron puolella selkeästi alempi, keskimäärin 27%.

Pohjaeläinten yksilömäärä biomassassa ja lajimäärä vähenee sedimentin eloperäisen aineen pitoisuuksien kasvaessa (kuva 6).

4.3. Pohjanläheisen veden happipitoisuus

Tarkasteltaessa koko tutkimusaluetta (syvyysalue 0 - 100m) pohjanläheisen veden happipitoisuuden ja veden syvyyden välillä on selkeä lineaarinen korrelaatio ($r = -0,59$, $p < 0,001$, kuva 8). Happipitoisuudet pienenevät syvyyden kasvaessa. Suomen ja Viron rannikoilla (syvyysvyöhykkeellä <50m) ei ole lineaarista yhteyttä happipitoisuuksien ja syvyyden välillä. Rannikkoalueilla muiden morfometrinen olosuhteiden vaikutukset veden virtauksiin ja merenpohjan happitilanteeseen ovat ilmeisesti ratkaisevia, eikä yhteyttä syvyyteen ole selvästi erotettavissa.

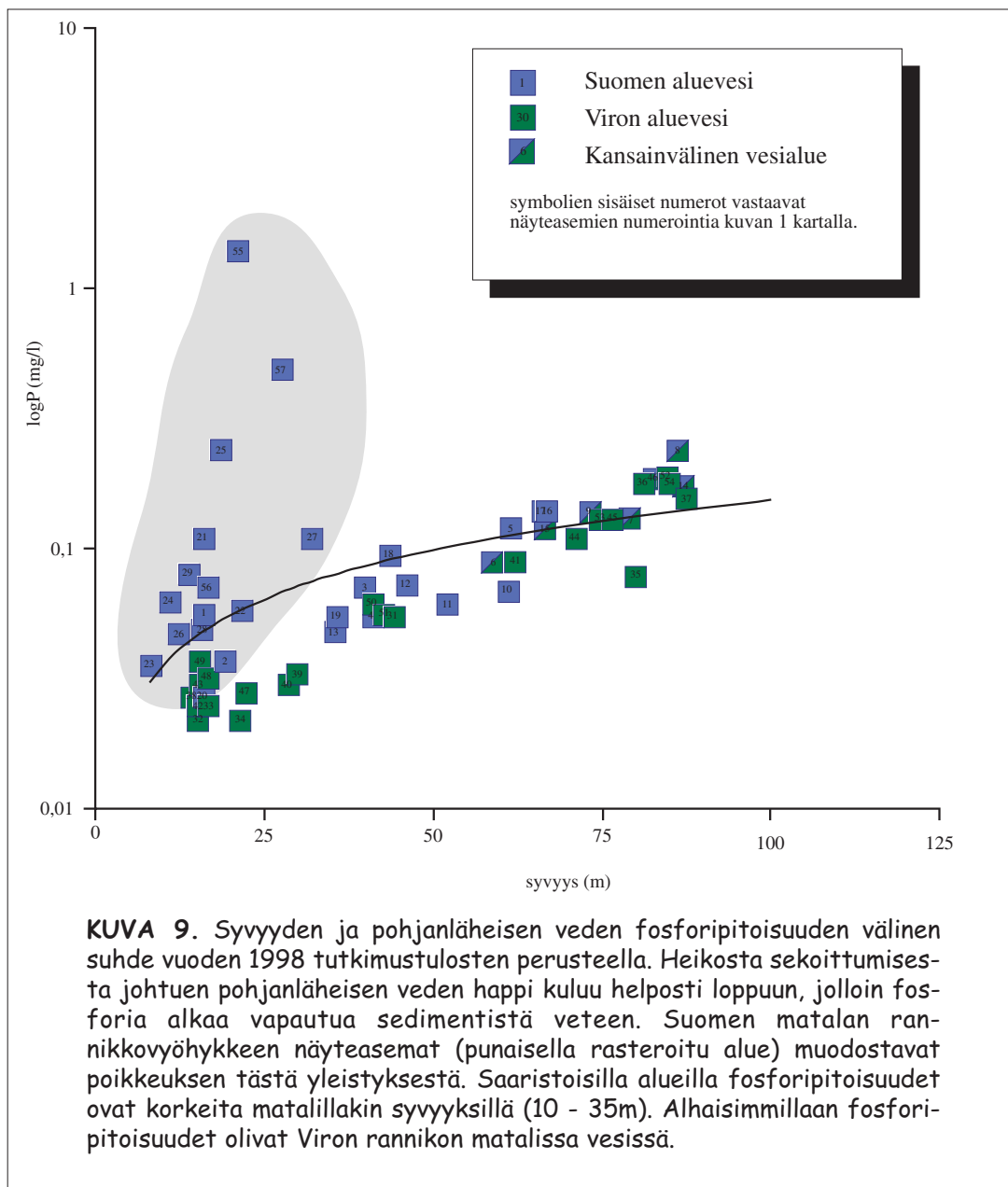
Suomen puoleisella rannikolla pohjanläheisen veden happikyllästysaste oli keskimäärin alhaisempi kun Viron rannikolla; keskimäärin 56% (kuva 7). Viron rannikolla happikyllästysaste oli 74 % (rannikkojen ero on tilastollisesti merkitsevä, $p < 0,05$, t-test). Yli 50 m syvillä avomerialueilla pohjanläheisen veden hapen kyllästysaste oli 35 %.



KUVA 8. Syvyyden ja pohjanläheisen veden hapen välinen suhde vuoden 1998 tutkimustulosten perusteella. Happipitoisuudet alenevat syvyyden kasvaessa sillä veden sekoittumisolosuhteet heikkenevät. Heikosta sekoittumisesta johtuen pohjanläheisen veden happi kuluu helposti loppuun. Arvot symbolien sisällä ovat pohjanläheisen veden lämpötiloja.

4.4. Pohjanläheisen veden fosforipitoisuus

Suomen rannikolla pohjanläheisen veden kokonaisfosforipitoisuus oli keskimäärin 0,156 mg/l. Viron puolella fosforia oli keskimäärin 0,036 mg/l. Pääpiirteissä fosforipitoisuudet nousevat syvyyden kasvaessa, sillä veden happipitoisuudet heikkenevät syvyyden kasvaessa (kuva 9). Suomen matalan rannikkovyöhykkeen näyteasemat muodostavat kuitenkin poikkeuksen tästä yleistyksestä. Suomen saaristoisilla alueilla fosforipitoisuudet ovat korkeita matalillakin syvyyksillä. Heikosta sekoittumisesta johtuen pohjanläheisen veden happi kuluu helposti loppuun, jolloin käynnistyy kemiallinen reaktio, joka liuoittaa pohjasedi-

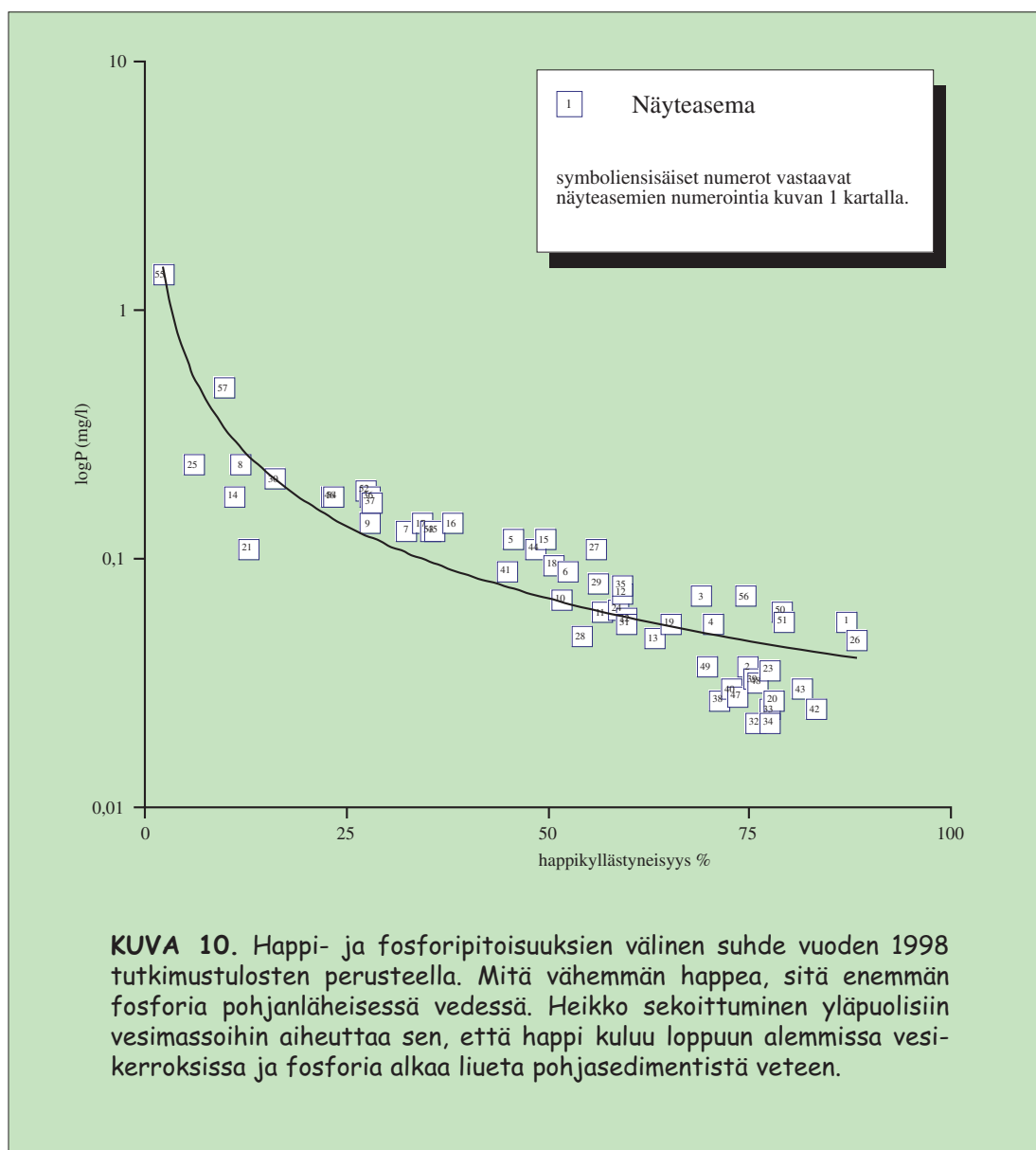


mentin fosforivarastoja veteen (sisäinen kuormitus). Alhaisimmillaan fosforipitoisuudet olivat Viron rannikon matalissa vesissä.

Suomen puolella pohjanläheisen veden happi- ja fosforipitoisuuksien välillä vallitsee korrelaatio ($r = -0,67$, $p < 0,001$, kuva 10 ja 11). Mitä vähemmän happea sitä enemmän fosforia. Viron puolella tilastollista yhteyttä happipitoisuuksien ja fosforipitoisuuksien välillä ei ilmennyt.

4.5. Näkösyvyys

Suomen rannikkoalueella näkösyvyys oli keskimäärin 3 m (maks. 5,5 m). Viron rannikkoalueella näkösyvydet olivat keskimäärin 6 m (maks. 11 m).

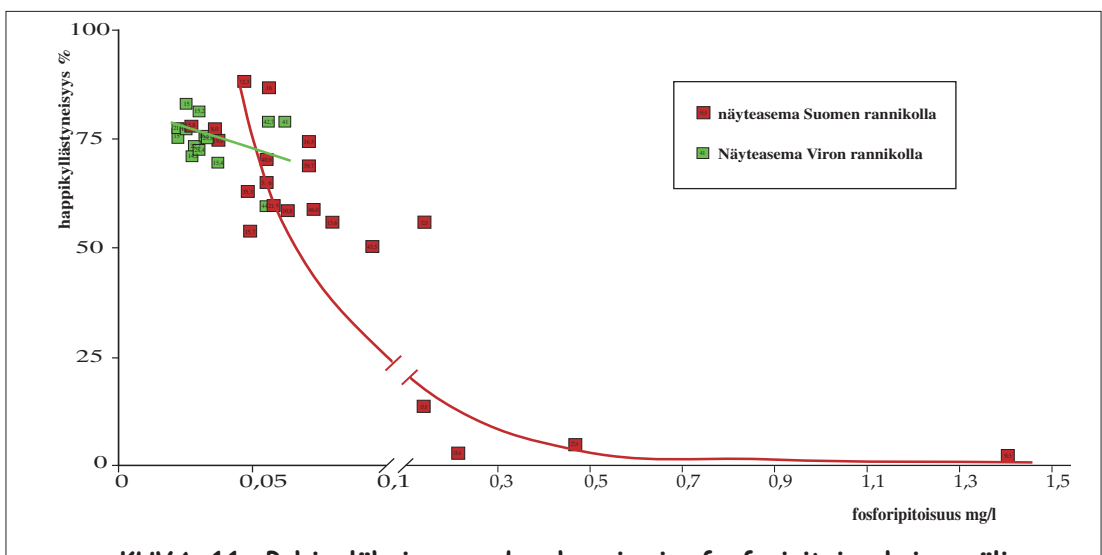


5 Tulosten tarkastelu

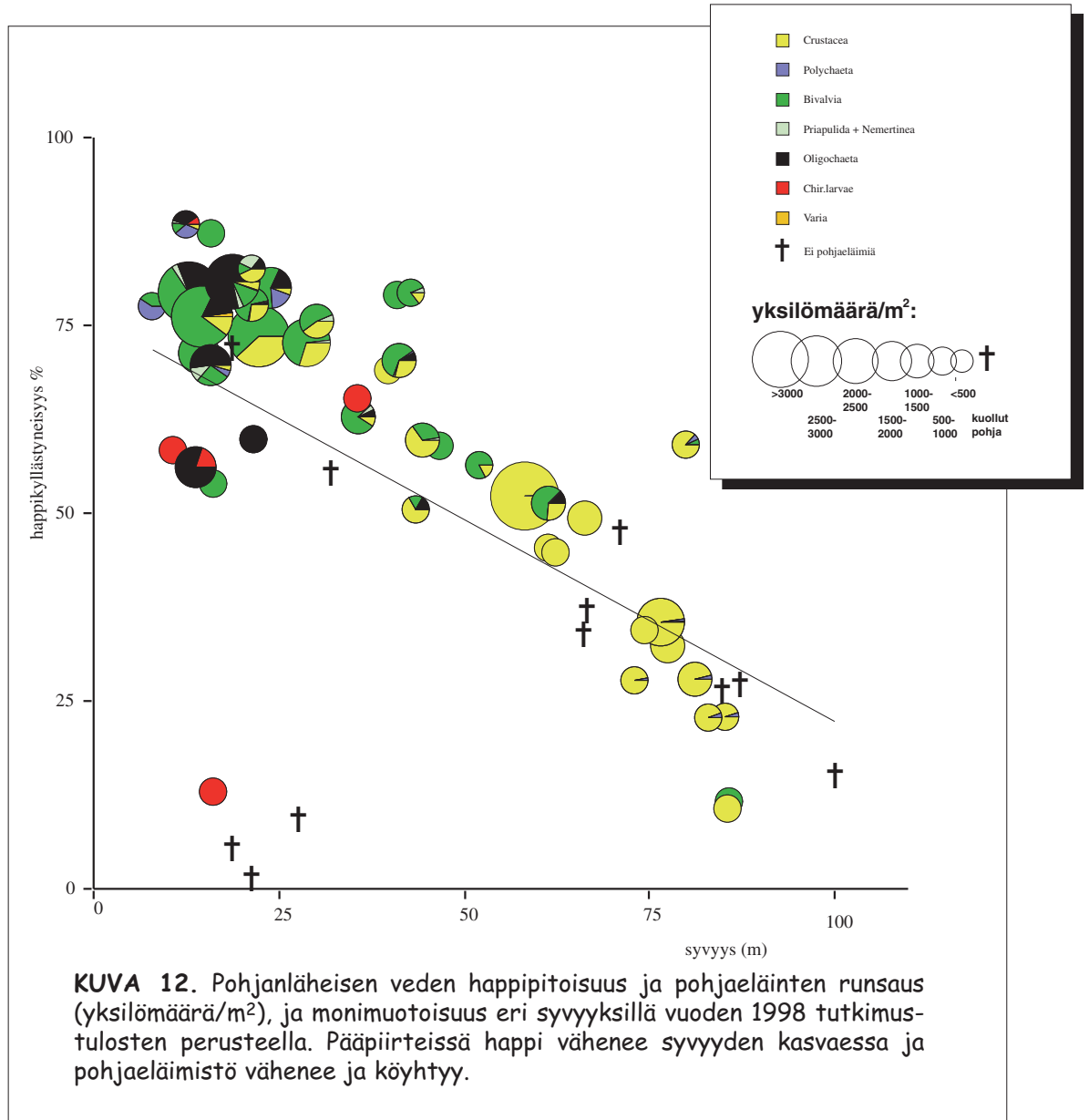
5.1. Pohjaeläimet

Tässä tutkimuksessa vertasimme keskenään Suomen ja Viron eriluonteisia rannikkoja (<50 m syvät rannikkovyöhykkeet). Viron rannikon pohjaeläimistön lajimäärä oli suurempi, pohjaeläimistö oli runsaampaa ja pohjaeläimistön biomassassa oli suurempi. Vastaavasti Suomen puolen näyteasemien pohjaeläimistö oli köyhtynyt ja pohjaeläimistö puuttui monasti kokonaan. Tämä kertoo siitä, että pohjaeläimistölle epäedulliset vähähappiset olosuhteet ovat niin useasti toistuvia tutkimusalueen Suomen puoleisella rannikolla, että ne vaikuttavat kielteisesti pohjaeläinten esiintymiseen Suomen puolella. Tulosten perusteella tällaiset olosuhteet ovat harvinaisempia Viron puolella (kuva 5).

Tutkimusalueen Suomen puoleisella alueella rehevöityminen näyttää ohittaneen vaiheen, jolloin lievä rehevöityminen johtaa pohjaeläimistön runsastumiseen (Cederwall ja Elmgren 1980, Larsson ym. 1985, Elmgren 1989, Bonsdorff 1997, 1997a). Suomen puoleisella alueella rehevöityminen on ilmeisesti edennyt niin pitkälle, että laajat alueet alkavat olla elinkelvottomia pohjaeläimille (vertaa Valkama ja Anttila-Huhtinen 2000, Mankki 2001).



KUVA 11. Pohjanläheisen veden happi- ja fosforipitoisuuksien välinen suhde Suomen ja Viron rannikoilla (<50m syvyydellä) vuoden 1998 tutkimustulosten perusteella. Suomen rannikolla on tilastollisesti merkitsevä yhteys alhaisten happipitoisuuksien ja korkeiden fosforipitoisuuksien välillä ($r = -0,67$, $p < 0,001$). Viron puolella ei ollut yhteyttä hapen ja fosforipitoisuuksien välillä ja happitilanne oli pääsääntöisesti hyvä.



5.2. Happi, fosfori ja sisäinen kuormitus

Tutkimusalueen Suomen puolella pohjanläheisen veden happipitoisuus oli alhaisempi ja pohjanläheisen veden fosforipitoisuus korkeampi kuin Viron puoleisella rannikolla. Suomen rannikolla esiintyi voimakasta happivajetta pohjan läheisissä vesikerroksissa matalissakin vesissä (15 - 30 m) ja paikoin happi oli lähes täysin loppu. Viron rannikolla sitä vastoin happitilanne tutkimusajankohtana oli hyvä kaikissa syvyyksissä. Hapen loppuminen pohjalta saa aikaan ravinteiden, erityisesti fosforin liukenemistä pohjaliejusta vesimassaan. Suomen rannikolla oli myös selkeä yhteys alhaisten happipitoisuuksien ja korkeiden fosforipitoisuuksien välillä mikä antaa viitteitä siitä, että sisäinen kuormitus on merkittävä tekijä Suomen rannikkoalueella matalissakin vesissä. Viron rannikolla yhteyttä pohjanläheisen veden happi- ja fosforipitoisuuksien välillä ei ilmennyt.

5.3. Sedimentin laatu

Sedimentin laadussa (sedimentin pintakerroksen eloperäisen aineen pitoisuuksissa) todettiin selkeitä eroja tutkimusalueen eri osien välillä. Syvillä avomerialueilla pohjien eroosio on vähäisempää ja pohjille kerääntyy eloperäistä ainesta. Suomen puolella runsaat saaret ja matalikot suojaavat pohjia eroosiolta ja pohjat ovat pääasiassa pehmeitä orgaanisesta aineesta koostuvia liejupohjia. Viron puolella saaret ja matalikot puuttuvat lähes kokonaan ja pohjat viettävät melko tasaisesti kohti Suomenlahden syvää keskiosaa. Tämä mahdollistaa voimakkaamman pohjien eroosion ja hyvän veden vaihtuvuuden rannikkoalueiden ja ulappa-alueiden välillä eikä pohjille kerry runsaasti eloperäistä ainesta. Suomen rannikon pohjat sitä vastoin varastoivat suuria määriä eloperäistä ja ravinnepitoista ainesta.

5.4. Morfometrian ja kuormituksen yhteisvaikutukset rannikon tilaan

Tutkimusalueen Suomen puoleinen ja Viron puoleinen alue ovat luonteeltaan hyvin erilaiset. Suomen puolella rannikko on varsin saaristoinen ja sokkeloinen ja matala rannikkovyöhyke ulottuu 3 - 5 kertaa kauemmas avomerelle kun Viron puolella (kuva 5 sivulla 9). Viron puolella saaret ja matalikot puuttuvat lähes kokonaan ja pohjat syvenevät melko tasaisesti kohti Suomenlahden syvää osaa joka sijaitsee suhteellisen lähellä Viron rannikkoa. Tämä mahdollistaa hyvän veden vaihtuvuuden rannikon läheisten alueiden ja ulappa-alueiden välillä Viron puolella.

Suomen rannikolla sijaitsevien kuormituslähteiden vaikutukset muodostavat pitkän gradientin sisäsaaristosta avomerelle. Viron puolella sijaitsevien kuormituslähteiden vaikutusvyöhyke on lyhyt ja gradientti jyrkkä, sillä avomerivesi huuhtelee Viron puoleista rannikkoa ilman vedenvirtauksia estävää saaristoa. Paikallisten kuormituslähteiden vaikutukset ovat tästä syystä huomattavasti vähäisempiä Viron rannikolla kuin Suomen rannikolla, sillä Viron rannikolla päästöt sekoittuvat ja laimenevat nopeasti Suomenlahden syvien osien suuriin vesimassoihin. Suomen rannikolla tilanne on toinen. 30 - 40 km leveä matala vyöhyke on esteenä ulappavesien vaikutuksille ja jääkausien muovaamassa matalan ja sokkeloisen saariston lomassa ovat paikallisten päästölähteiden vaikutukset merkittäviä. Tutkimusalueelle laskevat joet tuovat jatkuvasti yhdyskuntien,

teollisuuden ja maatalouden kuormitusta saariston sisäisimpiin osiin heikentäen kaikkien saaristovyöhykkeiden tilaa. Yhdessä suoraan saaristoon kohdistuvan yhdyskuntien, teollisuuden, kalanviljelyn ja maatalouden kuormituksen kanssa ovat ne voimakkaasti vaikuttaneet saaristovesien tämänhetkiseen heikkoon tilaan.

Paikallisen kuormituksen suurempaan vaikutukseen Suomen saaristoisella rannikolla viittaa myös se, että vaikka tutkimusalueen Suomen- ja Viron puoleiset alueet sijaitsevat samalla etäisyydellä suurista kuormituslähteistä (Pietari, Neva) on Suomen puolinen alue silti selkeästi heikommassa kunnossa rehevöityneisyyden suhteen. Avomerialueen vesi on pääsääntöisesti vähäravinteisempaa kuin rannikkovedet ja sekoittuessaan rannikkovesiin ne yleensä laimentavat paikallispäästöjä ja kohentavat siten rannikkovesien veden laatua. Pietarin ja Nevan päästöjen vähetessä tämä laimennusvaikutus olisi suurempi ja luultavasti ainakin Suomen ulomman saariston veden laatu paranisi jonkin verran. Suomenlahden kokonaisuutelle Pietarin ja Nevan päästöjen vähennyksillä on suuri merkitys.

6 Yhteenveto

Tässä tutkimuksessa verrattiin Suomen ja Viron rannikkojen pehmeiden pohjien pohjaeläimistöä, veden laatua ja pohjasedimenttejä keskenään. Tarkoituksena oli selvittää heijastuuko rannikkojen morfometriset erilaisuudet alueiden eliöstöön, pohjien happitilanteeseen ja sisäisen kuormituksen esiintymisedellytyksiin.

Tutkimuksen tulokset osoittivat, että vesien ja pohjien tila tutkimusalueen Suomen puoleisella alueella on selvästi heikompi ja että sisäinen kuormitus on ilmeinen ongelma Suomen rannikolla (katso kuvaa sivulla 13). Tämä on seurausta siitä, että Suomen puolella rannikko on varsin saaristoinen ja sokkeloinen. Viron puolella saaret ja matalikot puuttuvat lähes kokonaan ja pohjat syvenevät tasaisesti kohti Suomenlahden syviä osia. Tämä mahdollistaa paremman veden vaihtuvuuden rannikkoläheisten alueiden ja ulappa-alueiden välillä Viron puolella. Viron rannikon matalissa vesissä fosforipitoisuudet olivat koko tutkimusalueen alhaisim-

mat korkeimpien pitoisuuksien esiintyessä Suomen rannikon matalissa vesissä. Vesien näkösyvydet olivat mittausajankohtina keskimäärin kaksinkertaiset Viron rannikolla Suomen rannikkoalueeseen verrattuna.

Suomen rannikolla saaret ja matalikot estävät veden vaihtuvuuden, pohjat liejuuntuvat, happi kuluu ajoittain loppu, laajat alueet autioituvat pohjaeläimistä ja hapettomissa olosuhteissa vapautuu ravinteita liejusta (katso kuva 13 sivulla 19). Tutkimusalueen Suomen puoleinen rannikko on tästä syystä paljon herkempi pilaantumaan kuin Viron rannikko joka kestää kuormitusta huomattavasti paremmin. Tutkimusalueen Suomen puoleisen osan huono kunto onkin merkittävältä osalta seurausta paikallisista päästöistä. Tilanteen korjaamiseksi tarvitaan alueen kuormituksen voimakasta leikkaamista tasolle joka on huomattavasti nykyistä pienempi ja saaristovesien sietokyvyn mukainen.

7

Viiteluettelo

Andersin, A.-B. & Sandler, H. 1991. Macrobenthic fauna and oxygen deficiency in the Gulf of Finland. Mem. Sov. Fauna Flora Fenn. 67.

Cederwall, H. & Elmgren, R. 1980. Biomass increase of the benthic macrofauna demonstrates eutrophication of the Baltic Sea. *Ophelia*, suppl. 1.

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).

Elmgren, R. 1989. Man's impact on the ecosystem of the Baltic Sea: energy flows today and at the turn of the century. *Ambio* 18.


HELCOM, 1996. Third periodic assesement 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.f.

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

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

- 
- Henriksson, M. & Myllyvirta, T. 1997. Vattenmiljöns tillstånd i Pellinge skärgårdsområde. Mellanrapport 1997. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.f.
- Kuusisto, E (toim.). 2001. Jokien mereen kuljettamat ravinnemäärät vuosina 1970-1999. Ympäristö 2. 2001. Ympäristöministeriö. Suomen ympäristökeskus.
- 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.
- Larsson, U., Elmgren, R., Wulf, F., 1985. Eutrophication and the Baltic Sea: causes and consequences. Ambio 14.
- Lehtonen, E & Haavisto, T. (toim.) 1997. Uudenmaan ympäristöohjelma 2005. Alueelliset ympäristöjulkaisut. Uudenmaan ympäristökeskus. ISBN 952-11-0137-7.
- Mankki, J. 2001. Pyhtään ja Kotkan merialueen kalankasvatuslaitosten pohjaeläintarkkailun yhteenveto vuodelta 1997. Kymijoen vesiensuojeluyhdistys ry:n tiedonantoja No 89/2001. ISSN 0358-0342.
- Möbius, K. 1873. Die wirbellosen Thiere der Ostsee. Komm. Wiss. Unters. Dt. Meere, Berlin, Jahresber. 1.
- Pitkänen, H. 1994. Eutrophication of the Finnish coastal waters: Origin, fate and effects of riverine nutrient fluxes. Publications of the Water and Environment Research institute. National Board of Waters and the Environment, Finland. No. 18.
- Pitkänen, H. 1997. Extensive deep water oxygen deficit and benthic phosphorous release in the eastern Gulf of Finland on late summer 1996. Suomen ympäristökeskuksen monistesarja 105.

- 
- Pitkänen, H., Puolanne, J., Pietarila, M., Lääne, M., Loigu, E., Kuslap, P. & Raia T. 1988. Pollution load on the Gulf of Finland in 1982-1984. A report of studies under the Finnish-Soviet Working Group on the Protection of the Gulf of Finland. (Suomenlahden kuormitus vuosina 1982-1984. Tiivistelmä). Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja no. 22.
- Pitkänen, H., Kondratyev, S., Lääne, A., Gran, V., Kauppila, P., Loigu, E., Marcovets, I., Pachel, K., & Rummyantsev, V. 1997. Pollution load on the Gulf of Finland from Estonia, Finland and Russia in 1985-1995. Suomen ympäristökeskuksen monistesarja 105.
- Pitkänen, H. 1999. Suomenlahden tila ei ole parantunut. Ympäristö 2. 1999. Ympäristöministeriö. Suomen ympäristökeskus.
- Segestråle, S.G. 1933. Studien über die Bodentierwelt in südfinnländischen Küstengewässern. II. Überssicht über die Bodentierwelt, mit besonderer Berücksichtigung der Produktionsverhältnisse. Soc. Scient. Fenn., Comm. Biol. IV.9. 1933b.
- 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. ISSN 0358-0342.

Liite 1.

Näytteenottopäivämäärä, näytealojen sijainti ja näytteenottosyvyys

asema no.
näytteenotto pvm.
lat./long.
syvyys (m)

1	24.8.98	60 15.76N 25 42.74E	16,6
2	25.8.98	60 11.82N 25 52.57E	19,0
3	25.8.98	60 08.30N 25 52.51E	39,7
4	25.8.98	60 04.50N 25 52.60E	40,9
5	25.8.98	60 00.50N 25 52.51E	61,3
6	25.8.98	59 56.85N 25 51.77E	58,5
7	25.8.98	59 52.09N 25 52.21E	77,7
8	25.8.98	59 49.11N 25 24.66E	86,0
9	25.8.98	59 52.89N 25 24.77E	73,0
10	25.8.98	59 56.76N 25 24.79E	61,0
11	25.8.98	60 00.33N 25 24.58E	51,8
12	26.8.98	60 04.68N 25 24.75E	46,0
13	26.8.98	60 08.30N 25 23.19E	35,3
14	26.8.98	59 56.43N 26 21.36E	85,5
15	26.8.98	60 00.30N 26 19.87E	66,4
16	26.8.98	60 04.54N 26 20.50E	66,7
17	26.8.98	60 08.11N 26 20.45E	65,5
18	26.8.98	60 12.15N 26 20.61E	43,5
19	27.8.98	60 15.90N 26 18.29E	35,5
20	27.8.98	60 20.67N 26 20.39E	15,8
21	27.8.98	60 21.40N 26 18.15E	15,8
22	27.8.98	60 21.00N 26 23.91E	21,5
23	27.8.98	60 25.29N 26 16.07E	8,5
24	31.8.98	60 14.32N 25 53.28E	10,8
25	31.8.98	60 14.32N 26 00.32E	18,6
26	31.8.98	60 14.08N 25 50.15E	12,3
27	31.8.98	60 12.08N 25 47.77E	32,0
28	31.8.98	60 12.26N 25 24.90E	15,7
29	2.9.98	60 14.14N 25 24.80E	13,5
30	2.9.98	59 41.36N 25 17.62E	100,0

asema no.
näytteenotto pvm.
lat./long.
syvyys (m)

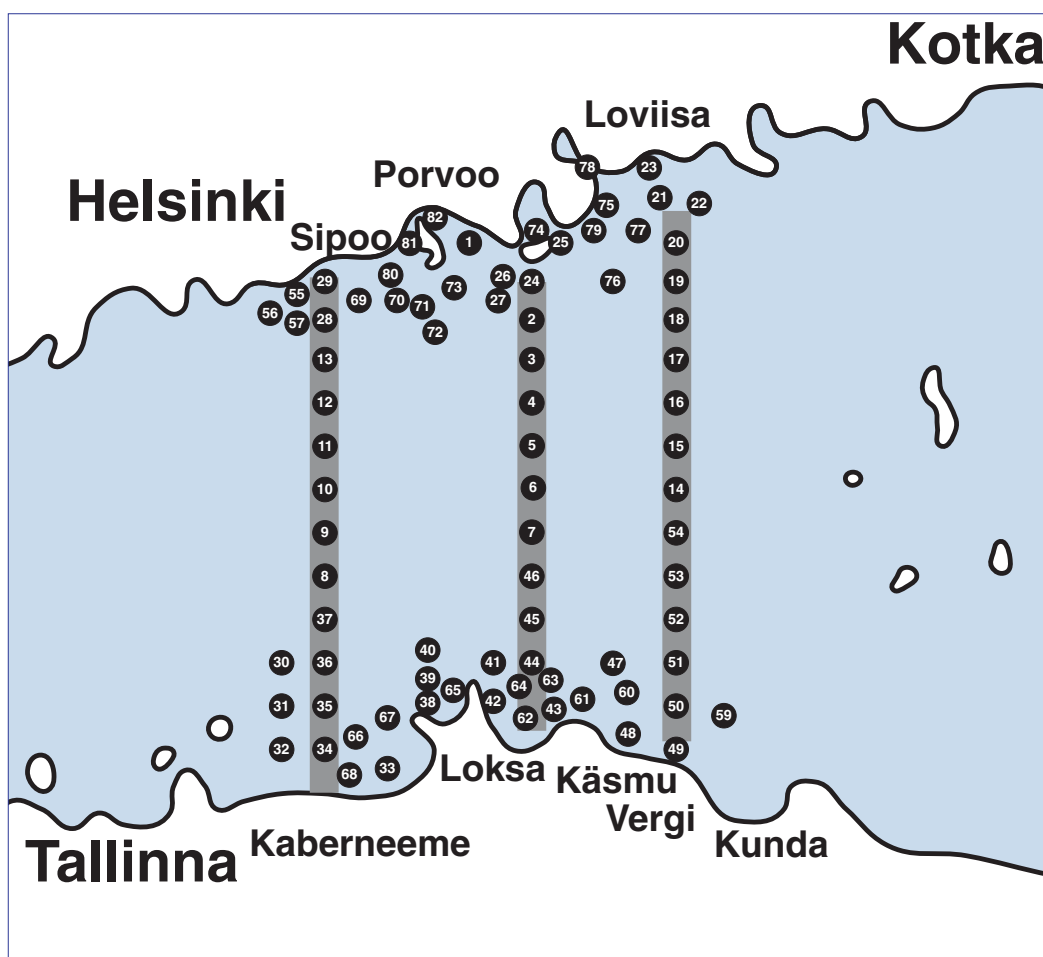
31	2.8.98	59 37.48N 25 17.82E	44,0
32	2.9.98	59 31.87N 25 17.90E	15,9
33	2.9.98	59 32.48N 25 29.26E	16,7
34	2.9.98	59 33.69N 25 24.61E	21,4
35	2.9.98	59 37.53N 25 24.80E	80,0
36	2.9.98	59 41.38N 25 25.00E	81,0
37	2.9.98	59 45.17N 25 24.90E	87,5
38	3.9.98	59 35.56N 25 40.76E	14,2
39	3.9.98	59 37.51N 25 38.52E	29,8
40	3.9.98	59 41.40N 25 38.61E	28,4
41	3.9.98	59 39.56N 25 48.78E	62,0
42	3.9.98	59 36.34N 25 49.46E	15,0
43	3.9.98	59 36.66N 25 56.73E	15,2
44	3.9.98	59 41.32N 25 52.78E	70,2
45	3.9.98	59 45.12N 25 52.67E	76,5
46	3.9.98	59 49.06N 25 52.37E	83,0
47	3.9.98	59 41.10N 26 09.08E	22,2
48	4.9.98	59 36.38N 26 08.76E	16,5
49	4.9.98	59 34.93N 26 20.45E	15,4
50	4.9.98	59 37.67N 26 20.22E	41,0
51	4.9.98	59 41.46N 26 20.48E	42,7
52	4.9.98	59 45.44N 26 20.43E	84,5
53	4.9.98	59 49.26N 26 20.25E	74,6
54	4.9.98	59 52.93N 26 20.44E	85,0
55	6.9.98	60 13.07N 25 21.16E	21,1
56	6.9.98	60 12.45N 25 17.32E	16,5
57	6.9.98	60 11.50N 25 21.93E	26,9
59	5.8.99	59 36.40N 26 24.74E	29,2
60	5.8.99	59 38.49N 26 09.54E	39,0
61	5.8.99	59 36.09N 25 56.42E	15,6

asema no.
näytteenotto pvm.
lat./long.
syvyys (m)

62	6.8.99	59 36.13N 25 50.47E	18,5
63	6.8.99	59 38.00N 25 50.21E	22,4
64	6.8.99	59 37.74N 25 48.57E	21,4
65	6.8.99	59 35.28N 25 39.13E	25,4
66	6.8.99	59 34.82N 25 24.76E	21,4
67	6.8.99	59 40.10N 25 28.25E	42,7
68	6.8.99	59 30.26N 25 22.40E	12,7
69	8.8.99	60 12.30N 25 30.65E	25,5
70	8.8.99	60 11.70N 25 35.20E	24,4
71	8.8.99	60 11.11N 25 36.78E	42,5
72	8.8.99	60 08.64N 25 40.91E	34,7
73	8.8.99	60 11.59N 25 11.73E	25,4
74	9.8.99	60 14.34N 26 00.26E	20,0
75	9.8.99	60 15.84N 26 03.91E	26,0
76	9.8.99	60 15.44N 26 11.97E	49,5
77	9.8.99	60 18.54N 26 10.07E	45,3
78	9.8.99	60 23.30N 26 06.03E	11,2
79	9.8.99	60 18.56N 26 05.40E	10,1
80	10.8.99	60 16.95N 25 32.96E	30,7
81	10.8.99	60 19.71N 25 36.99E	10,3
82	10.8.99	60 22.16N 25 39.17E	2,0

Liite 2

Näyteasemakohtaiset pohjaeläintulokset



Näyteasemien sijainti.

