

Loppuraportti tutkimushankkeesta (KOR)

KALOJEN LISÄÄNTYMISSALUEET SAARISTOMERELLÄ

**Tuula Kohonen, Petri Vahteri, Ulla Helminen,
Mari Sihvonen ja Ilppo Vuorinen**



SEILI Archipelago Research Institute Publications 2

Turku 2004



Hanke on rahoitettu Varsinais-Suomen TE-keskuksen Kalatalouden ohjausrahaston (KOR) tuella.

Saaristomeren tutkimuslaitos
Turun yliopiston ympäristön-
tutkimuskeskus
Turku 2004

ISBN 951-29-2699-7
ISSN 1456-4548

Kannen kuva: Sandön. Valokuva: Markku Lappalainen 2001.

Copyright-oikeudet

Liitteen 3 ortoilmakuva-aineisto: © Maanmittauslaitos, lupanro 622/MYY/03

Ilmakuvat: Markku Lappalainen

Valokuvat: Tuula Kohonen, Petri Vahteri

Sisällys

1. ESIPUHE	4
2. JOHDANTO	6
3. BIOLOGISET TUTKIMUKSET	7
3.1. Kalojen kutualueiden etsintä	7
3.2. Vesikasvillisuustutkimukset	7
3.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu	9
4. GEOLOGISET JA HYDROGRAFISET TUTKIMUKSET	16
4.1. Johdanto	16
4.2. Kenttätutkimukset	16
4.3. Sedimentin fysikaaliset analyysit	18
4.4. Tulokset ja tulosten tarkastelu	19
4.5. Johtopäätökset	59
5. SEDIMENTIN FOSFORITUTKIMUS	61
5.1. Johdanto	61
5.2. Tutkimuksen tarkoitus	61
5.3. Näytteenotto	62
5.4. Laboratorioanalyysit	62
5.5. Tulokset ja tulosten tarkastelu	63
5.6. Johtopäätökset	79
6. ILMAKUVIEN AVULLA TEHTY EROOSIOTUTKIMUS	81
6.1. Johdanto	81
6.2. Viistoilmakuvat	81
6.3. Ortoilmakuvien avulla tehty rantaerosiotutkimus	94
6.4 Johtopäätökset	96
7. SUOJELU- JA KUNNOSTUSMAHDOLLISUUDET	99
7.1. Eroosiosuojaus ja kasvillisuusistutukset	99
7.2. Kalalajikohtaiset suojelu- ja kunnostusmahdollisuudet	104
8. YHTEENVETO	106
LIITTEET 1-4	

1. ESIPUHE

Ilppo Vuorinen

Edellisen tutkimusraportin esipuheessa arvioin tulevaisuuden tärkeiksi aiheiksi kutupohjien kartoituksen laajentamisen koko Saaristomerén alueelle, hapettomien pohjien aiheuttaman sisäisen kuormituksen arvioimisen, kasvillisuusmuutosten pitkän ajan seurannan sekä kutu- ja poikastuotantoalueiden kunnostuksen ja suojelun. Tutkimuksen nyt päättyessä voidaan todeta, että aihepiirien tutkimus on projektissa ollut keskeistä, ja kaikista näistä aiheista on saatu merkittävää uutta tietoa, joissakin tapauksissa ensimmäistä kertaa Saaristomerén tutkimuksen historiassa.

Tutkimuksen edellisessä osassa kartoitettiin kutu- ja poikastuotantoalueita lähinnä Pohjois-Airistolla, joka oli tärkeä alue nimenomaan silakan kutualueiden ja niiden vieritse kulkevan vilkkaan laivaliikenteen takia. Tässä osiossa laajennettiin tutkimusalueita kattamaan kaikki saaristovyöhykkeet sisäsaaristosta (Pitkäsalmi, Haarlansalmi, Paimionlahti ja Vapparn) aina ulkosaaristoon (Utö, Jurmo), sekä erikseen vielä itään välisaariston ja ulkosaariston raja-alueelle Örön ja Dragsfjärdin alueelle. Täten tutkimus edustaa hyvin kaikkia saaristomerellä esiintyviä biotooppeja, vaikkei katakaan kaikkia saaristomerén alueita. Hapettomien pohjien merkitys osoittautui kuitenkin suhteellisen pieneksi itse kutu- ja poikastuotantoalueilla, koska ne miltei kauttaaltaan edustavat eroosiopohjia, joilla fosforipitoisuudet osoittautuivat pieniksi, odotetustikin. Silti sisäinen kuormitus on muissa tutkimuksissa osoittautumassa merkittäväksi rehevöitymisen lisääjäksi koko Saaristomerén alueella ja epäsuorasti vaikuttaa myös kutualueiden kasvillisuuteen.

Suojelu on raportin loppupäätelmissä keskeinen keino suurimpien uhkien vähentämisessä. Tutkijoiden mukaan ravinnekuormituksen kasvu sekä laivaliikenteen aiheuttama eroosio ovat merkittävimmät kutualueiden tulevaisuutta uhkaavat tekijät. Niinpä tutkijat suosittelevat eroosioherkkyyden luokituksen käyttöönottamista laivaväylien varsilla (kuten on käytäntö jo Ruotsissa sekä nopeusrajoituksia erityisen herkkien alueiden kyseessä ollen myös pienveneille (esim. Sandskär ja Sandö). Virtausmittaukset ovat tässä yhteydessä tuottaneet merkittävää uutta tietoa saariston mosaiikkimaisuuden vaikutuksista yksittäisten saarien mittakaavassa. Tutkijoiden mukaan miltei joka saarella on omat virtausolonsa, joita ei siis missään nimessä voi päätellä yleisistä koko Saaristomerelle sovelletuista virtausmalleista. Virtauksien merkityksestä on saatu uutta tietoa myös ilmakuvien avulla. Näitä otettiin toisaalta Örön suunnalta, jotta saadaan materiaalia myöhemmin tehtävää seurantaa varten (seurannassa olennainen aineisto on sinällään ainutlaatuista ennennäkemätöntä mittaustietoa suolapitoisuuksista, lämpötiloista, sedimentin ominaisuuksista, virtauksista sekä ravinteista). Toisaalta ilmakuvaa aineistoa kerättiin myös Nauvon Innamon alueelta, jotta voitiin tarkastella historiallisen vertailuaineiston perusteella laivaliikenteen jo aiheuttamia eroosiomuutoksia (mm. Kolkan saaren koilliskulmasta huuhtoutunut pois yli 15 m vain kuuden vuoden aikana, vuosien 1995 ja 2001 välillä). Yhteenvetona voidaan todeta, että kaikki ihmistoiminta mikä vaikuttaa virtauksiin (penkereet, läjitykset, laivaliikenne) vaikuttaa myös kalojen kutu- ja poikastuotantoalueisiin.

Kasvillisuuden pitkäaikaismuutosten seuranta tuotti selkeän kuvan rehevöitymisen jatkuvasta leviämisestä myös Saaristomeren uloiimpiin osiin. 1990-luvun aikana on rakkolevän pinta-ala vähentynyt yli 70 %, vyöhykkeiden leveys on vähentynyt yli 40 %. Tulos on sitäkin hälyttävämpi kun se todettiin pelkästään ulkosaariston alueella (Nauvon-Korppoon eteläpuolisella merialueella). Samalla alueella samaan aikaan todettiin rihmalevien biomassan lisääntyminen sekä irtonaisten rihmalevien määrän lisääntyminen. Myös punalevien määrät ovat tutkimuksen perusteella lisääntyneet, vaikka tässä esiintyykin lajikohtaisia eroja.

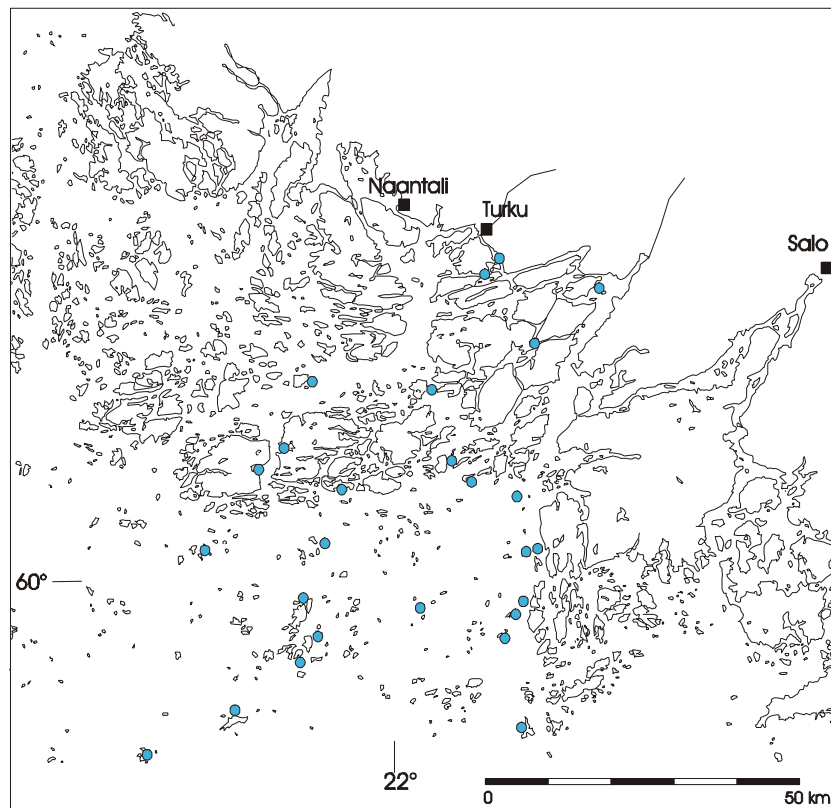
Kutu- ja lisääntymisalueiden kunnostuksen ja suojelun kysymykset liittyvät erottamattomasti yhteen. Jos suojelutoimenpiteitä ei toteuteta, on kunnostuskin pitkällä tähtäimellä tehotonta. Lajikohtaisesti tulokseksi jäi, että kampelan kutupohjien kunnostus ei ole teknisesti aiheellista. Kampelan lisääntyminen ei riipu yksittäisten kutupohjien kunnosta, koska laji lisääntyy erittäin laajoilla alueilla ja lisääntyminen voidaan turvata vain koko Saaristomeren suojelulla rehevöitymiseltä. Siian suhteen kunnostus voitaisiin tehdä rajoitetuilla kutualueilla, mutta tätä taas haittaa kutualueiden löytymisen vaikeus eli alueiden vähyys. Ahvenen kutupaikkoja löydettiin ulkosaaristossa yllättävästi matalien lahtien ulkopuolelta ja niiden suhteen ei mainittavia kunnostustoimenpiteitä ehdoteta. Kolmipiikin lisääntyminen todettiin kyllä monin paikoin, mutta puutteellisesti, siksi ettei pesiä löydetty. Toisaalta ja rehevöitymisen kehityksen suosimana kuhaa saadaan nykyisin jo Nötön tasolta ja sen kutu- tai poikasten esiintymisalueiden kunnostus ei ole ajankohtainen kysymys. Tulevaisuutta voidaan siis ennakoida toteamalla, että nykyinen lisääntyvä rehevöityminen tulee jatkuessaan edelleen vähentämään kampelan, siian ja ahvenen tuotantoa, koska se lisää rihmaleviä ja vähentää rakkolevän määrää Saaristomerellä.

2. JOHDANTO

Saaristomeri on tärkeä kalojen lisääntymisalue. Siellä lisääntyy sekä kalataloudellisesti merkittäviä kalalajeja että niille tärkeitä ravintokaloja. Kalakantojen säilymiselle on tärkeää, että kalojen kutu- ja poikastuotantoalueille ei kohdistu kalojen lisääntymistä vaarantavia haittavaikutuksia. Lisääntymisalueiden olosuhteiden heikentyminen johtuu pääasiassa ihmistoiminnasta. Saaristomerellä kalojen lisääntymistä vaarantavat erityisesti rehevöitymisen ja vilkkaan laivaliikenteen aiheuttamat ympäristömuutokset.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää Saaristomerellä, erityisesti Nauvon ja Korppoon eteläpuolisella alueella, kutevien kalojen lisääntymisalueiden sijaintia ja häiriötekijöiden vaikutusta lisääntymiseen. Tutkimuksessa pyrittiin paikallistamaan siian, kampelan, ahvenen, kuhan ja kolmipiikin kutualueita. Kartoituksen yhteydessä tutkittiin kutualueiden tilaa ja kutualueilla tapahtuvia ympäristömuutoksia kasvillisuuden pitkäaikaislinjojen, sedimenttinäytteiden, kaikuluotausten, hydrografisten mittausten ja ilmakuvien avulla. Valituilta alueilta tutkittiin pohjasedimenttiin varastoituneiden fosforifraktioiden pitoisuuksia. Mittaus- ja näytepaikkojen sijainti on esitetty kuvassa 1.

Tutkimuksessa kerättyjen tietojen avulla arvioidaan kalojen kutupaikkojen nykytilaa ja tulevaa kehitystä. Tutkimuksen tuloksena saadaan toimenpide-ehdotuksia kalojen luontaisen lisääntymisen turvaamiseksi.



Kuva 1. Tutkimusalueen näytteenotto- ja mittausasemat.

3. BIOLOGISET TUTKIMUKSET

Petri Vahteri

3.1 Kalojen kutualueiden etsintä

Kalojen kutualueita etsittäessä päätimme ottaa yhteyttä tutkimusalueella liikkuviin ja kalastaviin henkilöihin. Mahdollisia kutualuetietoja pyrittiin alustavasti keräämään tutkimusalueen kalastajia haastatteleamalla. Haastattelut oli tarkoitus suorittaa yhteistyössä Kala- ja Riistatalouden tutkimuslaitoksen (RKTL) AQCESS-projektin kanssa. Yhteistyön avulla pyrittiin säästämään kustannuksia ja välttämään usean eri haastattelijan liikkuminen alueella samanaikaisesti. AQCESS-projektin keräämä haastattelutietomäärä kasvoi kuitenkin kokonaisuudessaan niin suureksi, että haastattelijat eivät ehtineet kysellä kutualuetietoja. Tämän jälkeen yritimme saada apua kutualueiden etsintään tutkimusalueen rekisteröidyiltä ammattikalastajilta. Lähetimme ensin alueen kaikille ammattikalastajille tutkimusta esittelevän kirjeen, jossa kerroimme tulevasta henkilökohtaisesta yhteydenotosta. Tämän jälkeen soitimme jokaiselle kalastajalle ja haastattelimme heitä kalastusalueella kutevista kaloista. Ammattikalastajien lisäksi kutualuetietoja kerättiin haastatteleamalla tutkimusalueen virkistyskalastajia, sukelluskalastajia sekä Paraisten Kala- ja ympäristöinstituutin henkilökuntaa.

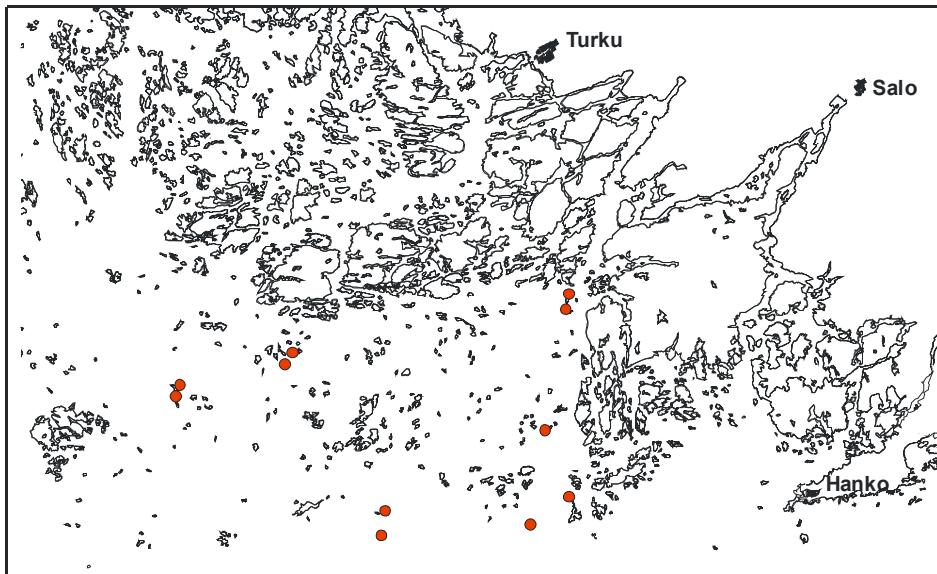
Haastattelujen, sekä alueelta aikaisemmin julkaistun kirjallisuuden perusteella, valitsimme kohteet etsinnöille (Himberg 1995, Kohonen et al. 2001, Koli 1998). Ennen tutkimusalueelle lähtöä hankimme lisätietoa kartta- ja ilmakuvatulkintojen avulla. Kutualueiden etsintöjä suoritettiin VA-videokameran, vesikiikarin sekä laitesukeltajien avulla. Kutualueiden etsintöihin osallistui tutkimuksen työllistämien henkilöiden lisäksi Paraisten Kala- ja ympäristöinstituutin harjoittelija (yht. 3 kk työaika), Turun yliopiston ekologian opiskelijoita (yht. noin 1 kk) sekä yli 35 vapaaehtoista urheilusukeltajaa Saaristomeren sukeltajat ry:stä (yht. noin 3 kk). Etsinnät ajoitettiin kirjallisuudesta saatuihin kalojen kutuajankohtiin ja etsintöjä suoritettiin valituilla potentiaalisilla kutualueilla sääolosuhteiden salliessa. Etsinnöissä pyrittiin kattamaan syvyysvyöhykkeet vesirajasta aina 15 metrin syvyyteen asti. Jokaisella tutkimukseen valitulla potentiaalisella kutualueella käytiin 2 – 5 kertaa. Ensimmäisellä tutkimuskerralla suoritettiin alueiden alustava arviointi, jonka perusteella tarkennettiin etsittäviä alueita seuraavia kenttäkäyntejä varten. Tutkimuksessa keskityttiin ensisijaisesti kampelan, ahvenen, kolmipiikin, karisiian ja kuhan kutupaikkojen etsintään.

3.2 Vesikasvillisuustutkimukset

Tutkimuksessa käytettiin apuna Saaristomeren kansallispuiston kartoituksen yhteydessä alueelle vuosina 1993 ja 1994 perustettuja vedenalaisen kasvillisuuden pitkäaikaisseurantalinjoja. Linjoja oli alkujaan perustettu 12 kappaletta, mutta vain 11 niistä voitiin luotettavasti käyttää kasvillisuuden pitkäaikaismuutosten seurantaan. Kasvillisuuslinjojen sijainnit on esitetty kuvassa 1. Linjat kartoitettiin uudelleen vuosina

2001 ja 2002. Ne on alkujaan perustettu koville (kallio- ja kivikkorannoille) kasvualustoille, joilla kasvillisuus muodostaa selkeitä vyöhykkeitä eri syvyyksiin. Vanhojen kasvillisuuslinjojen lisäksi perustettiin tutkimusten yhteydessä uusia seurantalintoja tutkimusalueelle.

Seurantalintojen kartoitukset on alusta asti suoritettu Pohjoismaisen ministerineuvoston ohjeiden mukaisesti (Bäck et al. 1998). Linjan alkumerkistä vedettiin 50 metrin köysi linjan suuntaisesti kohden ulappaa, jonka jälkeen linja tutkittiin sukeltamalla. Linjan kasvillisuus jaettiin erillisiin kasvillisuusvyöhykkeisiin tarkastelemalla kasvillisuuden vyöhykerajoja useiden metrien matkalta luotettavan vaihtumissyvyyden löytämiseksi. Tämän jälkeen valittiin satunnaisesti vyöhykkeiden sisältä vähintään kolme neliömetrin ruutua, joilta määritettiin kasvillisuuden peittävyysprosentit. Lisäksi linjojen lähiympäristöä tarkkailtiin satunnaisten lajien ja linjalta esiintyvän kasvillisuuden poikkeamien varalta. Fysikaalisista ominaisuuksista merkittiin muistiin linjan jokaiselta metriltä syvyys, pohjanlaatu sekä kiintoaineksen määrä pohjalla ja kasvillisuudella. Syvyys mitattiin aina 1,5 metriin asti mittatikulla, ja sitä syvemmällä sukeltajan tietokoneella (± 10 cm). Pohjanlaatu merkittiin ruuduilta seuraavasti; kallio (1), kivi >30 cm halkaisija (2), kivi 30 – 10 cm halkaisija (3), sora (4), hiekka (5), hiesu (6) ja muta (7). Kiintoaineksen määrää mitattiin suhteellisella asteikolla yhdestä viiteen. Kiintoaineksen määrä arvioitiin yhdeksi, jos kiintoainesta ei ollut lainkaan tai sitä oli erittäin vähän. Mikäli pohjasta ja kasvillisuudesta irtosi selvästi havaittava määrä kiintoainesta, vesivirtauksen avulla, määritettiin kiintoaineksen määrä kahdeksi. Jos irtoava aines aiheutti vesivirtaukseen selkeän samennuksen, määritettiin kiintoaineksen määräksi kolme. Kun vesivirtauksen läpikuultavuus hävisi, määritettiin kiintoaineksen määrä neljäksi. Kun pohjalla tai kasvillisuudella oli kiintoaineksen ja veden muodostama ohut kerros ("fluffy layer"), määritettiin kiintoainespitoisuus viideksi.

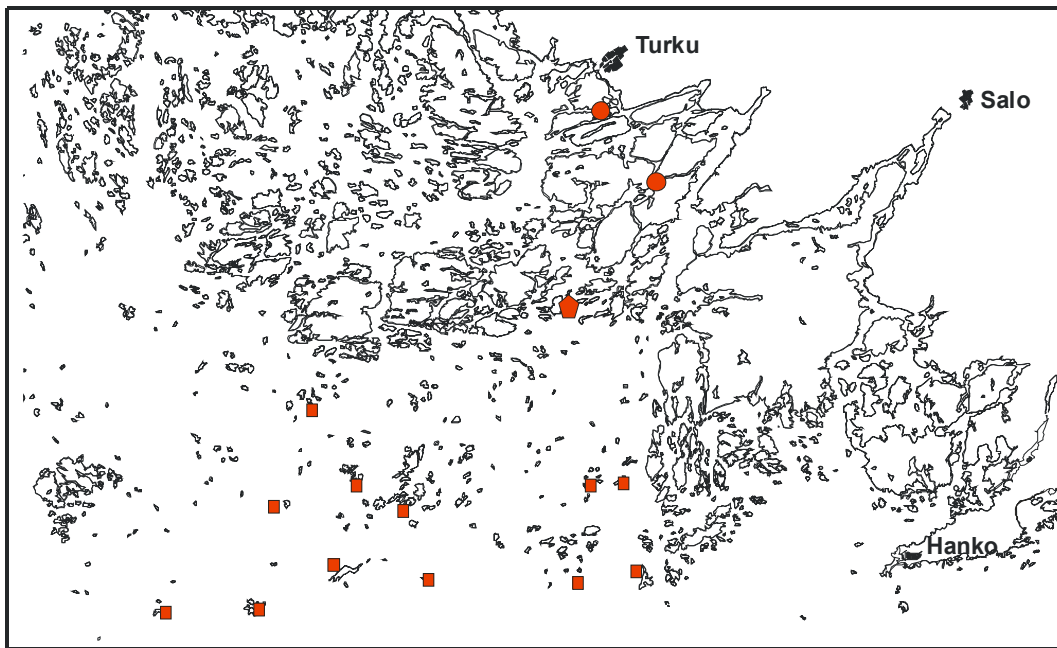


Kuva 1. Kasvillisuuden pitkäaikaisseurantalintoja.

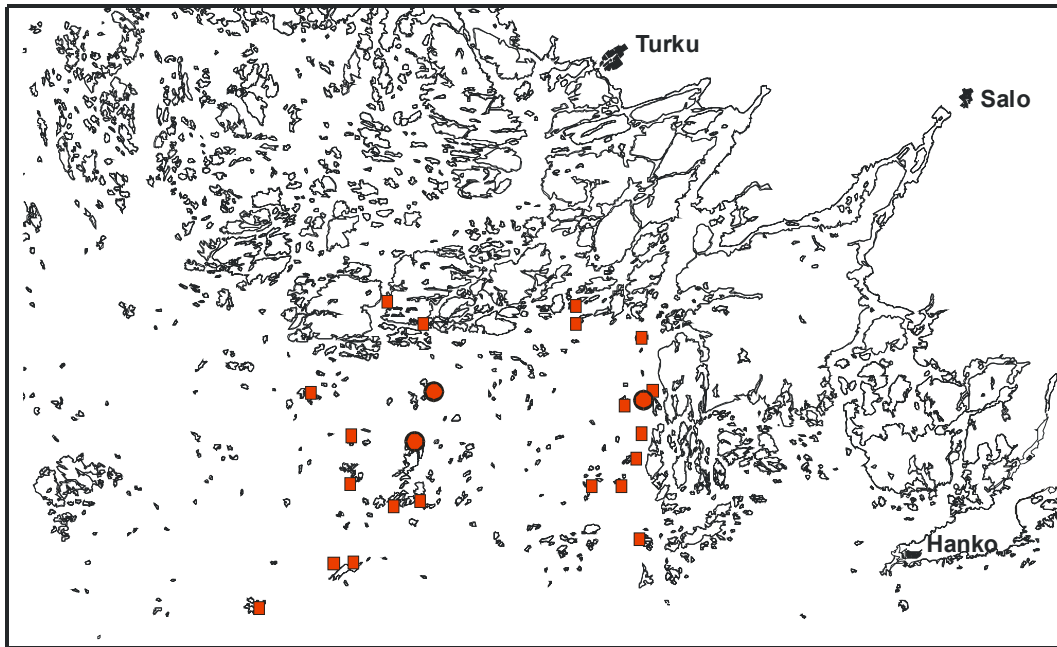
3.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

3.3.1 Kalojen kutualueet

Kutualueiden kartoituksessa katettiin tutkimusalueella potentiaalisia kutualueita yhteensä yli 20 neliökilometriä. Kartoitettua rantaviivaa kertyi yli 200 kilometriä. Kalojen kutualueita löydettiin alueelta useita kymmeniä. Suurimpia kutupaikkoja kalalajeittain esitetään kuvissa 2 ja 3. Lajien lisääntymisalueet olivat selkeästi laajempia ja niihin kuului kutualueista täydellisesti poikkeavia habitaatteja. Yhtenäistä lähes kaikille löydetyille kutualueille olivat suhteellisen kovat ja usein näennäisesti tuulista riippumattomat virtausolosuhteet. Tutkimuksen kohdelajien kutupaikoista on mukaan liitetty lajikohtaiset esittelyt. Näiden lajien lisäksi löydettiin etsintöjen yhteydessä eri simppu- ja tokkolajien, rasvakalan, silakan ja vaskikalojen kutu- ja lisääntymisalueita.



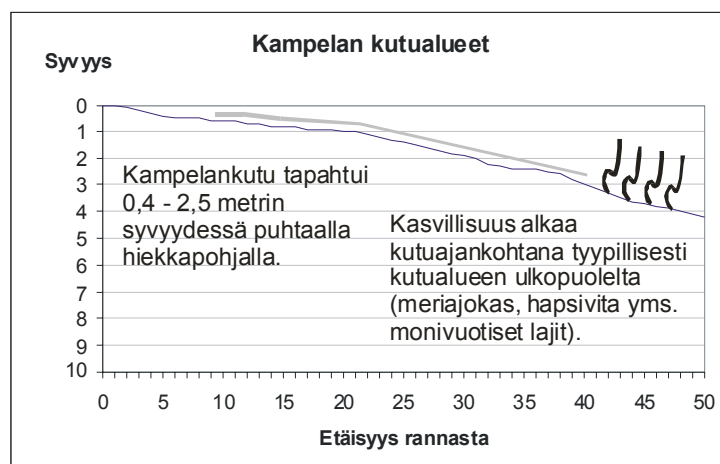
Kuva 2. Ympyrät edustavat todettuja kuhan kutupaikkoja, monikulmio siian kutualuetta ja neliöt kolmipiikin lisääntymisalueita.



Kuva 3. Ympyrät osoittavat todettuja ahvenen kutualueita ja neliöt suurimpia kampelan kutualueita.

Kampela

Kampelan kutualueita löydettiin lähes kaikista osista Saaristomeren kansallispuistoa. Kampelan kutu alkoi toukokuun alkupuolella ja päättyi kesäkuun alussa. Kutu tapahtui kasvillisuudesta puhtaille hiekkapohjille 0,4 – 2,4 metrin syvyyteen. Kutuajankohtana saattoi yhden neliömetrin sisällä olla jopa 8 – 12 kampelaa.

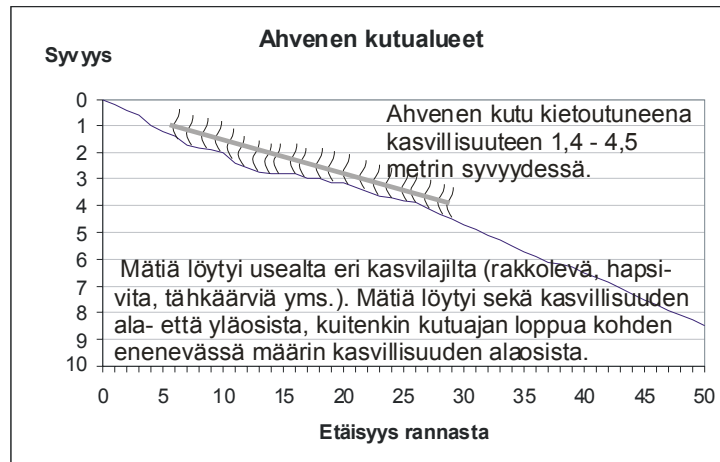


Kuva 4. Kampelan kutualueiden yleisprofiili.

Ahven

Ahvenen kutualueita löydettiin Saaristomeren kansallispuiston alueelta niukemmin. Ahvenen talvehtimiseen ja kutuun liittyvä vaellus vievät pääosan alueen ahvenista

kutemaan väli- ja sisäsaaristoon. Kansallispuiston alueelta löytyi satunnaisesti yksittäisiä mätinauhoja kahdeksalta eri alueelta. Kahdelta eri alueelta löydettiin mätia huomattavasti muita alueita enemmän ja yhdeltä alueelta löydettiin ahvenen mätinauhoja muita alueita laajemmalta alueelta. Alueen sisältä löytyi yksittäisiä mätinauhoja. Kutuajankohta oli kesäkuun puolella välissä, ja se oli selvästi jäljessä ahvenen kutua väli- ja sisäsaaristossa. Mätinauhat oli alueella laskettu tuulille ja aallokalle avoimille rannoille, joidenka läheisyydessä kuitenkin sijaitti suurehkoja matalia alueita. Mätia löytyi 1,5 – 4,0 metrin syvyydestä kietoutuneena putkilokasveihin ja rakkolevään.



Kuva 5. Ahvenen kutualueiden yleisprofiili.

Kolmipiikki

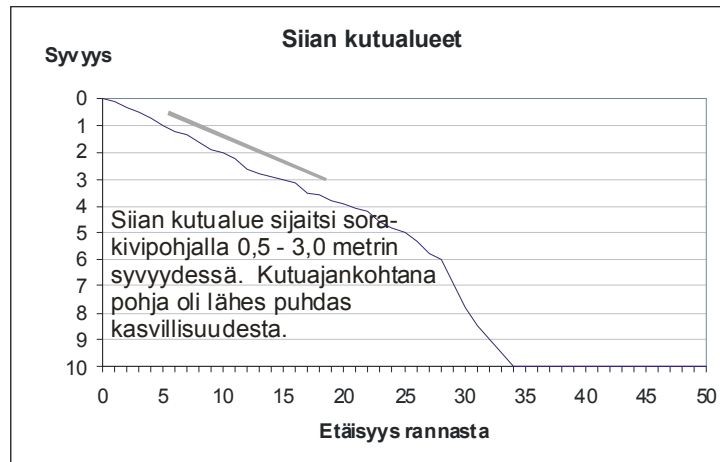
Kolmipiikin lisääntymisalueita löydettiin Saaristomeren kansallispuiston etelä- ja länsiosista, sekä joidenkin luotojen lähetyviltä puiston keskiosista. Etsinnöissä ei löydetty kolmipiikin pesiä eikä mätia. Sen sijaan alueelta löytyi uhittelevia reviiriään suojelevia koiraskaloja ja hieman myöhemmin kolmipiikin poikasia havaittiin parvissa näillä alueilla noin 6-8 mm mittaisina. Vaikuttakin, että itse pesärakennelmaa, ei rehevöityneellä Saaristomeren kansallispuiston alueella pysty rihmalevien seasta havaitsemaan.



Kuva 6. Kolmipiikki. (Valokuva: Petri Vahteri 2002.)

Karisiika

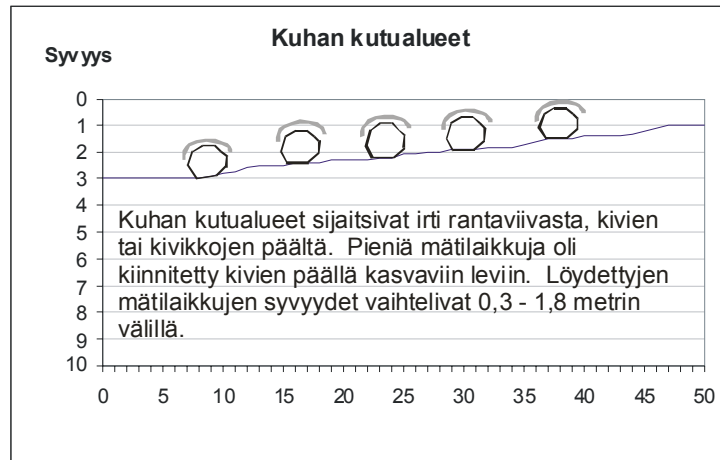
Karisiin kutualueiden etsinnät keskitettiin alueille, joilta siikaa kalastetaan mädin talteenottoa varten. Mätimunua löydettiin vain yhdeltä paikalta, ja sieltäkin vain kaksi kappaletta. Siian kohdalla vaikuttaa siltä, että kutu tapahtuu näiden kalastuskohteiden läheisyydessä sijaitseviin soraikkoihin, joiden paikallistaminen on erittäin vaikeaa. Kalastuskohteet sijaitsevat kartalla tihentymänä, ja on todennäköistä että kutualueita on huomattavasti vähemmän kuin mätia valuvien kalojen kalastuskohteita. Löydetty kutualue sijaitsi 0,5 - 3,0 metrin syvyydessä. Kutuajankohtana, marraskuun lopussa, sillä ei ollut kasvillisuutta.



Kuva 7. Siian kutualueen profiili.

Kuha

Kuhan kutualueita ei oletettu löydetävän varsinaiselta tutkimusalueelta ja niiden etsintä kohdistettiin tunnetuille kuhan pilkintä alueille. Nämä sijaitsevat pääosin sameissa vesiolosuhteissa lähellä rannikkoa. Tutkimusajankohtana, kesä 2002, alkoi kuhan kutu kesäkuun toisella viikolla ja sitä jatkui noin kolmen viikon ajan. Kutu tapahtui erittäin matalaan veteen, joko yksittäisille kiville tai kivikkoihin, noin 0,3 – 1,8 metrin syvyyksiin. Mäti oli kiinnitetty pieninä laikkuina rihmamaisiin leviin, jota koiraat vartioivat. Koiraat eivät kuitenkaan pysyneet mätilaikulla jatkuvasti vaan näyttivät palaavan sille aina ajoittain.

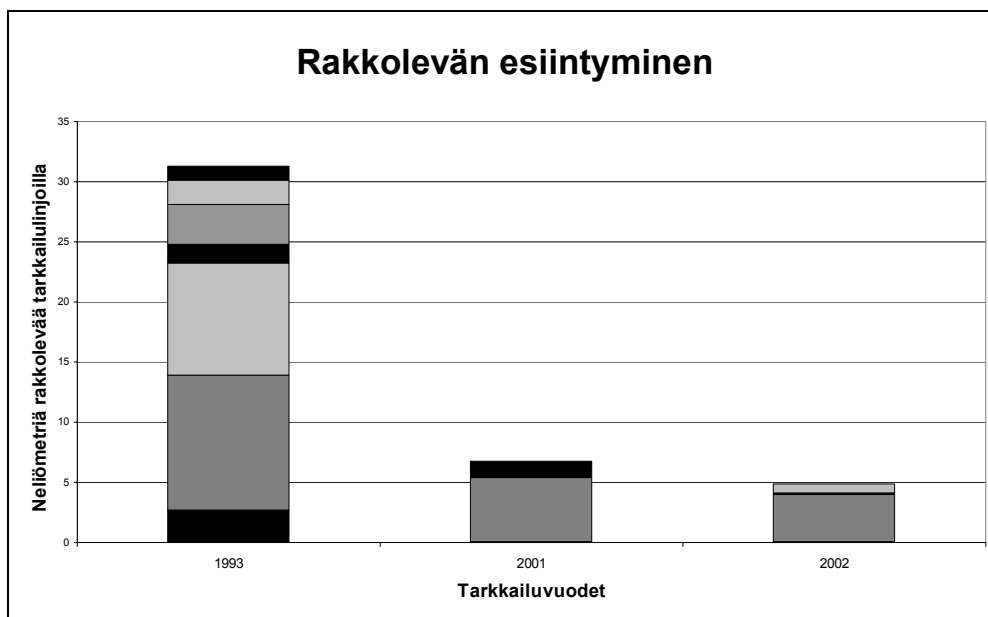


Kuva 8. Kuhan kutualueen yleisprofiili.

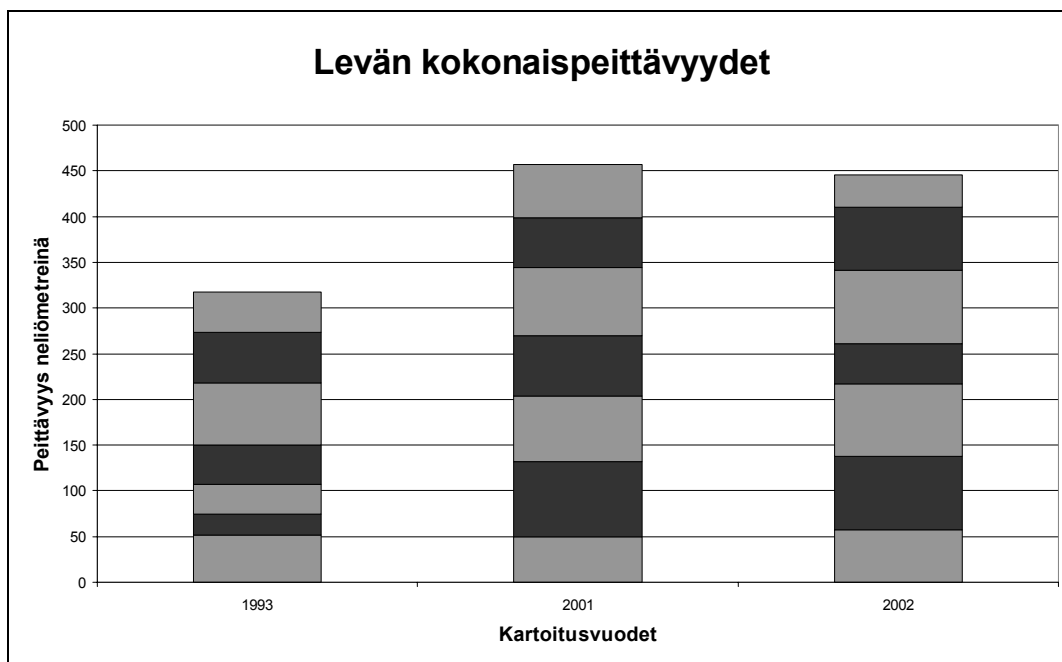
3.3.2 Vedenalainen kasvillisuus

Vedenalaisen kasvillisuuden muutokset tutkimusvälillä 1993 – 2002 olivat mittavia. Levien yhteenlasketut peittävyys nousivat kaikilla tutkituilla linjoilla, kun taas rakkolevän peittävyys laskivat kaikilla tutkituilla kasvillisuuslinjoilla. Neljältä tutkituista 11 kasvillisuuslinjasta hävisi rakkolevävyöhyke kartoitusvälillä kokonaan (kuva 9). Kasvillisuutta tarkasteltaessa rakkolevän määrät olivat laskeneet samoin kuin muutaman rihmamaisen monivuotisen levän. Sen sijaan putkikasvien ja haarukkalevän määrät olivat lisääntyneet. Rihmamaisten levien lajikohtaiset muutokset olivat erittäin satunnaisia ja ainut selkeä tulos oli lajien yhteenlasketun peittävyys tasainen kasvu tarkkailuajankohtana (kuva 10).

Rakkolevän vyöhykkeiden muutokset olivat kaikilla tutkituilla linjoilla samansuuntaisia. Vyöhykkeiden ylä- ja alarajat siirtyivät syvemmälle kasvuston peittävyys laskiessa. Muutokset vyöhykkeiden syvyyksissä olivat kuitenkin suhteellisen pieniä ennen koko vyöhykkeen häviämistä. Vaikuttakin siltä, että koko ajan lisääntyvät rihmalevät voittavat ympäristön resurssien käytössä ja pakottavat rakkolevän yhä syvemmälle, jolloin populaatio harvenee ja lopulta rakkolevän kasvu loppuu kokonaan. Sen sijaan haarukkalevä ja putkilokasvit näyttävät pärjäävän paremmin kilpailussa rihmalevien kanssa. Haarukkalevän osalta syy saattaa olla sen nopeassa kasvussa lisääntymiskauden jälkeen kevättalvella, jolloin rihmalevien kasvu on erittäin vähäistä. Putkilokasvien lisääntyminen puolestaan on todennäköisesti ainakin osittain riippuvainen kivikkojen ja sorapohjien orgaanisen aineksen lisääntymisestä.



Kuva 9. Rakkolevän muutokset pitkäaikaisseurantalinjoilla.



Kuva 10. Levien kokonaismäärässä tapahtuneet muutokset tarkkailujaksolla.

Muutokset kasvillisuusvyöhykkeissä ovat vuosien välillä suhteellisen pieniä. Vyöhykkeisyys ei tutkimusalueella muutu merkittävästi ennen rakkolevävyöhykkeen tuhoutumista. Tulevaisuudessa tulisi kiinnittää enemmän huomiota levien kokonaispeittävyyteen kuin vyöhykkeisyyden muutoksiin.

Vaikka kasvillisuus muutokset vuosien 1993 ja 2001 välillä olivat mittavia, ei kasvillisuudessa vuosien 2001 ja 2002 välillä tapahtunut biologisesti merkittäviä muutoksia. Vuosien väliset tarkastelut näin lyhyellä aikavälillä eivät anna luotettavia tuloksia kasvillisuuden kehityksestä.

Kirjallisuus

Bäck, S., Mäkinen, A., Rissanen, J., Rönnerberg, O. 1993: Phytobenthos monitoring. Ministry of the Environment. Memorandum 1, 24p.

Himberg, M. 1995. Siian kutupaikat ja biologia Saaristomerellä ja Selkämerellä. Maa- ja metsätalousministeriö. Kala- ja riistahallinnon julkaisuja, Nro 16.

Kohonen, T., Vahteri, P., Virtasalo, J., Vuorinen I. & Helminen, U. 2001. Kalojen kutu- ja poikastuotantoalueiden suojele- ja kunnostustutkimus Turun saaristossa. Turun yliopiston Saaristomeren tutkimuslaitos. 82 s. + liitteet.

Koli, Lauri. 1998. Suomen kalat. Porvoo, WSOY. ISBN 951-0-23123-1

4. GEOLOGISET JA HYDROGRAFISET TUTKIMUKSET

Tuula Kohonen ja Mari Sihvonen

4.1. Johdanto

Vesifaasin fysikaalisten ominaisuuksien mittaukset kuuluvat olennaisesti vedenalaisten habitaattien tilan kartoitukseen (UNESCO 1996, Davies ym. 2001). Tutkimusalueen virtausolot, meriveden suolaisuuden ja lämpötilan kerrostuneisuus sekä happi- ja kiintoainespitoisuus ovat vedenalaisissa tutkimuksissa tarvittavaa perustietoa. Myös pohjasedimentin fysikaaliset ominaisuudet ovat tärkeitä kalojen elinpaikan valintaan vaikuttavia suureita. Sedimentin orgaanisen aineksen määrä kuvastaa mm. alueen ravinne- ja sedimentaatio-oloja. Suurimmat eloperäisen aineksen kertymät havaitaan rehevöityneiden vesien akkumulaatiopohjilla, rauhallisissa virtausoloissa. Sedimenttipartikkelien raakoolla on tärkeä merkitys pohjakalojen habitaattivalinnassa. Kyky kaivautua pohjasedimenttiin vaaran uhatessa on tärkeää kalan poikasten eloonjäännille. Piiloutumiselle suotuisan pohjasedimentin raekokojakaumaa on tutkittu kentällä ja laboratorio-oloissa (Moles & Norcross 1995, Abookire & Norcross 1998, Gibson & Robb 2000, Stoner & Ottmar 2003). Suomessa laboratoriotutkimuksia ei tiettävästi ole tehty.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli kerätä geologisten ja hydrografisten kenttämittausten avulla perustietoa kalojen lisääntymisalueiden nykytilasta sekä arvioida tulosten perusteella tilan kehittymistä.

4.2. Kenttätutkimukset

Valituissa tutkimuskohteissa mitattiin veden virtaussuuntia ja -nopeuksia RD Instruments'in Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) –virtausmittarilla (Broadband 600 kHz, kuva 1). Luonnollisten virtausten lisäksi havainnoitiin Innamon alueella myös tutkimusalueella liikkuvien alusten aiheuttamia virtaushäiriöitä. Valitsemalla mittausolun korkeuden ja mittausjakson mahdollisimman pieniksi (50 cm ja 5-6 sekuntia) voimme havainnoida myös lyhytaikaisia virtausmuutoksia. Virtausmittausaineiston tulokinnassa hyödynnettiin Ilmatieteen laitoksen tuulitietoja.

Vesipatsaasta mitattiin veden suolaisuutta, lämpötilaa, happipitoisuutta ja veden kiintoainespitoisuudessa tapahtuneita muutoksia Seabird Electronics'in SBE-19 CTD-sondilla (kuva 2). Tavanomaisten veden suolaisuutta (johtokykyä), lämpötilaa ja syvyyttä mittavien CTD-sensorien (conductivity, temperature, depth) lisäksi laiteeseen on asennettu happi- ja kiintoainessensorit. Kiintoaineksen mittaamiseen käytetyn anturin (D&A Instruments'in Optical Backscatterance Sensor, OBS) toiminta perustuu infrapunapuna- ja valon takaisinsirontaan pääasiassa vedessä olevista mineraalirakeista. CTD-sondilla saadaan kaikkien edellä mainittujen parametrien lukemat 1 m pohjasta ja 1 m veden pinnasta väliin jäävältä alueelta.

Kalojen lisääntymisalueiden pohjan tilaa havainnoitiin akustisten luotausten ja sedimenttinäytteiden avulla. Luotaukset ja pohjanäytteenotto suoritettiin Saaristomeren tutkimuslaitoksen t/a Aurelialla. Tutkimuksessa paikannukseen käytettiin DGPS-järjestelmää. Kaikuluotaus tehtiin MeriData:n sedimenttikaikuluotaimella käyttäen 28 kHz:n

anturia (kuva 3). Näytteenotto suoritettiin t/a Aurelian kannelta NIEMISTÖ-sedimenttinoutimella (liejut, savet, siltit) tai EKMAN-noutimella (hiekat, sora). Näytteistä otettiin talteen sedimentin ylin 0-5 cm kerros.



Kuva 1. ADCP-virtausmittari. (Valokuva: Tuula Kohonen 2003).



Kuva 2. CTD-sondia lasketaan mereen. (Valokuva: Tuula Kohonen 2003).

Kivisiltä sorapohjilta sekä matalilta alueilta, minne Aurelialla ei päästy, näytteet otettiin sukeltamalla. Hienorakeisempaa ainesta jouduttiin keräämään kivien välistä polyakryyliputkeen useassakin erässä, joten sukeltamalla otetut näytteet eivät yleensä edusta näytekohteen koko pohjan laatua. Myös fosforianalyysyä varten kerättiin sedimenttinäytteitä sukeltamalla rantamatalasta tai Niemistö - tai Ekman -noutimella syvemmiltä paikoilta (luku 5.3.). Näytekohteissa taltioitiin vedensyvyys- ja paikkatiedot kentällä. Ennen analysointia näytteitä säilytettiin PE-pusseissa jääkaapissa tai pakastimessa. Tietoa tässä tutkimuksessa käytetyistä tutkimusmenetelmistä löytyy myös liitteestä 2.



Kuva 3. Kaikuluotaimen anturi. (Valokuva: Tuula Kohonen 2004).

4.3. Sedimentin fysikaaliset analyysit

Laboratoriossa sedimenttinäytteistä määritettiin vesipitoisuus ja hehkutushäviö Bengtssonin ja Enellin (1986) menetelmällä. Punnittua tuoretta näytettä kuivattiin +105 °C:ssa noin 12 tuntia. Vesipitoisuus laskettiin prosentteina tuorepainosta. Hehkutushäviö määritettiin hehkuttamalla kuivattua näytettä +550 °C:ssa kaksi tuntia. Tuloksista laskettiin hehkutushäviö, jolla tarkoitetaan sedimentin sisältämän orgaanisen aineksen massan suhteellista osuutta kuivan sedimentin määrästä (% k.a. = dw).

Raekokojakauman määrittäminen aloitettiin seulomalla näyte seulasarjalla. Näin saatiin erotettua hienoainekset (raekoko alle 0,063 mm) karkeammasta fraktiosta. Hienoaineksen raekokomääritys tehtiin laserdiffraktioon perustuvalla Coulter LS 200 laser -raekokomittarilla. Ennen analysointia näytteestä poistettiin orgaaninen aine markapolttamalla sitä vetyperoksidilla n. 70 °C vesihauteessa. Vetyperoksidin lisäämistä jatkettiin pienissä erissä, kunnes näyte ei enää reagoinut kuohumalla. Jotta kaikki yhteen liittyneet partikkelit saatiin erotetuksi toisistaan käsiteltiin näyte ultraäänihajottajalla ennen varsinaista raekokomääritystä. Tulosten kumulatiivisesta läpäisyprosenttikäyrästä luettiin läpäisy-

prosentin 50 kohdalta raekoko (D_{50}), jonka avulla näytteet nimettiin geoteknisen maaluokituksen (Korhonen ym. 1974) mukaisesti.

4.4. Tulokset ja tulosten tarkastelu

Tutkimusalueiden pohjan laatu oli pääasiassa hiekkaa (taulukko 1). Useissa tutkimuskohteissa pohjasedimentti on karkeampaa ainesta kuin taulukossa 1 on mainittu, sillä sukeltamalla otetut näytteet (S) saattavat kuvastaa soran ja kivien välistä kerättyä ainesta. Myös sedimenttinäytteiden vesipitoisuustuloksiin tulee suhtautua tietyllä varauksella näytteenottomenetelmästä johtuen. Kuitenkin vesipitoisuuden lisääntyminen rantavyöhykkeeltä syvemmälle siirryttäessä on nähtävissä lähes kaikissa fosforitutkimuksen sedimenttisarjoissa (luku 5, taulukko 1). Kaikuluotauksella ei saatu lisätietoa kutualueiden pohjan laadusta, koska matalilla ja kivikkaisilla kutualueilla luotausta ei voitu tehdä. Sedimenttinäytteiden fysikaalisten analyysien tulokset (taulukko 1, luvun 5 taulukko 1, liite 5) muodostavat laajan perusaineiston, jota voidaan käyttää vertailuaineistona tulevilla tutkimuksissa.

Orgaanisen aineksen osuus oli keskimäärin vain 2,5 % k.a. (dw) ja lähes kaikki tutkitut alueet edustivat eroosio tai kulkeutumis- eli transportaatioalueita. Vain Granholmin syvänteestä sekä Harvaluodon ja Katariinanlaakson matalan veden alueilta otetuissa sedimenttinäytteissä korkeat orgaanisen aineksen pitoisuudet sekä savi- ja siltifraktion suhteellisen suuri osuus (taulukko 1) ilmentävät rehevöitymistä ja aineksen tilapäistä kertymistä. Granholmin alueella oli havaittu ahvenen mätiä rantamatalassa. Harvaluodon ja Katariinanlaakson rantavesiä epäiltiin kuhan kutualueiksi, mutta mätiä ei löytynyt.

Runsas hienorakeinen ja orgaaninen aines saattaa haitata soran sisässä olevien mätimurien kehitystä. Tiiviisti pakkautunut hienorakeinen savi tai siltti voi estää hapekkaan veden virtaamista sorapohjille. Pohjalle kertynyt orgaaninen aines kuluttaa happea hajoessaan. Kutusorakoille kertynyt hienoaines saattaa myös estää kuoriutuneiden kalanoikasten ulospääsyn sorakuopasta (Lisle & Eads 1991). Sedimenttianalyysien mukaan tutkittujen kampelan ja siian kutualueiden tila oli hyvä. Pohja oli yleensä suhteellisen karkeaa sedimenttiä, jonka savipitoisuus oli pieni eikä alueille kerry happea kuluttavaa orgaanista ainesta. CTD-mittausten mukaan myös vesipatsaan happitilanne oli hyvä tutkituilla paikoilla. Useissa luotauskohteissa karkearakeiset maalajit, hiekat ja sorat, vaikeuttivat sedimentin sisäisten rakenteiden havaitsemista. Vain paikoin sedimentin stratigrafia oli selvästi erotettavissa kaikuprofiileissa.

Virtausmittaustulokset ilmensivät eteläisen Saaristomeren vaihtelevia virtausoloja. Luokusten saarten suojissa yhtenäisiä piirteitä virtausoloille oli vaikea havaita. Mittausajankohdan tuulitiedot hankittiin Ilmatieteen laitokselta, Vänön mittausaseman rekisteristä. Vaikka tuulien vaikutus virtauksiin oli useissa kohteissa ilmeinen, löytyi myös alueita, joissa mittausaikana vallinneiden tuulien nopeudella tai suunnalla ei ollut vaikutusta veden virtauskenttään. Virtausmittaukset tehtiin matalien ja karikkoisten kutualueiden ulkopuolella. Useista mittaustuloksista voidaan kuitenkin päätellä, että mittaustaikojen virtausolot vaikuttavat myös lähialueilla ja tuulista riippumattomat, voimakkaat virtaukset estävät orgaanisen ja hienorakeisen aineksen kertymisen myös kutualueiden pohjille.

Taulukko 1. Sedimenttinäytteiden vesipitoisuus (% märkäpainosta, ww), hehkutushäviö (LOI, % kuivapainosta, dw), savifraktion (<0,002 mm aineksen) osuus, mediaani raekoko (D_{50}) ja GEO-luokituksen mukainen maalaji (h=hieno, kk=keskikarkea, k=karkea, Hk=hiekka, Sr=sora, sa=savinen, si=siltainen, Lj=lieju). (S) = näyte on otettu sukeltamalla.

Näyte nro	Näytteenotto-paikka	Näytteenotto päivämäärä	Veden syvyys (m)	Koordinaatit N	Koordinaatit E	Vesipitoisuus (%) ww	LOI (%) dw	Savipit. (%) (<0.002)	d50 (mm)	Maalaji (GEO)
1	Apulskär (S)	17.8.2003	3.5			62.31	4.10		1.5	kHk
2	Bodö (S)	17.8.2003	1.8			57.68	1.48		0.4	kkHk
3	Färö 1 (S)	4.9.2002	1.5			24.55	0.35	0.03	0.3	kkHk
4	Färö 2 (S)	4.9.2002	2			31.81	1.84	0.07	0.3	kkHk
5	Färö	25.6.2002	4.9	59°55.849'	21°47.766'	24.43	0.59	0.45	0.3	kkHk
6	Färöskäret (S)	17.8.2003	1.8			40.40	0.52		0.18	hHk
7	Granhholm	25.6.2003	14.9	59°58.5135'	21°45.9767'	76.25	13.48	40.70	0.0025	saLj
8	Granhholm (S)	16.8.2003	4.5			68.83	1.14		0.33	kkHk
9	Gåsholm (S)	12.9.2002	2.5			32.62	0.88	0.40	0.26	kkHk
10	Gåsholm	24.6.2002	7.9	59°58.4794'	22°19.9373'	26.55	1.25	1.22	0.14	hHk
11	Haarla	15.7.2002	4.7	60°22.9286'	22°13.9675'	6.65	0.90	0.13	0.85	kHk
12	Harvaluoto	17.7.2002	3.3	60°21.4417'	22°30.8490'	58.07	9.90	12.40	0.023	siLj
13	Högharu (S)	12.9.2002	1.5			34.10	0.93	0.12	0.4	kkHk
14	Högländ (S)	12.9.2002	2			22.74	0.91	0.08	1.5	kHk
15	Högländ (nw)	25.6.2002	3	60°06.386'	22°18.725'	17.49	1.45	0.28	7.5	kkSr
16	Högsåra (S)	17.8.2003	3.5			58.08	1.92		0.85	kHk
17	Innamo	5.6.2003	4.4	60°14.7217'	21°47.5050'	36.41	3.16		0.35	kkHk
18	Jurmo 1 (S)	4.9.2002	2.5			20.09	0.58	0.03	0.8	kHk
19	Jurmo 1	16.7.2002	16	59°50.1035'	21°34.6934'	56.90	6.93	0.25	0.3	kkHk
20	Jurmo 2 (S)	4.9.2002	1.2			22.52	0.51	0.02	0.4	kkHk
21	Jurmo 2	16.7.2002	8	59°49.8724'	21°37.3264'	61.33	8.24	2.87	0.41	kkHk
22	Katariinanlaakso	15.7.2002	2.1	60°24.5403'	22°16.0208'	71.58	16.84	55.40	0.0035	sisalLj
23	Kuggö (S)	12.9.2002	2			33.11	0.67	0.21	0.3	kkHk
24	Lillmälö	17.7.2002	8.4	60°14.1823'	22°06.8855'	44.11	3.63	0.55	1	kHk
25	Lökholm (S)	12.9.2002	1.8			26.26	0.50	0.06	0.47	kkHk

Taulukko 1. jatkuu

Näyte nro	Näytteenotto- paikka	Näytteenotto päivämäärä	Veden syvyys (m)	Koordinaatit N	Koordinaatit E	Vesipitoisuus (%) ww	LOI (%) dw	Savipit. (%) (<0.002)	d50 (mm)	Maalaji (GEO)
27	Nauvo Sandö	YVA 2001	5	60°10.6553'	22°08.6505'	31.80	1.70		0.124	hHk
28	Parainen Smedsholm	17.7.2002	2.9	60°17.5853'	22°21.9403'	18.01	1.86	0.73	0.49	kkHk
29	Pärnäinen (S)	4.9.2002	2			40.24	0.53	0.13	0.23	kkHk
30	Pärnäinen	18.7.2002	7.1	60°09.7221'	21°42.4250'	21.07	1.41	1.45	1.6	kHk
31	Rosklaxviken (S)	4.9.2002	1.5			35.85	0.46	0.01	0.18	hHk
32	Sackholm (S)	4.9.2002	2			25.29	0.50	0.18	0.2	kkHk
33	Sandskär (S)	12.9.2002	1.5			24.28	0.46	0.04	0.49	kkHk
34	Sandskär	24.6.2002	8.1	60°02.59'	22°22.18'	20.51	0.58	0.07	0.26	kkHk
35	Sandön (S)	12.9.2002	2			22.42	0.58	0.04	0.49	kkHk
36	Sandön 1	24.6.2002	2.8	60°02.0875'	22°20.4059'	20.91	0.52	0.06	0.31	kkHk
37	Sandön 2	4.6.2003	22.5	60°02.0097'	22°20.4669'	48.68	2.30	0.60	0.15	hHk
38	Stenskär (S)	16.8.2003	3			62.09	4.04	3.40	0.38	kkHk
39	Synnarstholm (S)	24.5.2003	3			16.90	8.20		10.8	hkSr
40	Synnarstholm	4.6.2003	13.5	60°09.0309'	22°08.8835'	40.9	4.50	3.2	0.75	kHk
41	Södra Furuholmen (S)	17.8.2003	4.5			76.51	1.45		0.75	kHk
42	Trån (S)	16.8.2003	1.5			32.69	2.88		0.125	hHk
43	Utö (S)	4.9.2002	2			34.08	1.03	0.25	0.4	kkHk
44	Utö	16.7.2002	3.9	59°47.1189'	21°22.7178'	15.22	1.84	0.27	0.26	kkHk
45	Örö	YVA 2001	5	59°49.3291'	22°19.1959'	13?	0.40		4	hHk

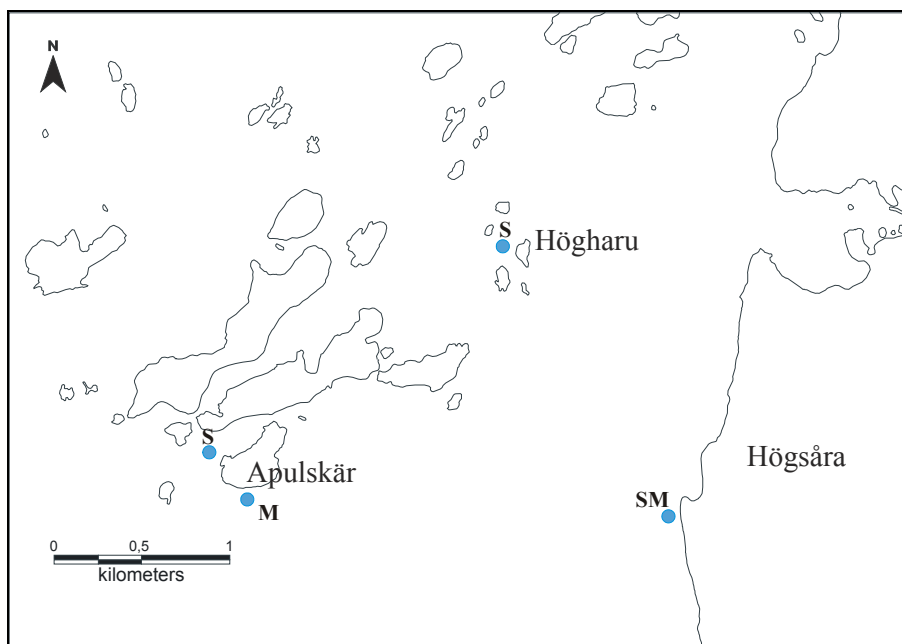
4.4.1. Aluekohtaisten tulosten tarkastelu

Veden virtausten aiheuttamaa eroosiota esiintyy kun pohjasedimenttiin kohdistuvat voimat ovat suurempia kuin maa-aineksen eroosionsietokyky. Kitkamaalajien eroosioherkkyyttä voidaan arvioida karkeasti mm. Hjulströmin (1935) käyrästä avulla. Tämän mukaan kriittisenä eroosioraja-arvona on pidetty noin 20 cm/s virtausnopeutta, jolloin alle 0,5 cm rakeet lähtevät liikkeelle. Eroosioherkimpinä pidetään rakeita, joiden halkaisija on 0,1 – 0,5 mm. Jos rakeet ovat tätä pienempiä, koheesio vaikuttaa siten, että sedimentin eroosionsietokyky kasvaa. Toisaalta löyhät ja paljon orgaanista ainesta sisältävät konsolidoitumattomat hienorakeiset sedimentit erodoituvat helposti. ADCP-virtausmittarilla ei saada tietoa pohjanläheisistä virtauksista, joiden perusteella eroosiolaskelmia yleensä tehdään. Yli 0,5 mm suurempien rakeiden eroosiorajanopeuksia voidaan kuitenkin arvioida likimääräisesti Jakobsonin esittämän kaavan (Jakobson ym. 1970) avulla, kun tunnetaan keskimääräinen veden virtausnopeus vesipatsaassa. Eroosioarvioissa on kuitenkin otettava huomioon, että eroosiota tapahtuu hetkellistenkin maksimivirtausten aikana. Lisäksi aaltojen erodoiva vaikutus on huomioitava.

CTD-mittauksilla on saatu tietoa mittaushetkellä vallitsevasta tilanteesta mittauspaikan vesipatsaassa. Selvää suolaisuuden harppauskerrosta ei ollut havaittavissa. Sen sijaan veteen liuenneen hapen määrä ja lämpötila vaihtelivat vesipatsaan eri syvyyksissä. Hapenpuutosta ei esiintynyt edes alemmissa vedensyvyyksissä. Liuenneen hapen määrä pohjan läheisessä vedessä oli alimmillaankin noin 5,5 mg/l ja yleensä yli 8 mg/l. Kun veteen liuenneen hapen määrä on alle 2 mg/l, pohjalla ei ole paljon elämää. Tosin Kolin (1987) mukaan lahna ja suutari tulen toimeen vähähappisissakin (jopa alle 1 mg/l) vesissä. Saaristomerellä tehdyssä laajassa kartoituksessa (Virtasalo ym. 2004) happea oli pohjan läheisessä vedessä keskimäärin 6 mg/l eroosioalueilla, kun akkumulaatioalueilla vastaava luku oli 4,5 mg/l (vaihteluväli 0,1-7,8 mg/l).

CTD-mittausten kiintoainetulokset kertovat tässä tutkimuksessa lähinnä vedessä olevan kiintoainemäärän vaihtelusta eri syvyyksillä. Jos mittauksilla halutaan absoluuttisia kiintoainepitoisuuksia, olisi tulokset kalibroitava vesinäytteistä mitattujen kiintoainepitoisuuksien kanssa joka mittauskohteessa erikseen. CTD-mittausten tulokset on esitetty liitteessä 4 mittauskohteittain.

1. APULSKÄR - HÖGSÅRA

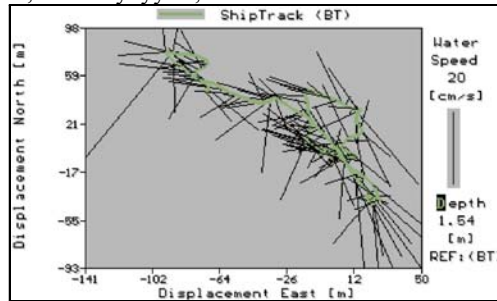


Kuva 4. Apulskär – Högsåra -alueen sedimenttinäyte- (S) ja mittauskohteet (M).

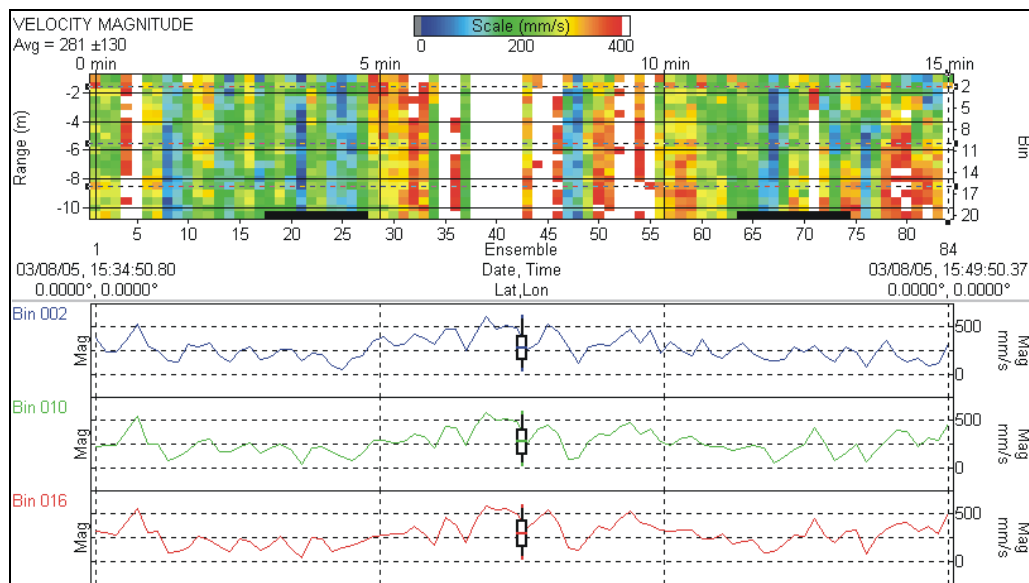
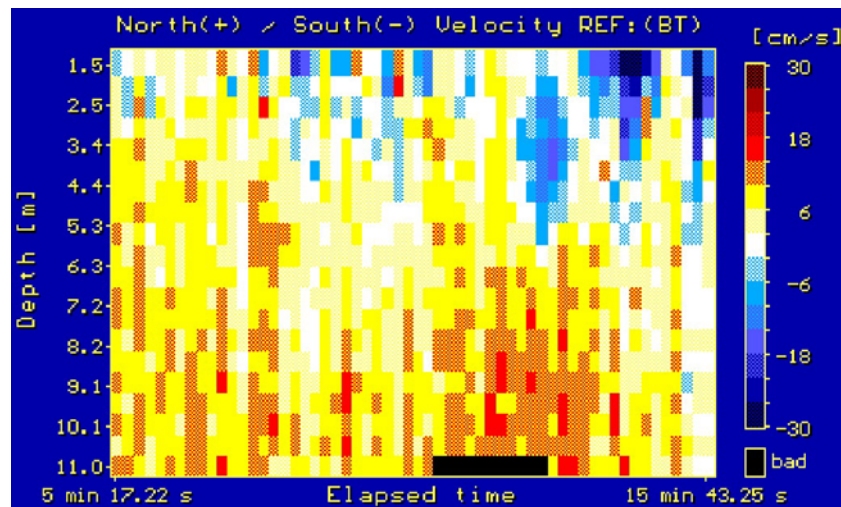
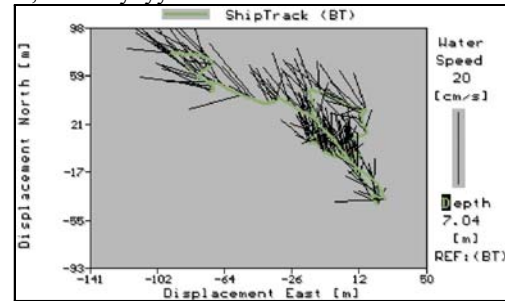
Apulskärin ja Högsåran rantojen läheisyydessä suoritettiin mittauksia 5.8.2003. Högsåran-Apulskärin-Södra Benskrin alue on kampelan lisääntymisaluetta. Apulskärissä voitiin havaita 7 metrin vedensyvyydessä vähäinen muutos veden suolaisuudessa, suurempi lämpötilassa ja happipitoisuudessa (liite 4, kuva 1). Vastaava muutos näkyi Högsåran lähellä tehdyssä mittauksessa 5 metrin vedensyvyydessä (liite 4, kuva 10). Molemmissa kohteissa happipitoisuus säilyi kohtalaisen hyvänä pohjaan asti.

Apulskärissä keskimääräinen veden virtausnopeus oli 28 cm/s (kuva 5). Hetkellisiä jopa yli 50 cm/s virtausnopeuksia havaittiin (kuva 5). Pintavirtaukset suuntautuivat tuulen suunnan mukaisesti pääasiassa kaakkoon, vaikka voimakkaitakin virtauksia lähes kaikkiin ilmansuuntiin esiintyi (kuva 5 A). Syvemmällä havaittu vastavirtaus suuntautui luoteeseen (kuva 5 B). Apulskärin ja Högsåran alueen tutkimuskohteissa karkeamman aineksen joukossa oleva pohja-aines oli karkeaa tai keskikarkeaa hiekkaa, jossa oli vain vähän (Högharu, kuva 6) tai ei lainkaan savea (Apulskär-Södra Benskr, kuva 7). Jakobsonin kaavan mukaan Apulskärissä havaitut virtaukset ovat voineet siirtää halkaisijaltaan 0,5-1,6 mm olevia rakeita ja maksimivirtaukset sitäkin suurempia.

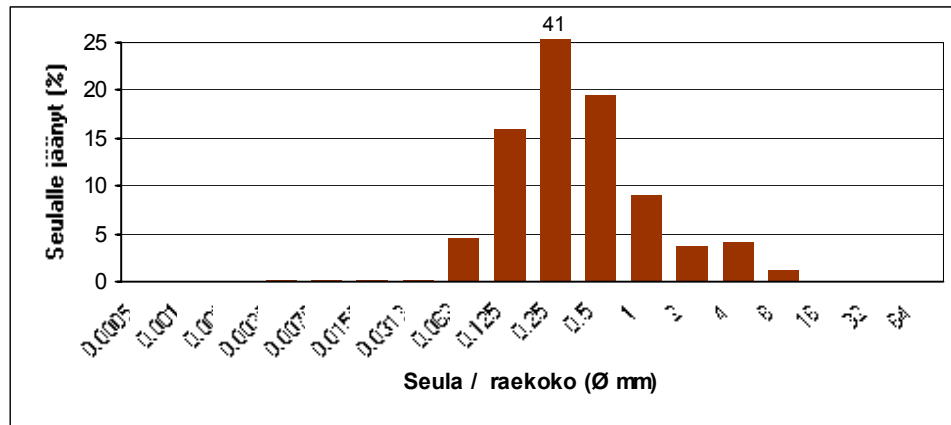
A, veden syvyys 1,5 m



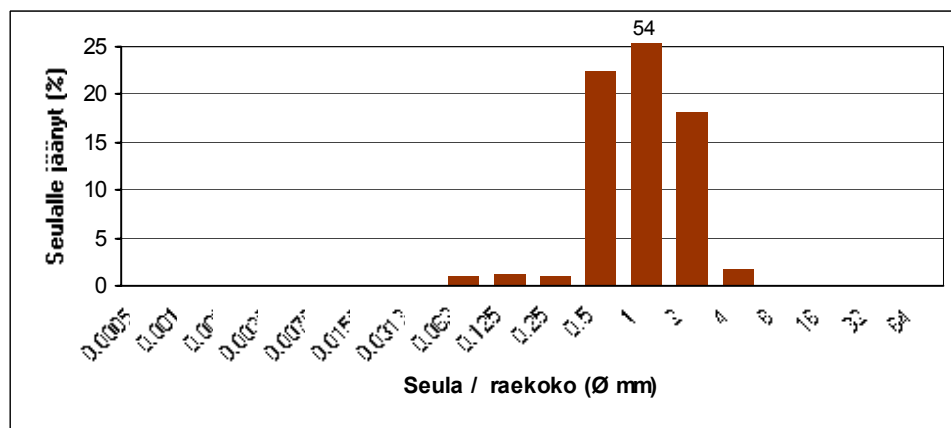
B, veden syvyys 7 m



Kuva 5. Virtausmittaukset: Apulskär 5.8.2003; luodetuuli 8-9 m/s.



Kuva 6. Högharun sedimenttinäytteen raekoostumus.

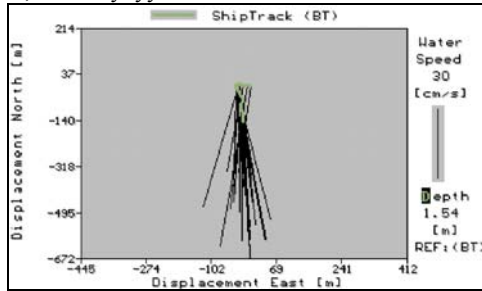


Kuva 7. Apulskärin-Södra Benskärsin sedimenttinäytteen raekoostumus.

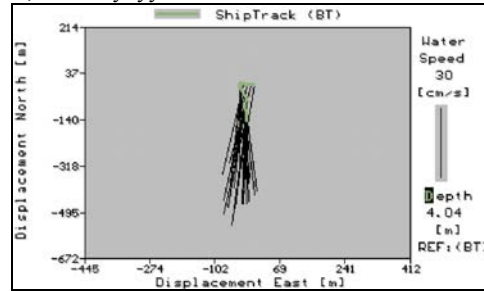
Högsåran virtausmittauksissa oli runsaasti häiriöitä (kuva 8). Keskimääräinen veden virtausnopeus oli 30 cm/s. Suhteellisen voimakkaat pintavirtaukset suuntautuivat etelään (kuva 8 A, B) ja yli 10 m vedensyvyydessä heikompi pohjavirtaus suuntautui pohjoiseen (kuva 8 D).

Högsåran alueella (kuva 9) on ilmeisesti havaittavissa samantapainen ruhjevyöhykettä pitkin kulkeva voimakas etelä-pohjoissuuntainen virtaus, joka on havaittu myös Örön lähellä (Karvonen ym. 2002). Högsårassa havaittu keskimääräinenkin virtausnopeus on kyllin suuri, että 1,8 mm hiekkarakeet lähtevät liikkeelle. Jos pohjanläheiset virtaukset olisivat samansuuruisia, niin arviolta 3,6 mm sorarakeet olivat saattaneet liikkua (Jakobson 1970). Högsåran sedimentti sisälsi hyvin vähän orgaanista ainesta eikä lainkaan savifraktiota (taulukko 1, kuva 10).

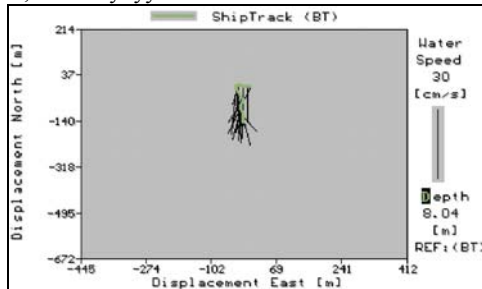
A, veden syvyys 1 m



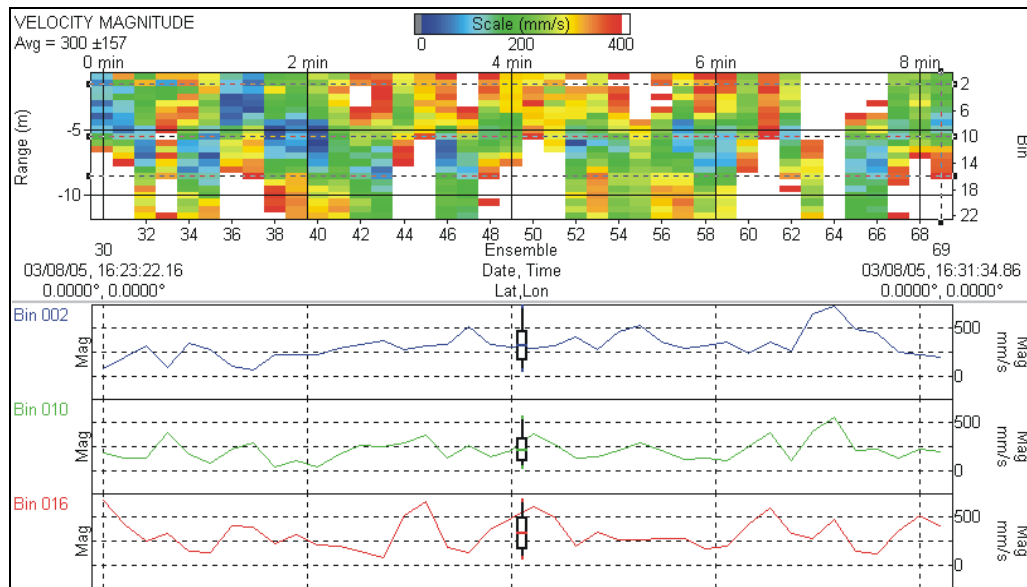
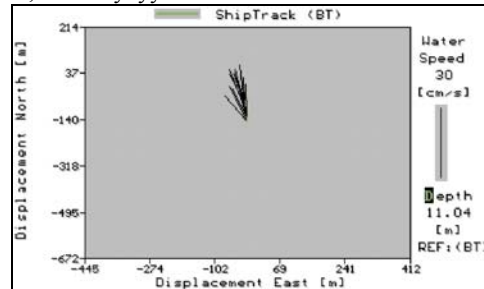
B, veden syvyys 4 m



C, veden syvyys 8 m

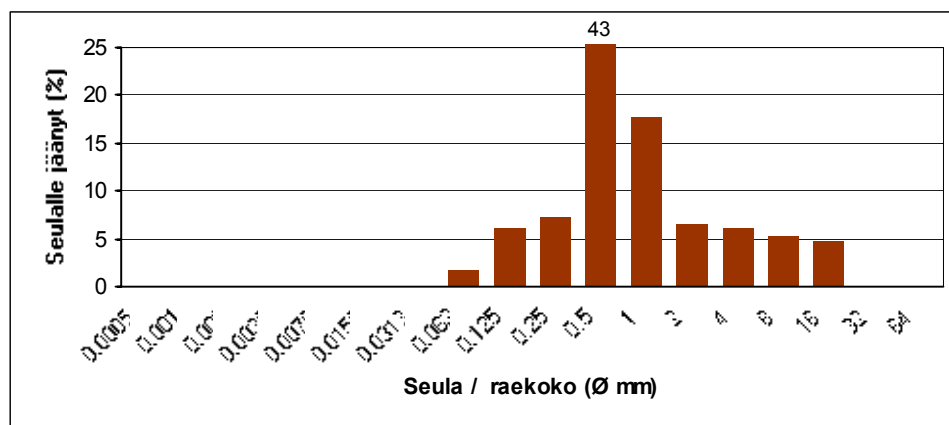


D, veden syvyys 11 m

**Kuva 8.** Virtausmittaukset: Högsåra 5.8.2003; luoteistuuli 8-9 m/s.

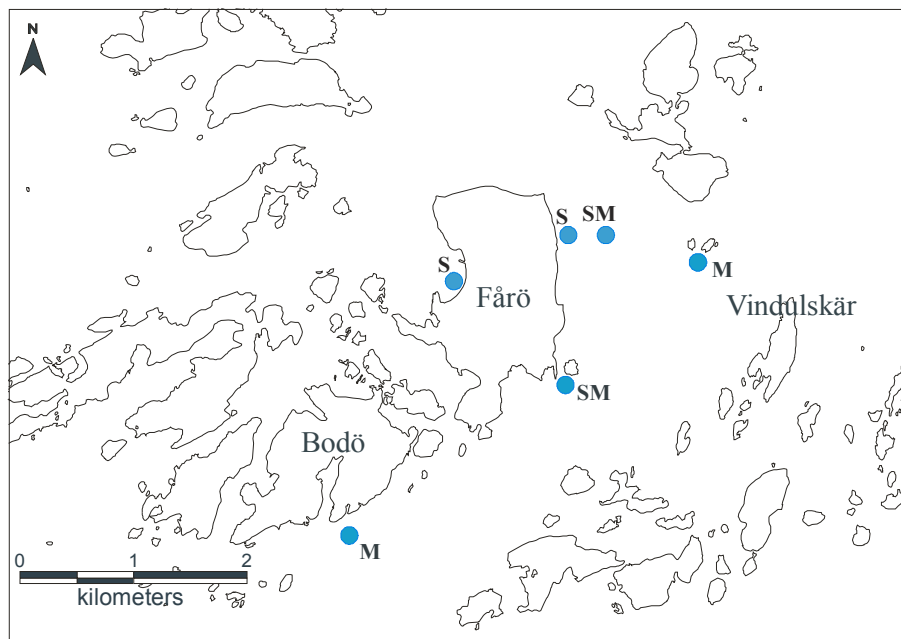


Kuva 9. Högsåran länsirantaa. (Valokuva: Tuula Kohonen 2003).



Kuva 10. Högsåran sedimenttinäytteen raekoostumus.

2. BODÖ - FÅRÖ



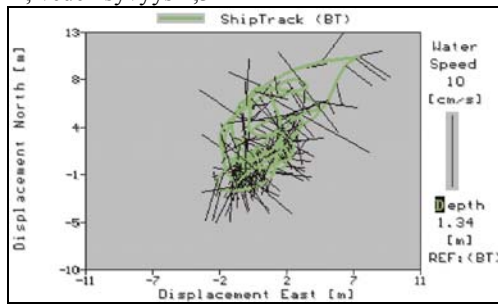
Kuva 11. Bodö – Fårö -alueen sedimenttinäyte- (S) ja mittauskohteet (M).

Bodön ja Fårön alueella (kuva 11) suoritettiin mittauksia useampaan otteeseen. Fårösaaren itärannan CTD-mittaukset tehtiin 25.6.2002 suhteellisen matalassa vedensyvyydessä. Suuria vaihteluita mittaustuloksissa ei havaittu (liite 4, kuva 3). Fårön kaakkoispuolella, Fåröskäretin lähellä ja Bodössä tehtiin mittauksia 7.8.2003. Molemmissa mittaustapaikoissa veden lämpötila ja happipitoisuus laski 12-12,5 m syvyyden jälkeen selvästi (liite 4, kuvat 4 ja 2). Samassa syvyydessä veden suolapitoisuus aleni 6,25 promillestä 0,25 promilleyksikköä, mutta oli syvemmällä jälleen 6,25 ‰.

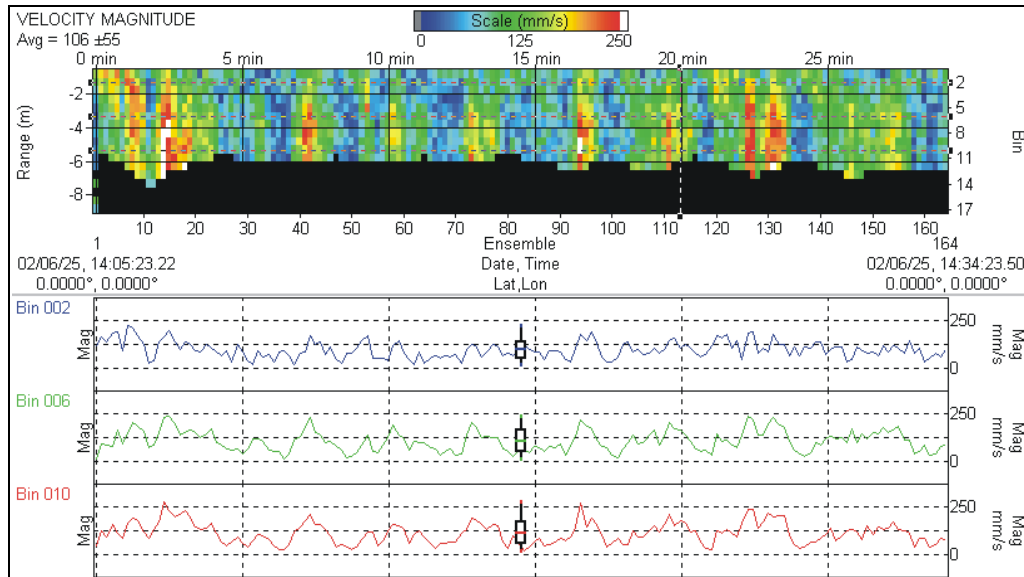
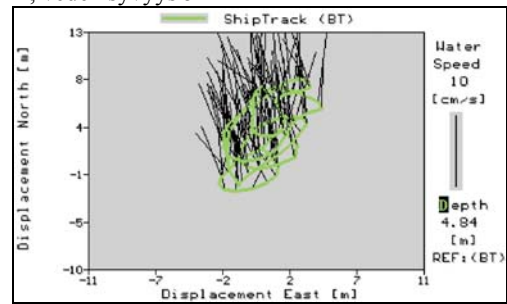
Fårön itärannan virtausmittaustulokset ei kuvasta mittaushetkellä vallinneita tuulioloja (kuva 12). Pintavirtauksissa ei voi havaita päävirtaussuuntaa (kuva 12 A) ja syvemmällä virtaukset suuntautuvat pohjoiseen länsituulten aikana (kuva 12 B).

Kaikki tältä alueelta olevat sedimenttinäytteet olivat hienoa tai keskikarkeaa hiekkaa, jossa oli vain vähän orgaanista ainesta (taulukko 1). Näytteiden mediaanirakekoot (0,18 – 0,4 mm) kuuluvat eroosioherkimpien rakeiden luokkaan. Jo 9-14 cm/s suuruiset keskimääräiset virtausnopeudet saavat aikaan pohjaeroosiota tällä alueella. Vastaavat virtaukset estävät orgaanisen aineksen ja hienorakeisen aineksen kertymisen. Fårön itäpuolelta noin 5 metrin vesisyvyydestä vuonna 2002 otetussa näytteessä oli myös savipartikkeleita, mutta savifraktion osuus oli kuitenkin alle 1 % (taulukko 1, kuva 13). Alueella on kampelan kutupohjia.

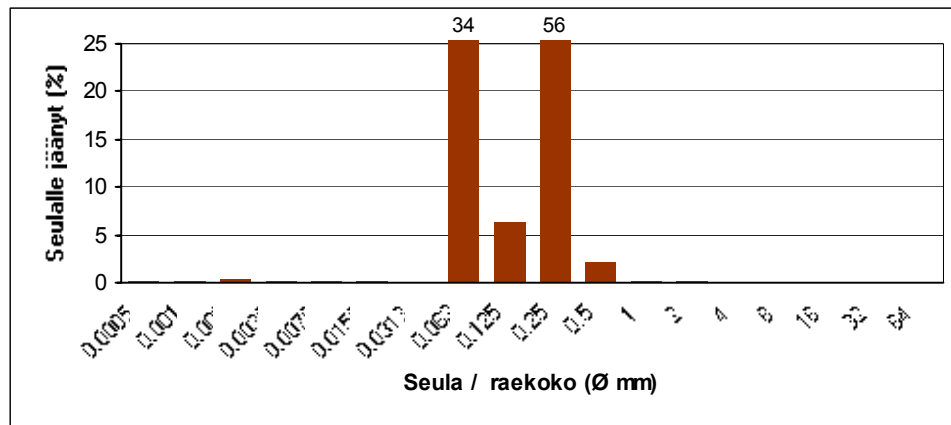
A, veden syvyys 1,3 m



B, veden syvyys 5 m

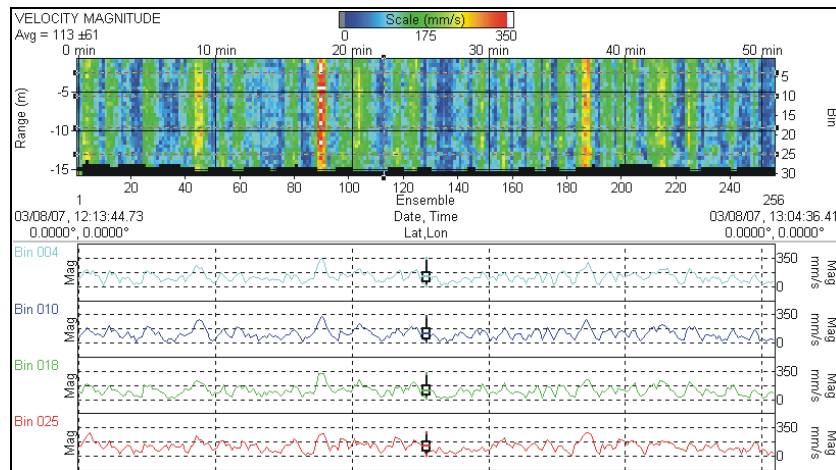


Kuva 12. Virtausmittaukset: Fårö 25.6.2002; länsituuli 6 m/s.

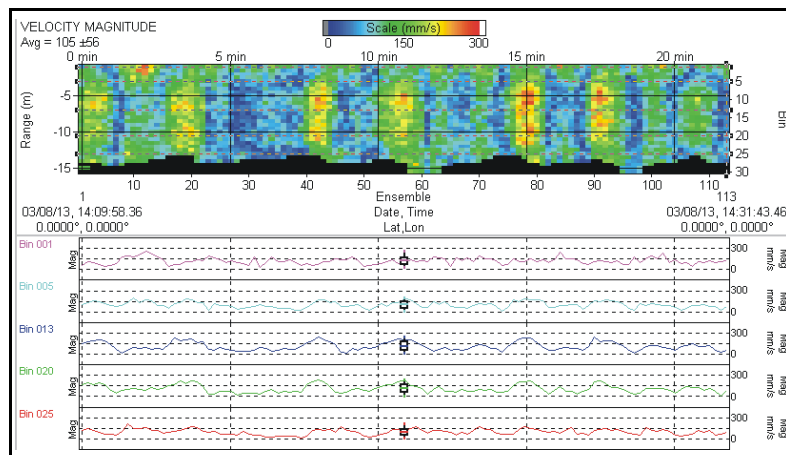


Kuva 13. Fårön itäpuolelta 4,9 m vesisyvyydestä otetun näytteen raekoostumus.

Bodön ja Fårön kaakkoispuolella sijaitsevan Fåröskäretin virtausmittaukset tehtiin kesällä 2003. Keskimääräiset virtausnopeudet olivat 10-11 cm/s (kuvat 14 ja 15), mitkä saisivat liikkeelle alueen pohjasedimenttiä. Suuruusluokkaa 15 cm/s olevia virtausnopeushuippuja havaittiin molemmissa tutkimuskohteissa. Sekä Bodössä että Fåröskäretissä tuulten vaikutus tuulten vaikutus veden virtaussuuntiin oli havaittavissa: tuulten suuntaiset pintavirtaukset muuttuivat vähitellen syvemmällä vastavirtauksiksi (kuvat 16 ja 17).

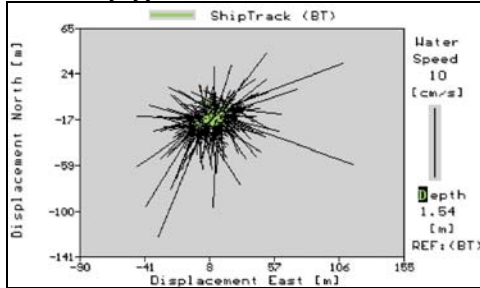


Kuva 14. Virtausmittaukset: Bodö 7.8.2003; luoteistuuli 7 m/s.

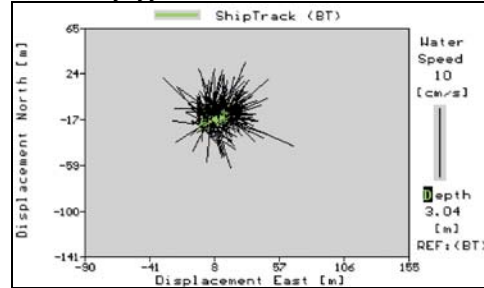


Kuva 15. Virtausmittaukset: Fåröskäret 13.8.2003; etelä-kaakkoistuuli 5 m/s.

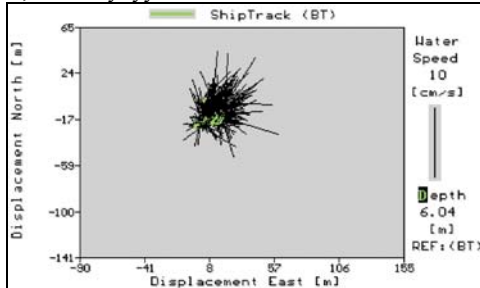
A, veden syvyys 1,5 m



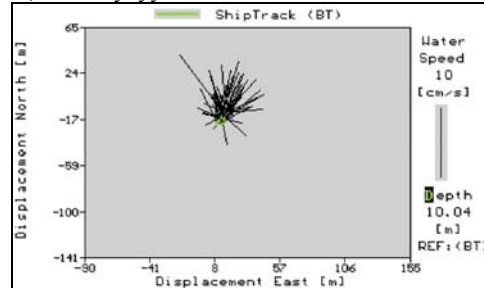
B, veden syvyys 3 m



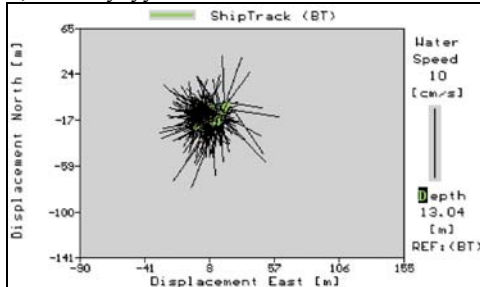
C, veden syvyys 6 m



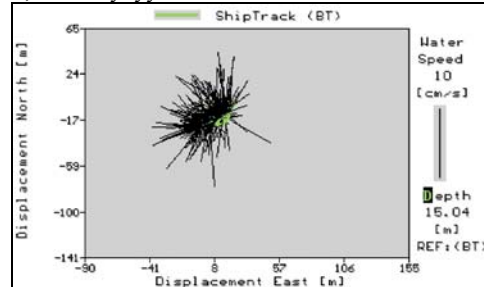
D, veden syvyys 10 m



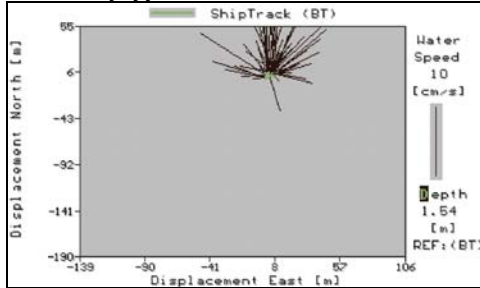
E, veden syvyys 13 m



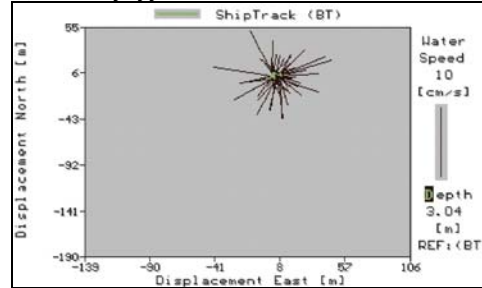
F, veden syvyys 15 m

**Kuva 16.** Virtaussuuntia eri vedensyvyyksissä Bodön mittauspaikalla.

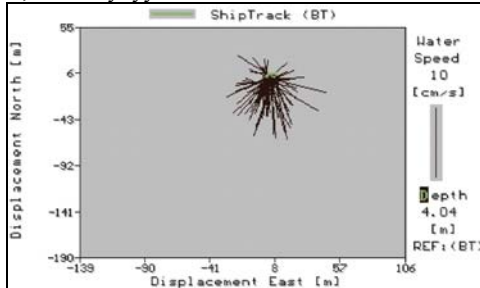
A, veden syvyys 1,5 m



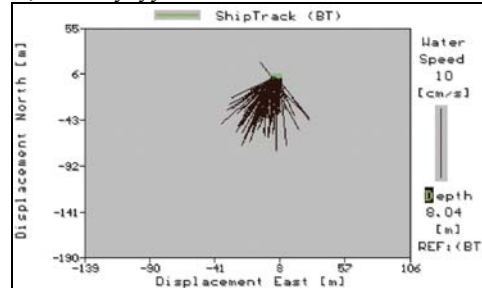
B, veden syvyys 3 m



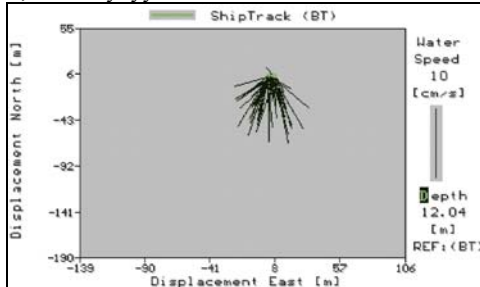
C, veden syvyys 4 m



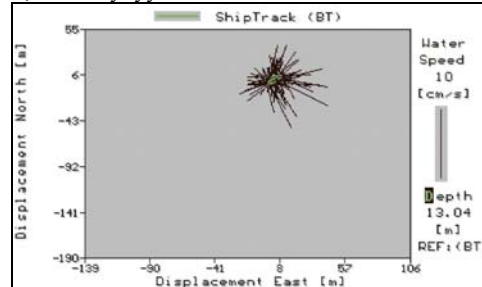
D, veden syvyys 8 m



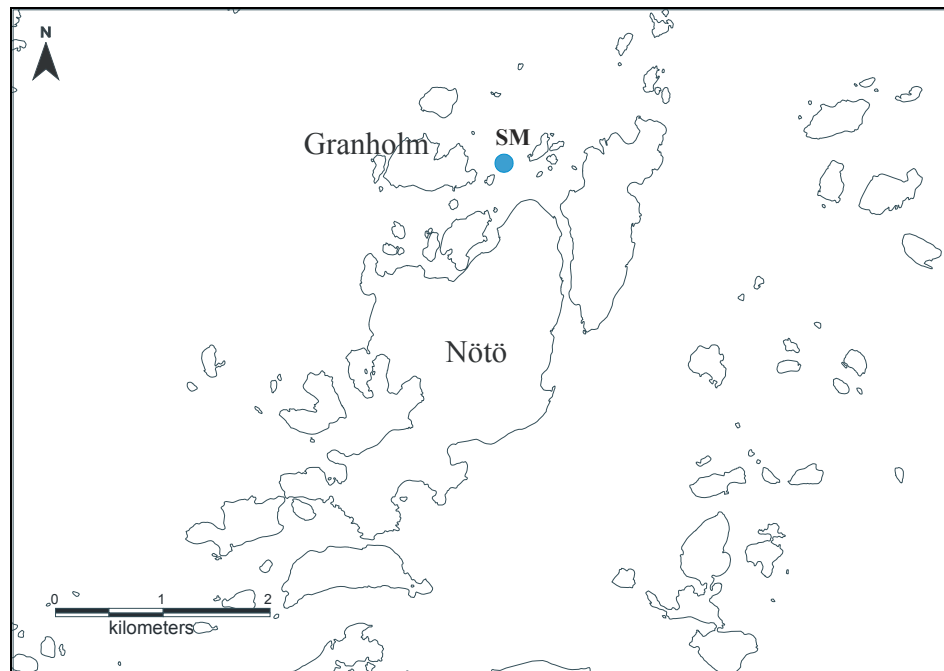
E, veden syvyys 12 m



F, veden syvyys 13 m

**Kuva 17.** Virtaussuuntia eri vedensyvyyksissä Fåröskäretin mittauspaikalla.

3. GRANHOLM



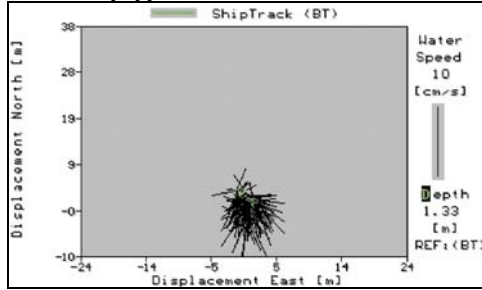
Kuva 18. Granholmin sedimenttinäyte- ja mittauskohteet (SM).

Granholmin tutkimuskohde on ahvenen lisääntymisaluetta. Granholmin lähistöllä tehtiin virtausmittauksia kesällä 2003. Virtausmittausten aikana idästä puhaltavan tuulen voimakkuus oli 5 m/s Vänön mittausasemalla. Veden virtaukset suuntautuivat ylimmissä vesikerroksissa etelään ja kaakkoon, 4 m syvyydessä myös itään ja 12-14 m syvyydessä kaikkiin ilmansuuntiin (kuva 19). Kohtalaistenkaan itätuulten vaikutus ei vaikuttanut veden virtausten suuntautumiseen eikä virtausnopeuksiin Granholmin mittauskohteessa. Keskimääräinen virtausnopeus oli vain 3,8 cm/s. Esimerkiksi Gåsholmin mittauskohteessa keskimääräinen virtausnopeus oli yli kaksinkertainen vastaavan suuruisten tuulten aikana.

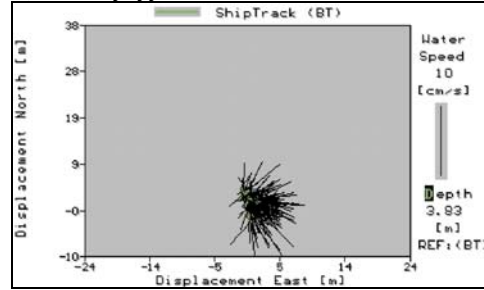
Granholmin läheiseltä pohjalta sukeltamalla otettu sedimenttinäyte edusti keskikarkeaa hiekkaa (taulukko 1 ja kuva 20), mikä lähtee liikkeelle vasta 13 cm/s virtausnopeuksilla. Mittauspaikan lähellä 15 m vedensyvyydessä pohja oli liejua (taulukko 1 ja kuva 21), jota kertyy vain rauhallisissa virtausoloissa.

Granholmin CTD-mittaustulosten (liite 4, kuva 5) mukaan veden happitilanne oli hyvä. Pohjan lähelläkin hapetta oli 10 mg/l.

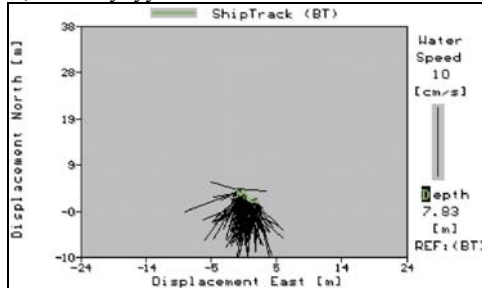
A, veden syvyys 1 m



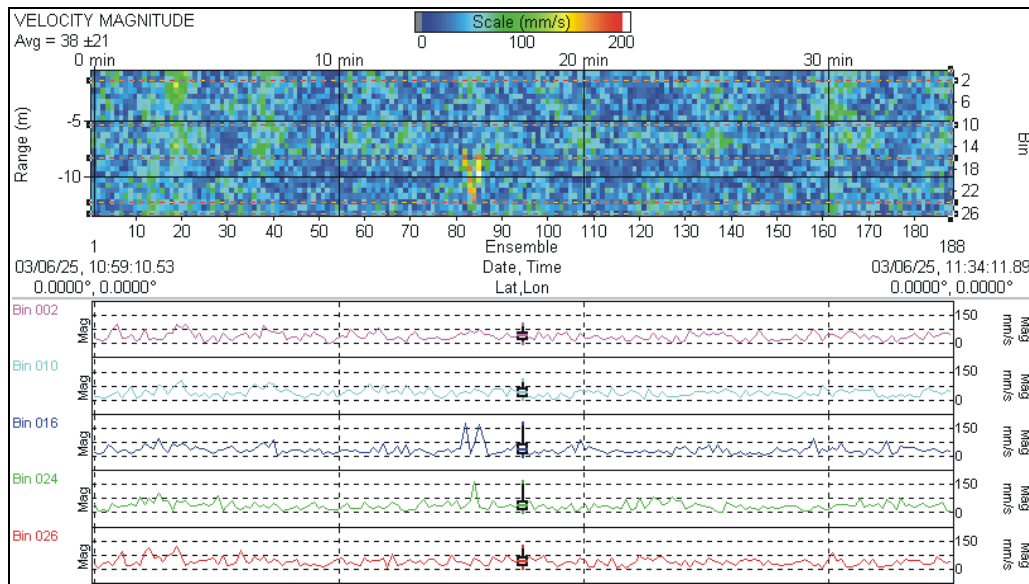
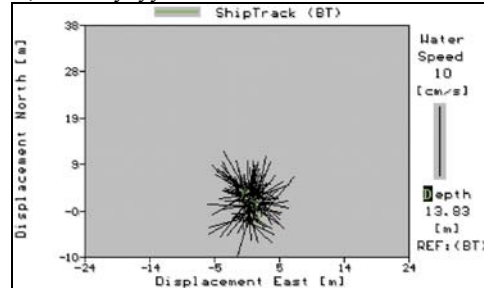
B, veden syvyys 4 m

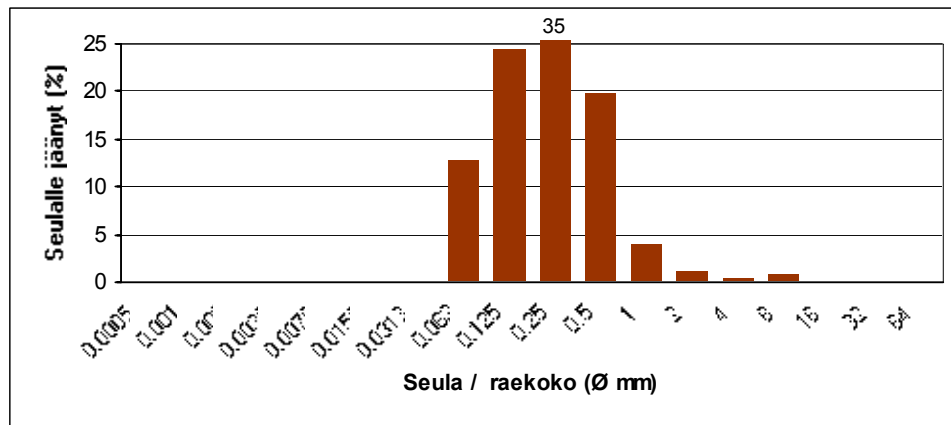


C, veden syvyys 8 m

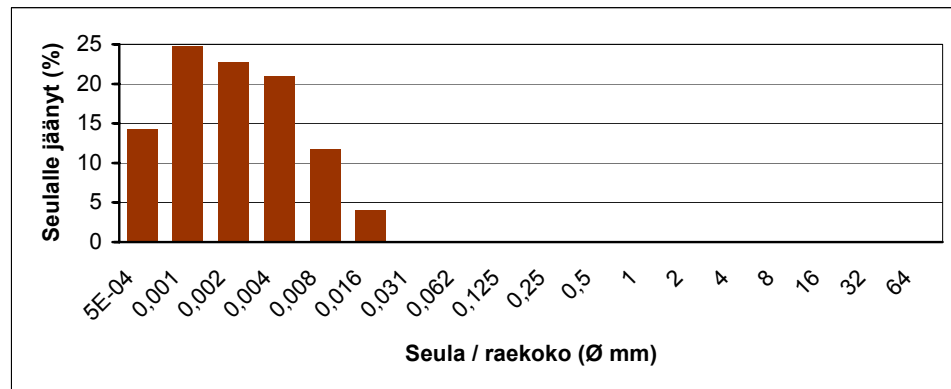


D, veden syvyys 14 m

**Kuva 19.** Virtausmittaukset: Granholm 25.6.2003; itätuuli 5 m/s.

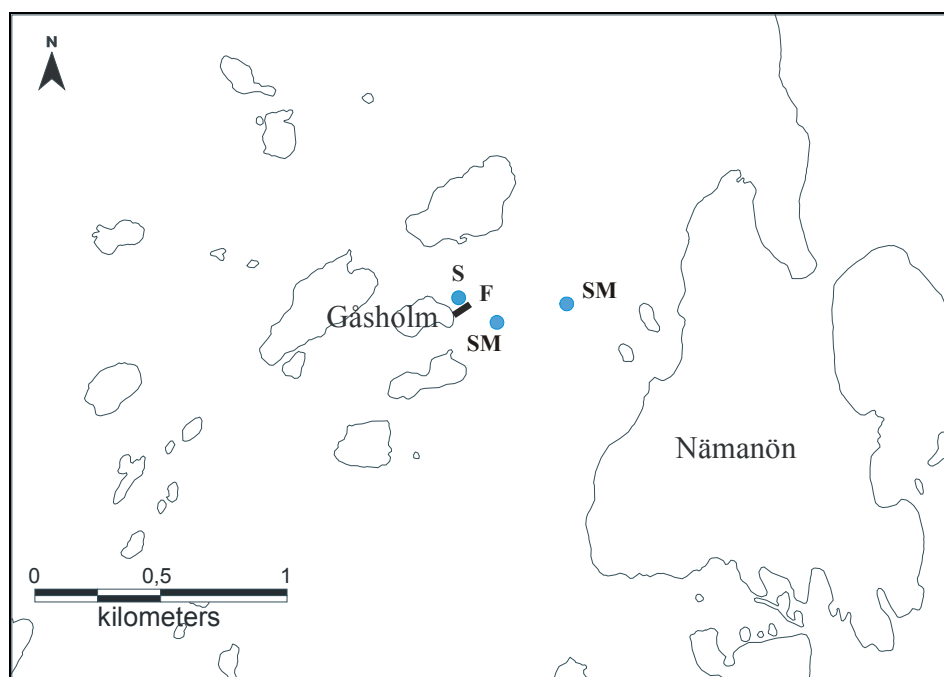


Kuva 20. Granholmin alueelta 4,5 m vesisyvyydestä otetun näytteen raekoostumus.



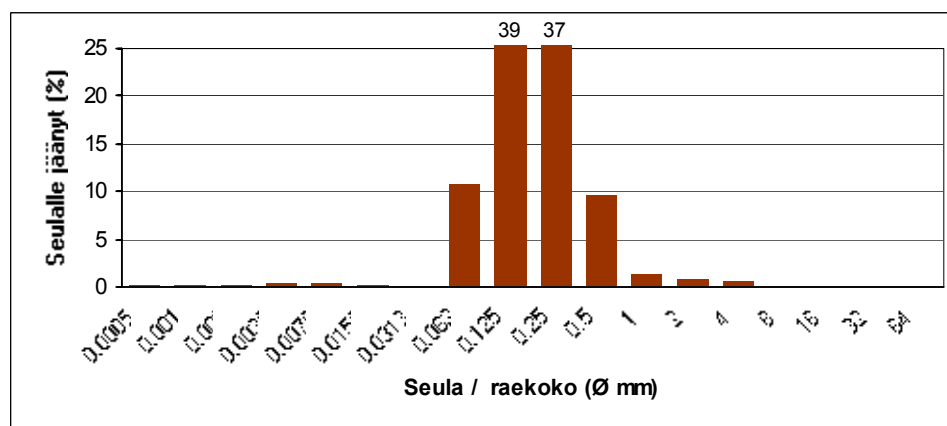
Kuva 21. Granholmin itäpuolelta 14,9 m vesisyvyydestä otetun näytteen raekoostumus.

4. GÅSHOLM



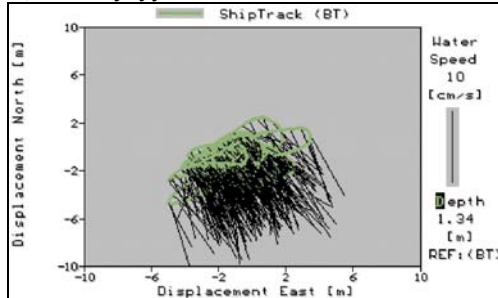
Kuva 22. Gåsholmin sedimenttinäyte- ja mittaushaasteet (SM) sekä fosforitutkimuslinja (F, vrt. luku 5).

Gåsholmin tutkimuskohde kampelan kutualuetta. Kesäkuussa 2002 tehdyssä CTD-mittauksessa veden happitilanne oli erittäin hyvä, yli 10 mg/l koko mitatussa vesipatsaassa (liite 4, kuva 6). Gåsholmin alueen pohjasedimentti on hiekkaa, joka erodoituu suhteellisen helposti. Virtausmittauksen aikana tuuli kohtalaisesti (4 m/s). Keskimääräinen virtausnopeus oli 8,5 cm/s (kuva 24), joka saa liikkeelle alle 0,14 mm sedimenttirakeet (vrt. kuva 23).

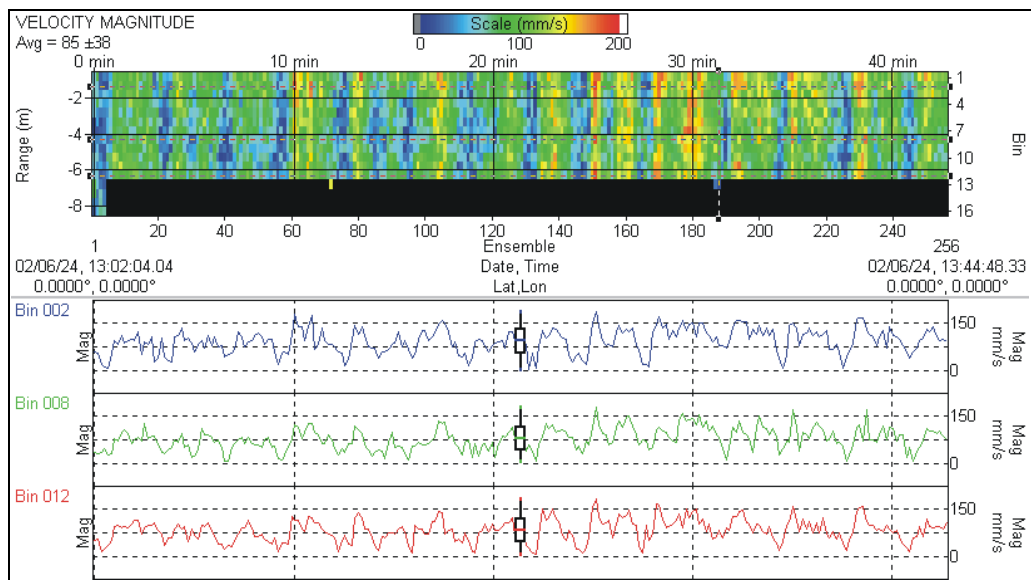
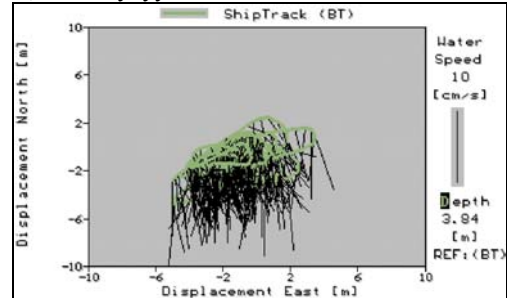


Kuva 23. Gåsholmista sukeltamalla 2,5 m vedensyvyydestä otetun sedimenttinäytteen raekoostumus.

A, veden syvyys 1 m

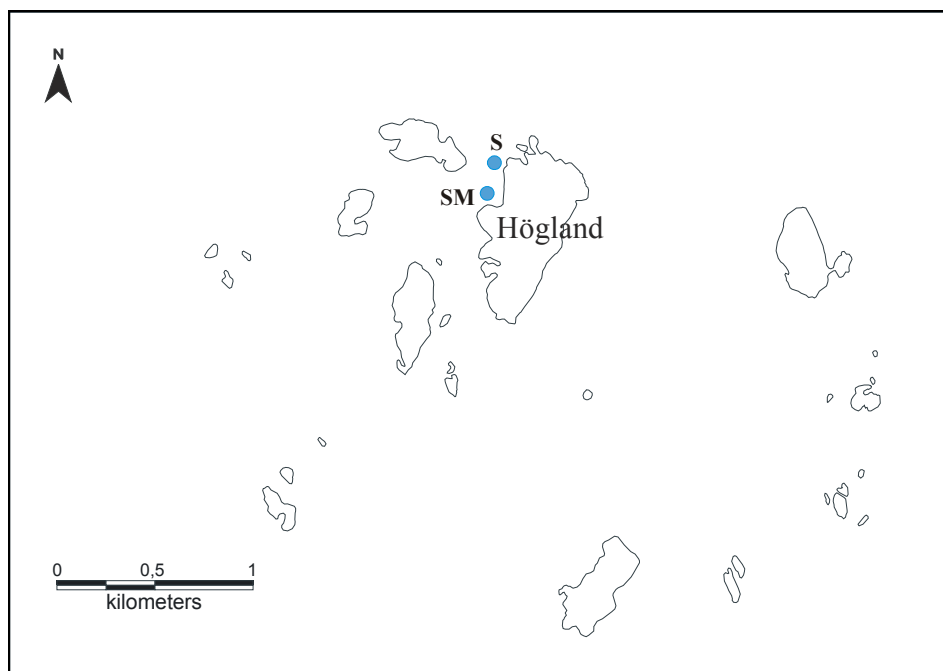


B, veden syvyys 4 m

**Kuva 24.** Virtausmittaukset: Gåsholm 24.6.2002; länsi-luodetuuli 4 m/s.

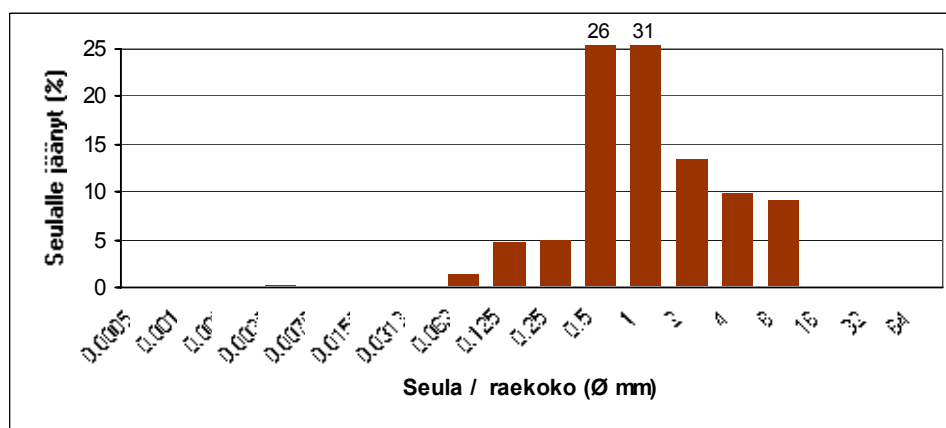
Tuulen vaikutus veden virtaussuuntiin näkyi 1 m vedensyvyydessä, mutta ei enää 4 m syvyydessä (kuva 24 A ja B). Virtausdiagrammeissa näkyy useampia hetkellisiä 15 cm/s maksiminopeuksia, jotka pystyvät liikuttamaan lähes 0,5 mm rakeita.

5. HÖGLAND



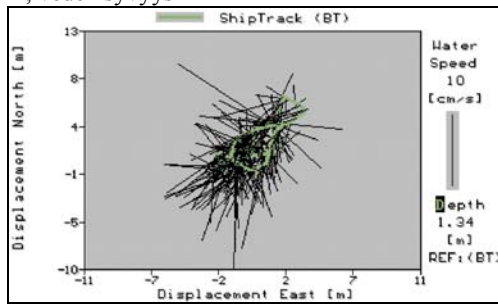
Kuva 25. Högländin sedimenttinäyte- ja mittauskohteet (SM).

Sekä silakka että kampela kutevat Högländ -saaren lähistöllä. Högländin alueella suhteellisen matalassa vedessä tehdyssä CTD-mittauksessa havaittiin ainoastaan sameuden vaihtelua eri vesisyvyyksissä (liite 4, kuva 9). Lämpötila, suola- ja happipitoisuus (yli 9 mg/l) säilyivät samana pinnasta neljän metrin syvyyteen asti. Sedimenttinäytteet olivat keskikarkeaa soraa tai karkeaa hiekkaa (taulukko 1 ja kuva 26). Virtausmittauksen aikana tuuli kohtalaisesti lännestä, mutta veden virtaussuuntiin se ei vaikuttanut (kuva 27). Havaintoajankohdan keskimääräinen veden virtausnopeus 6,7 cm/s ei aiheuta eroosiota tutkituilla pohjilla.

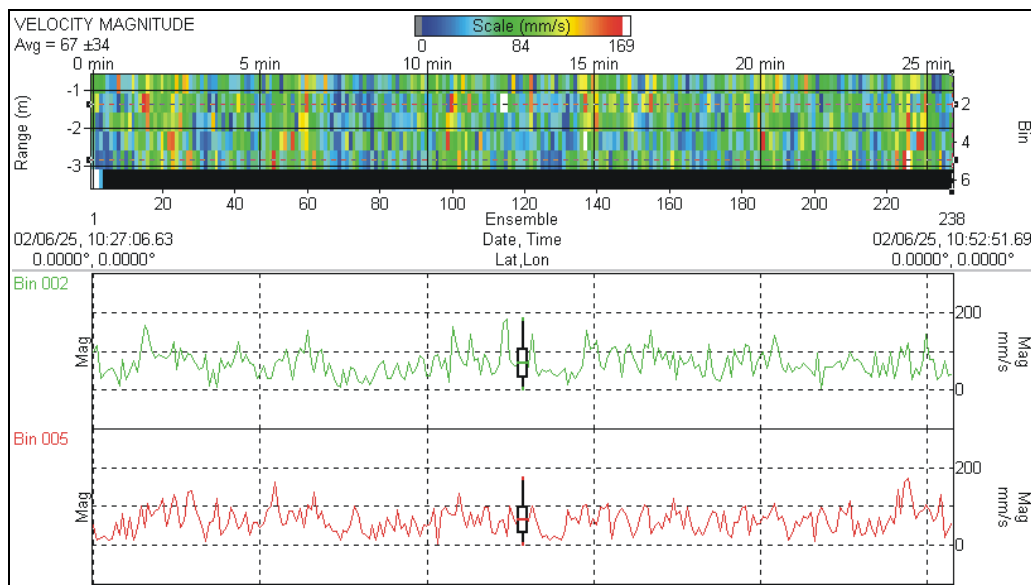
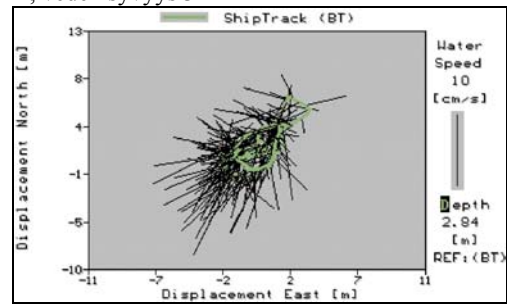


Kuva 26. Högländin alueelta sukeltamalla 2 m vedensyvyydestä otetun sedimenttinäytteen raekoostumus.

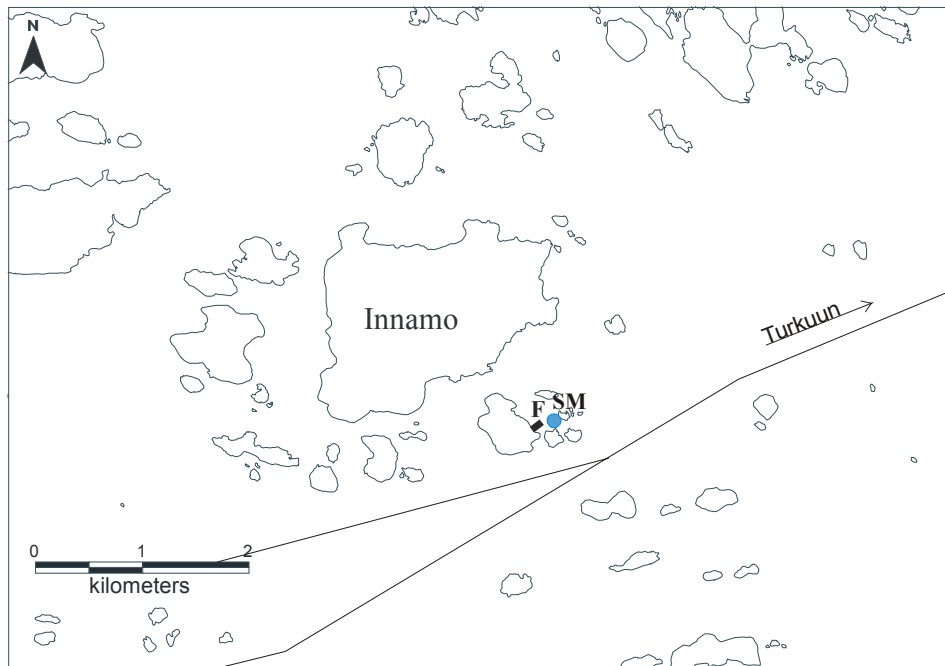
A, veden syvyys 1 m



B, veden syvyys 3 m

**Kuva 27.** Virtausmittaukset: Högländ 25.6.2002; länsituuli 5 m/s.

6. INNAMO



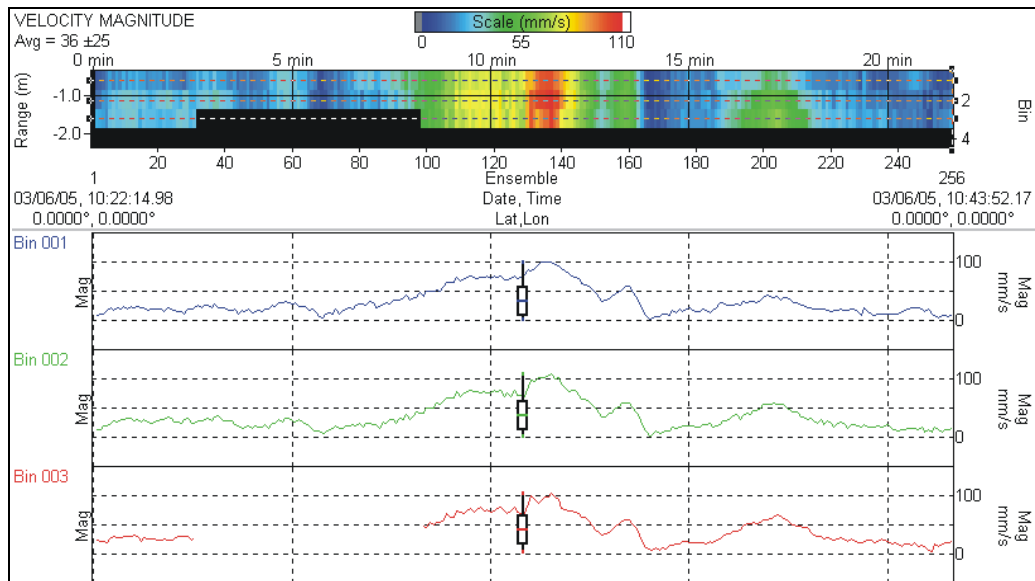
Kuva 28. Innamon sedimenttinäyte- ja mittauskohteet (SM) sekä fosforitutkimuslinja (F, vrt. luku 5).

Innamon alue on lähinnä silakan lisääntymisaluetta. Innamon eteläpuolitse kulkee vilkkaasti liikennöity laivaväylä Turkuun ja Naantaliin. Laivaliikenteen aiheuttama eroosio on nähtävissä useiden saarten rannoilla väylän läheisyydessä. Innamon saaren viereisillä vesillä tehtiin virtausmittauksia 5.6.2003. Virtausmittausten aikana vallitsi erittäin tyyni sää (vrt. kuva 29). Lännestä puhaltavan tuulen voimakkuus oli vain 1 m/s Ilmatieteen laitoksen Vänön mittausasemalla. Mittauskohteen keskimääräinen veden virtausnopeus oli 3,6 cm/s (kuva 30). Vaikka mittauspaikka sijaitsi suojaisessa paikassa Högrundetin takana, laivojen Gute ja Silja Festival ohitusten (kuva 29) jälkeen klo. 10:34 havaittiin veden virtausten nopeusmaksimi yli 10 cm/s (kuva 30, punainen alue). Vastaava, mutta pienempi virtaushäiriö näkyi myös Viking Amorellan ohiajon aikana.

Högrundetin läheltä otettu näyte oli keskikarkeaa hiekkaa (taulukko 1), joka erodoituu yli 13 cm/s suuruisilla virtauksilla. Väylän vaikutuspiirissä huomattavasti karkearakeisempikin aines lähtee liikkeelle (kuva 31). Rantaeroosion kehitystä Innamon alueella käsitellään luvussa 6.



Kuva 29. Gute ja Silja Festival ohittavat Haapaluodon. (Kuva: Tuula Kohonen 2003).

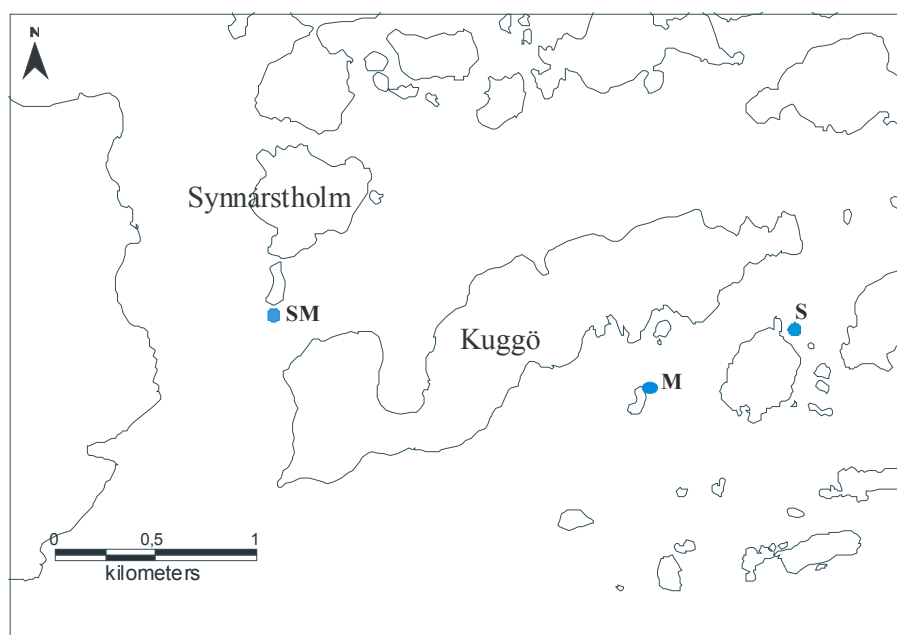


Kuva 30. Virtausmittaukset: Innamo 5.6.2003; länsituuli 1 m/s.



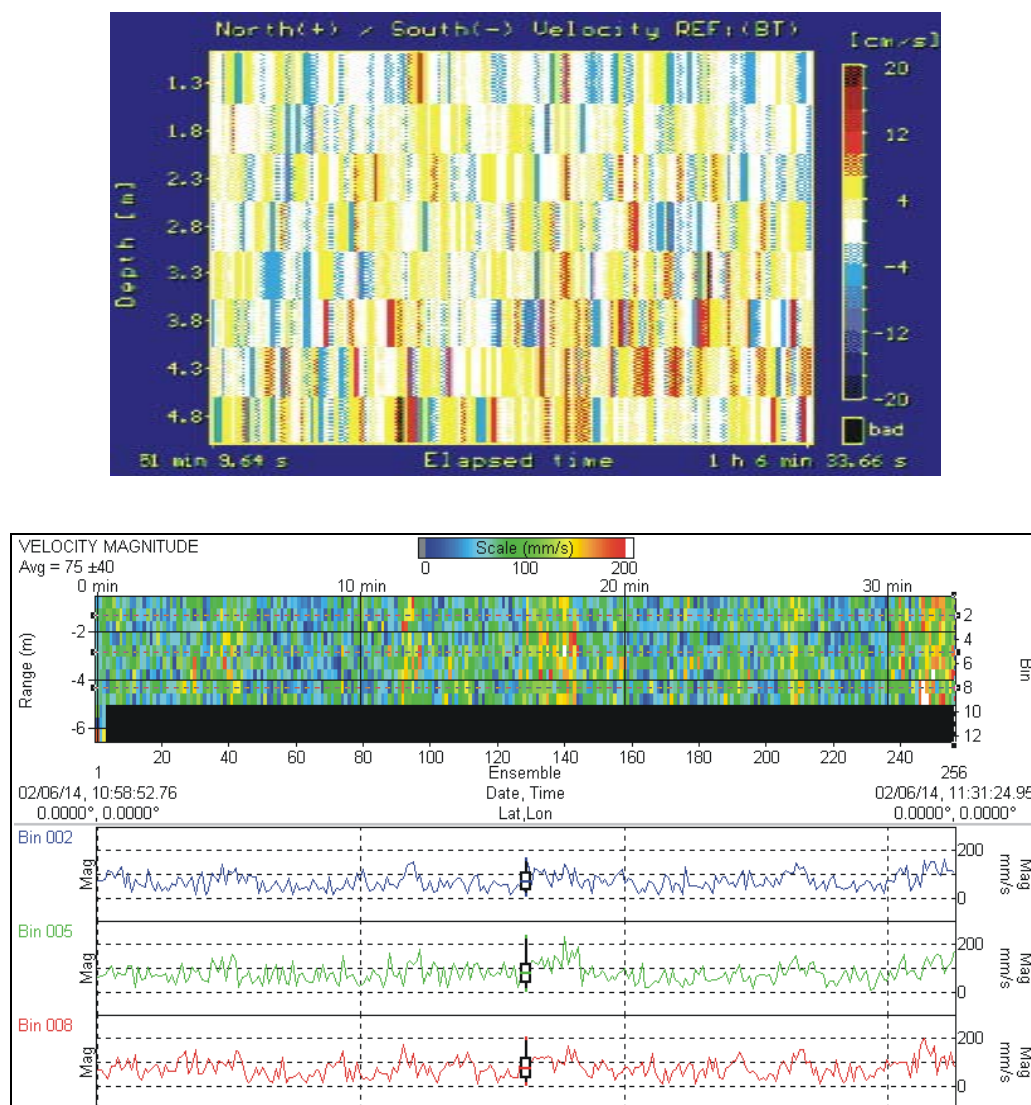
Kuva 31. Laivaliikenteen aiheuttamat aallot ja virtaukset ovat kuljettaneet pois karkearakeistakin maa-ainesta Haapaluodon rannasta. (Kuva: Tuula Kohonen 2002).

7. KUGGÖ - SYNARSTHOLM



Kuva 32. Kuggö - Synarstholmin sedimenttinäyte- (S) ja mittauskohteet (M).

Synarsthalm – Pensarin alue on siian kutualuetta ja Kuggön eteläpuolella on kampelan lisääntymisalueita. Kuggön sedimentti on keskikarkeaa hiekkaa ja Synarstholmissa pintasedimentti on syvemällä karkeaa hiekkaa ja rannempaa hiekkaista soraa (taulukko 1). Synarstholmin pohjasedimentissä oli runsaasti sinisimpukoita (*Mytilus edulis*), mikä ilmentää hyviä happioloja.

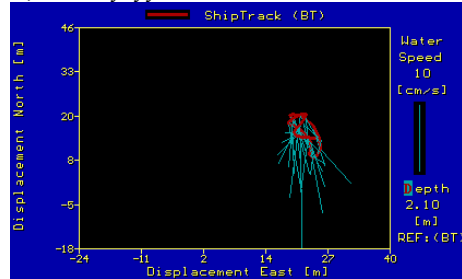


Kuva 33. Virtausmittaukset: Kuggö 14.6.2002.

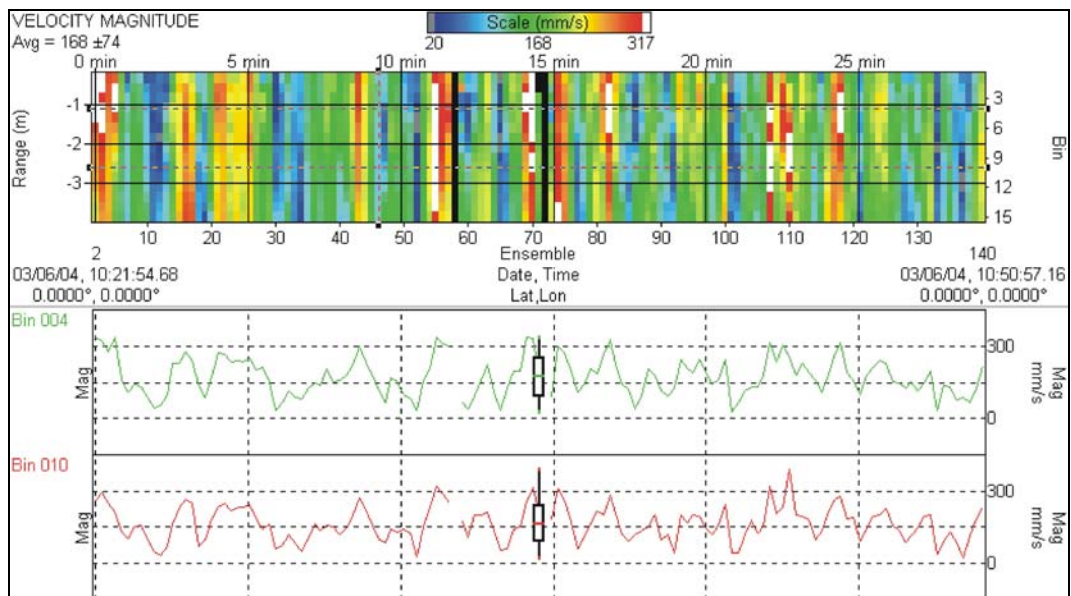
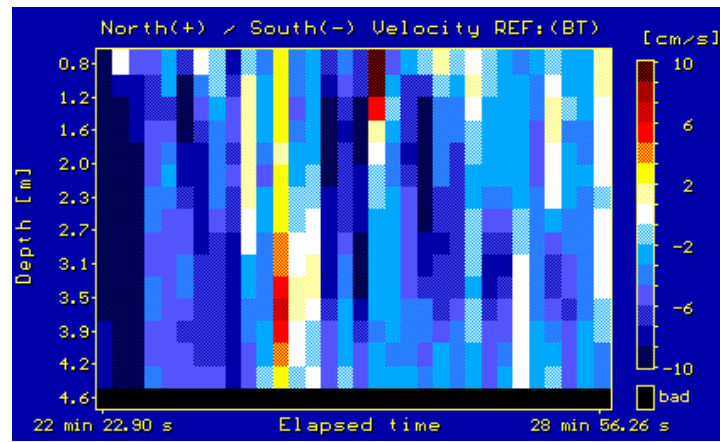
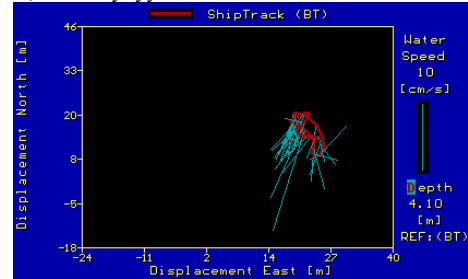
Kuggön alueella tehtiin virtausmittauksia kesällä 2002 (kuva 33). Mittausajankohdan tuulitietoja ei ole käytettävissä, mutta mitatut virtausnopeudet olivat suhteellisen pieniä, keskimäärin 7,5 cm/s, vaikka myös yli 10 cm/s virtauksia esiintyi (kuva 33). Nämä virtaukset kuljettaisivat korkeintaan 0,11 mm rakeita, joten Kuggön pohjasedimenttiä ei ole lähtenyt liikkeelle mittausaikana.

Synnarstholmin virtauksia tutkittiin kesällä 2003 (kuva 34). Alueen virtaukset eivät näytä olevan kytköksissä vallitseviin tuuliin. Mittaushetkellä tuuli lounaasta 7 m/s, mutta veden virtaukset eivät suuntautuneet koilliseen, vaan lähinnä etelään (kuva 34 A ja B). Keskimääräinen virtausnopeus oli 16,8 cm/s ja useampia 30 cm/s nopeusmaksimejakin esiintyi. Ilmeisesti Synnarstholm – Pensar -alueella vallitsevat voimakkaat, tuulioloista riippumattomat virtaukset ovat luoneet siian lisääntymiselle suotuisat olosuhteet tälle alueelle.

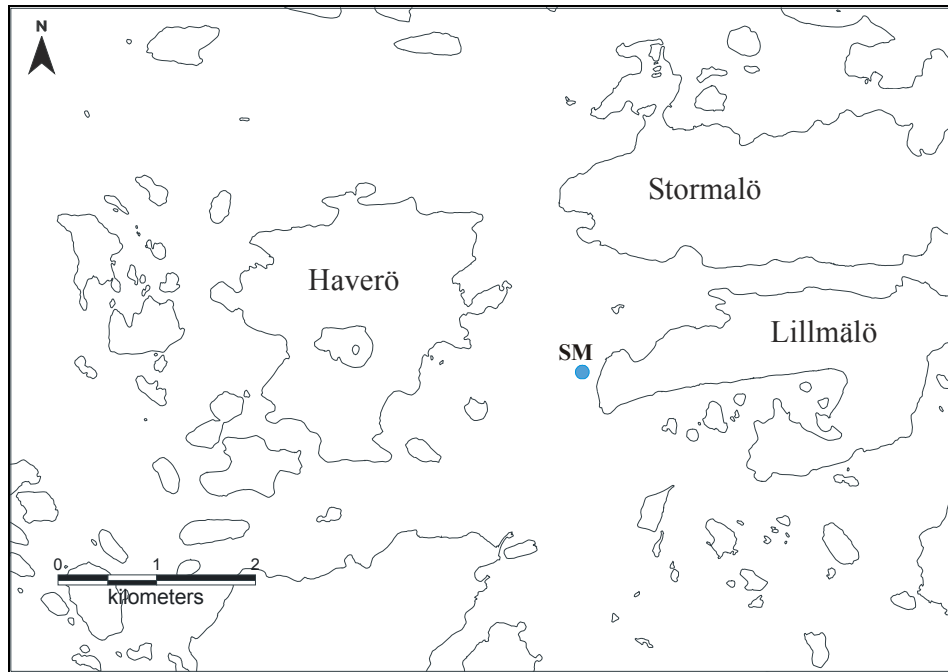
A, veden syvyys 2 m



B, veden syvyys 4 m

**Kuva 34.** Virtausmittaukset: Synnarstholm 4.6.2003; lounaistuuli 7 m/s.

8. LILLMÄLÖ

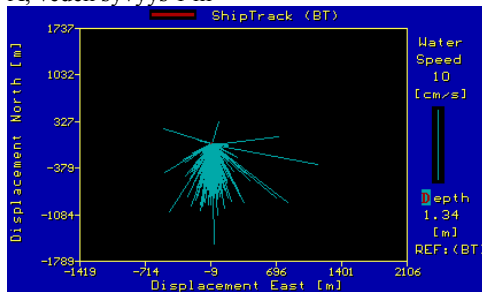


Kuva 35. Lillmälön sedimenttinäyte- ja mittauskohteet (SM).

Lillmälö on silakan kutualuetta, jossa myös härkä- ja isosimppu lisääntyvät. Virtausmittauksia tehtiin kesällä 2002. Lillmälön alueen virtauskentässä ei näkynyt heikkojen lounaistuulten vaikutus, sillä virtaukset suuntautuivat etelään tai kaakkoon kaikissa mitatuissa vedensyvyyksissä (kuva 36 A-C). Keskimääräinen virtausnopeus oli 5,9 cm/s, mikä saa liikkeelle vain alle 0,07 mm rakeita. Lillmälön sedimenttinäytteen mediaaniraekoko oli 1 mm (taulukko 1).

CTD-mittausten mukaan veden happitilanne oli hyvä (liite 4, kuva 15).

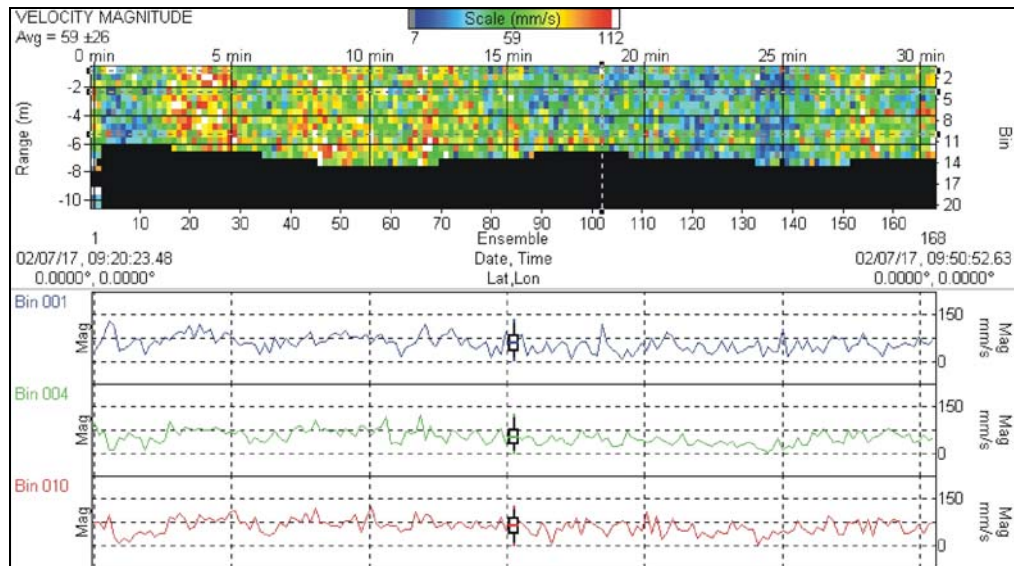
A, veden syvyys 1 m



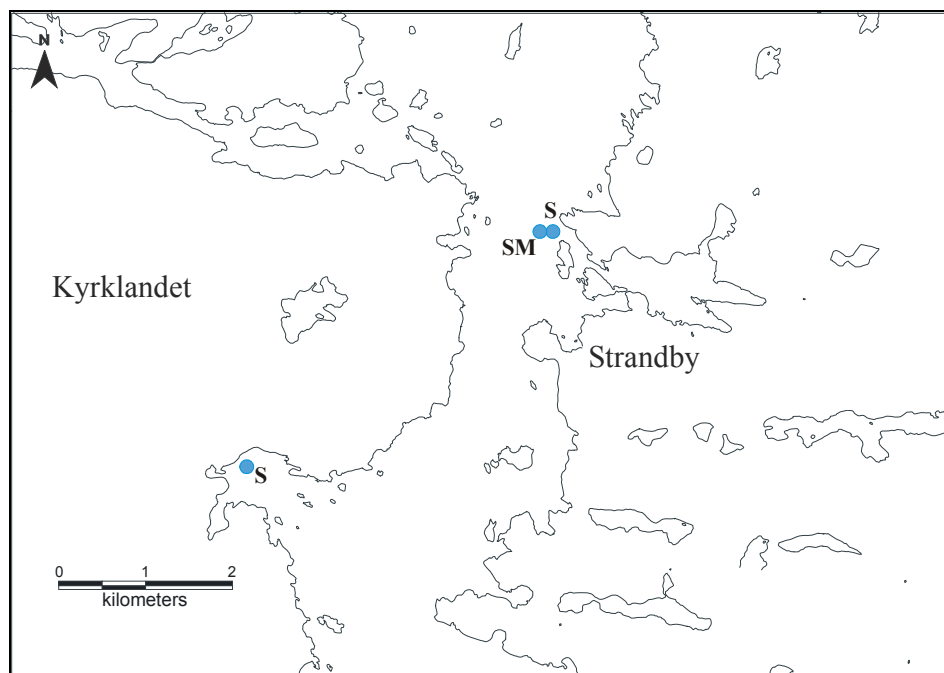
B, veden syvyys 4 m



C, veden syvyys 7 m

**Kuva 36.** Virtausmittaukset: Lillmälö 17.7.2002; lounaistuuli 2 m/s.

9. PÄRNÄINEN – ROSKLAX VIKEN

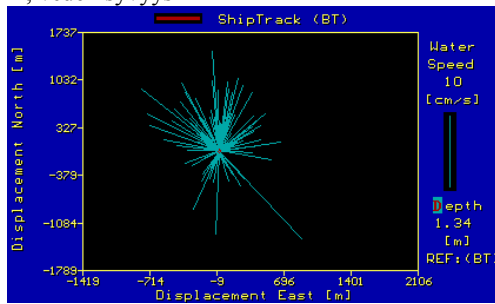


Kuva 37. Pärnäisten sedimenttinäyte- (S) ja mittaushkohteet (M).

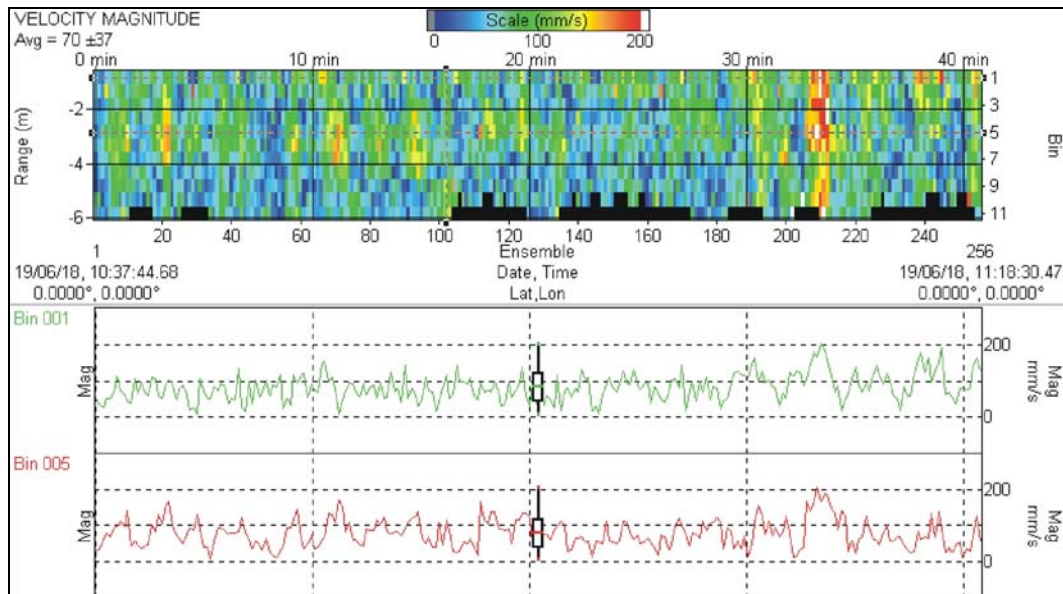
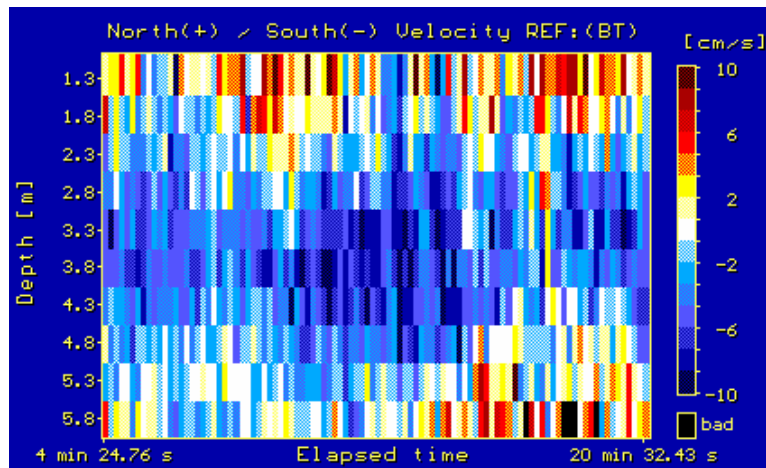
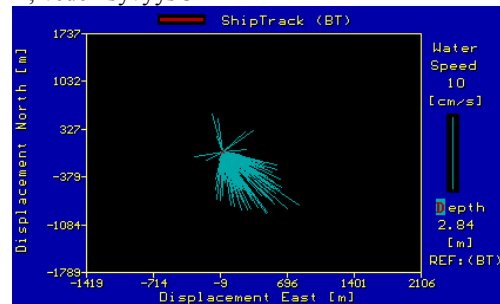
Pärnäisten tutkimuskohde on silakan ja kampelan lisääntymisaluetta. Rosklax vikenin aluetta epäiltiin myös kampelan lisääntymisalueeksi, mutta kutevaa kampelaa ei sieltä löydetty. Virtausmittauksia tehtiin Pärnäisten alueella kesällä 2002. Kaakosta puhalta-vien tuulten vaikutus ei näy ihan ylimmissä vesikerroksissa, mutta jo 3 m syvyydessä havaitaan selvä kaakkoon suuntautuva vastavirtaus (kuva 38 a ja B). Virtausnopeus oli keskimäärin 7 cm/s, mutta jopa 20 cm/s virtaushuippuja esiintyi.

Pärnäisten CTD-mittauksen tulokset on esitetty liitteessä 4 (kuva 17). Veden happiti-lanne oli hyvä myös pohjan lähellä. Alueen pohjasedimentti on keskikarkeaa tai karkeaa hiekkaa (taulukko 1), joka erodoituu todettujen virtausmaksimien aikana. Rosklax vikenin sedimentti on hienoa hiekkaa (taulukko 1).

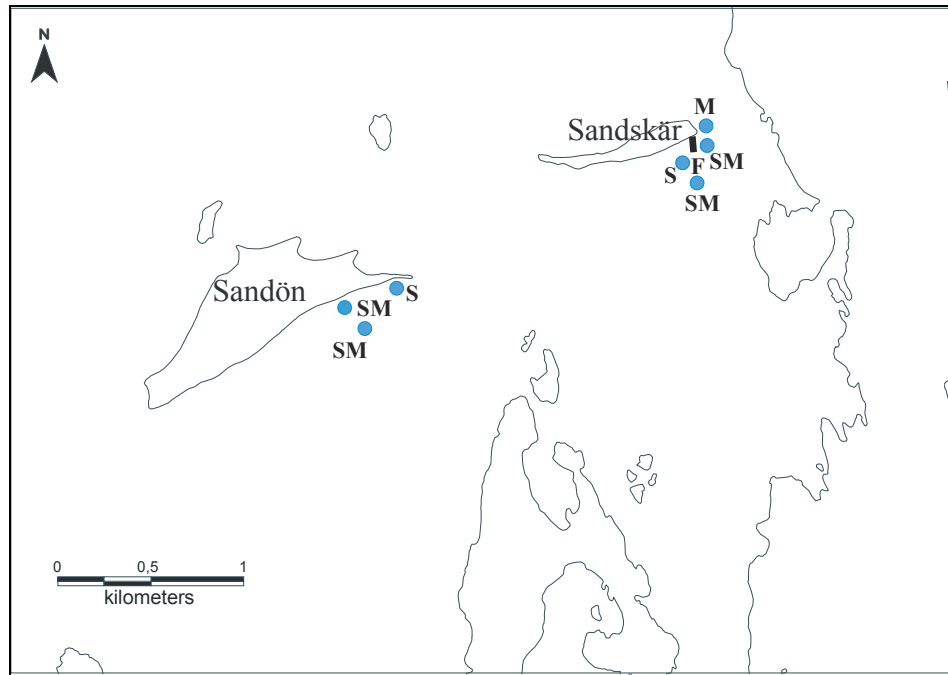
A, veden syvyys 1 m



B, veden syvyys 3 m

**Kuva 38.** Virtausmittaukset: Pärnäinen 18.7.2002; kaakkoistuuli 4 m/s.

10. SANDÖN - SANDSKÄR



Kuva 39. Sandön - Sandskär –alueen sedimenttinäyte- (S) ja mittauskohteet (M) sekä F = fosforitutkimuslinja (vrt. luku 5).

Kampela lisääntyy Sandön – ja Sandskär – saarten lähistöllä ja Sandön on tutkimusten mukaan myös ahvenen lisääntymisaluetta. Sandön - ja Sandskär – saarten alueelta on otettu sedimenttinäytteitä vuosina 2002 ja 2003. Näytteiden mukaan alueen pohjasedimentti on hienoa tai keskikarkeaa hiekkaa (taulukko 1). Se lähtee liikkeelle jo suhteellisen heikkojen virtausten (8,5 – 15,5 cm/s) vaikutuksesta.

Örön väylähankeen YVA-tutkimuksissa Sandskärin mittauskohteessa havaittiin puolustusvoimien aluksen ohituksen aikana 46 cm/s maksiminopeus pohjan läheisessä virtauskentässä. Örön YVA-tutkimusten mukaan jo pienveneiden liikennöinti saattaa aiheuttaa eroosiota Sandskärissä. (Karvonen ym. 2002.)

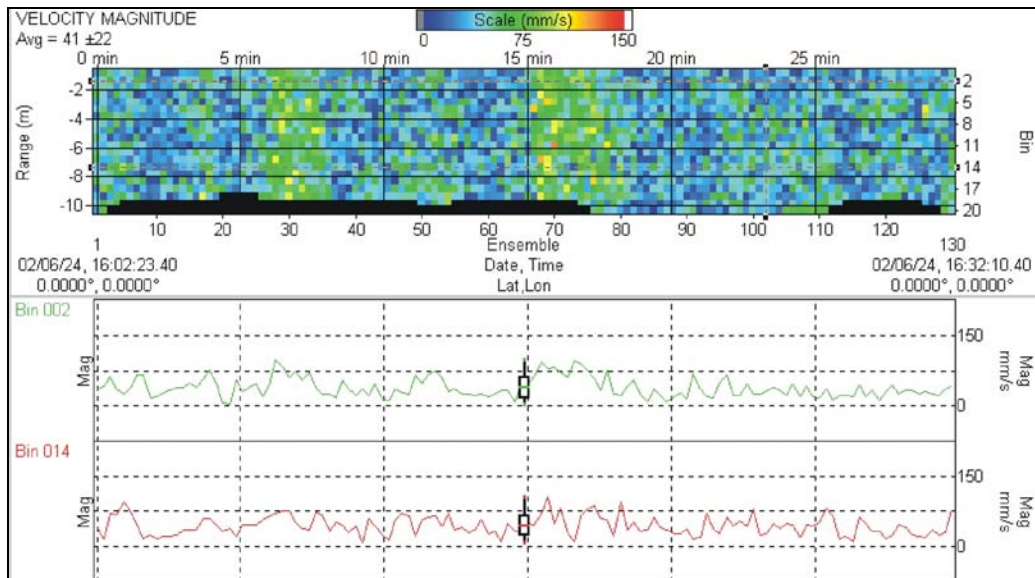
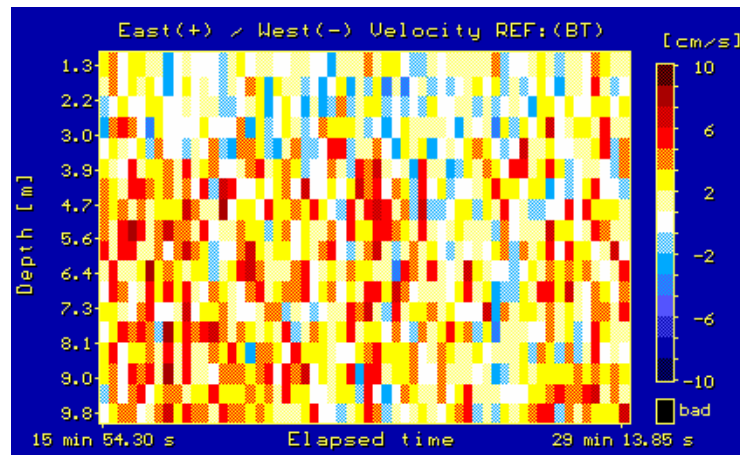
Sandskärin virtauksia mitattiin vuonna 2002 kohtalaisten luoteistuulten vallitessa. Keskimääräinen virtausnopeus tässä mittauskohteessa oli vain vähän yli 4 cm/s (kuva 40). Tuulensuunnan vaikutusta ei voitu havaita virtausten suuntautuneisuudessa (kuva 40 A ja B). Sandönin alueella samana päivänä tehdyissä mittauksissa keskimääräinen virtausnopeus oli hieman suurempi (kuvat 41 ja 42) eikä tuulen suunnan vaikutusta virtausuuntiin voitu täälläkään havaita. Toisen Sandönin kohteen virtausnopeuden maksimit (kuva 42) olivat luokkaa 15 cm/s, jolla 0,45 mm ja sitä pienemmät sedimenttirakeet lähtevät liikkeelle. Tässä kohteessa sedimentin mediaaniraekoko oli 0,15 mm.

CTD-mittausten mukaan veden happipitoisuus oli molemmissa kohteissa hyvä (liite 4, kuvat 18, 21 ja 22).

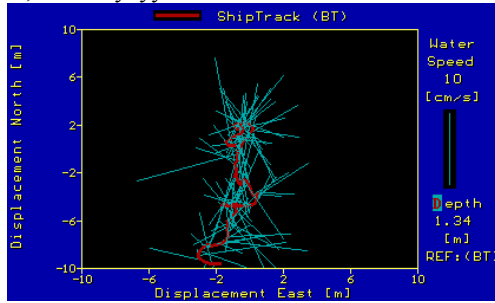
A, veden syvyys 2 m



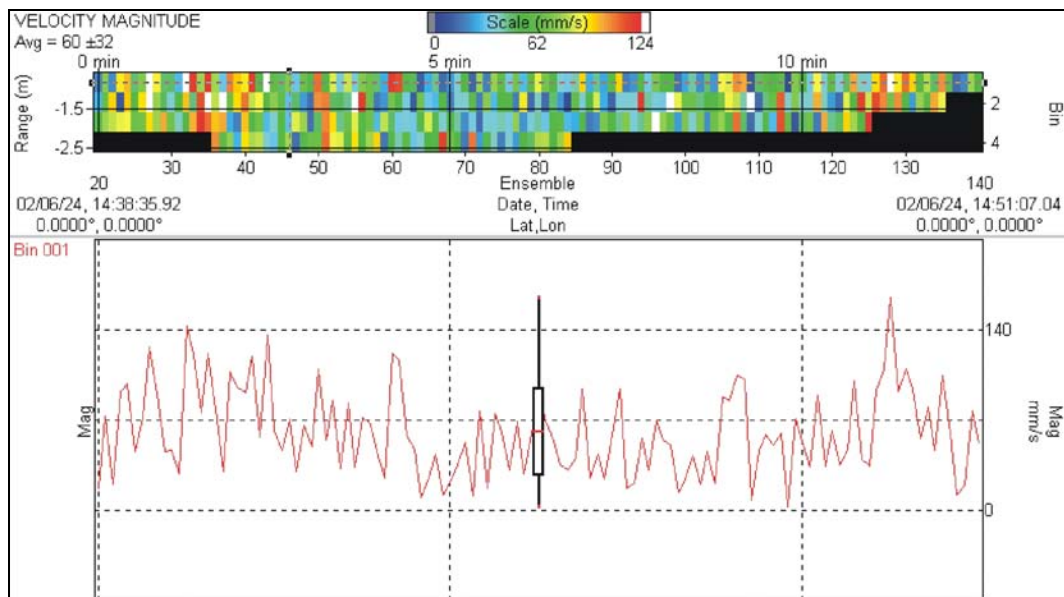
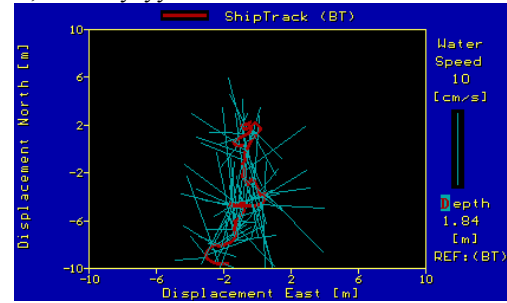
B, veden syvyys 9 m

**Kuva 40.** Virtausmittaukset: Sandskär 24.6.2002; luoteistuuli 4 m/s.

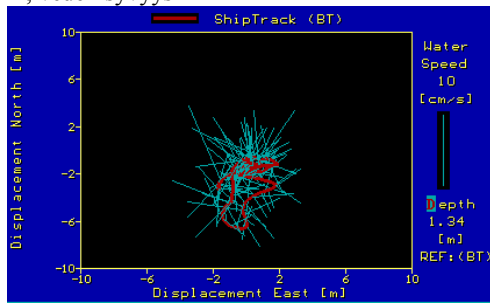
A, veden syvyys 1 m



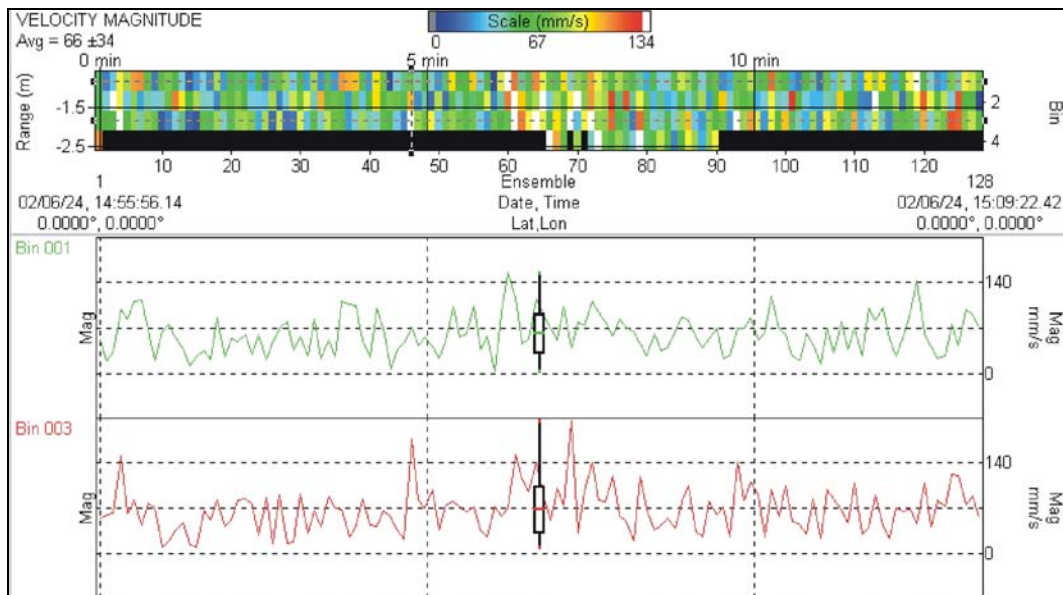
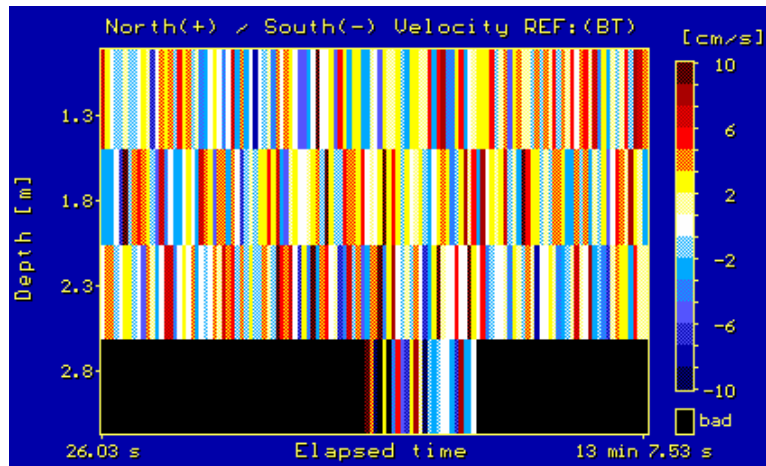
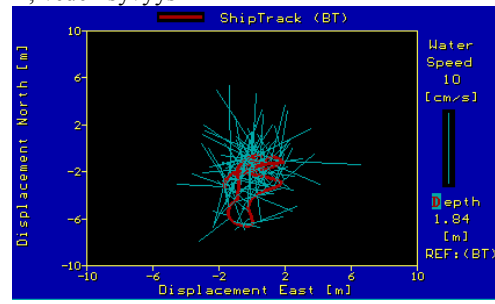
B, veden syvyys 2 m

**Kuva 41.** Virtausmittaukset: Sandön (1) 24.6.2002; luoteistuuli 4 m/s.

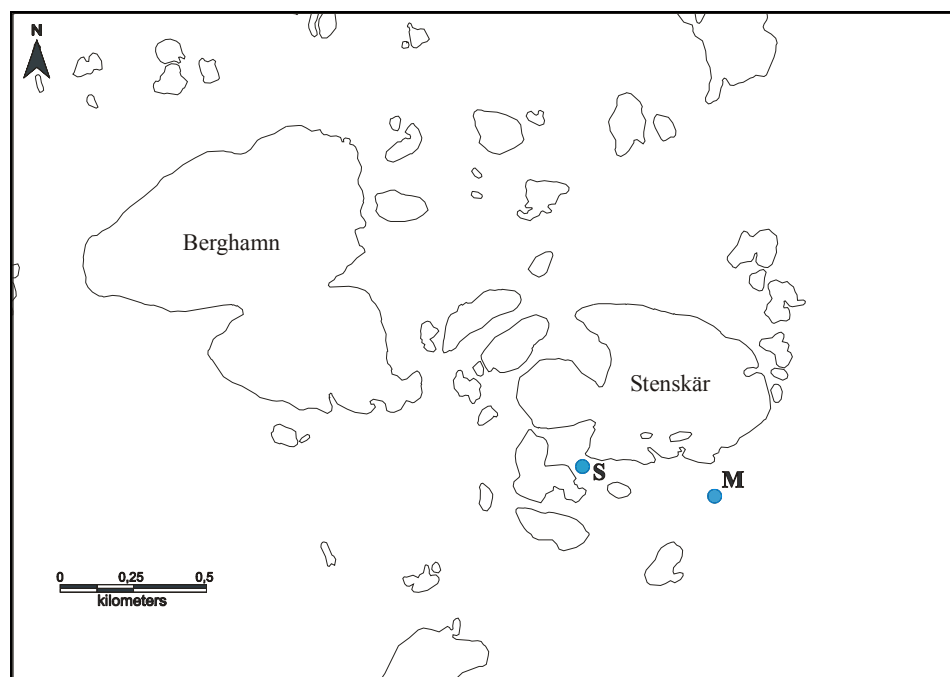
A, veden syvyys 1 m



B, veden syvyys 2 m

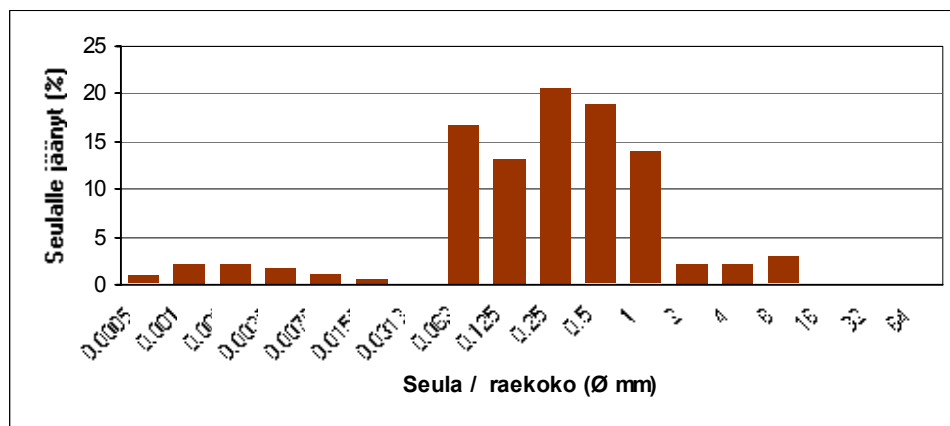
**Kuva 42.** Virtausmittaukset: Sandön (2) 24.6.2002; luoteistuuli 4 m/s.

11. STENSKÄR



Kuva 43. Stenskarin sedimenttinäyte- ja mittauskohteet (SM).

Stenskarin alue on ahvenen kutualuetta. Alueelta sukeltamalla otettu sedimenttinäyte edusti keskikarkeaa hiekkaa (taulukko 1). Näytteen raekokojakauma on kuvassa 44.



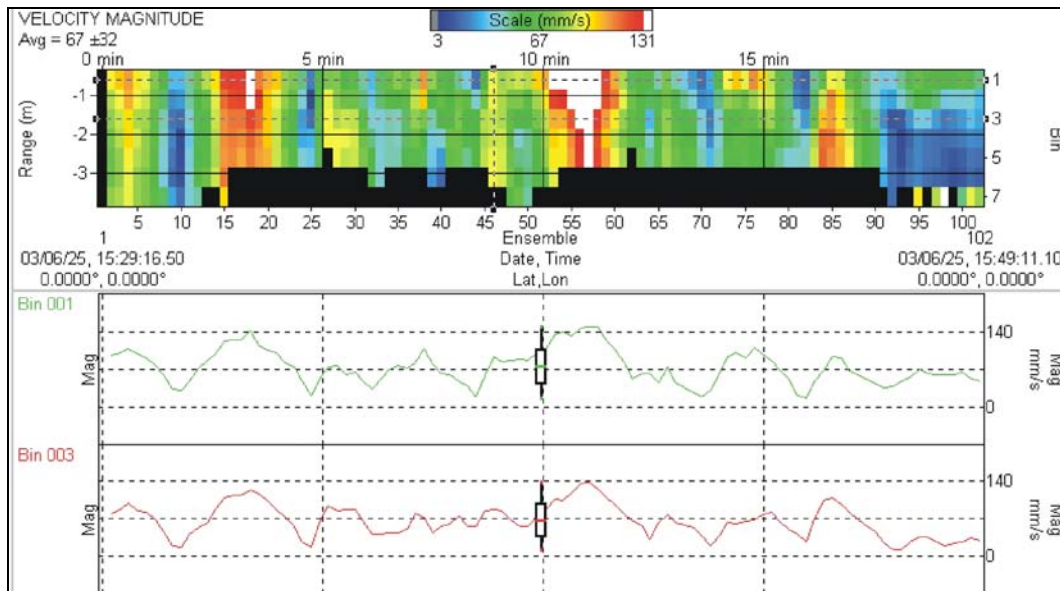
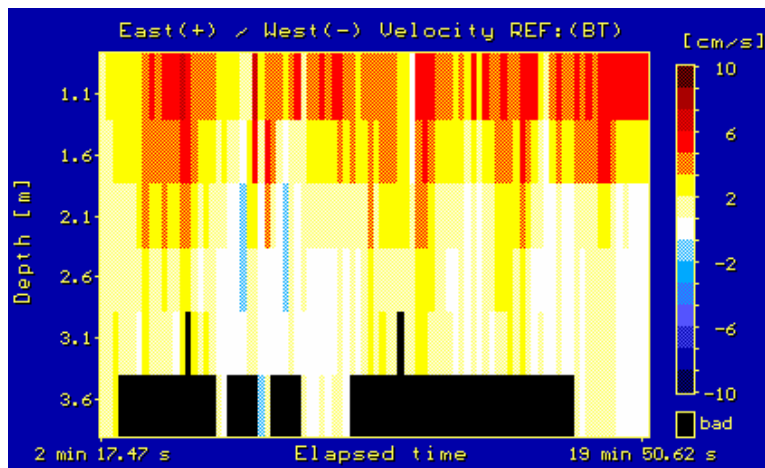
Kuva 44. Stenskarin sedimenttinäytteen raekoostumus.

Virtausmittausten aikana Stenskarissa puhalsi kohtalainen (4 m/s) kaakkoistuuli, jonka vaikutus ei näy virtauskentässä (kuva 45 A ja B). Keskimääräinen virtausnopeus oli 6,7 cm/s, mikä saa raekokoa 0,09 mm pienemmät sedimenttirakeet liikkeelle (vrt. kuva 44). Stenskarin mittauspaikan veden happipitoisuus oli hyvä, yli 7 m syvyydessäkin lähes 10 mg/l (liite 4, kuva 23).

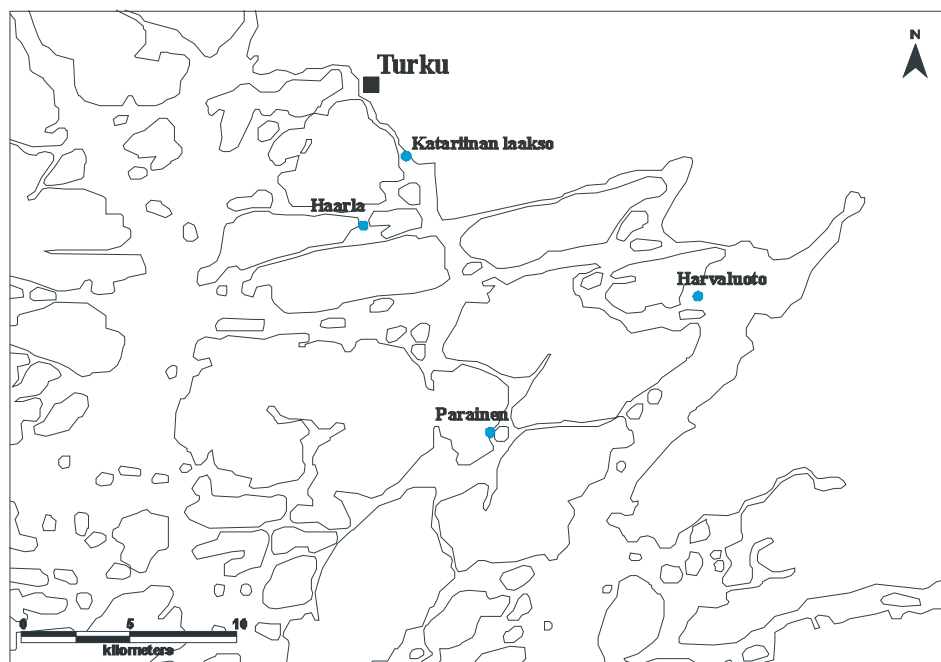
A, veden syvyys 1 m



B, veden syvyys 4 m

**Kuva 45.** Virtausmittaukset: Stenskar 25.6.2003; kaakkoistuuli 4 m/s.

12. KUHAN LISÄÄNTYMISALUEET

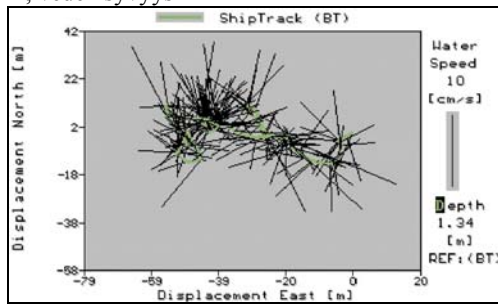


Kuva 46. Oletettujen kuhan kutualueiden sedimenttinäyte- ja mittauskohteet.

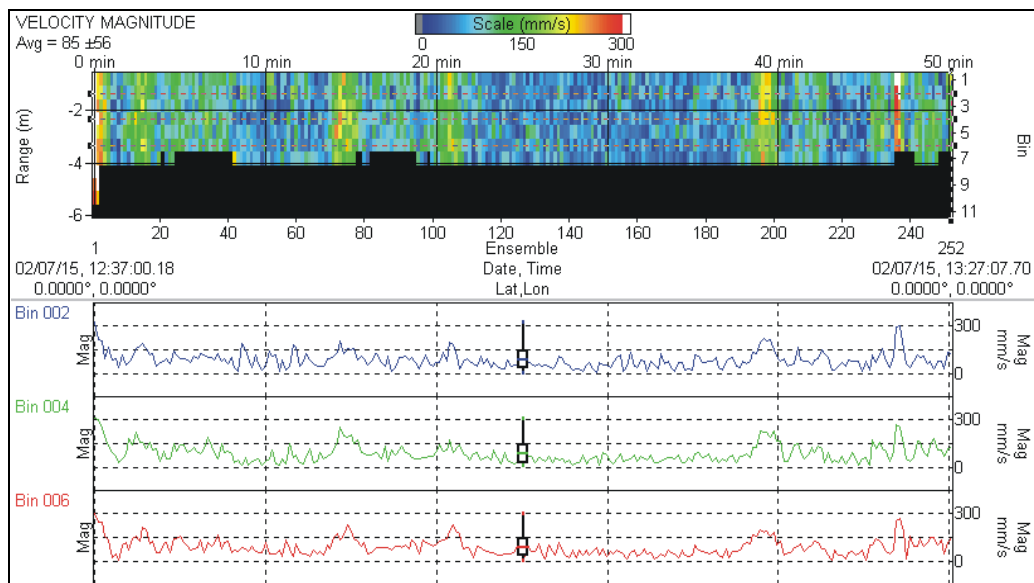
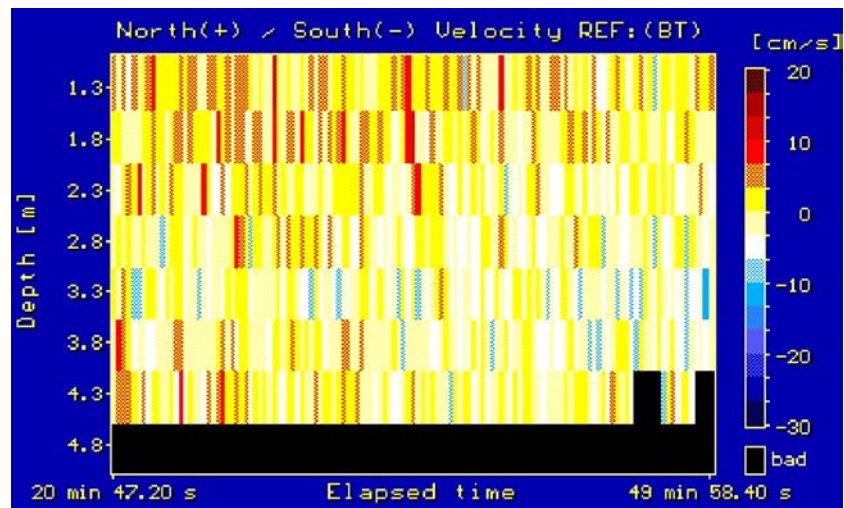
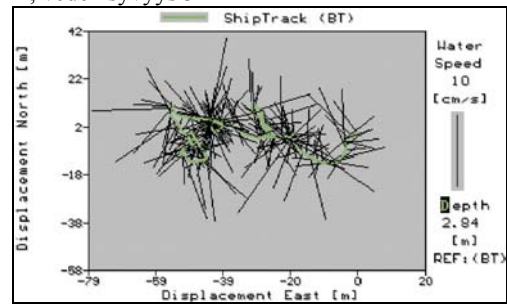
Oletettuja kuhan lisääntymisalueita tutkittiin kesällä 2002. Tutkituista neljästä kohteesta (kuva 46) kuhan kutualueeksi todentui vain Haarlan lähellä oleva alue. Haarlan virtausmittauksissa keskimääräinen virtausnopeus oli 8,5 cm/s (kuva 47), mikä saa liikkeelle raekooltaan 0,14 mm pienemmät sedimenttirakeet. Pohjan sedimentti oli karkeampaa ainesta (taulukko 1), joka ei havaituilla virtausnopeuksilla lähde liikkeelle. Tosin mittausjaksolla havaittiin joitakin yli 15 cm/s huippunopeuksia. Veden virtaussuunnissa tuulten vaikutus ei tälläkään alueella näy (kuva 47 A ja B).

Haarlan ja Katariinanlaakson kohteiden CTD-mittaukset tehtiin samana päivänä ja tulokset on esitetty liitteessä 4 (kuvat 7 ja 14). Haarlassa veden happipitoisuus oli huomattavasti parempi (8,5-9 mg/l) kuin Katariinanlaaksossa (5,7-7,5 mg/l). Myös Harvaluodon ja Paraisten CTD-mittausten tulokset on esitetty liitteessä 4 (kuvat 8 ja 16) ja sedimenttinäytteiden fysikaalisten analyysien tulokset taulukossa 1.

A, veden syvyys 1 m

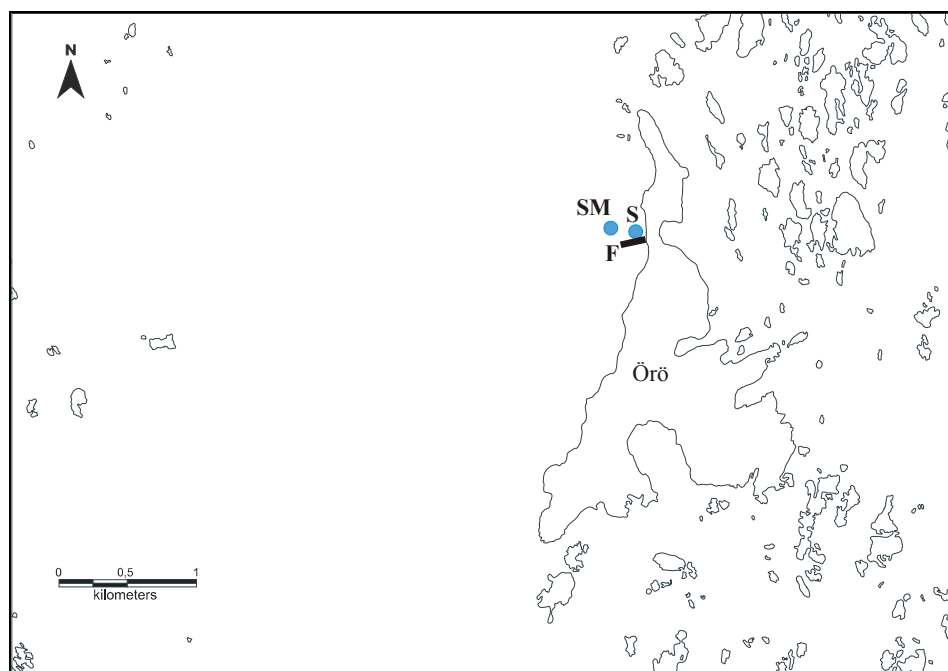


B, veden syvyys 3 m



Kuva 47. Virtausmittaukset: Haarla 15.7.2002; luodetuuli 3 m/s.

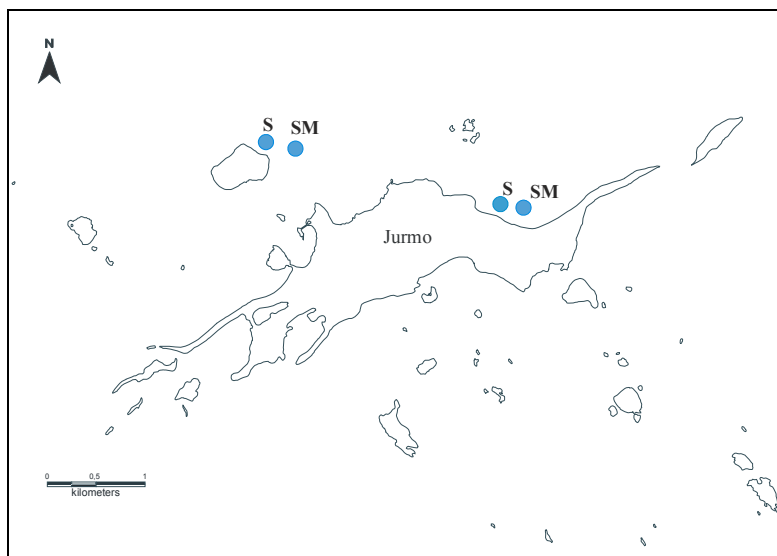
13. ÖRÖ



Kuva 48. Örön sedimenttinäyte- ja mittauskohteet (SM) sekä fosforitutkimuslinja (F, vrt. luku 5).

Örön alue on todennettu kampelan lisääntymisalueeksi. Alueella on tehty virtausmittauksia Örön väylähankkeen YVA-selvitysten yhteydessä. Tutkimuksissa havaittiin, että Örön ranta on luonnostaan alttiina voimakkaille kulutusvoimille, jopa heikkojenkin tuulten vallitessa (Kovanen ym. 2002). Örön sedimentin eroosiota aiheuttavaksi virtausnopeudeksi saatiin laskennallisesti arvo 95 cm/s. Tämän tutkimuksen sedimenttinäytteen mediaaniraekoko on 4 mm (taulukko 1). Suurin osa pohjasedimenttiä on suurirakeisempaa, sillä näyte on otettu sukeltamalla. Jakobsonin kaavalla laskettuna nopeudeltaan 44,7 cm/s virtaukset juuri ja juuri saisivat halkaisijaltaan 4 mm rakeet liikkeelle.

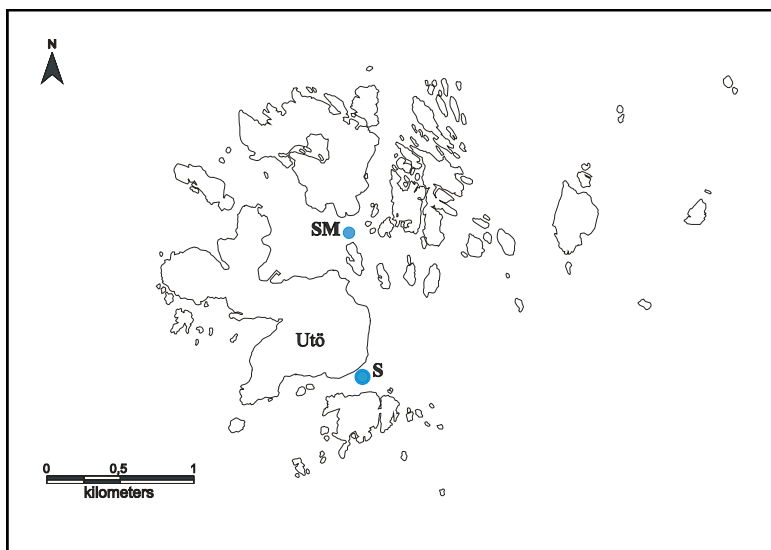
14. JURMO JA UTÖ



Kuva 49. Jurmon sedimenttinäyte- ja mittauskohteet (SM).

Jurmossa tehtiin kenttätöitä kesällä 2002. Jurmo on kampelan lisääntymisaluetta. Mittauksia tehtiin aluksi lähellä Jurmon saaren luoteispuolella olevaa saarta (Jurmo 1) ja sitten Jurmon saaren pohjoispuolella (Jurmo 2). CTD- mittausten mukaan molemmissa tutkituissa kohteissa oli hyvät happiolot (liite 4, kuvat 12 ja 13). Samana päivänä tehtiin mittauksia myös Utössä (kuva 50), mutta karikkoiselle kampelan kutualueelle ei päästy t/a Aurelialla. Mittaustulokset (liite 4, kuva 24) eivät siis kuvasta kutualueen oloja.

Jurmon sedimentti on karkeaa tai keskikarkeaa hiekkaa (taulukko 1), jossa on vain vähän orgaanista ainesta. Sitä ei kerry edes syvemmälle, sillä 18 m syvyydestäkin otetun sedimenttinäytteen heikutushäviö oli vain 0,25 % k.a.



Kuva 50. Utön sedimenttinäyte- ja mittauskohde (SM) ja kutualueen näyte (S).

4.5. Johtopäätökset

Sedimenttitutkimusten mukaan kutualueiden tila oli hyvä. Pohja oli pääasiassa karkeaa sedimenttiä, johon ei ollut kertynyt orgaanista eikä hienorakeista ainesta. Veden happi-tilanne oli hyvä kaikissa mittauspaikoissa. Veteen liunneen hapen määrä oli lähellä pohjaakin yleensä yli 8 mg/l, vain muutamassa kohteessa hieman pienempi.

Saariston suojassa olevissa mittauskohteissa tuulten nopeudella tai suunnalla ei aina ollut selvästi havaittavaa vaikutusta veden virtauskenttään. Yhtenäisiä piirteitä eteläisen Saaristomeren virtausoloille ei tämän tutkimuksen mukaan löydy. Paikalliset voimakkaat virtaukset vähentävät orgaanisen aineksen ja hienorakeisten sedimenttipartikkelien kertymistä veden virtausten vaikutusalueella.

Yksi kutualueiden tilaa uhkaavista tekijöistä on eroosio. Suurimittaista eroosiota tapahtuu Innamon lähialueen rannoilla. Eroosioherkkiä rantoja ja pohjia on myös Dragsfjärdin saaristossa. Näillä alueilla pohjasedimenttiä lähtee liikkeelle jo pienveneliikenteen vaikutuksesta.

Kirjallisuus

Abookire, A. A. & Norcross, B. L. 1998. Depth and substrate as determinants of distribution of juvenile flathead sole (*Hippoglossoides elassodon*) and rock sole (*Pleuronectes bilineatus*), in Kachemak Bay, Alaska. *Journal of Sea Research* 39, 113-123.

Bengtsson, L. ja Enell, M., 1986: Chemical analysis. *Teoksessa*: Berglund, B., (toim.): *Handbook of Holocene Palaeoecology and palaeohydrology*. John Wiley & Sons, 405-451.

Davies, J., Baxter, J., Bradley, M., Connor, D., Khan, J., Murray, E., Sanderson, W., Turnbull, C. & Vincent, M. 2001 (Eds.). *Marine Monitoring Handbook*. March 2001. Joint Nature Conservation Committee. UK Marine SACs Project. 405 s.

Gibson, R. N. & Robb, L. 2000. Sediment selection in juvenile plaice and its behavioural basis. *Journal of Fish Biology* 56, 1258–1275.

Hjulström, F. 1935. Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the river Fyris. Uppsala. (Viite julkaisussa Jakobsen ym. 1970).

Jakobson, B., Fagerström, H. & Arhippainen, E. 1970. Eroosio. *Teoksessa*: Koivu, T. (Toim.). *Rakennustekniikan käsikirja*. Pääjakso 1: Yleiset perusteet, II osa. Osasto 17, Geotekniikka. 1072-1076.

Karvonen, T., Mäkynen, T., Niinistö, J. & Perälä, H. (TY/Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskus) sekä Kohonen, T., Vahteri, P. & Virtasalo, J. (TY/Saaristomeren tutkimuslaitos) 2002. Örön väylän ympäristövaikutusten arviointiselostus. Liite ympäristölupahakemukseen. Merenkulkulaitos. Saaristomeren merenkulkupiiri. 101 s. ja liitteet.

Koli, L. (toim.) 1987. Suomen eläimet 3. Weilin & Göös, Espoo. 343 s.

Korhonen, K.-H., Gardemeister, R. & Tammirinne, M. 1974. Geotekninen maaluokitus. VTT. Geotekniikan laboratorio. Tiedonanto 14.

Lisle, T. & Eads, R. 1991. Methods to Measure Sedimentation of Spawning Gravels. Research Note PSW-411. Pacific Southwest Research Station, Forest Service. U.S. Department of Agriculture. 7 s.

Moles, A. & Norcross, B. L. 1995. Sediment preference in juvenile Pacific flatfishes. Netherlands Journal Of Sea Research 34 (1-3), 177-182.

Stoner, A. W. & Ottmar, M. L. 2003. Relationships between size-specific sediment preferences and burial capabilities in juveniles of two Alaska flatfishes. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 282, 85– 101.

UNESCO 1996. Oceanographic Survey Techniques and Living Resources Assessment Methods. IOC Manuals and Guides No. 32.

Virtasalo, J., Kohonen, T., Vuorinen, I. & Huttula, T. 2004. Sea bottom anoxia in the Archipelago Sea, northern Baltic Sea – control of sedimentary environment on early phosphorus regeneration and diagenesis. (Käsikirjoitus lähetetty Marine Geology – lehteen 9.7.2004)

5. SEDIMENTIN FOSFORITUTKIMUS

Mari Sihvonen ja Tuula Kohonen

5.1. Johdanto

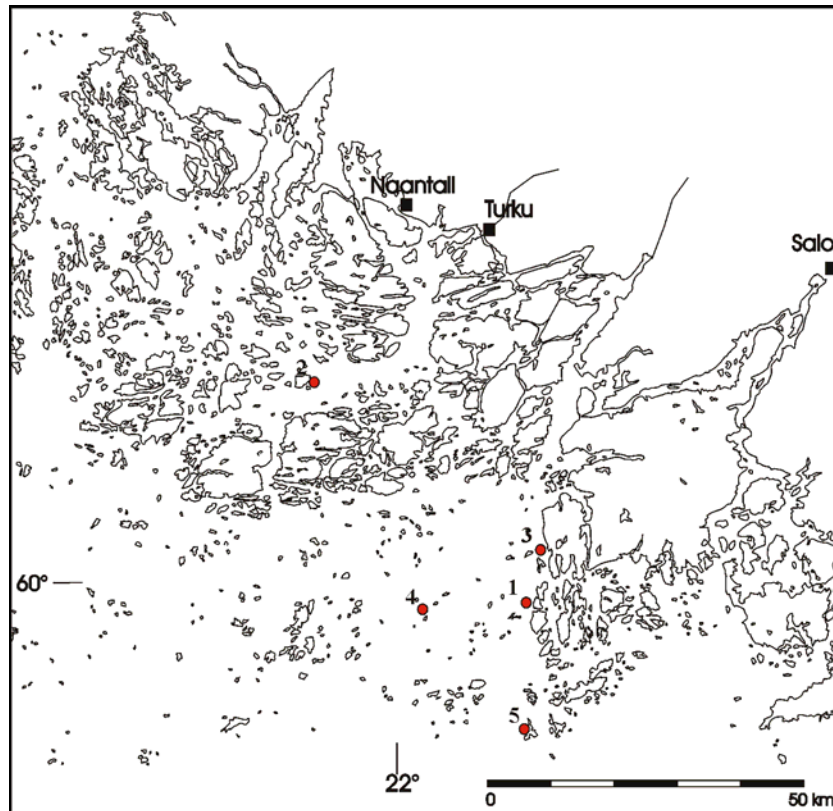
Merenpohjaan kertyy pohjalle laskeutuvan orgaanisen ja mineraaliaineksen mukana runsaasti fosforia aikojen kuluessa ja sedimentti alkaa toimia ravinnevarastona. Fosforia sisältävä sedimentti toimii myös ravinnelähteenä, kun ravinteita vapautuu veteen olosuhteiden muuttuessa, esimerkiksi sedimentin resuspensiotapahtumissa (Wallin & Håkanson 1992). Pohjaeläinten toiminnan, bioturbaation, ja jääkauden jälkeisen maan kohoamisen aiheuttaman eroosion vaikutuksesta sedimenttiin ja mineraalirakeiden väliin huokosveteen varastoituneita ravinteita vapautuu vesifaasiin. Mittavia ravinnepulssseja sedimentistä veteen tulee kuitenkin ihmistoiminnan kuormituksesta (laivaliikenteen aiheuttama eroosio, ruoppaukset ja ruoppausmassojen läjitykset, vesirakentaminen) sekä poikkeuksellisten sääolojen aikana (myrskytuulten aiheuttama eroosio). Sedimentin resuspensiotapahtumissa matalan veden sedimenttiin varastoituneita ravinteita kulkeutuu muualle ja kerrostuu akkumulaatioaltaiden sedimenttiin (Christiansen ym. 1992, Christiansen & Emelyanov 1995). ”Kuolleiden pohjien” hapeton sedimentti on merkittävä vesiympäristön fosforilähde. Hapettomien jaksojen aikana sedimenttiin varastoitunut rauta tulee liukoiseksi ja rautahydroksideihin sitoutunut fosfori vapautuu veteen. Vaikka pistemäisistä päästölähteistä Itämereen tuleva fosforikuormitus on viimeisten kymmenen vuoden aikana vähentynyt, niin hapettomien pohja-alueiden pinta-ala on paikoitellen vain laajenemassa (esim. Jonsson ym. 2003). Hajakuormituksen ja hapettomista sedimenteistä tulevien ravinnepäästöjen eli sisäisen kuormituksen vähentäminen on vaikea tehtävä. Kun vuonna 2000 Itämereen jokivesien mukana tuleva fosforikuorma oli 28 000 tonnia (HELCOM 2003), niin pelkästään Riianlahden sedimenteistä on arvioitu vapautuvan 18 700 tonnia fosforia vuodessa (Savchuk 2002).

5.2. Tutkimuksen tarkoitus

Saaristomeri kuuluu HELCOM:in ”hot spot” –alueisiin maataloudesta tulevien ravinnepäästöjen takia. Syyskesällä 2001 Saaristomerellä tehtiin ensimmäinen laaja hapettomien pohjien kartoitus, jonka yhteydessä tutkittiin mm. fosforin ja sen eri jakeiden pitoisuuksia oletettujen akkumulaatioalueiden pohjasedimentissä (Virtasalo ym. 2004). Vastaavia fosforitutkimuksia on tehty myös muualla Itämeressä, yleensä syvänteiden sedimenteistä (mm. Carman ym. 2000, Edlund & Carman 2001), mutta Itämeren litoraalisedimenttien fosforivarastoja ei tietyvästi ole tutkittu. Fosforitutkimuksemme tarkoituksena oli selvittää kalojen lisääntymisalueiden pohjasedimenttiin sitoutuneen kokonaisfosforin määrän lisäksi myös eri tavoin sitoutuneiden fosforijakeiden pitoisuuksia. Fosforifraktiotutkimuksen avulla voidaan arvioida tutkimuspohjien nykyistä ravinnetilaa ja ennakoida ravinnetilan muutoksia olosuhteiden muuttuessa.

5.3. Näytteenotto

Fosforitutkimuksen sedimenttinäytteitä otettiin rantavyöhykkeestä sukeltamalla viideltä alueelta (kuva 1). Sedimenttisarjan näytteitä kerättiin polyakryyliputkeen eri vesisyvyyksiltä metrin välein, alkaen 1 m syvyydestä 6 tai 7 m syvyyteen asti. Kivisiltä pohjilta näytteitä jouduttiin keräämään useammasta kohtaa kivien välistä. Neljästä kohteesta otettiin lisäksi pintasedimenttinäytteet myös syvemmältä Niemistö – tai Ekman -noutimella. Ennen analysointia näytteitä säilytettiin PE-muovipusseissa jääkaapissa tai pakastimessa.



Kuva 1. Fosforitutkimuksen näyteasemat: 1. Gåsholm, 2. Innamo, 3. Sandskär, 4. Sandskär-Rävsjär ja 5. Örö.

5.4. Laboratorioanalyysit

Sedimenttinäytteiden fysikaaliset analyysit tehtiin kuten luvussa 4.3. on selostettu. Ravinnetilan selvittämiseksi tutkittiin viideltä alueelta otettujen 40 sedimenttinäytteen fosforipitoisuus siten, että kokonaisfosforin muodostavat, mutta eri tavoin sitoutuneet fosforiyhdisteet erotettiin toisistaan. Fosforin fraktiot uutettiin käyttämällä Ruttenbergin (1992) kehittämää sekä Andersonin ja Delaney'n (2000) muuntamaa SEDEX-menetelmää (sequential extraction method). Menetelmä soveltuu erityisen hyvin fosforipitoisuuksien tarkasteluun merisedimenteistä, joissa fosforia on suhteellisen vähän (Ruttenberg 1992).

SEDEX-menetelmä on jaettavissa neljään eri vaiheeseen:

1. CDB-vaiheessa erottuu rautahydrokseihin sitoutunut fosfori, P_{ox}
2. Na-asettaatti-vaiheessa erottuu autigeeninen fosfori, P_{aut}
3. HCl-vaiheessa erottuu detritaalinen fosfori, P_{det}
4. hehkutusvaiheessa erottuu orgaaniseen ainekseen sitoutunut fosfori, P_{org}

Eri jakeiden yhteismäärä on sedimenttiin sitoutunut kokonaisfosfori, P_{tot} . Kaikista tarkasteltavista sedimenttinäytteistä tehtiin kaksi rinnakkaisuutosta, joiden tuloksista laskettiin keskiarvo.

Fosforifraktioiden määrittämisessä kuivaa, raekooltaan alle 0,125 mm:n sedimenttiä punnittiin 0,1 g koeputkeen. Uutokset ja niiden reaktioajat on selitetty Ruttenbergin (1992) sekä Andersonin ja Delaney'n (2000) artikkeleissa. Jokaisen reaktion jälkeen näytteitä sentrifugoitiin 3000 rpm 15 minuuttia ja uutosloukset kaadettiin keräelmäpulloihin. Muutamassa työvaiheessa on useampia osareaktioita ja näiden uutokset kerättiin yhdeksi kokoomanäytteeksi.

Autigeenisen, detritaalisen ja orgaanisen fosforin varsinaisena osoitusreaktiona käytettiin Murphyn ja Rileyn (1962) molybdeeninsininen –menetelmää, jossa liuoksesta mitattiin HACH DR/2000 spektrofotometrillä (aallonpituus 885 nm) reaktiivisen fosforin määrä (mg/l). Laimennussuhteet huomioiden näistä tuloksista laskettiin alkuperäisen näytteen fosforipitoisuudet kuivassa sedimentissä (mg P/g KS). Rautahydroksideihin sitoutunutta fosforia ei voi analysoida spektrofotometrillä ilman jatkokäsittelyä, joten ensimmäisen vaiheen (CDB-vaihe) uutokset analysoitiin ICP-AES-tekniikalla Geologian tutkimuskeskuksen Espoon Geolaboratoriossa. Samalla analyysillä saatiin määritettyä myös näytteiden rautapitoisuudet. Käytetty uutto liuottaa näytteistä vain herkästi liukenevan, hydroksideihin sitoutuneen rautaosuuden. Vastaavia, metallien herkkäliukoisia fraktioita saadaan määritettyä myös ns. sadevesiuutosta (pH 4 - 4,5). Sadevesiuuttoa on käytetty mm. Pohjois-Airiston sedimenttitutkimuksessa (Kohonen 1999).

5.5. Tulokset ja tulosten tarkastelu

Kaikki sedimenttinäytteet olivat maalajiltaan hiekkaa tai soraista hiekkaa, joissa oli suhteellisen vähän orgaanista tai hienorakeista ainesta (taulukko 1). Innamon kahta näytettä lukuun ottamatta tutkitut näytteet edustivat eroosioalueita. Innamon näytekohteessa voi tapahtua tilapäistä saven ja orgaanisen aineksen kertymistä transportaatiopohjalla, 5-6 m vesisyvyydessä. Näytteenottotavasta johtuen taulukossa 1 mainittu maalaji edustaa useimmiten vain karkeamman aineksen, kivien ja soran, joukossa olevaa ainesta. Sedimenttinäytteiden kokonaisfosforipitoisuudet, P_{tot} , vaihtelivat välillä 0,5 – 1,4 mg P/g kuivan sedimentin pitoisuutena (KS) (taulukko 2). Saaristomerellä tehdyissä aiemmissa tutkimuksissa sedimenttien kokonaisfosforiarvot ovat olleet 0,83 – 2,84 mg P/g KS (Virtaustutkimuksen neuvottelukunta 1979), 1,29 – 6,22 mg P/g KS (Korkka 1995) ja 0,5 – 4,08 mg P/g KS (Virtasalo ym. 2004). Virtasalon ym. (2004) tutkimusten mukaan Saaristomeren akkumulaatioalueiden sedimenteissä havaitut fosforipitoisuudet (1,08 – 4,09 mg P/g KS) olivat selvästi suurempia kuin nyt saadut tulokset, kun taas transportaatio- (0,9 – 2,5 mg P/g KS) ja eroosioalueilla (0,5 – 1 mg P/g KS) pitoisuudet olivat tulostemme kanssa saman suuntaisia. Fosforitutkimuksemme tuloksia voidaan hyvin verrata Virtasalon ym. (2004) tutkimustuloksiin, koska molempien tutkimusten analyysit on tehty SEDEX –menetelmällä.

Taulukko 1. Sedimenttinäytteiden vesipitoisuus (% märkäpainosta, ww), hehikutushäviö (LOI, % kuivapainosta, dw), savifraktion (<0,002 mm aineksen) osuus, mediaani raekoko (D₅₀) ja GEO-luokituksen mukainen maalaji (h=hieno, kk=keskikarkea, k=karkea, Hk=hiekka, Sr=sora).

Näytteenotto- paikka	Näytteenotto päivämäärä	Veden syvyys (m)	Koordinaatit N	Koordinaatit E	Vesipitoisuus (%) ww	LOI (%) dw	Savipit. (% <0.002 mm)	D ₅₀ (mm)	Maalaji (GEO)
Gåsholm	16.6.2003	1			19.3	1.6		1.00	kHk
	16.6.2003	2			16.5	1.5		0.75	kHk
	16.6.2003	3			21.3	2.3		0.70	kHk
	16.6.2003	4			28.5	1.4	0.2	0.20	kkHk
	16.6.2003	5			28.1	4.9		1.00	kHk
	16.6.2003	6			31.4	3.5		0.40	kkHk
	16.6.2003	7			35.9	3.5	0.6	0.28	kkHk
	4.6.2003	13.2	59°58.5433'	22°20.0139'	30.9	2.6	0.3	0.20	kkHk
<i>keskiarvo</i>					26.5	2.7	0.4	0.57	
<i>minimi</i>					16.5	1.4	0.2	0.20	
<i>maksimi</i>					35.9	4.9	0.6	1.00	
Innamo	27.6.2003	1			29.2	2.1	0.5	0.65	kHk
	27.6.2003	2			40.3	3.2	1.3	1.20	kHk
	27.6.2003	3			44.4	3.9	1.1	0.35	kkHk
	27.6.2003	4			52.3	5.6	1.1	0.75	kHk
	27.6.2003	5			70.0	6.1	6.5	0.65	kHk
	27.6.2003	6			68.9	5.8	6.0	0.18	hHk
	5.6.2003	4.4	60°14.7217'	21°47.5050'	36.4	3.2	0.6	0.35	kkHk
<i>keskiarvo</i>					48.8	4.3	2.4	0.59	
<i>minimi</i>					29.2	2.1	0.5	0.18	
<i>maksimi</i>					70.0	6.1	6.5	1.20	
Sandskär	16.6.2003	1			19.5	0.1		0.35	kkHk
	16.6.2003	2			24.4	0.2		0.24	kkHk
	16.6.2003	3			22.1	0.2		0.25	kkHk
	16.6.2003	4			20.0	0.2		0.24	kkHk
	16.6.2003	5			20.7	0.3		0.26	kkHk
	16.6.2003	6			22.4	0.5		0.26	kkHk
	16.6.2003	7			22.0	0.7		0.25	kkHk
	4.6.2003	18	60°02.4911'	22°22.0166'	63.4	2.2	0.9	0.10	hHk
	4.6.2003	24	60°02.6656'	22°22.3579'	56.7	3.1	0.2	0.25	kkHk
<i>keskiarvo</i>					30.1	0.8	0.6	0.24	
<i>minimi</i>					19.5	0.1	0.2	0.10	
<i>maksimi</i>					63.4	3.1	0.9	0.35	

Taulukko 1. jatkuu

Näytteenotto- paikka	Näytteenotto päivämäärä	Veden syvyys (m)	Koordinaatit N	Koordinaatit E	Vesipitoisuus (%) <i>ww</i>	LOI (%) <i>dw</i>	Savipit. (% <0.002)	D ₅₀ (mm)	Maalaji (GEO)
Sandskär - Rävskär	25.6.2003	1			43.7	1.6	8.3	0.38	kkHk
	25.6.2003	2			13.4	0.4		1.90	kHk
	25.6.2003	3			17.1	0.3		0.75	kHk
	25.6.2003	4			17.4	0.1		0.90	kHk
	25.6.2003	5			32.9	2.8		2.60	hkSr
	25.6.2003	6			31.7	2.6	0.4	1.50	srHk
	25.6.2003	7			27.8	1.9		1.80	srHk
	26.6.2003	26.5	59°57.8439'	22°04.2661'	34.2	2.0	0.6	0.55	kkHk
<i>keskiarvo</i>					27.3	1.5	3.1	1.30	
<i>minimi</i>					13.4	0.1	0.4	0.38	
<i>maksimi</i>					43.7	2.8	8.3	2.60	
Örö	25.6.2003	1			16.9	0.2		0.38	kkHk
	25.6.2003	2			16.9	0.1		0.35	kkHk
	25.6.2003	3			17.4	0.2		0.28	kkHk
	25.6.2003	4			15.5	0.2		0.60	srHk
	25.6.2003	5			17.3	0.7		0.38	srHk
	25.6.2003	6			21.4	0.7	0.1	0.22	kkHk
	25.6.2003	7 (v+p)/2			18.6	0.4	0.2	0.20	kkHk
	11.7.2003	25	59°49.10'	22°18.64'	46.1	3.0	5.7	0.68	kHk
<i>keskiarvo</i>					21.3	0.7	2.0	0.39	
<i>minimi</i>					15.5	0.1	0.1	0.20	
<i>maksimi</i>					46.1	3.0	5.7	0.68	

Taulukko 2. Fosforifraktioiden ja raudan pitoisuudet sedimenttinäytteissä kuivapainoa kohti laskettuna.

Näytteenotto- paikka	Ved. syv. (m)	Pox (mg/g)	Pox ($\mu\text{mol/g}$)	Paut (mg/g)	Paut ($\mu\text{mol/g}$)	Pdet (mg/g)	Pdet ($\mu\text{mol/g}$)	Porg (mg/g)	Porg ($\mu\text{mol/g}$)	Ptot (mg/g)	Ptot ($\mu\text{mol/g}$)	Fe (mg/g)	Fe ($\mu\text{mol/g}$)
Gåsholm	1	0.14	4.36	0.02	0.76	0.62	20.08	0.11	3.41	0.89	28.61	0.12	2.09
	2	0.00	0.00	0.03	0.88	0.57	18.28	0.11	3.53	0.70	22.69	0.17	3.01
	3	0.00	0.00	0.05	1.48	0.53	17.09	0.12	3.74	0.69	22.30	0.22	3.97
	4	0.00	0.00	0.04	1.45	0.65	20.88	0.08	2.60	0.77	24.92	0.11	1.88
	5	0.00	0.00	0.07	2.23	0.49	15.98	0.27	8.61	0.83	26.82	0.17	3.06
	6	0.00	0.00	0.07	2.15	0.52	16.79	0.12	4.00	0.71	22.93	0.20	3.55
	7	0.00	0.00	0.08	2.57	0.64	20.56	0.19	6.03	0.90	29.15	0.22	3.87
	13.2	0.08	2.62	0.07	2.28	0.63	20.45	0.15	4.89	0.94	30.23	0.72	12.84
<i>keskiarvo</i>		0.03	0.87	0.05	1.73	0.58	18.76	0.14	4.60	0.80	25.96	0.24	4.28
<i>minimi</i>		0.00	0.00	0.02	0.76	0.49	15.98	0.08	2.60	0.69	22.30	0.11	1.88
<i>maksimi</i>		0.14	4.36	0.08	2.57	0.65	20.88	0.27	8.61	0.94	30.23	0.72	12.84
Innamo	1	0.00	0.00	0.08	2.59	0.72	23.22	0.10	3.18	0.90	28.99	0.32	5.80
	2	0.00	0.00	0.09	2.75	0.64	20.54	0.17	5.45	0.89	28.75	0.44	7.79
	3	0.00	0.00	0.12	3.84	0.60	19.21	0.18	5.90	0.90	28.95	0.50	8.97
	4	0.03	0.87	0.14	4.37	0.56	18.03	0.21	6.81	0.93	30.08	0.55	9.88
	5	0.06	2.03	0.16	5.01	0.55	17.90	0.25	8.14	1.02	33.08	1.06	19.02
	6	0.06	2.03	0.16	5.23	0.54	17.30	0.28	8.96	1.04	33.53	0.63	11.23
<i>keskiarvo</i>		0.03	0.82	0.12	3.96	0.60	19.37	0.20	6.41	0.95	30.56	0.58	10.45
<i>minimi</i>		0.00	0.00	0.08	2.59	0.54	17.30	0.10	3.18	0.89	28.75	0.32	5.80
<i>maksimi</i>		0.06	2.03	0.16	5.23	0.72	23.22	0.28	8.96	1.04	33.53	1.06	19.02
Sandskär	1	0.00	0.00	0.04	1.24	0.48	15.59	0.02	0.51	0.54	17.35	0.14	2.58
	2	0.00	0.00	0.01	0.25	0.47	15.10	0.02	0.52	0.49	15.86	0.06	1.13
	3	0.00	0.00	0.00	0.14	0.55	17.62	0.02	0.65	0.57	18.41	0.05	0.86
	4	0.00	0.00	0.00	0.14	0.53	17.01	0.02	0.70	0.55	17.85	0.06	1.02
	5	0.00	0.00	0.00	0.16	0.58	18.67	0.02	0.69	0.60	19.52	0.05	0.97
	6	0.00	0.00	0.00	0.14	0.62	19.94	0.02	0.80	0.65	20.88	0.07	1.18
	7	0.00	0.00	0.01	0.20	0.76	24.40	0.03	0.96	0.79	25.55	0.06	1.07
	18	0.06	1.84	0.01	0.42	0.53	17.18	0.12	4.02	0.73	23.46	0.29	5.21
	24	0.01	0.39	0.01	0.42	0.55	17.60	0.16	5.09	0.73	23.50	0.29	5.16
<i>keskiarvo</i>		0.01	0.25	0.01	0.35	0.56	18.12	0.05	1.55	0.63	20.26	0.12	2.13
<i>minimi</i>		0.00	0.00	0.00	0.14	0.47	15.10	0.02	0.51	0.49	15.86	0.05	0.86
<i>maksimi</i>		0.06	1.84	0.04	1.24	0.76	24.40	0.16	5.09	0.79	25.55	0.29	5.21

Taulukko 2. jatkuu

Näytteenotto- paikka	Ved. syv. (m)	Pox (mg/g)	Pox ($\mu\text{mol/g}$)	Paut (mg/g)	Paut ($\mu\text{mol/g}$)	Pdet (mg/g)	Pdet ($\mu\text{mol/g}$)	Porg (mg/g)	Porg ($\mu\text{mol/g}$)	Ptot (mg/g)	Ptot ($\mu\text{mol/g}$)	Fe (mg/g)	Fe ($\mu\text{mol/g}$)
Sandskär - Rävskär	1	0.00	0.00	0.05	1.65	0.48	15.62	0.08	2.61	0.62	19.88	0.26	4.57
	2	0.00	0.00	0.03	0.87	0.75	24.24	0.04	1.18	0.81	26.29	0.15	2.69
	3	0.00	0.00	0.05	1.51	1.31	42.15	0.08	2.55	1.43	46.21	0.07	1.24
	4	0.00	0.00	0.03	1.09	0.62	19.96	0.05	1.51	0.70	22.56	0.07	1.24
	5	0.00	0.00	0.05	1.60	0.54	17.53	0.15	4.86	0.74	23.99	0.19	3.38
	6	0.00	0.00	0.07	2.41	0.60	19.24	0.17	5.60	0.84	27.24	0.26	4.62
	7	0.08	2.62	0.07	2.26	0.67	21.53	0.10	3.15	0.92	29.55	0.25	4.40
	26.9	0.05	1.55	0.09	2.99	0.52	16.85	0.17	5.48	0.83	26.87	0.38	6.82
<i>keskiarvo</i>		0.02	0.52	0.06	1.80	0.69	22.14	0.10	3.37	0.86	27.82	0.20	3.62
<i>minimi</i>		0.00	0.00	0.03	0.87	0.48	15.62	0.04	1.18	0.62	19.88	0.07	1.24
<i>maksimi</i>		0.08	2.62	0.09	2.99	1.31	42.15	0.17	5.60	1.43	46.21	0.38	6.82
Örö	1	0.00	0.00	0.02	0.53	0.68	22.01	0.07	2.11	0.76	24.65	0.07	1.24
	2	0.00	0.00	0.02	0.61	0.73	23.55	0.06	1.96	0.81	26.12	0.06	1.13
	3	0.07	2.13	0.02	0.51	0.66	21.30	0.08	2.46	0.82	26.39	0.06	1.02
	4	0.07	2.32	0.02	0.51	0.73	23.70	0.09	2.76	0.91	29.31	0.12	2.15
	5	0.07	2.13	0.03	0.81	0.74	23.91	0.08	2.66	0.91	29.51	0.14	2.52
	6	0.08	2.52	0.02	0.80	0.96	30.97	0.09	2.88	1.15	37.17	0.15	2.63
	7 vaaka	0.09	3.00	0.03	0.95	1.06	34.27	0.05	1.77	1.24	40.00	0.12	2.15
	7 pysty	0.07	2.32	0.03	1.05	1.12	36.29	0.07	2.14	1.29	41.81	0.05	0.91
	25	0.00	0.00	0.08	2.66	0.60	19.25	0.16	5.01	0.83	26.92	0.53	9.56
<i>keskiarvo</i>		0.05	1.60	0.03	0.94	0.81	26.14	0.08	2.64	0.97	31.32	0.14	2.59
<i>minimi</i>		0.00	0.00	0.02	0.51	0.60	19.25	0.05	1.77	0.76	24.65	0.05	0.91
<i>maksimi</i>		0.09	3.00	0.08	2.66	1.12	36.29	0.16	5.01	1.29	41.81	0.53	9.56

Fosfori sitoutuu uudelleenmineralisoitumisen jälkeen suurelta osin sedimentin epäorgaaniseen materiaaliin. Epäorgaaniseen ainekseen sitoutuneet fraktiot ovat: rautahydroksideihin sitoutunut fosfori, autigeeninen fosfori ja detritaalin fosfori (Ruttenberg 1993).

CDB-vaiheessa erottunut eli kiinteiden faasien fosfori, P_{ox} , on pääasiassa sitoutunut amorfisiin rautahydroksideihin. Se on suhteellisen helppoliukoinen fosfori, joka saattaa vapautua happitilanteen muuttuessa. Hapekkaissa olosuhteissa fosfori on sitoutuneena raudan hydroksideihin. Kun olosuhteet muuttuvat pelkistävimmiksi, rauta-III-hydroksidi liukenee, jolloin sekä rauta että siihen sitoutunut fosfori vapautuvat veteen. Tutkimuksessamme rautahydroksideihin sitoutuneen fosforin pitoisuudet olivat Geologian tutkimuskeskuksen lopullista määrittysrajaa (2 mg P/g) pienempiä. ICP-AES –analyysissä saatujen alustavien tulosten P_{ox} -arvot vaihtelivat välillä 0 – 0,14 mg P/g KS. Vaikka nämä pitoisuudet eivät olekaan täysin vertailukelpoisia muiden tutkimusten tuloksiin, ovat ne vertailtavissa keskenään ja ovat samaa suuruusluokkaa kuin Virtasalo ym. (2004) tutkimuksen vastaavat arvot eroosio- (0-0) ja transportaatioalueilla (0-0,77). Virtasalon ym. (2004) tutkimuksen akkumulaatioalueeksi luokitellussa sedimentissä P_{ox} -maksimipitoisuus oli 1,52 mg P/g KS.

Autigeeninen fosfori, P_{aut} , on sitoutuneena autigeenisiin, paikalla muodostuneisiin, fosforipitoisiin mineraaleihin (apatiitti) ja biogeeniseen debriikseen (mm. kalojen ruodot, hampaat ja luut) (Ruttenberg 1992). Autigeeninen fosfori on kemiallisesti pysyvä eikä yleensä ole eliöiden käytettävissä. Tutkituissa näytepisteissä autigeenisen fosforin pitoisuus oli maksimissaan 0,16 mg P/g KS, mikä on selvästi alhaisempi, kuin Virtasalon ym. (2004) tutkimuksen maksimipitoisuudet transportaatio- (0,48 mg P/g KS) ja eroosioalueilla (0,28 mg P/g KS).

Detritaalin fosforin, P_{det} , arvot vaihtelivat välillä 0,5 – 1,3 mg P/g KS. Tämä fosforifraktio on sitoutuneena muualta kulkeutuneeseen ainekseen, eikä se ole yleensä osallisena biologisiin prosesseihin (van Cappellen & Berner 1988, Tamburini ym. 2000). Näin ollen sillä ei ole merkitystä sisäisen kuormituksen lähteenä. Detritaalin fosforin pitoisuudet olivat Virtasalo ym. (2004) tutkimuksen sedimenteissä: eroosioalueilla 0,2 – 0,6 mg P/g KS, transportaatioalueilla 0,2 – 0,7 mg P/g KS ja akkumulaatioalueilla 0,2 – 1,2 mg P/g KS.

Orgaaninen fosfori, P_{org} , on sitoutuneena residuaaliseen orgaaniseen ainekseen. Se on suhteellisen pysyvä fraktio, joka ei kuvasta labiiliin eli löyhästi sitoutuneen fosforin sitoutumista elävään tai hajoamassa olevaan orgaaniseen materiaaliin. Orgaanisen fosforifraktion pitoisuus vaihteli 0,02 – 0,28 mg P/g KS välillä. Virtasalon ym. (2004) tutkimuksen P_{org} -pitoisuudet olivat transportaatioalueiden sedimentissä 0,3 – 0,8 mg P/g KS ja akkumulaatioalueilla 0,6 – 1,3 mg P/g KS. Myös eroosioalueiden sedimentissä havaitut P_{org} -pitoisuudet olivat vähän suurempia (0,1 – 0,4 mg P/g KS) kuin tässä tutkimuksessa. Orgaanisen fosforin pitoisuus oli kaikissa tutkimuskohteissamme yhteydessä orgaanisen aineksen määrää kuvaavaan hehketushäviöön.

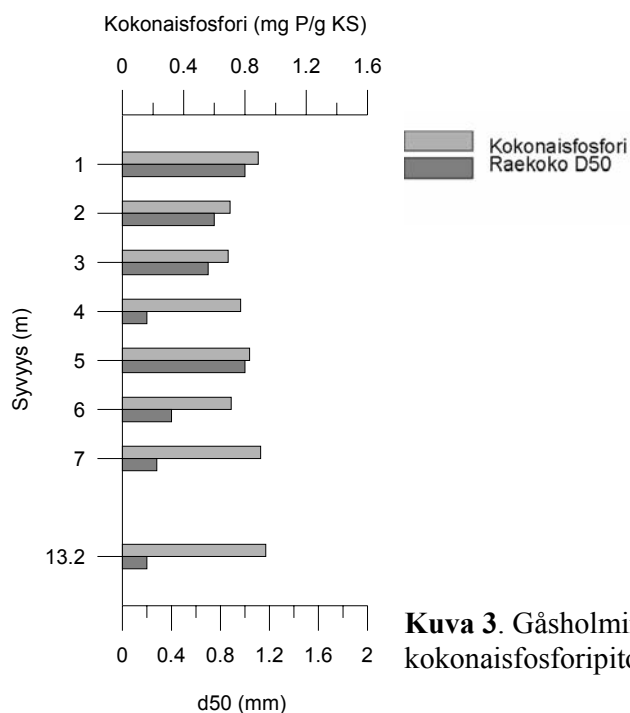
5.5.1. Aluekohtaisten tulosten tarkastelu

GÅSHOLM



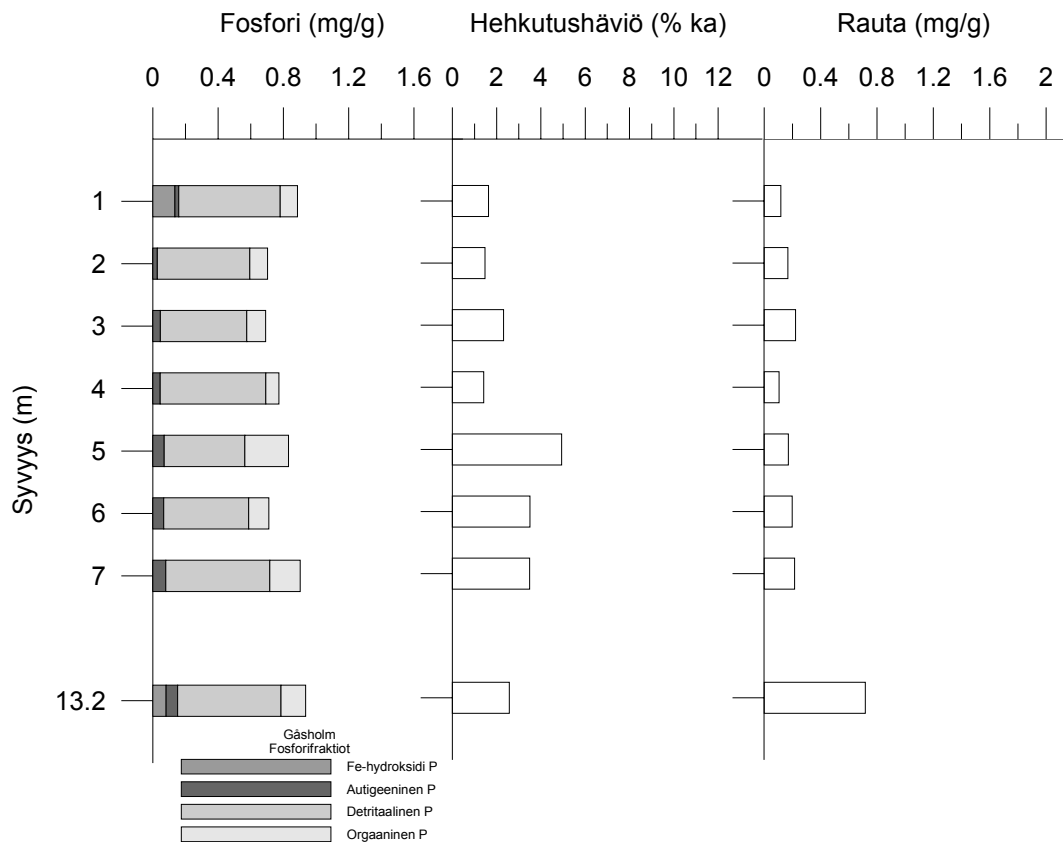
Kuva 2. Gåsholmin fosforitutkimuksen näytekohteet.
F=sedimenttisarja; SM=syvänteiden näyte

Gåsholmin rantavyöhykkeen pohjasedimenttien fosforipitoisuus määritettiin metrin välein otetuista näytteistä 7 metrin vesisyvyyteen asti. Tämän lisäksi otettiin näyte vesisyvyydeltä 13,2 metriä (kuva 2). Kokonaisfosforipitoisuus vaihteli välillä 0,69 – 0,94 mg P/g KS, mikä vastaa Virtasalon ym. (2004) tutkimuksessa eroosiopohjien sedimenteissä havaittuja fosforipitoisuuksia. Kokonaisfosforipitoisuuden vaihtelu oli pientä eikä yhteyttä raekoon ja fosforipitoisuuden välillä voitu havaita (kuva 3).



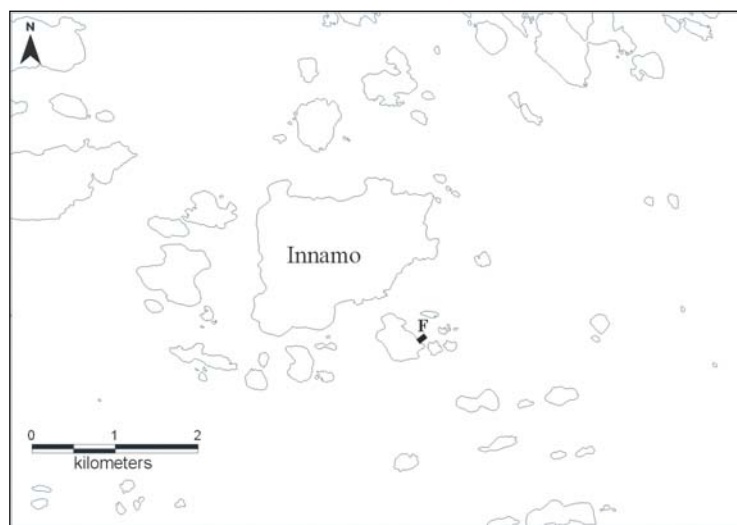
Kuva 3. Gåsholmin sedimenttinäytteiden kokonaisfosforipitoisuudet ja D₅₀ -raekoot.

Rautahydroksideihin sitoutunutta fosforia havaittiin vain kahdessa näytteessä (kuva 4). Matalasta vedestä otetussa näytteessä oli tutkimuksen maksimiarvo (0,14 mg P/g KS) ja syvänteessä selvästi vähemmän (0,08 mg P/g KS). Molemmat arvot olivat autigeeniseen materiaaliin sitoutuneen fosforipitoisuuksien (0,02 – 0,08 mg P/g KS) tavoin pieniä (kuva 4). Detritaalista fosforia oli näytteissä suhteellisesti eniten (kuva 4), mutta pitoisuudet (0,49 – 0,65 mg P/g KS) olivat samaa suuruusluokkaa kuin Virtasalon ym. (2004) tutkimuksessa eroosio- ja transportaatioalueilla havaitut arvot. Detritaalisen fosforijakeen merkitys sisäisen kuormituksen lähteenä on olematon. Orgaanista fosforia oli näytteissä suhteellisen pieninä pitoisuuksina (0,08 – 0,27 mg P/g KS) (kuva 4). Orgaanisen aineksen pitoisuutta kuvaava hehkutushäviö vaihteli eri näytteissä, ollen kuitenkin kaikissa näytteissä alle 5 %. Hehkutushäviön maksimiarvo 5 metrin veden syvyydeltä otetussa näytteessä on nähtävissä myös orgaaniseen ainekseen sitoutuneen fosforin lisääntymisenä. Kaikki näytteet olivat karkeaa tai keskikarkeaa hiekkaa ja edustivat eroosiopohjaa. Gåsholmin tutkimuskohde on todettu kampelan kutualueeksi. Vaikka matalan veden sedimentissä oli enemmän rautahydroksideihin sitoutunutta fosforia kuin muissa kohteissa, alueella ei ole sisäisen fosforikuormituksen vaaraa hyvän happitilan ansiosta.



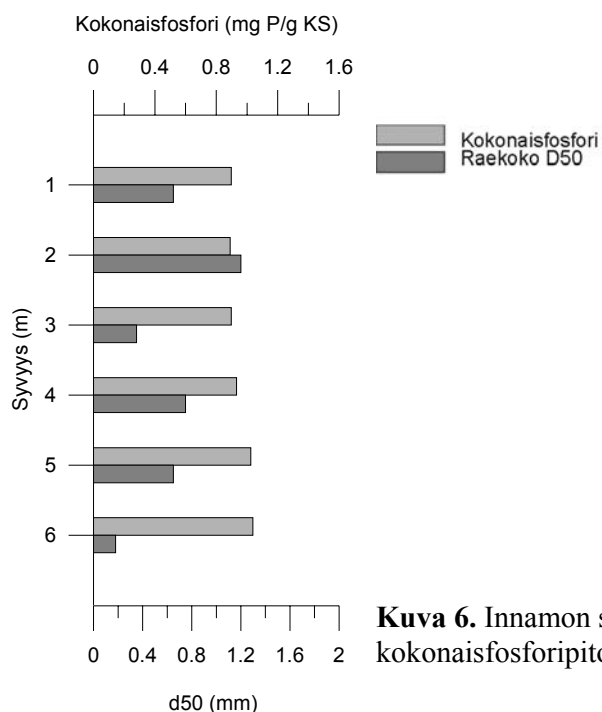
Kuva 4. Gåsholmin sedimenttinäytteiden fosfori- ja rautapitoisuudet sekä hehkutushäviöt kuiva-aineen arvoina.

INNAMO



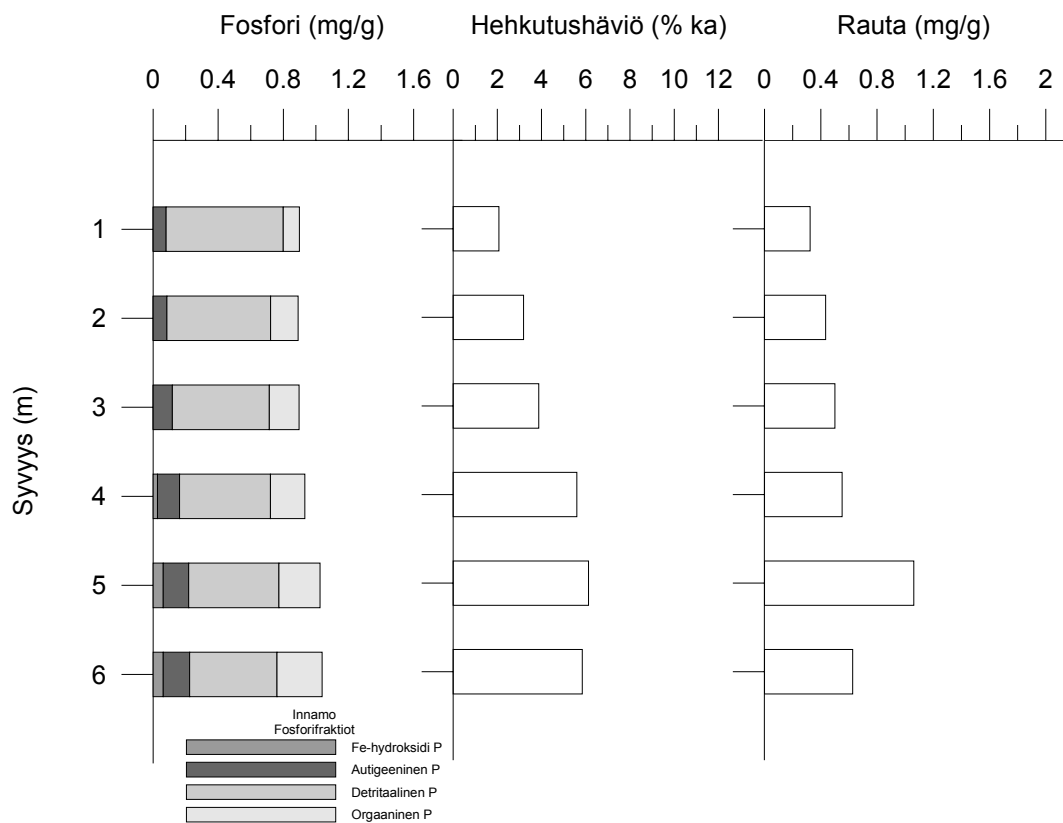
Kuva 5. Innamon fosforitutkimuksen näytekohteet.
F=sedimenttisarja

Rannanläheisiä pohjasedimenttinäytteitä kerättiin fosforitutkimusta varten Innamon alueelta 1–6 metrin vedensyvydestä (kuva 4). Näytteiden kokonaisfosforipitoisuudet olivat suhteellisen alhaisia, 0,89 – 1,04 mg P/g KS (kuva 6). Sedimentin maalaji vaihteli karkeasta hiekasta hienoon hiekkaan. Näytteet edustivat eroosioalueita, lukuun ottamatta 5-6 metrin vesisyvydestä otettuja näytteitä. Niihin oli kertynyt eniten savea ja orgaanista ainesta (taulukko 1) ja ne edustavat kulkeutumis- eli transportaatio-alueita.



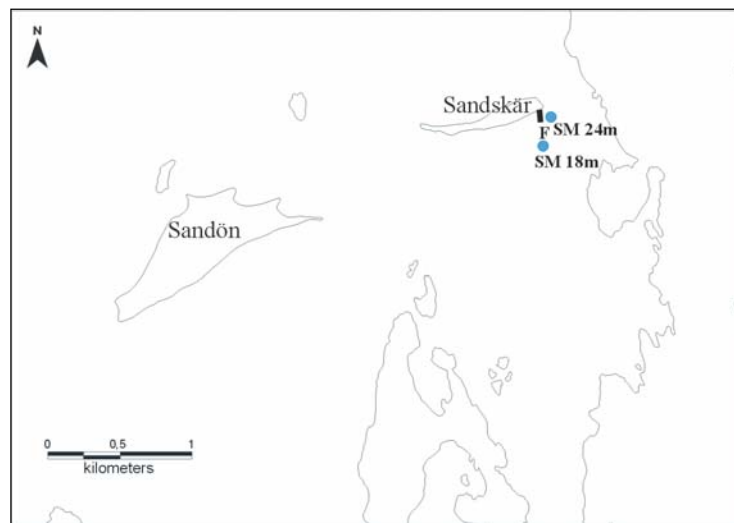
Kuva 6. Innamon sedimenttinäytteiden kokonaisfosforipitoisuudet ja D₅₀ -raekoot.

Kokonaisfosfori jakautui eri fraktioihin Innamon näytteissä suhteellisen tasaisesti näytteenotto-syvyydestä riippumatta (kuva 6). Rautahydroksideihin sitoutunutta fosforia oli vain 4-6 m veden syvyydestä otetuissa näytteissä, joissa myös rautapitoisuudet olivat suurimmat (kuva 7). Autigeenista fosforia oli muiden tutkimuskohteiden tuloksiin verrattuna hieman enemmän, mutta maksimimäärä (0,16 mg P/g KS) oli kuitenkin alhaisempi kuin Virtasalon ym. (2004) tutkimuksissa havaitut maksimi-arvot eroosiopohjien (0,27 mg P/g KS) ja transportaatiopohjien (0,47 mg P/g KS) sedimenteissä. Kuten kaikissa tämän tutkimuksen näytteissä myös Innamon näytteissä detritaalisin fosforifraktion osuus kokonaisfosforista oli suurempi kuin muiden fraktioiden osuudet (kuva 7) ja myös pitoisuudet (0,54 – 0,72 mg P/g KS) olivat muista kohteista otettujen näytteiden kanssa samaa suuruusluokkaa (taulukko 2). Orgaaniseen ainekseen sitoutuneen fosforin (0,1 – 0,28 mg P/g KS) ja hehkutushäviön (2,07 – 6,12 %) välillä oli huomattavissa yhteys ja molempien kasvu oli sidoksissa veden syvyyden lisääntymiseen (kuva 7).



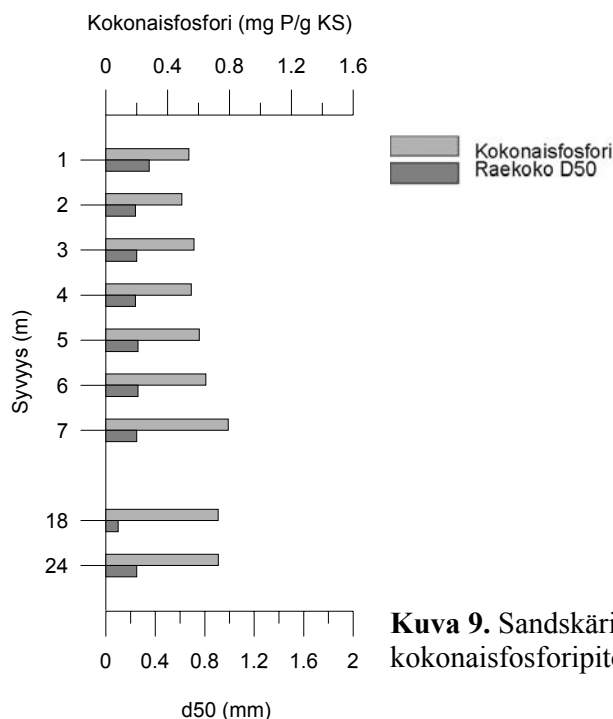
Kuva 7. Innamon sedimenttinäytteiden fosfori- ja rautapitoisuudet sekä hehkutushäviöt kuiva-aineen arvoina.

SANDSKÄR



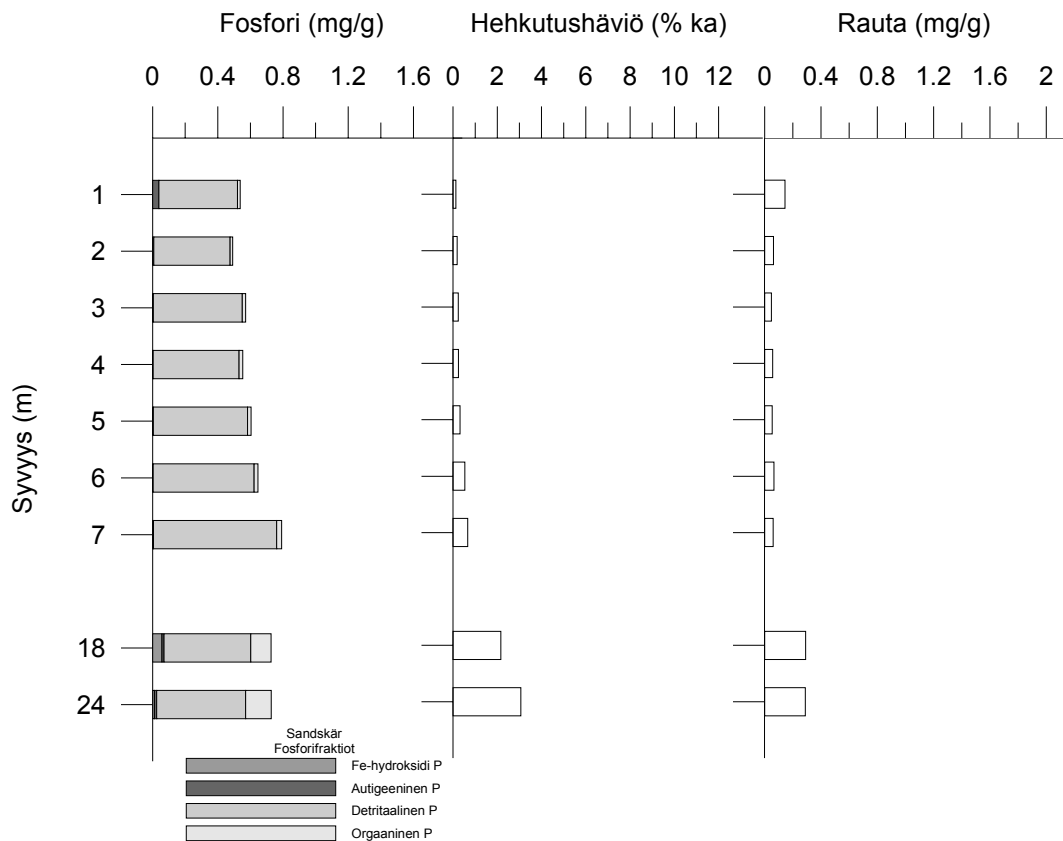
Kuva 8. Sandskärin fosforitutkimuksen näytekohteet.
F=sedimenttisarja; SM=syvänteiden näytteet

Sandskärin otettiin sedimenttinäytteitä sukeltamalla 1 – 7 metrin vesisyvyydeltä sekä lisäksi kaksi pintasedimenttinäytettä Ekman-noutimella syvyyksiltä 18 ja 24 metriä (kuva 8). Kokonaisfosforin määrät olivat Sandskärin pohjasedimenteissä tutkimuksen alhaisimmat, vaihdellen välillä 0,49 – 0,79 mg P/g KS. Raekooltaan sedimentti oli tasaisesti keskikarkeaa hiekkaa lukuun ottamatta 18 metrin syvyydestä otettua näytettä, joka oli luokiteltavissa hienoksi hiekaksi (kuva 9). Kaikki näytteet edustavat eroosiopohjaa.



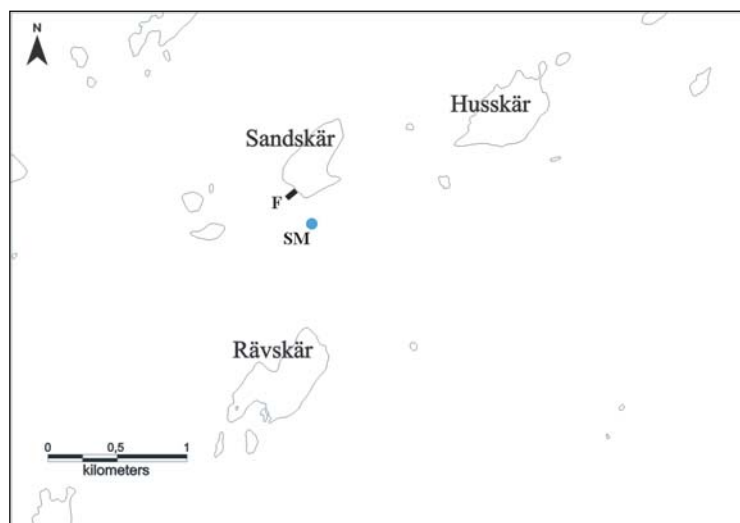
Kuva 9. Sandskärin sedimenttinäytteiden kokonaisfosforipitoisuudet ja D₅₀ –raekoot.

Sandskärin kokonaisfosfori muodostui pääasiassa detritaalista fraktiosta (0,47 – 0,76 mg P/g KS) (kuva 10), kuten muissakin tutkimuksemme kohteissa. Pitoisuudet olivat saman suuruisia kuin Virtasalon ym. (2004) tutkimuksissa transportaatioalueiden sedimenteissä havaitut arvot. Rautahydroksideihin sitoutunutta fosforia (0,06 ja 0,01 mg P/g KS) havaittiin vain syvemmältä (24 ja 18 m) otetuissa näytteissä, joissa myös rautapitoisuudet olivat suurimmat (kuva 10). Autigeenista fosforia oli vain viidessä näytteessä ja neljän näytteen pitoisuus oli erittäin pieni, 0,01 mg P/g KS. Myös orgaaniseen aineeseen sitoutunutta fosforia oli vähän sedimenttisarjan näytteissä (0,02 – 0,03 mg P/g KS), mutta syvältä otetuissa näytteissä myös tätä fraktiota esiintyi hieman suurempina pitoisuuksina (0,12 ja 0,16 mg P/g KS). Orgaanista ainesta oli eniten syvänteiden näytteissä, mutta niissäkin hehkutushäviöarvot (2,2 ja 3,1 % KS) olivat tyypillisen pieniä, eroosioalueiden sedimenttien arvoja. Sekä kampela että ahven kutevat Sandskärin alueella. Sandskärin sedimenteissä havaitut reaktiivisten fosforifraktioiden pitoisuudet olivat pieniä, eikä alueella ole sisäisen fosforikuormituksen vaaraa.



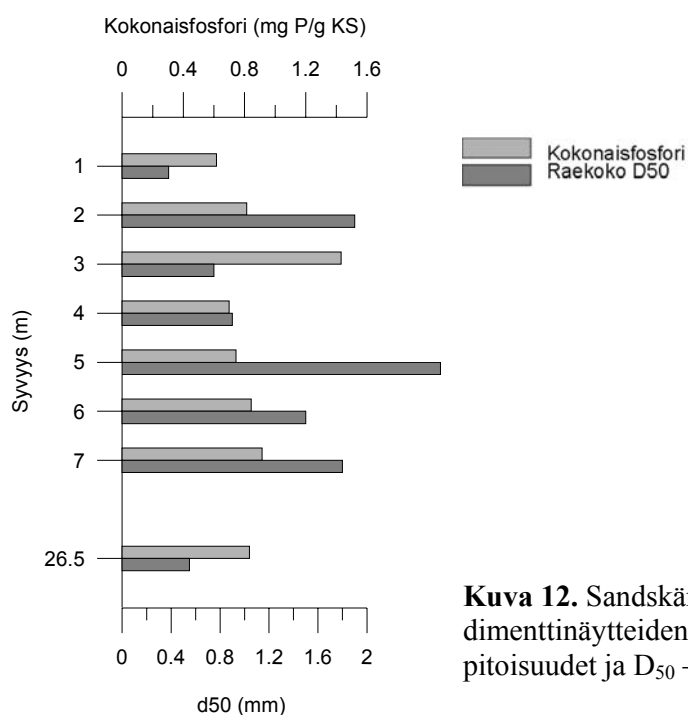
Kuva 10. Sandskärin sedimenttinäytteiden fosfori- ja rautapitoisuudet sekä hehkutushäviöt kuiva-aineen arvoina.

SANDSKÄR-RÄVSKÄR



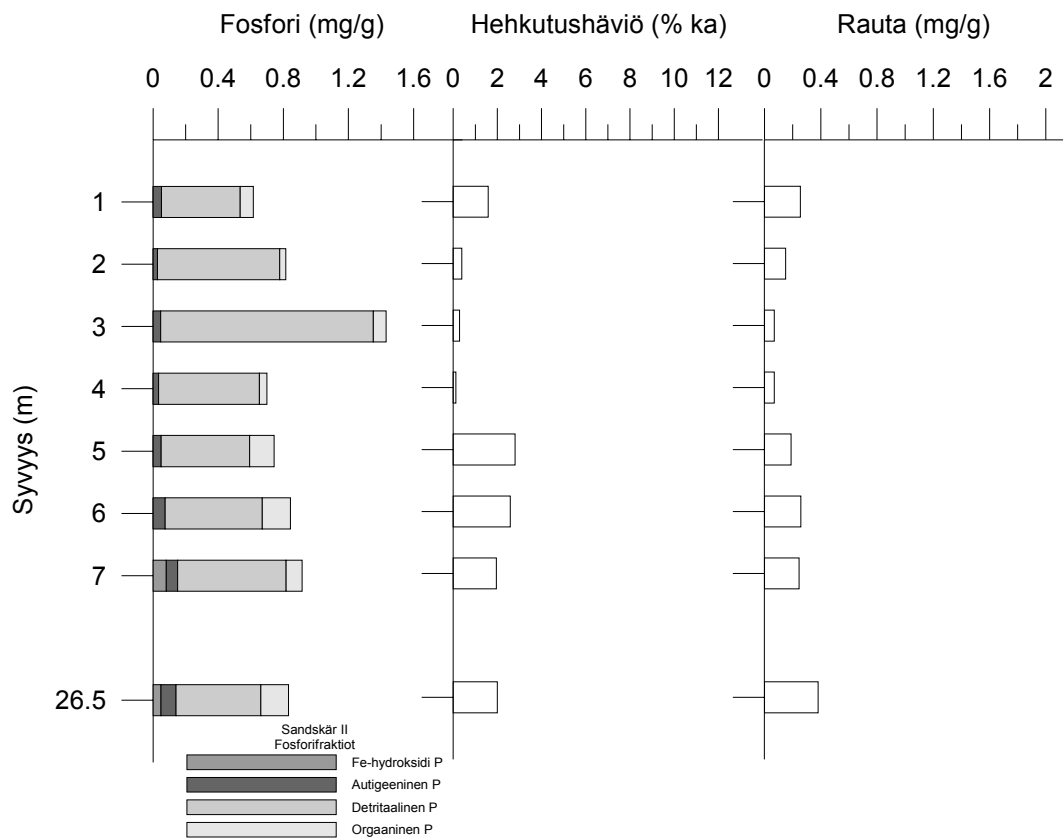
Kuva 11. Sandskär - Rävsjärin fosforitutkimuksen näytekohteet.
F=sedimenttisarja; SM=syvänteen näyte

Sandskär – Rävsjär alueen sedimenttisarjan näytteet otettiin metrin välein 1 – 7 metrin veden syvyyksiltä sekä yksi syvänteen näyte 26,5 metristä (kuva 11). Näytteiden maalaji vaihteli keskikarkeasta hiekasta hiekkaiseen soraan ja tutkimuskohteen kaikki näytteet edustavat eroosioaluetta. Kokonaisfosfori oli suurimmillaan 3 m veden syvyydestä otetussa näytteessä (1,43 mg P/g KS) ja vaihteli muissa näytteissä 0,6 mg/g ja 0,9 mg/g:n välillä (kuva 12). Yhteyttä fosforipitoisuuksien ja mediaani raekokojen välillä ei voitu havaita (kuva 12).



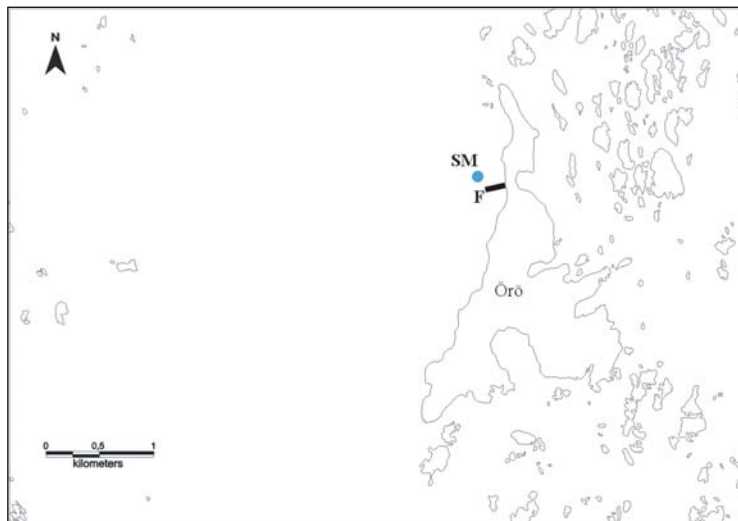
Kuva 12. Sandskär - Rävsjärin sedimenttinäytteiden kokonaisfosforipitoisuudet ja D₅₀ -raekoot.

Rautahydroksideihin sitoutunutta fosforia oli vain kahdessa, 7 ja 26,5 m vesisyvyydestä otetuissa näytteissä. Autigeenista fosforia oli Sandskär-Rävsjärin alueella suhteellisen pieninä pitoisuuksina (kuva 13), kuten muillakin tutkimuksemme alueilla. Maksimi-arvoa lukuun ottamatta sedimentin detritaalisin fosforin pitoisuus oli suunnilleen saman suuruinen riippumatta näytteenottosyvyyden vaihtelusta (0,48 – 0,75 mg P/g KS). Kolmen metrin syvyydestä otetussa näytteessä havaittiin tutkimuksemme suurin P_{det} -pitoisuus 1,31 mg P/g KS, joka samaa suuruusluokkaa kuin Virtasalon ym. (2004) tutkimuksen akkumulaatioalueilta otettujen näytteiden maksimiarvo (1,2 mg P/g KS). Sandskär – Rävsjärin aluetta vastaavilla eroosiopohjilla detritaalista fosforia oli Virtasalon ym. (2004) tutkimuksessa 0,2 – 0,6 mg P/g KS. Detritaalin fosfori ei ole biologisesti saatavassa muodossa eikä sillä ole merkitystä sisäisen fosforikuormituksen lähteenä. Orgaanisen fosforin määrä oli sedimentissä pieni, vaihdellen 0,04 – 0,17 mg P/g KS välillä (kuva 13). Reaktiivista, biosaatavaa fosforia oli kaikissa näytteissä suhteellisen vähän, joten sisäisen fosforikuormituksen vaaraa ei ole.



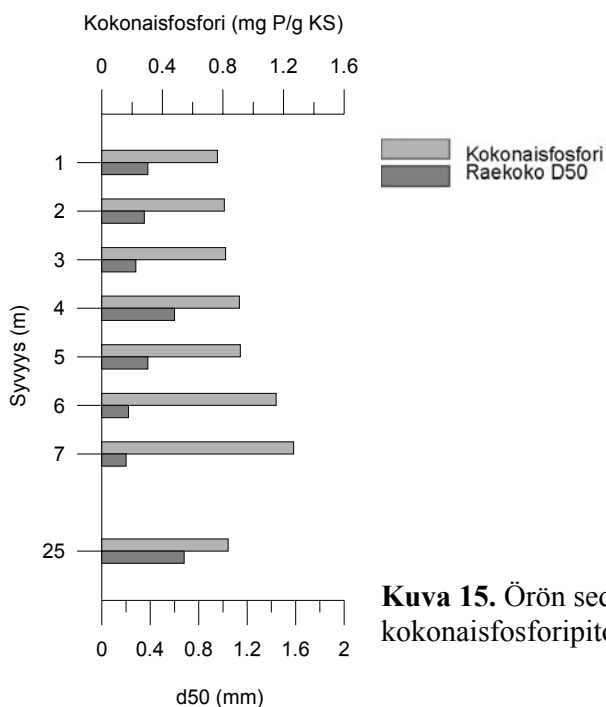
Kuva 13. Sandskär - Rävsjärin sedimenttinäytteiden fosfori- ja rautapitoisuudet sekä hehkutushäviöt kuiva-aineen arvoina.

ÖRÖ



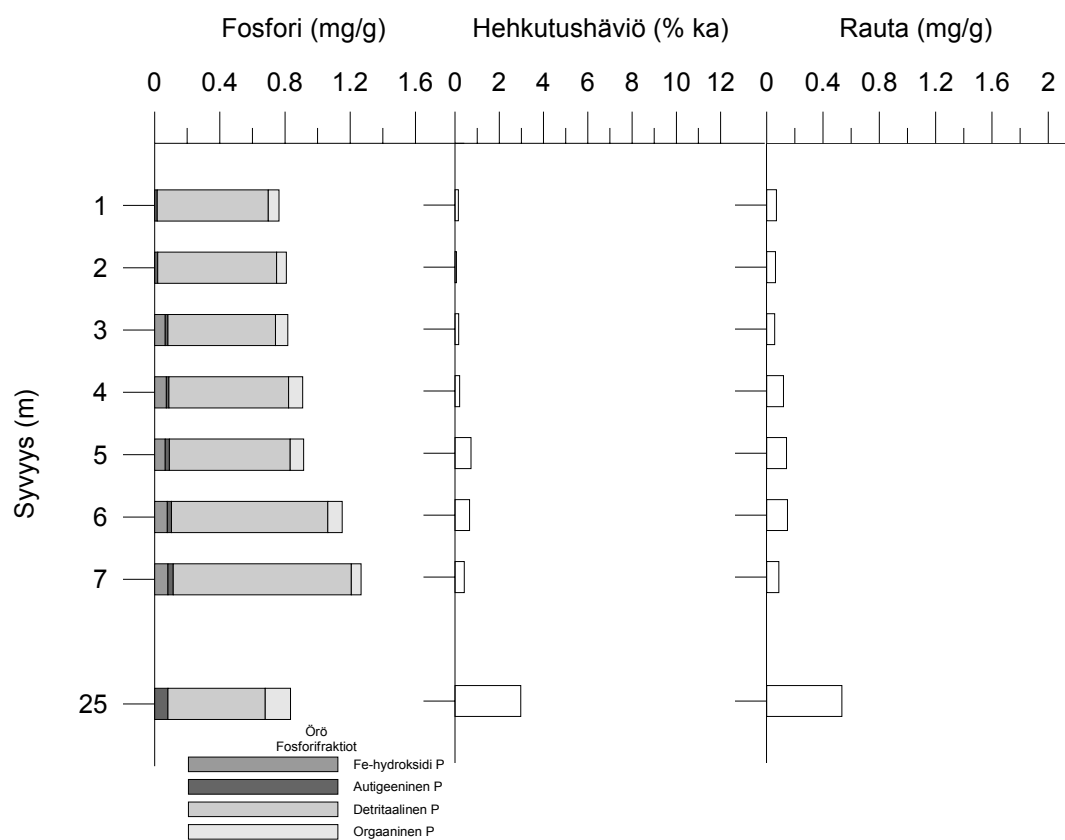
Kuva 14. Örön fosforitutkimuksen näytekohteet.
F=sedimenttisarja; SM=syvänteen näyte

Fosforitutkimuksia varten Örön rannanläheiseltä alueelta otettiin kahdeksan pohjasedimenttinäytettä sukeltamalla 1-7 m vesisyvyyksiltä (7m syvyydestä kaksi näytettä) sekä yksi näyte syvemmältä, 25 metrin syvyydestä (kuva 14). Kokonaisfosforin määrä kasvoi sedimenttisarjassa vedensyvyyden lisääntyessä, vaihdellen 0,76 – 1,29 mg P/g KS (kuva 15). Syvänteen sedimenttinäytteen kokonaisfosforipitoisuus oli 0,83 mg P/g KS. D₅₀-raekoon vaihtelulla ja näytteiden fosforipitoisuuksilla ei ollut yhteyttä keskenään (kuva 15).



Kuva 15. Örön sedimenttinäytteiden kokonaisfosforipitoisuudet ja D₅₀-raekoot.

Rautahydroksideihin sitoutuneen fosforin määrä vaihteli Örön sedimentissä 0 – 0,09 mg P/g KS välillä (taulukko 2). Autigeenisen fosforin pitoisuus oli koko sedimenttisarjassa tasaisen alhainen 0,02 – 0,03 mg P/g KS ja oli 25 metrin syvyydessäkin vain 0,08 mg P/g KS (taulukko 2). Detritaalisen fosforifraktion määrä lisääntyi näytteenotto-syvyyden kasvaessa, kuitenkin taas pienentyen 25 metrin syvyydestä otetussa näytteessä (kuva 16). Sekä hehkutushäviö että orgaaniseen ainekseen sitoutuneen fosforin pitoisuus olivat Örön näytteissä alhaisia ollen suurimmillaan syvänteestä otetussa näytteessä (kuva 16). Näytteiden maalaji vaihteli keskikarkeasta hiekasta soraiseen hiekkaan (taulukko 1), mutta todellisuudessa pohja oli monin paikoin kivistä soraa. Näytteenotto oli hankalinta 7 m vesisyvyydessä, jossa sedimenttiä kerättiin myös kivien välistä, ”vaakasuo-raan” pohjasedimentin pintaa pitkin. Toinen näyte otettiin normaalisti, työntämällä näyteputki ”pystysuoraan” sedimentin pinnasta alaspäin. Taulukon 1 arvot ovat keskiarvoja molempien näytteiden analyysituloksista. Örön tutkimuskohde on tyypillistä eroosioaluetta, mikä todettiin tutkimuksessamme kampelan kutualueeksi. Alueella ei ole sisäisen fosforikuormituksen vaaraa.



Kuva 16. Örön sedimenttinäytteiden fosfori- ja rautapitoisuudet sekä hehkutushäviöt kuiva-aineen arvoina.

5.6. Johtopäätökset

Kaikki fosforitutkimuksemme kohteet olivat joko eroosio- tai transportaatiopohjilla, joiden fosforitilanne on hyvä. Biosaatavassa muodossa olevien fosforifraktioiden pitoisuudet olivat tutkituissa sedimenteissä pieniä. Sandskär - Rävskär alueen sedimenttinäytteessä detritaalin fosforipitoisuus oli tavanomaista suurempi, mutta kyseinen fraktio ei ole reaktiivinen eikä osallistu sisäiseen fosforikuormitukseen edes huonoissa happioloissa. Tämän tutkimuksen tulokset muodostavat perusaineiston Saaristomeren litoraali-alueiden sedimenttien fosforipitoisuuksista, johon uusia tutkimustuloksia voidaan tulevaisuudessa verrata.

Kirjallisuus

- Anderson, L.D. & Delaney, M.L. 2000: Sequential extraction and analysis of phosphorus in marine sediments: Streamlining of the SEDEX procedure. *Limnology and Oceanography* 45, 509-515.
- Carman, R., Edlund, G. & Damberg, C. 2000. Distribution of organic and inorganic phosphorus compounds in marine and lacustrine sediments: a ^{31}P NMR study. *Chemical Geology* 163, 101-114.
- Christiansen, C. & Emelyanov, E. 1995. Nutrients and organic matter in recent southern Kattegat-Baltic Sea sediments: Consequences of resuspension. *Geografiska Tidskrifter?* 95, 19-27.
- Christiansen, C., Zacharias, I. & Vang, T. 1992. Storage, redistribution and net export of dissolved and sediment-bound nutrients, Vejle Fjord, Denmark. *Hydrobiology* 235/236, 47-57.
- Edlund, G. & Carman, R. 2001. Distribution and diagenesis of organic and inorganic phosphorus in sediments of the Baltic proper. *Chemosphere* 45, 1053-1061.
- HELCOM 2003. The Baltic Marine Environment 1999-2002. Baltic Sea Environment Proceedings No. 87. Helsinki Commission. Baltic Marine Environment Commission. 47 s.
- Jonsson, P., Persson, J. & Holmberg, P. 2003. Skärgårdens bottnar. En sammanställning av sedimentundersökningar gjorda 1992-1999 i skärgårdsområden längs svenska ostkusten. Rapport 5212. Naturvårdsverket. 112 s.
- Kohonen, T. 1999. Sedimenttinäytteiden fysikaaliset ja kemialliset määrittelyt. *Raportissa: Kohonen, T., Vahteri, P., Suominen, T., Helminen, U. & Vuorinen, I. 1999. Ruoppausmassojen läjittämisen vaikutukset vesistöön ja kalatalouteen Pohjois-Airistolla. Raportti vuonna 1998 tehdyistä tutkimuksista. Saaristomeren tutkimuslaitos. Turun yliopisto, 52-81.*
- Korkka, E. 1995: Turun sataman ruoppaus- ja läjitystoiminnan sedimenttivaikutuksista. Pro gradu tutkielma, Geologian laitos, Turun yliopisto. 81 s.

Murphy, J. & Riley, J.P. 1962: A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 27, 31-36.

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

Ruttenberg, K.C. 1993: Reassessment of the oceanic residence time of phosphorus. *Chemical geology* 107, 405-409.

Savchuk, O. P. 2002. Nutrient biogeochemical cycles in the Gulf of Riga: scaling up field studies with a mathematical model. *Journal of Marine Systems* 32, 253– 280.

Tamburini, F., Adatte, T., Steinmann, P. & Föllmi, K. 2000. Phosphorus Geochemistry of Marine Records: Examples from Diverse Oceanographic Settings. *Goldschmidt 2000* September 3rd–8th, 2000. Oxford, UK. *Journal of Conference Abstracts*. Volume 5 (2), 982.

van Cappellen, P. & Berner, R.A. 1988. A mathematical model for the early diagenesis of phosphorus and fluorine in marine sediments: apatite precipitation. *American Journal of Science* 288, 289-333.

Virtasalo, J., Kohonen, T., Vuorinen, I. & Huttula, T. 2004. Sea bottom anoxia in the Archipelago Sea, northern Baltic Sea – control of sedimentary environment on early phosphorus regeneration and diagenesis. (Käsikirjoitus lähetetty *Marine Geology* – lehteen 9.7.2004)

Virtaustutkimuksen neuvottelukunta 1979. Saaristomeren virtaustutkimus, Turku. 265 s.

Wallin, M. & Håkanson, L. 1992. Morphometry and sedimentation as regulating factors for nutrient recycling and trophic state in coastal waters. *Hydrobiology* 235/236, 33-45.

6. ILMAKUVIEN AVULLA TEHTY EROOSIOTUTKIMUS

Ulla Helminen ja Tuula Kohonen

6.1. Johdanto

Ilmakuvien käyttö ympäristötutkimuksissa on lisääntymässä, sillä niiden avulla voidaan laatia yleiskartoituksia laajoistakin tutkimusalueista nopeasti. Ilmakuvia voidaan hyödyntää myös yksityiskohtaisissa ympäristön tilan kartoituksissa esimerkiksi pohjahabitaattitutkimuksissa ja, jos ilmakuvia on saatavissa samalta alueelta eri ajanjaksoilta, myös ympäristön tilan ajallisen muutoksen tarkasteluissa. Ilmakuvia on käytetty ympäristötutkimuksissa kymmeniä vuosia esimerkiksi Yhdysvalloissa ja Kanadassa. Vedenalaisten pohjien tutkimuksissa voidaan hyödyntää NOAA:n (National Oceanic and Atmospheric Administration) julkaisua (Finkbeiner ym. 2001), joka sisältää ohjeita ilmakuvien käytöstä pohjahabitaattien tilan kartoituksessa. Itämeren alueella ilmakuvia on hyödynnetty mm. Tukholman saaristossa laivaväylien läheisten rantojen eroosioherkkyysmäärittelyksissä ja rantaeroosion seurannassa (Granath 1989, 1991a, 1991b, 1992, 2004).

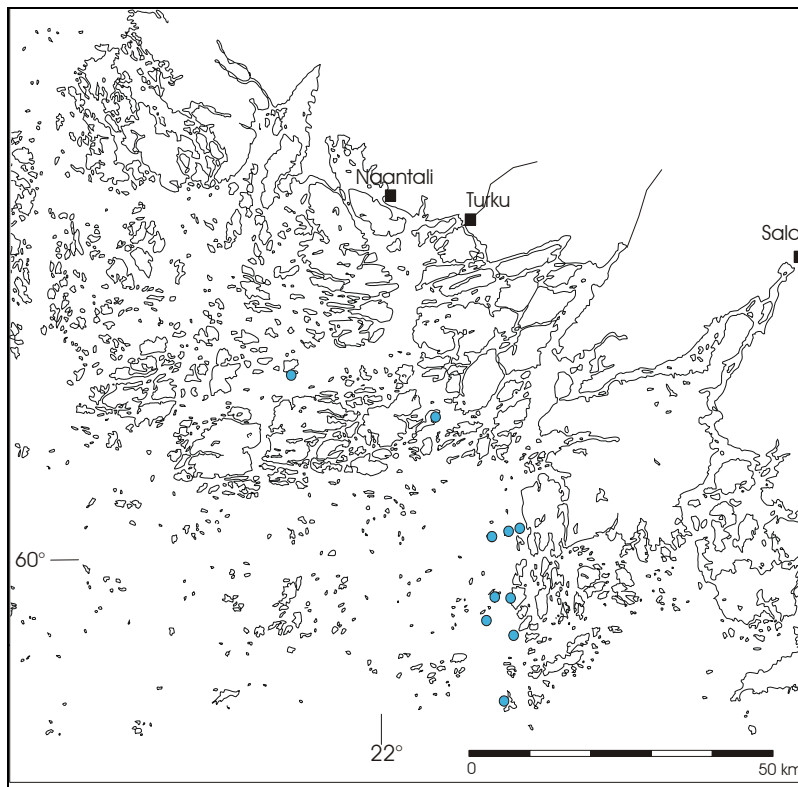
Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää rantaeroosion esiintymistä laivaväylien läheisillä kalojen lisääntymisalueilla. Tutkimuksessa hyödynnettiin ilmakuvamateriaalia ranta-alueiden eroosiokehityksen seurannassa sekä ranta-alueiden nykytilan dokumentoinnissa.

6.2. Viistoilmakuvat

Tämän kalojen lisääntymisalueetutkimuksen kenttätöitä on tehty pääasiassa Nauvon ja Korppoon kuntien eteläpuolisilla alueilla vuosina 2002 ja 2003. Rantojen ilmakuvauksia tehtiin kuitenkin jo kesällä 2001. Tutkimusalueen ranta-alueita viistoilmakuvattiin kymmenessä kohteessa (kuva 1) yhteistyössä Saaristomeren merivartioston kanssa, Vartiolentolaivueen normaalien partiolentojen yhteydessä. Viistoilmakuvat kuvattiin 28.7.2001 käsivaralta Saaristomeren merivartioston Super Puma -helikopterin sivuovesta lentokorkeuden ollessa noin sata metriä (300 jalkaa). Valokuvaajana toimi Markku Lappalainen. Viistoilmakuvatut alueet kuuluvat Saaristomeren kansallispuistoon ja sen yhteistoiminta-alueeseen lukuun ottamatta Innamon alueen saaria, Nauvon Sandötä sekä Öron aluetta. Öron alue kuuluu puolustusvoimien hallinnoimaan Öron suoja-alueeseen ja sieltä otetut ilmakuvat ovat Topografikunnan tarkastamia.

Ilmakuva-aineiston avulla oli tarkoitus seurata rantojen tilan kehitystä Nauvon ja Korppoon eteläisillä alueilla, erityisesti nykyisten laivaväylien ja suunnitellun Öron väylän vaikutuspiirissä. Väylähankkeen YVA-selvityksissä eroosioherkiksi alueiksi oli luokiteltu mm. Nauvon Sandön alue, Öron lounaiskärjen vedenalainen hiekkasärkkä sekä Dragsfjärdin Sandön - ja Sandskär -saarten alueet (Karvonen ym. 2002, sivut 76-77). Sandönin ja Sandskärin tilan oletettiin paranevan Öron väylän avaamisen myötä, koska näiden saarten läheinen syvyydeltään 7,5 metrin väyläosuus oli tarkoitus mataloittaa kulkusyvytydeltään 3,2 metriseksi. Vuoden 2001 viistoilmakuva-aineiston avulla dokumentoitiin kuvattujen alueiden tila ennen Öron väylän avaamista. Myöhemmin tehdyillä uusintakuvauksilla oli tarkoitus hankkia ilmakuva-aineistoa mahdollisten muutosten seurantaan. Koska uusintakuvauksia ei saatu järjestettyä eikä väylähanketta toteutettu,

eroosiotutkimus tehtiin Innamon alueella Maanmittauslaitoksen ortokuva-aineiston avulla (luku 6.3).



Kuva 1. Viistoilmakuvattujen tutkimusalueiden sijainnit Saaristomerellä.

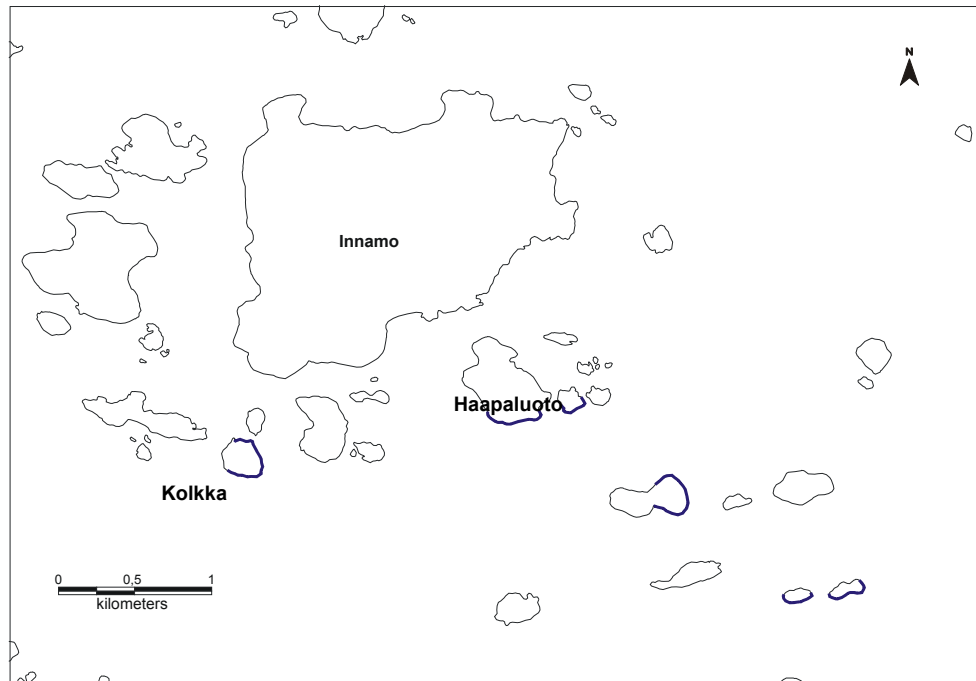
Viistoilmakuvien avulla on mahdollista tarkastella pohjan laatua sekä vedenalaisen kasvillisuuden esiintymistä tutkimusalueilla (kuva 2). Pääosa kesällä 2001 kuvatusta viistoilmakuvista on dia-aineistoa. Helsingholmenin ja Dragsfjärdin Sandönin alueilta diojen lisäksi on myös digitaalisia kuvia. Dioista koostuvaa viistoilmakuvamateriaalia voidaan analysoida valopöydällä preparointimikroskooppia apuna käyttäen, jolloin kuvien yksityiskohdat saadaan hyvin esille. Jos kuvien analysoinnissa keskitytään pohjan laadun luokitteluun tai rantaeroosion tutkimiseen, niin diojen avulla päästään parempaan erottelutarkkuuteen kuin digitaalisella kuvamateriaalilla. Digitaalisten viistoilmakuvien etuna on niiden helppokäyttöisyys, koska kuvia voidaan katsoa suoraan tietokoneen näytöltä. Digitaalisten kuvien avulla pystytään saamaan nopeasti yleiskäsitys kuvatusta alueesta ja tietoa esimerkiksi pohjan kasvillisuuspeitteisyydestä, jos tarkempaan kuva-analyysiin ei ole tarvetta.



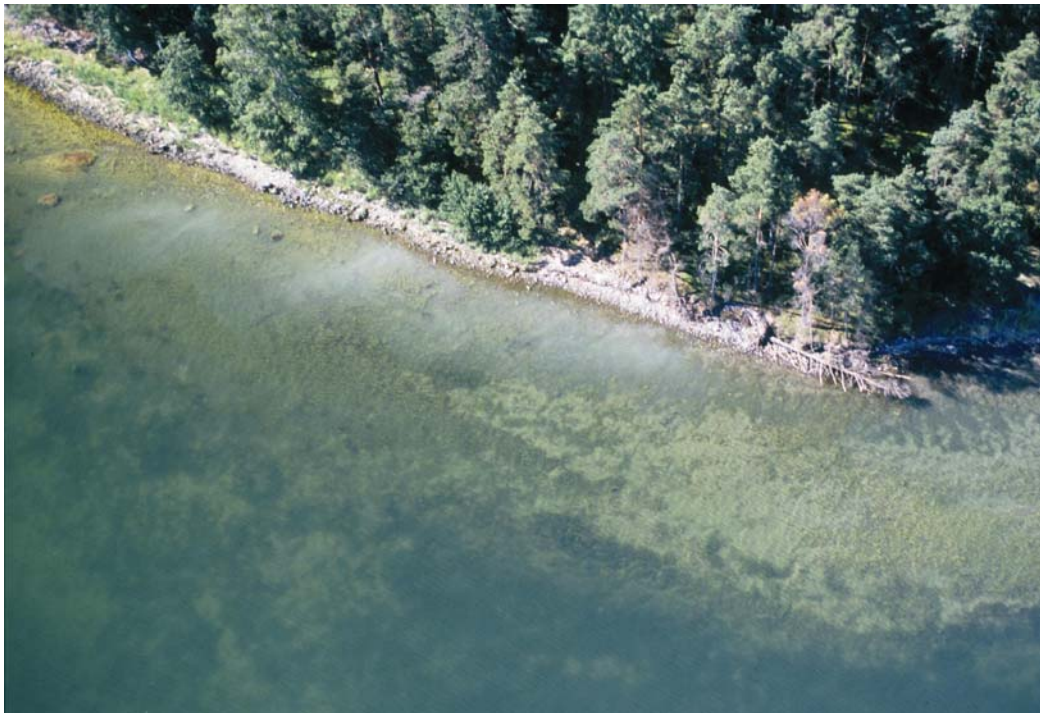
Kuva 2. Dragsfjärdin Sandön -saaren etelärantaa 28.7.2001. (Valokuva: Markku Lapalainen).

Viistoilmakuvatut rannat esitetään jatkossa tutkimuskohteittain. Kuvatut ranta-alueet on merkitty kunkin tutkimusalueen karttaan. Jokaisesta tutkimuskohteesta esitetään myös diasta skannattu esimerkkikuva. Useista kuvista voidaan havaita, että sedimentin rae-koko muuttuu vyöhykkeittäin karkeammasta hienompaan veden syvyyden kasvaessa (esim. kuva 14). Vedenalainen kasvillisuus taas esiintyy usein laikuittain eikä vyöhykkeittäin rannasta syvemmälle mentäessä (esim. kuvat 2, 10 ja 12).

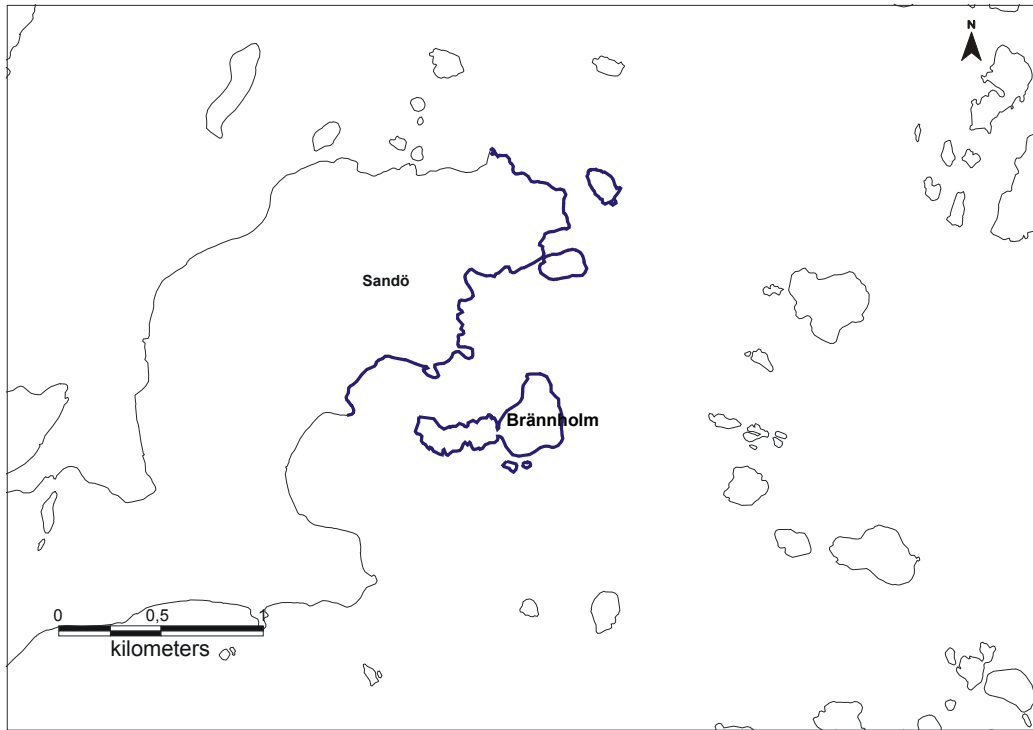
Vedenalaisten kohteiden havainnointia voi rajoittaa mm. veden aaltoilu, leväkukinnat ja veden huono näkösyvyys. Parhaiten ilmakuvioiden analysointi onnistuu hyvällä säällä kuvatuista dioista alle 3 metrin vesisyvyydessä olevista kohteista.



Kuva 3. Innamon alueen viistoilmakuvatut ranta-alueet.



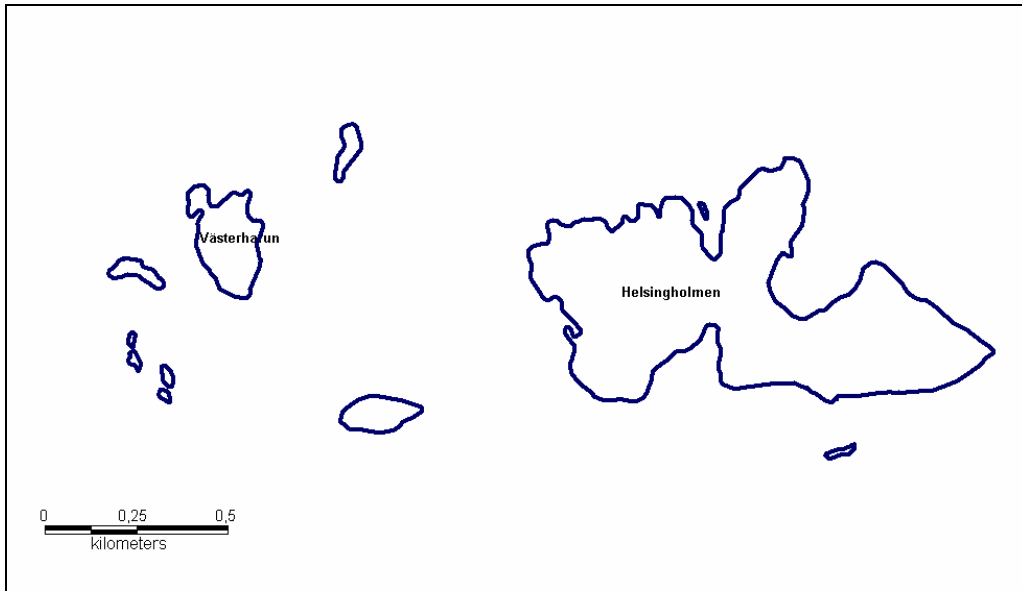
Kuva 4. Kolkan saaren itärantaa. (Valokuva: Markku Lappalainen 2001).



Kuva 5. Nauvon Sandön alueen viistoilmakuvatut ranta-alueet.



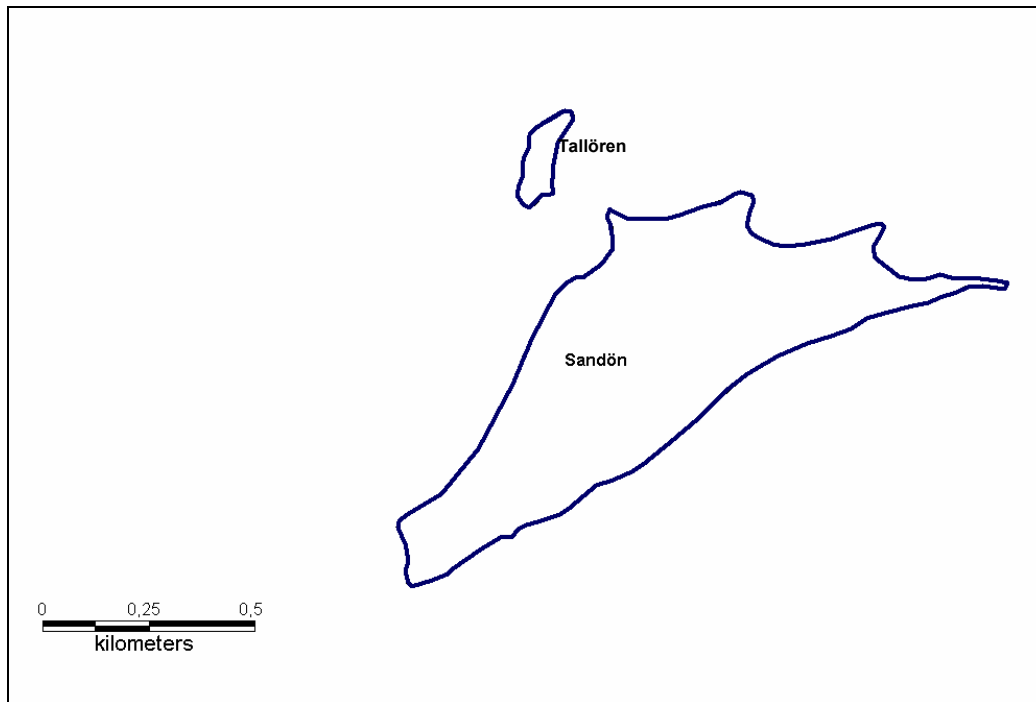
Kuva 6. Lilla Brännholmin länsikärjen pohjoisranta. (Valokuva: Markku Lappalainen 2001).



Kuva 7. Helsingholmenin alueen viistoilmakuvatut ranta-alueet.



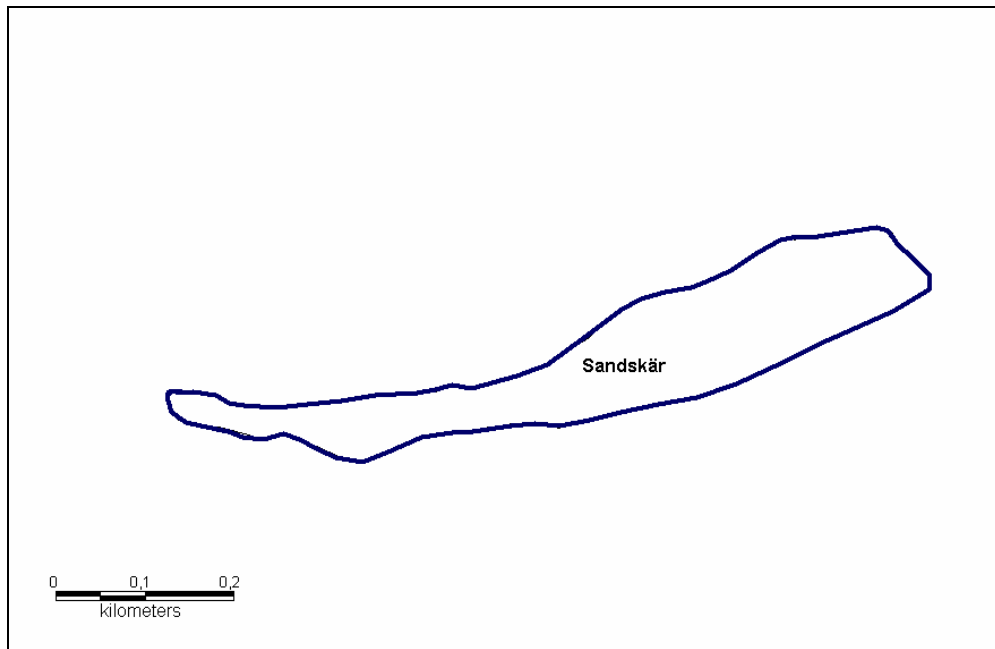
Kuva 8. Helsingholmenin pohjoisranta. (Valokuva: Markku Lappalainen 2001).



Kuva 9. Sandönin alueen viistoilmakuvatut rannat.



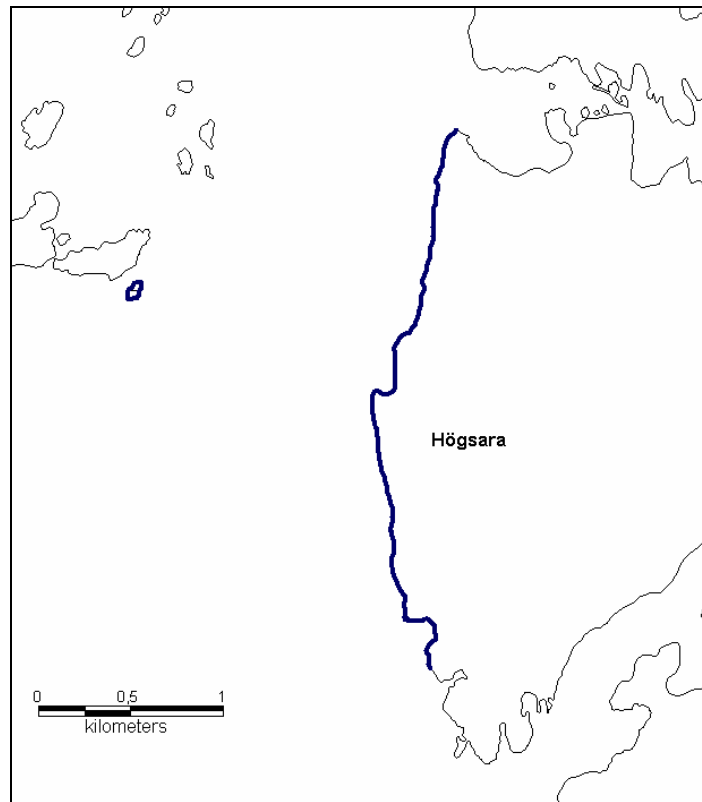
Kuva 10. Esimerkki viistoilmakuvasta Sandön -saaren alueelta. Kuvan etualalla on Tallören -saaren itärantaa. (Valokuva: Markku Lappalainen 2001).



Kuva 11. Sandskärin viistoilmakuvatut rannat.



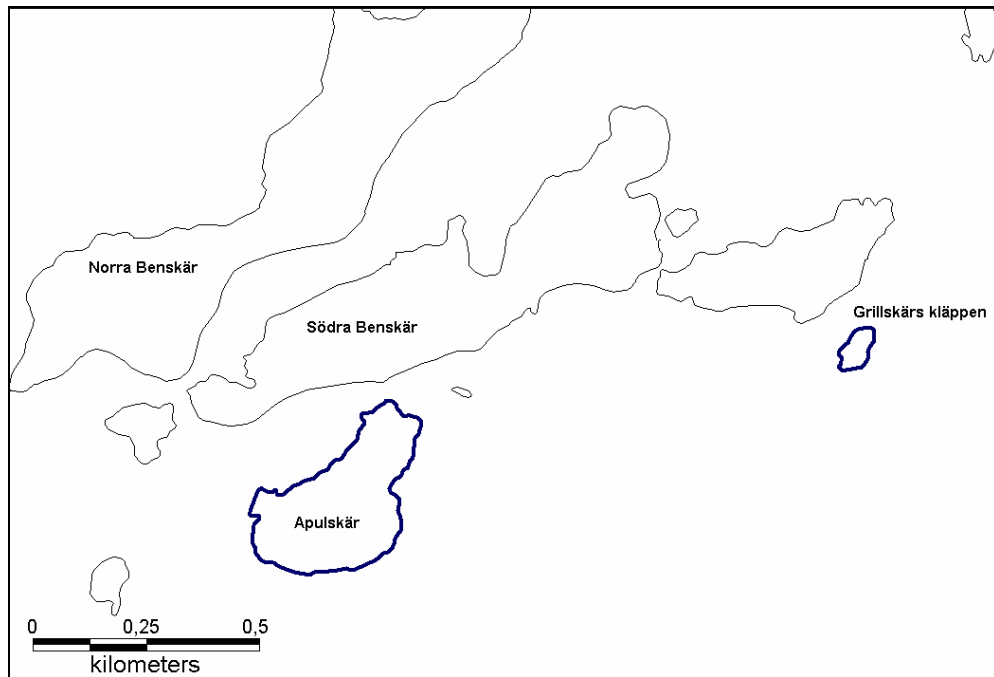
Kuva 12. Sandskärin itäkulma kuvattuna etelästä pohjoiseen. (Valokuva: Markku Lappalainen 2001).



Kuva 13. Högsåran viistoilmakuvatut ranta-alueet.



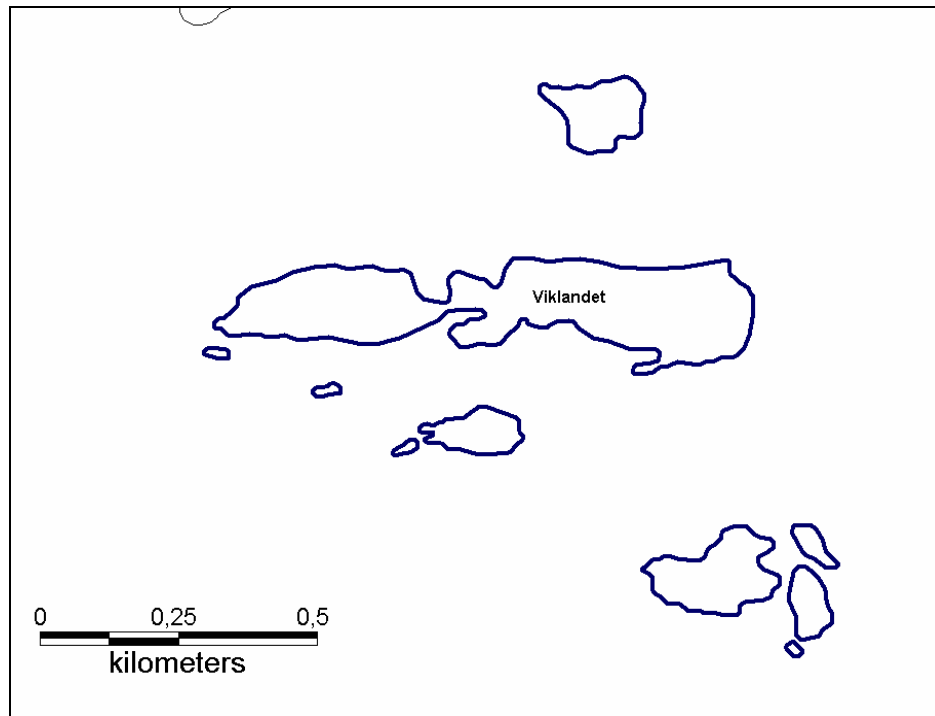
Kuva 14. Högsåran länsirantaa. (Valokuva: Markku Lappalainen 2001).



Kuva 15. Benskärien eteläpuoliset viistoilmakuvatut alueet.



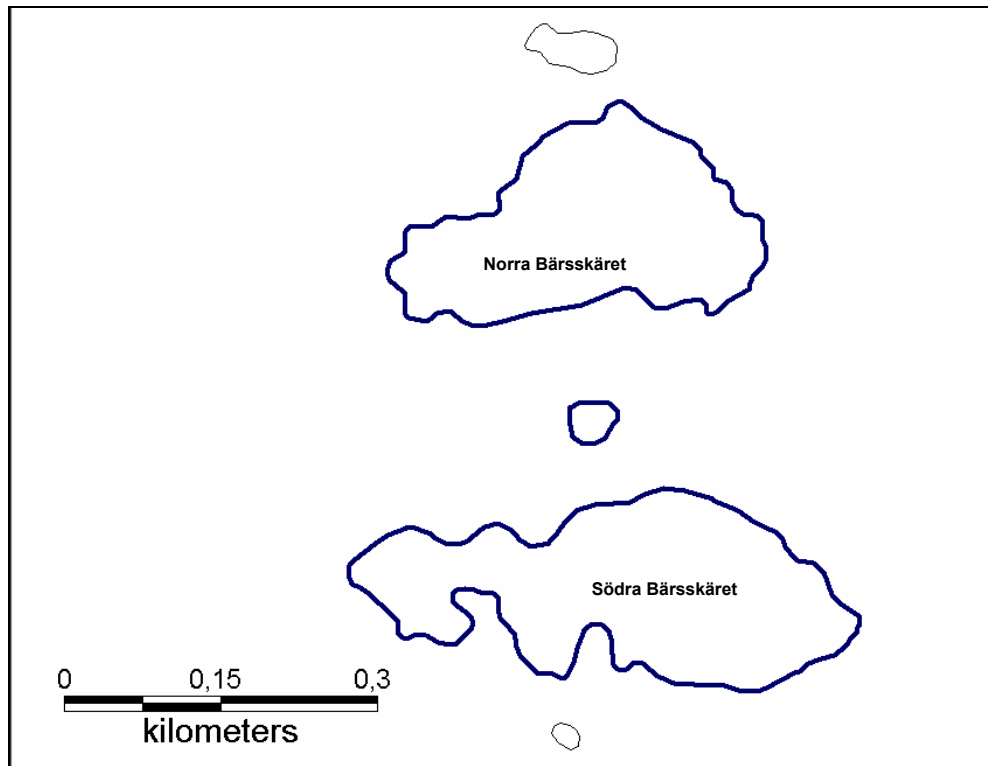
Kuva 16. Apulskärin pohjoisranta. (Valokuva: Markku Lappalainen 2001).



Kuva 17. Viklandetin ympäristön viistoilmakuvatut ranta-alueet.



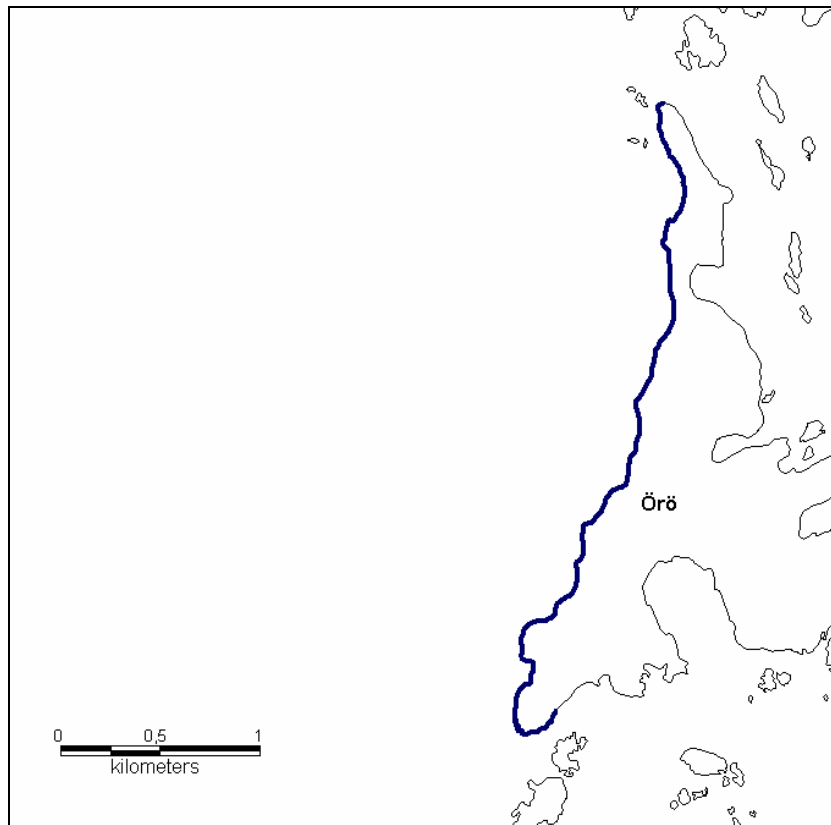
Kuva 18. Viklandetin etelärantaa. (Valokuva: Markku Lappalainen 2001).



Kuva 19. Norra ja Södra Bärsskäret –saarten viistoilmakuvatut rannat.



Kuva 20. Södra Bärsskäretin etelärantaa. (Valokuva: Markku Lappalainen 2001).



Kuva 21. Örön saaren viistoilmakuvatut rannat.



Kuva 22. Esimerkkikuva Örön länsirannalta. (Valokuva: Markku Lappalainen 2001).

6.3. Ortoilmakuvien avulla tehty rantaeroosiotutkimus

Viistoilmakuvien (kuva 4) sekä veneestä otettujen kuvien (kuva 23) tarkastelussa kävi ilmi, että Innamon eteläpuolitse kulkevan vilkkaasti liikennöidyn laivaväylän läheisyydessä eroosiovaikutukset olivat selkeästi havaittavissa, joten Innamon alue valittiin rantaeroosiokehityksen esimerkkitutkimuskohteeksi.

Eroosiota esiintyy kun ranta- ja pohjasedimenttiin kohdistuvat voimat ovat suurempia kuin maa-aineksen eroosionsietokyky. Aaltojen ja virtausten voimasta pienimmät ja kevyimmät partikkelit lähtevät liikkeelle ensimmäisinä ja kulkeutuvat kauimmaksi virtausten mukana. Eroosion edetessä hienompi aines huuhtoutuu pois ja lopulta jäljelle jää vain eroosiota kestävä karkeampi aines: karkea sora, kivet ja lohkareet (kuva 23).



Kuva 23. Haapaluodon etelärantaa. (Valokuva: Tuula Kohonen 2003).

Eroosion aiheuttamat muutokset saattavat huonontaa kalojen lisääntymisalueiden tilaa. Esimerkiksi kampeloiden poikaset välttävät pohjia, joiden sedimentti on niin karkearakeista ainesta, että ne eivät pysty kaivautumaan siihen vaaran uhatessa (esim. Moles & Norcross 1995, Gibson & Robb 2000). Sedimentin raekokojakauma onkin yksi tärkeimmistä kampelan poikasten habitaattivalintaan vaikuttavista laatuparametreista. Laivaliikenteen aiheuttamien aaltojen ja virtausten irrottamat karkeat sedimenttipartikkelit voivat vaurioittaa kalojen mätimunia ja poikasia. Veteen suspendoitunut hienorakeinen aines taas tukkii kalojen kiduksia ja pohjalle laskeutuessaan peittää mätia aiheuttaen hapenpuutetta. Usein toistuvat pohjasedimentin suspensiotapahtumat ovat erityisen haitallisia ja lisäävät mädin kuolleisuutta. (Pearson ym. 1989.) Ranta- ja pohjaeroosion edetessä myös litoraalin kasvillisuus häviää ja kalojen lajirunsaus ja yksilömäärä vähenee. Useissa tutkimuksissa on todettu, että 10-40 prosentin kasvillisuuspeittävyys luo optimaaliset pohjaolosuhteet useiden kalalajien kasvulle ja eloonjäämiselle (Dibble ym. 1997.) Tukholman saariston eroosiotutkimuksissa on havaittu, että eroosiolle alttiina

olevien rantojen maanpäällisestä kasvipeitteestä voi hävitä lähes puolet yhden vuoden aikana (Granath 2004). Pohjan hienoineksen hävitessä sama ilmiö on oletettavasti havaittavissa myös veden alla. Granathin (2004) tutkimuksen mukaan laivojen nopeusrajoitusten avulla rantojen eroosiokehitys on paikoin saatu pysäytettyä ja litoraalin kasvillisuuskin palautuu vähitellen.

Innamon alueen rantaeroosiokehitystä tutkittiin eri vuosina samalta alueelta kuvattujen ilmavalokuvien ja paikkatiedon avulla. Tutkitut ranta-alueet sijaitsivat Naantaliin ja Turkuun johtavan laivaväylän vaikutuspiirissä, 0,25-2 km etäisyydellä väylästä. Tutkimusmateriaalina käytettiin Maanmittauslaitokselta ostettua vuosina 1962, 1977, 1989, 1995 ja 2001 kuvattua ilmakuvausmateriaalia (taulukko 1). Ajallisen muutoksen havainnoinnin tarpeisiin kuvat skannattiin samaan pikselitarkkuuteen (1 pikseli kuvissa vastaa 32 cm luonnossa) ja skannatut kuvat oikaistiin karttakoordinaatistoon (KKJ 1).

Taulukko 1. Innamon rantaeroosiotutkimuksessa käytetty Maanmittauslaitoksen ilmakuvausmateriaali. Tutkimusalue sijaitsee peruskarttalehdellä 1043 01.

KUVA	KUVAUSPÄIVÄ	MITTAKAAVA	KUVAUSKORKEUS
62102 193	13.06.62	1:22 000	4600 m
62102 194	13.06.62	1:22 000	4600 m
77131 107	30.05.77	1:31 000	4750 m
89121 115	01.05.89	1:31 000	4750 m
95101 129	24.04.95	1:16 000	3360 m
95101 161	24.04.95	1:16 000	3360 m
01103A 11	30.04.01	1:16 000	3408 m

Eroosion ja sedimenttikulkeuman rantoihin aiheuttamia muutoksia ja niiden laajuutta tutkittiin eri vuosina samalta paikalta kuvattujen digitaalisten oikaistujen ilmakuviin avulla. Tutkimusalueiden rantaviivat digitoitiin paikkatieto-ohjelmassa ilmakuviin päälle ja näitä verrattiin toisiinsa. Digitoitujen rantaviivojen sijainnista toisiinsa nähden pystyttiin havainnoimaan missä ja milloin rantaeroosiota on tutkimusalueella tapahtunut. Paikkatietoanalyysi toteutettiin paikkatieto-ohjelma ArcGis 8.2:n avulla.

Tutkimuksessa havaittiin rantaviivan muutoksia eri aikoina kuvatussa ilmakuvausmateriaalissa. Rantaeroosion määrä alueella oli verrannollinen rannan laatuun sekä etäisyyteen laivaväylästä (liite 3). Suurin yksittäinen muutos rantaviivassa oli havaittavissa vuosien 1995 ja 2001 välillä Kolkan saaren koillisosassa, jossa hiekkarantaa oli huuhtoutunut mereen yli 15 metrin matkalta (liite 3, kuva 6). Tutkitulla ajanjaksolla (1962 - 2001) sekä kaupallisen merenkulun että matkustajalaivojen aluskoot ovat kasvaneet huomattavasti. Esimerkiksi Silja Linen ja Viking Linen autolauttojen tilavuudet ovat nykyisin yli kymmenkertaisia 1970-luvun alkuun verrattuna. Myös liikennetiheys on kasvanut tutkimusalueella. Nykyisin kauppamerenkulun alukset ohittavat tutkimusalueen vuosittain yli 10 000 kertaa (Rintala 2001).

Laivaliikenteen aiheuttamaa eroosiota on Suomessa vain vähän tutkittu. Pohjois-Airistolla silakan kutualueilla on tutkittu laivojen ohikulkujen aikana pohjasta veteen erooituneen aineksen määrää ja laatua (Kohonen & Virtasalo 2001, Rytönen ym. 2001a) ja arvioitu eroosioilmiön osuutta silakan lisääntymisen epäonnistumiseen (Vahteri & Vuorinen 2001, Vahteri & Virtasalo 2001). Veteen suspendoitunut hienoinen laskeutuu pohjalle rauhallisina ajanjaksoina ja peittää alleen kutualustat ja niihin kiinnittyneen

mädin. Yli 500 metrin päässä laivaväylistä olevissa tutkimuskohteissa veden kiinto-aineen määrä kasvoi alusten ohitustilanteissa ajoittain yli kaksinkertaiseksi Pohjois-Airiston keskimääräisiin kiintoainespitoisuuksiin verrattuna ja veteen suspendoitui metrin korkeuteen pohjan yläpuolelle jopa karkeaa hiekkaa (Kohonen & Virtasalo 2001, Rytkönen ym. 2001a). Eroosiotutkimusten kanssa samanaikaisesti tehty VTT:n aalto- ja virtausmittausmittaukset osoittivat maksimi-arvoja suurten autolauttojen ohikulkujen aikana (Rytkönen ym. 2001a, Rytkönen ym. 2001b). Rantamatalassa tehdyissä mittauksissa aaltojen korkeudet olivat suurimmillaan 50 - 60 cm ja maksimivirtausnopeudet 40 – 50 cm/s. VTT:n tutkijoiden arvion mukaan virtaukset saattavat olla rannempana hetkellisesti jopa 1,8 - 2 m/s. (Rytkönen ym. 2001a, Rytkönen ym. 2001b). Useita kertoja vuorokaudessa toistuvat aalto- ja virtaushäiriöt olivat huomattavia, vaikka Pohjois-Airistolla on voimassa 22 km/h nopeusrajoitus. Innamon tutkimuskohteessa vastaavaa rajoitusta ei ole ja rantaeroosio on edennyt viimeisten vuosikymmenten aikana silmin havaittavan pitkälle. Laivaväyliä läheisten rantojen eroosioherkkyyttä ja eroosion aiheuttamia muutoksia on tutkittu Tukholman saaristossa (Granath 1989, 1991a, 1991b, 1992, 2004). Vastaavaa eroosioseurantaa ei Suomessa ole tehty, tätä eroosiotutkimusta lukuun ottamatta.

6.4 Johtopäätökset

Ilmakuvia voidaan hyödyntää monin eri tavoin rakenteellisen monimuotoisuuden ja toiminnoiltaan rikkaan ympäristön tutkimisessa ja kuvaamisessa. Ilmakuvien avulla on mahdollista saada nopeasti kuvailevaa tietoa laajoilta alueilta esimerkiksi pohjan laadusta, kasvillisuuspeitteisyydestä ja muista tutkimuksen kannalta kiinnostavista aiheista. Erityisesti tutkimuksen suunnitteluvaiheessa sekä ajallisen muutoksen havainnoinnissa ilmakuvat ovat arvokasta tutkimusmateriaalia. Dibblen tutkimusryhmän (1997) mukaan suurin osa kasvien ja kalojen välisiä vuorovaikutussuhteita käsittelevistä tutkimuksista on makroskaalan tutkimuksia, joissa kasvillisuuspeitteisyyttä on tutkittu joko ilmakuvien tai pinta-arviointien avulla. Ilmakuvat soveltuvatkin hyvin pohjahabitaattien tilan tutkimiseen. Suurimman rajoituksen ilmakuvien käytettävyydelle asettavat kuvausolosuhteet, veden näkösyvyys sekä litoraalin profiili.

Tässä tutkimuksessa viistoilmakuvia käytettiin ranta-alueiden nykytilan taltiointiin ja eroosiorantojen etsintään. Viistoilmakuvista voitiin havaita, että vedenalainen kasvillisuus esiintyy useimmiten erillisinä laikkuina eikä selvinä kasvillisuusvyöhykkeinä. Ortoilmakuvien avulla seurattiin rantaeroosion ajallista kehitystä Innamon alueella. Suurin eroosiomuutos havaittiin Kolkan saaren koillisosassa, jossa rantaa oli huuhtoutunut mereen yli 15 metrin matkalta vuosien 1995 ja 2001 välillä. Havaittu laivaliikenteen aiheuttama suurimittainen eroosio muuttaa ranta- ja pohjahabitaattien tilaa sekä eroosioalueilla että niillä alueilla, jonne erodoitunut maa-aines kulkeutuu. Ilman viranomaisen toimenpiteitä eroosiota ei saada pysähtymään. Tukholman saaristossa laivaliikenteelle vuonna 1994 asetettujen nopeusrajoitusten positiivinen vaikutus alkaa näkyä: rantojen eroosiokehitys on paikoitellen pysähtynyt ja litoraalin kasvillisuus on palaamassa (Granath 2004). Aallonmuodostuskiellon ja nopeusrajoitusten määrittäminen eroosioherkille laivaväyläosuuksille olisi myös Suomessa tärkeää. Tätä varten tarvitaan kartoituksia väyliä läheisten rantojen ja pohjien eroosioherkkyydestä, jotta rajoituksia voidaan ehdottaa herkimpiin kohteisiin.

Kirjallisuus

- Dibble, E. D., Killgore, K. J. & Harrel S. L. 1997. Assessment of Fish-Plant Interactions. Miscellaneous Paper A-97-6. U.S. Army Corps of Engineers. Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS. 21 s.
- Finkbeiner, M., Stevenson, B. & Seaman, R. 2001. Guidance for Benthic Habitat Mapping: An Aerial Photographic Approach. U.S. NOAA Coastal Service Center. Technology Planning and Management Corporation, Charleston, SC. (NOAA/CSC/20117-PUB). 75 s.
- Gibson, R. N. & Robb, L. 2000. Sediment selection in juvenile plaice and its behavioral basis. *Journal of Fish Biology* 56, 1258-1275.
- Granath, L. 1989. Kartläggning av erionskänsliga stränder längs Rödkobbsleden. Forskningsrapport 78. STOU-NG 78. Naturgeografiska institutionen. Stockholms Universitet. 23 s. ja liitteet.
- Granath, L. 1991a. Förändringar av stränder i Stockholms skärgård. Metoder för ajourföreling av strandinventeringar. Länsstyrelsen i Stockholms län. Rapport 1991:11. 26 s. ja liitteet.
- Granath, L. 1991b. Farledsstränder i Stockholms skärgård. Material och erosionskador (preliminär rapport). Länsstyrelsen i Stockholms län. Rapport 1991:12. 21 s. ja liitteet.
- Granath, L. 1992. Farledsstränders erosionskänslighet. Inventering av strandtyper och skador i Stockholms skärgård. Länsstyrelsen i Stockholms län. Rapport 1992:10. 71 s.
- Granath, L. 2004. Skadeinventering, vågenergimätningar och metoder för miljöövervakning. Länsstyrelsen i Stockholms län. Rapport 2004:19. 58 s.
- Karvonen, T., Mäkynen, T., Niinistö, J. & Perälä, H. (TY/Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskus) sekä Kohonen, T., Vahteri, P. & Virtasalo, J. (TY/Saaristomeren tutkimuslaitos) 2002. Öron väylän ympäristövaikutusten arviointiselostus. Liite ympäristölupahakemukseen. Merenkululaitos. Saaristomeren merenkulkupiiri. 101 s. ja liitteet.
- Kohonen, T. & Virtasalo, J. 2001. Laivaliikenteen aiheuttama eroosio. *Raportissa*: Kohonen, T., Vahteri, P., Virtasalo, J., Vuorinen, I. & Helminen, U. 2001. Kalojen kutu- ja poikastuotantoalueiden suojelu- ja kunnostustutkimus Turun saaristossa 1.12.1999-10.11.2000. Tutkimusraportti. Saaristomeren tutkimuslaitos. Turun yliopisto, 7-14.
- Moles, A. & Norcross, B. L. 1995. Sediment preference in juvenile Pacific flatfishes. *Netherlands Journal of Sea Research* 34 (1-3), 177-182.
- Pearson, W.D., Killgore, K.J., Payne, B.S. & Miller, A.C. 1989. Environmental Effects of Navigation Traffic: Studies on Fish Eggs and Larvae. Environmental Impact Research Program. Technical Report EL-89-15. US Army Corps of Engineers. Washington, DC 20314-1000. 35 s.

Rintala, V-M. 2001. Kauppamerenkulku Saaristomerellä: määrä ja alueellinen jakautuminen. Pro gradu. Turun yliopisto. Maantieteen laitos. 79 s.

Rytkönen, J., Kohonen, T., and Virtasalo, J. 2001a. Laivaliikenteen aiheuttama eroosio Pohjois-Airistolla. *Vesitalous* 3/2001, 30-36.

Rytkönen, J., Sassi, J. & Koskivaara, R. 2001b. Laivojen aiheuttama aalto- ja virtaushäiriö rannassa. Aalto- ja virtausmittaukset Airistolla 02.-05.05.2000. Tutkimusraportti BVAL34-001016. VTT Valmistustekniikka, Espoo. 40 s., 51 liites.

Vahteri, P. & Virtasalo, J. 2001. Kutupohjien kunnostus Pohjois-Airistolla. *Raportissa*: Kohonen, T., Vahteri, P., Virtasalo, J., Vuorinen, I. & Helminen, U. 2001. Kalojen kutu- ja poikastuotantoalueiden suojele- ja kunnostustutkimus Turun saaristossa 1.12.1999-10.11.2000. Tutkimusraportti. Saaristomeren tutkimuslaitos. Turun yliopisto, 41-52.

Vahteri, P. & Vuorinen, I. 2001. Silakan lisääntyminen vaarassa Pohjois-Airistolla. *Vesitalous* 3/2001, 37-38.

7. SUOJELU- JA KUNNOSTUSMAHDOLLISUUDET

7.1. Eroosiosuojaus ja kasvillisuusistutukset

Tuula Kohonen

Ihmistoiminnan vaikutus Saaristomeren ympäristön tilaan on silmin nähtävissä ranta-eroosiona ja veden laadun huonontumisena. Saaristomeren vilkkaasti liikennöityä aluetta, jossa laivaliikenteen aiheuttaman eroosion eteneminen on havaittavissa vilkkaasti liikennöityjen laivaväylien rannoilla. Saaristomeren tunnetaan myös yhtenä Itämeren rehevöityneimmistä alueista. Saaristomereen tulee ravinnepäästöjä sekä haja- että piste-kuormituslähteistä. Rehevöityminen, ranta- ja pohjaeroosio sekä niiden seurannaisvaikutukset ovat pääasiallisia syitä myös kalojen lisääntymisalueiden tilan huononemiseen Saaristomerellä. Edellä mainitut häiriötekijät ovat kytköksissä toisiinsa; eroosiota vähentävä vedenalainen kasvillisuus häviää rehevöitymisen myötä ja eroosio etenee nopeammin kasvillisuudesta paljailla kuin kasvillisuuden peittämällä alueilla. Häiriötekijöiden vaikutusta voidaan yrittää vähentää kunnostustoimilla. Niillä ei kuitenkaan tavoiteta pitkäaikaista hyötyä, jollei häiriöiden aiheuttajaa saada poistetuksi. Suojelutoimet ovat edellytys kunnostustoimien onnistumiselle.

Eroosiosuojaus

Rantaeroosiota estäviä rakenteita on Suomessakin kokeiltu. Ainakin Turun Ruissalossa eroosion etenemistä on yritetty estää rannan suuntaisilla rakennelmilla ja kivikasauksilla. Enemmän niitä on kuitenkin rakennettu ulkomailla. Usein eroosiorakennelma ei ole esteettisesti hyväksyttävä, koska se on tehty betonista tai särmikkäistä kivilohkareista. Alueilla, joilla tapahtuu luonnonvoimien, esimerkiksi hirmumyrskyjen, aiheuttamaa voimakasta eroosiota ne lienevät ainoa vaihtoehto. Herkkään saaristomiljööseen ne eivät sovellu. Suurimmat eroosiohaitat Saaristomerellä ovat maan päälläkin nähtävissä laivaväylien varrella. Kuitenkin eroosiotoiminta ulottuu myös syvemmälle veteen, aina pohjaan asti. Lisääntymisalueiden säilymiselle on tärkeää, että myös pohjaeroosio vähenee. Eroosionestotoimet olisi ulotettava pintaa syvemmälle. Turun ja Tukholman välisen laivaväylän varrella eroosio on jo monin paikoin edennyt niin pitkälle (kuva 1), että eroosiota estävät rakennelmatkin olisivat hyväksyttäviä hyvin toteutettuina.

Eroosionestorakennelma voidaan tehdä padonrakentamismenetelmillä siten, että sedimentin raekoko muuttuu asteittain isommaksi. Periaatteena on peittää alkuperäinen sedimentti suodatinkerroksella, jossa minkään kerroksen rakeet eivät saa tunkeutua päällä olevan karkeamman kerroksen tyhjätilojen läpi. Esimerkiksi alkuperäinen sedimentti, hieno hiekka, peitetään vähintään 20 cm paksuisella kerroksella hiekaista soraa. Jos seuraava noin 30 cm paksuinen kerros on sepeliä, jonka raekoko on 16-64 mm, kestää se noin 2 m/s suuruisen virtausnopeuden. Tämä kerros peitetään vielä kerroksella kiviä (raekoko 40 cm), joka suojaa alempia kerroksia jäitä vastaan. (Jakobson ym. 1970). Ulkonäkösyistä päällimmäisten isojen kivien pitäisi olla valmiiksi pyöristyneitä. Niitä löytyy soraharjuista. Laivaväylien läheisyyteen rakennettavien eroosiosuojausten suunnittelu edellyttää yksityiskohtaista tietoa rannan ja pohjasedimentin laadusta, alueeseen kohdistuvista laivaliikenteen ja myrskytuulten aiheuttamista virtaus- ja aaltohäiriöistä ja erityisesti häiriöiden maksimiarvoista. Virtausten ja aaltojen yhteisvaikutus saattaa olla

ennakoimattoman suuri, joten rakennelman kestävyyslaskelmissa on käytettävä tarpeeksi suuria varmuuskertoimia.



Kuva 1. Rantaeroosio etenee Kolkan saarella. (Kuva: Tuula Kohonen 2003).

Virtavesien kunnostusta on Suomessakin tehty ja ennallistamiseen tarvittavaa taustatietoa on saatavilla. Saaristossa tapahtuvaa ranta- ja pohjaeroosiota on Suomessa vain vähän tutkittu. Pohjois-Airistolla tehdyissä mittauksissa on kerätty tietoa laivaliikenteen eroosiovaikutuksista silakan kuturantojen läheisyydessä (Kohonen & Virtasalo 2001, Rytönen ym. 2001a, 2001b). Rantaeroosion paikallista etenemistä on käsitelty tämän raportin luvussa 6. Habitaattien suojelu- ja kunnostustoimia varten tarvitaan lisätietoa erityisesti veden alla tapahtuvasta eroosiosta. Ruotsissa tehtyjen saariston eroosioherkkyysluokitusten (esim. Granath 1992, 2004) tapaisia tutkimuksia pitäisi tehdä myös Saaristomeren alueella, mutta tutkimukset tulisi ulottaa myös vedenalaisiin sedimenttikerrostumiin.

Eroosionestorakennelmien pysyvyys saattaa edellyttää laivaliikenteelle asetettavia nopeusrajoituksia, erityisesti kapeilla väyläosuuksilla. Joillekin alueille minkäänlaiset eroosionestorakenteet eivät sovi ja ainoa keino estää eroosiota on hallinnollinen. Sandskär - ja Sandön -saarten (kansikuva ja kuva 2) tapaisilla alueilla nopeusrajoituksia olisi annettava myös pienveneliikenteelle.



Kuva 2. Sandön –saari, Dragsfjärd. (Valokuva: Tuula Kohonen 2003).

Vedenalaisen kasvillisuuden istutukset

Vedenalaisten habitaattien tilaa on usein kunnostettu kasvillisuusistutusten avulla. Suomessa niitä ei liene paljonkaan tehty. Istutukset olisivat aiheellisia alueilla, joilta puuttuu kalojen lisääntymiselle tarpeellisia lymyilypaikkoja. Kasvillisuuden häviäminen johtuu usein liiallisesta ravinnekuormituksesta ja sen seurauksena lisääntyneestä veden sameudesta. Vedenalaisen kasvillisuuden säilyminen ja ennallistaminen on tärkeää useammassakin mielessä. Kasvit tarjoavat suojaa kaloille ja muille eläimille, parantavat veden laatua ja kirkastavat vesiä sekä vähentävät ranta- ja pohjaeroosiota. Vesikasvien saatavuus voi osoittautua pulmaksi. Muualla maailmassa on istutettu mm. meilläkin esiintyvää meriajokasta (*Zostera marina*). Ulkomailta vedenalaisten kasvien istutuksista on runsaasti kokemusta ja kirjallisuudesta löytyy käytännön ohjeita (esim. USACE 1981a, 1981b, Smart & Dick 1999).

Laajamittaiset kasvillisuusistutukset ovat kalliita ja vaativat runsaasti työvoimaa. Lisäksi istutusten onnistumista on seurattava useamman kerran vuodessa ja tehtävä lisäistutuksia tarvittaessa. Kasvillisuusistutukset on tehtävä ainakin syvemmällä sukeltajien toimesta. Kasvillisuusistutuksia voitaisiin kokeilla pienimuotoisesti rantamatalassa, jossa ne voidaan tehdä kahlaamalla. Kokeiluistutuksia voisi tehdä verkkomaisesta geotekstiilistä tehtyjen, sedimentillä täytettyjen patjojen sisään, jotka ankkuroidaan pohjaan. Matalassa vedessä valon määrä on myös riittävä, että kasvu pääsee vauhtiin. Jos olosuhteet ovat suotuisat, kasvit saattavat levitä itsestään myös syvemmälle.

Suomessa talvinen jääpeite voi tuhota matalan veden kasvillisuutta. Myös laivaväylien läheisyydessä kasvien juurtuminen ja leviäminen voi epäonnistua.

Keinotekoisien kasvillisuuden käyttö

Kaloille otollisen elinympäristön luomiseen ei välttämättä tarvitse käyttää elävää kasvillisuutta. Ruotsissa on kokeiltu keinotekoisia kutu- ja piilopaikkoja (Sandström & Karås 2002) ja veteen upotettuja kuusenrankoja (Sandström 2003). Australialaiset Jenkins ja Sutherland (1997) ovat tutkineet kahden erilaisen keinotekoisien, leveä- ja kapealehtisen, makrofyytipohjan kalalajistoa. Kalan poikasten lajirunsaus oli suunnilleen sama molemmilla pohjilla ja kummassakin huomattavasti suurempi kuin kasvillisuudesta paljailla hiekkapohjilla. Yksilöiden lukumäärä oli suurempi kapealehtisillä kuin leveälehtisillä pohjilla, jossa puolestaan oli enemmän kalanpoikasia kuin paljailla hiekkapohjilla. Myös selkärangattomien eläinten lukumäärä oli suurempi kapealehtisillä kuin leveälehtisillä tutkimusalueella. Jenkinsin ja Sutherlandin (1997) tutkimuksen tuloksia voidaan soveltaa meilläkin keinotekoisien kalahabitaattien luomiseen alueille, joilla halutaan lisätä kalanpoikasten laji- ja yksilölukumäärää. Alustan rakenne on yksinkertainen. Pohjaan ankkuroidaan 4 mm paksuinen teräsverkko, jonka ruutujen koko on 100 kertaa 50 mm. Ruutujen risteyskohtiin solmitaan 8 metrin pituista 5 mm levyistä ”jouluvihreää” muovinauhaa - joka risteyskohtaan tulee siis 16 kappaletta vajaan 50 cm pituista lehteä. Toisessa versiossa ruutujen risteyskohtiin solmitaan keskeltä kiinni yksi 70 cm pitkä ja 58 mm leveä nauha. Jälkimmäinen menetelmä saattaa olla ympäristöystävällisempi, jos pelätään esimerkiksi vesilintujen sotkeutuvan kapeisiin muovinauhoihin. Kustannuksiltaan suhteellinen edullinen ja toteutukseltaan yksinkertainen kasvillisuusalue soveltuu kalataloudesta kiinnostuneiden saariston asukkaiden tai kesämökkiläisten omatoimiseenkin rakentamiseen. Merenpohjalle, noin 1,5 m vedensyvyyteen lasketun rakennelman suuruus oli 2 metriä kertaa 1 metri Jenkinsin ja Sutherlandin (1997) tutkimuksessa. Mökkirannassa voi olla kätevämpää tehdä useita pienempiä alustoja, joiden käsittely ja pohjaan kiinnitys on helpompaa. Suomessa alustat on ankkuroitava hyvin, etteivät jäät tai aallokko ja virtaukset siirrä niitä pois paikoiltaan. Tarvittaessa muovilehdet on helppo vaihtaa uusiin vaikka vuosittain. Tärkeää on, että alustoissa käytetty muovi on haitatonta ympäristölle. Esimerkiksi PVC ei sovellu kasvillisuuden korvikkeeksi, koska se sisältää orgaanisia ympäristömyrkyjä.

Kirjallisuus

Granath, L. 1992. Farledsstränders erosionskänslighet. Inventering av strandtyper och skador i Stockholms skärgård. Länsstyrelsen i Stockholms län. Rapport 1992:10. 71 s.

Granath, L. 2004. Skadeinventering, vågenergimätningar och metoder för miljöövervakning. Länsstyrelsen i Stockholms län. Rapport 2004:19. 58 s.

Jakobson, B., Fagerström, H. & Arhippainen, E. 1970. Eroosio. Teoksessa: Koivu, T. (Toim.). Rakennustekniikan käsikirja. Pääjakso 1: Yleiset perusteet, II osa. Osasto 17, Geotekniikka. 1072-1076.

Jenkins, G.P. & Sutherland, C.R. 1997. The influence of habitat structure on nearshore fish assemblages in a southern Australian embayment: colonisation and turnover rate of fishes associated with artificial macrophyte beds of varying physical structure. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 218, 103-125.

Kohonen, T. & Virtasalo, J. 2001. Laivaliikenteen aiheuttama eroosio. Raportissa: Kohonen, T., Vahteri, P., Virtasalo, J., Vuorinen, I. & Helminen, U. 2001. Kalojen kutu- ja poikastuotantoalueiden suojelu- ja kunnostustutkimus Turun saaristossa 1.12.1999-10.11.2000. Tutkimusraportti. Saaristomeren tutkimuslaitos. Turun yliopisto, 7-14.

Rytkönen, J., Kohonen, T., and Virtasalo, J. 2001a. Laivaliikenteen aiheuttama eroosio Pohjois-Airistolla. *Vesitalous* 3/2001, 30-36.

Rytkönen, J., Sassi, J. & Koskivaara, R. 2001b. Laivojen aiheuttama aalto- ja virtaushäiriö rannassa. Aalto- ja virtausmittaukset Airistolla 02.-05.05.2000. Tutkimusraportti BVAL34-001016. VTT Valmistustekniikka, Espoo. 40 s., 51 liites.

Sandström, A. 2003. Restaurering och bevarande av lek- och uppväxtområden för kustfiskebestånd. *Finfo* 2003:3. Fiskeriverket. 26 s.

Sandström, A. & Karås, P. 2002. Tests of artificial substrata as nursery habitat for young fish. *Journal of Applied Ichthyology*. 63 (1), 89-101.

Smart, R.M. & Dick, G.O. 1999. Propagation and Establishment of Aquatic Plants: A Handbook for Ecosystem Restoration Projects. U.S. Army Corps of engineers. Waterways Experiment Station. Technical Report A-99-4. 26 s. ja liitteet.

USACE 1981a. Eelgrass planting guidelines - Pacific Coast and Atlantic Coast, North of Beaufort, North Carolina. Coastal Engineering Technical Note. CETN-V-10. 6/81. 2 s.

USACE 1981b. Seagrass planting guidelines - Atlantic Coast, South of Cape Canaveral, Florida and Gulf Coast. Coastal Engineering Technical Note. CETN-V-11. 6/81. 4 s.

7.2. Kalalajikohtaiset suojelu- ja kunnostusmahdollisuudet

Petri Vahteri

Kalojen kutualueiden kunnostamismahdollisuudet ovat lajikohtaisia. Ennen kutupaikan kunnostusta pitää pystyä arvioimaan yksittäisen kutupaikan vaikutuksia kalalajin koko populaatioon ja arvioida alueen muita suojelumahdollisuuksia. Saaristomerellä ei kutualueiden kunnostusta voida erottaa kutu- ja lisääntymisalueiden suojelusta. Nyt tarkastelluista kalalajeista kuhan ja siian kutualueiden kunnostustoimenpiteet ovat teoriassa yksinkertaisimpia, kun taas kolmipiikin ja kampelan lisääntymisen varmistamiseksi tarvittaisiin koko alueen suojelua. Yleisesti kutupaikkojen kunnostukseen voi kuulua uuden kutualustan luonti tai vanhan pohjan puhdistus, kasvillisuuden poistaminen, harventaminen tai istuttaminen tai alueen virtausolosuhteisiin vaikuttaminen. Käytettävät toimenpiteet tulee aina valita kunnostettavan kutupaikan mukaan.

7.2.1 Kuha

Kuhan potentiaaliset kutualueet lisääntyvät rehevöitymisen aiheuttamien ympäristömuutosten takia. Näiden alueiden soveltuvuudesta poikastuotantoon ei kuitenkaan ole varmuutta. Kalastuspaineen säätelyllä kuhan kutualueilla saattaa olla huomattavan voimakas vaikutus kuhan populaatioiden kehitykseen. Kuhakoiraiden pyynnin vaikutuksista poikastuotantoon ei kuitenkaan ole tutkittua tietoa Suomen rannikkoalueilta. Uusien kutupaikkojen luomiseen tarvitaan kivikkoja, joissa on oikeat kasvuolosuhteet kalan mädin kiinnitykseen käyttämille viherleville.

7.2.2 Siika

Siian kutupaikkojen kunnostus- ja jopa uusien kutupaikkojen luomismahdollisuudet ovat suhteellisen hyvät. Vanhojen kutualueiden suurin uhka on alueen rehevöityminen. Sen mukana kasvillisuus ja orgaanisen kiintoaineksen määrät lisääntyvät kutupohjilla. Nämä muutokset aiheuttavat happipitoisuuden laskua kutuympäristössä ja saattavat aiheuttaa kutupaikkojen muutoksen kudulle sopimattomaksi. Vanhojen kutupaikkojen kunnostus voidaan suorittaa puhdistamalla kutupohjat ennen kutuajankohtaa kasvillisuudesta ja kiintoaineesta. Uusia kutupaikkoja voidaan yrittää luoda tekemällä karkeita soraikkoja lähelle luontaisia kutualueita.

7.2.3 Kampela

Kampelan kutu tapahtuu laajalla alueella, jolloin yksittäisen kutupaikan merkitys populaatiotasolla jää hyvin pieneksi. Lajin kannalta onkin tärkeämpää koko lisääntymisalueen suojelu; rehevöityminen ja vesikasvillisuuden lisääntyminen saattavat tulevaisuudessa uhata myös kampelan kutualueita. Toistaiseksi kampelan lisääntymisessä ei näyttäisi olevan ongelmia. Lajin hidaskasvuisuuden takia kohdistuu sen populaatioon suurempi uhka kalastuksesta.

7.2.4 Kolmipiikki

Kolmipiikin kutualueiden kunnostus on täysin riippuvainen alueen suojelusta. Lisääntymiseen soveltuvia rihmaleväalueita vaikuttaisi enää olevan ulkoluotojen avoimilla osilla. Kansallispuiston sisäosissa rihmaleväkasvustot kolmipiikin kutuaikana ovat erittäin paksuja, joiden niiden sisällä happitaso saattaa ajoittain laskea erittäin alhaiselle tasolle (Aneer 1987). Lisäksi rihmaleväkasvustojen pilkkoutuminen vapaasti kelluviin rihmaleväpatjoihin saattaa vaarantaa kolmipiikin lisääntymistä alueella (Vahteri et al. 2000).

7.2.5 Ahven

Ahvenen kutualueet ovat Saaristomeren kansallispuiston alueella vähäisiä, eikä niillä liene merkittävää vaikutusta lajin säilymiselle alueella. Lisäksi löydetyt kutualueet sijaitsivat tuulille ja aallokolle avoimilla rannoilla, joilla rehevöitymisen vaikutukset tulevat esiin viimeisinä (Vahteri, 2002).

Kirjallisuus

Aneer G. 1987. High mortality of the Baltic herring (*Clupea harengus membras* L.) eggs caused algal exudates? Marine Biology 94:163-169.

Vahteri Petri , Anita Mäkinen, Sonja Salovius and Ilppo Vuorinen. 2000. Are Drifting Algal Mats Conquering the Bottom of the Archipelago Sea, SW Finland? Ambio Vol. 29. No. 6.

Vahteri, Petri. 2002. Lausunto Örön väylähankkeen vaikutuksista luontodirektiivin vedenalaisiin luontotyyppeihin ja kasvilajeihin hankkeen vaikutuksen alaisilla Natura 2000 –alueilla (SCI). Örön väylän ympäristövaikutusten arviointiselvityksessä. Merenkululaitos, Saaristomeren merenkulkupiiri. Turku.

8. YHTEENVETO

Ammattikalastuksen toimintaedellytysten turvaamiseksi elinkeinokalatalouden rakenneohjelmaan kuuluu eräänä tavoitteena luonnonvarojen suojeleminen ja kehittäminen. Lounaisella merialueella, jossa ravinnepestöt, vesistö rakentaminen ja laivaliikenne muuttavat vedenalaisen luonnon tilaa voimakkaasti, on näiden toimenpiteiden toteuttamiselle kuitenkin esteenä se, että kalojen lisääntymisalueista ja kutupaikkojen nykytilasta ei ole tietoja saatavilla. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli laatia selvitys taloudellisesta tärkeiden kalalajien lisääntymisalueista ja niiden tilasta sekä arvioida suojelun ja kunnostustoimenpiteiden tarpeita Saaristomerellä.

Tutkimuksessa paikannettiin siian, kampelan, ahvenen, kuhan ja kolmipiikin kutualueita Saaristomerellä ja arvioitiin mahdollisten häiriötekijöiden vaikutusta kalojen lisääntymiseen. Kartoituksissa löydettiin yksi merikutuisen siian kutualue, useita kuhan, kampelan ja ahvenen kutualueita sekä muutamia kolmipiikkien lisääntymisalueita. Kutualueiden ja niitä ympäröivien lisääntymisalueiden tilaa tutkittiin kasvillisuuden pitkäaikaislinjojen, geologisten ja hydrografisten mittausten sekä ilmakuvien avulla. Viideltä rantavyöhykkeeltä tutkittiin lisäksi pohjasedimenttiin eri tavoin sitoutuneiden fosforifraktioiden pitoisuuksia.

Kuhalla ja siialla näyttäisi olevan yksittäisiä merkittäviä kutualueita Saaristomerellä. Siian kutualueella pohja koostui karkeasta sorasta, jolla ei kutuaikana esiintynyt kasvillisuutta. Kuhan kutualueet sijaitsivat rannikon läheisissä kasvillisuuden peittämässä kivikoissa. Kampelan kutupaikat sijaitsivat matalilla hiekkarannoilla ja niitä löytyi useita. Onkin todennäköistä että kampelan lisääntyminen ei ole kiinni yksittäisistä kutualueista. Ahvenen kutualueet Saaristomeren kansallispuistossa löytyivät suhteellisen avoimilta hiekka- ja sorarannoilta. Ahvenen kutu tutkimusalueella oli määrällisesti heikompi ja ajankohdaltaan myöhäisempi kuin sisäsaariston kutualueilla. Merkittävimmät ahvenen kutualueet populaation kannalta sijaitsivat todennäköisimmin väli- ja sisäsaariston alueella. Kolmipiikin kutupesä ei tutkimuksessa löydetty. Sen sijaan havainnointijakson lopulla löydettiin erittäin pieniä poikasia Saaristomeren kansallispuiston uloimmilta luodoilta ja joiltakin luotojen rykelmiltä ulkosaariston sisäosista. Suurin uhka kolmipiikin lisääntymiselle näyttäisi olevan alueen yleinen rehevöityminen, joka on lisännyt rihmamaisten levien määrää lajin kutuajankohtana. Kutupaikkojen kunnostusta ei millään alueella voida erottaa alueiden suojelusta. Merkittävin kutualueisiin kohdistuva muutos johtuu rehevöitymisestä. Kaikki kutupaikkoihin liittyvät pohdinnat tulee suorittaa lajikohtaisesti ja niitä tehtäessä tulee arvioida yksittäisten kutualueiden merkitystä koko lajin populaatiolle.

Sedimenttitutkimusten mukaan kutualueiden tila oli hyvä. Pohja oli yleensä suhteellisen karkeaa sedimenttiä, jonka savipitoisuus oli pieni eikä pohjalle ollut kertynyt happea kuluttavaa orgaanista ainesta. Mittaushetkellä veden happitilanne oli hyvä kaikissa mitauspaikoissa. Veteen liuenneen hapen määrä oli lähellä pohjaakin yli 8 mg/l, vain muutamassa kohteessa hieman pienempi. Fosforitutkimuksen mukaan tutkituilla kalojen lisääntymisalueilla ei ole sisäisen fosforikuormituksen vaaraa edes happiolojen huonontuessa, sillä herkästi liukenevan reaktiivisen fosforifraktion määrä oli vähäinen. Myös sedimentin kokonaisfosforipitoisuudet olivat suhteellisen pieniä, eikä Saaristomerta rehevöittävä fosforikuormitus näy tutkittujen litoraalivyöhykkeiden karkearakeisessa pohjasedimentissä. Virtausmittaustulokset ilmensivät tutkimusalueen vaihtelevia

virtausoloja. Lukuisten saarten suojassa olevissa mittauskohteissa tuulten nopeudella tai suunnalla ei aina ollut vaikutusta veden virtauskenttään ja yhtenäisiä piirteitä eteläisen Saaristomeren virtausoloille oli vaikea havaita. Pohjan ruuhjavyöhykkeitä pitkin kulkevat voimakkaat virtaukset vähentävät orgaanisen aineksen ja hienorakeisten sedimenttipartikkelien kertymistä veden virtausten vaikutusalueella. Paikallisten virtausolosten heterogeenisuudesta johtuen esimerkiksi yhtenäisen virtausmallin laatiminen eteläisen Saaristomeren alueelle on lähes mahdotonta.

Vaikka geologisten ja hydrografisten tutkimusten mukaan kalojen lisääntymisalueiden tila on suhteellisen hyvä eteläisen Saaristomeren alueella, niin häiriötekijöitäkin on. Yksi suurimmista kalojen lisääntymisalueita uhkaavista riskitekijöistä on ranta- ja pohjaeroosio, joka muuttaa habitaattien tilaa laivaväylien läheisyydessä. Habitaattimuutoksia tapahtuu myös alueilla, jonne erodoituneet massat kertyvät. Maanmittauslaitoksen eri vuosina kuvattujen ortoilmakuvien avulla seurattiin rantaeroosion kehitystä Naantaliin ja Turkuun johtavan laivaväylän vaikutuspiirissä Innamon alueella. Suurin muutos havaittiin Kolkan saaren koillisosassa, jossa rantaa oli huuhtoutunut mereen yli 15 metrin matkalta vuosien 1995 ja 2001 välillä. Suurimittaista eroosiota tapahtuu myös muilla Innamon alueen rannoilla, mutta nopeusrajoituksia laivaliikenteelle ei tälle alueelle ole annettu. Geologisten tutkimusten mukaan erittäin eroosioherkkiä rantoja ja pohjia on myös Dragsfjärdin saaristossa. Näillä alueilla pohjasedimenttiä lähtee liikkeelle jo pienveneliikenteen vaikutuksesta.

Tukholman saaristossa laivaliikenteelle annetut nopeusrajoitukset ovat paikoin pysäyttäneet eroosiokehityksen ja rantojen tila on parantunut. Aallonmuodostuskiellon ja nopeusrajoitusten määrääminen eroosioherkille laivaväyläosuuksille olisi myös Suomessa tärkeää. Tätä varten tarvitaan kartoituksia väylien läheisten rantojen ja erityisesti pohjasedimenttien eroosioherkkyydestä, jotta rajoituksia voidaan ehdottaa herkimpiin kohteisiin. Pohjaeroosiotutkimukset ja tutkimustulosten perusteella tehtävät toimenpiteet tulisi suunnitella yhteistyössä ruotsalaisten ja suomalaisten tutkimuslaitosten ja viranomaisten kanssa.

Toinen huomattava uhka kalojen kudun onnistumiselle Saaristomerellä on alueen rehevöityminen. Saaristomeren vedenalaisessa kasvillisuudessa on tapahtunut lyhyellä ajanjaksolla muutoksia sekä kasvillisuuden määrässä että laadussa rehevöitymisen seurauksena. Kasvillisuuden kokonaismäärät kohosivat kaikilla tutkituilla alueilla. Laadullisissa muutoksissa huomattavampia olivat rakkolevän väheneminen ja putkilokasvien ja rihmamaisten levien lisääntyminen. Kokonaisuutena yksivuotisten kasvien määrä monivuotisiin verrattuna on viime vuosina noussut.

Tutkimuksen aikana on kerätty laaja geologinen ja hydrografinen aineisto kalojen lisääntymisalueiden nykytilasta Saaristomerellä, jota voidaan käyttää vertailuaineistona tulevaisuuden tutkimuksissa. Kalojen lisääntymisalueiden nykytilaa on taltioitu myös ilmakuvien avulla, joita kuvattiin Saaristomeren merivartioston partiolentojen yhteydessä. Lisäksi on kerätty lisää tietoa vedenalaisen kasvillisuuden tilasta Saaristomerellä.

Tulevaisuudessa kalojen lisääntymisalueiden suojelutoimet tulisi asettaa ensisijalle, mutta kunnostustakin tarvitaan. Raportissa on esitetty myös kunnostusehdotuksia mm. eroosion pysäyttämiseksi ja kasvillisuusmuutosten hallitsemiseksi. Kalojen lisääntymisalueiden suojelu- ja kunnostustoimet parantavat kalojen elinoloja ja hyödyttävät lopulta kaupallista ja vapaa-ajan kalastusta sekä kalateollisuutta.

Kiitokset

Kiitämme kaikkia tutkimukseen osallistuneita avustajia ja t/a Aurelian miehistöä. Kiitokset Saaristomeren merivartiostolle lentotuesta ilmakuvausten aikana. Kiitämme neuvoista ja ideoista seurantaryhmän jäseniä kalatalousjohtaja Kari Ranta-ahoa sekä kalastusbiologi Marjut Rajasiltaa (Varsinais-Suomen TE-keskus), erikoistutkija Jari Raitaniemeä (RKTL) ja professori Matti Räsästä (Turun yliopisto). Tutkimus on toteutettu Varsinais-Suomen TE-keskuksen myöntämällä kansallisella ja EU:n rahoituksella. Tutkimushankkeemme (nro 134125) kuuluu EU:n KOR-hankkeiden ryhmään: pilottihankkeet ja tutkimukset.

Tutkimuksesta tiedottaminen:

Tutkimustuloksia ja tutkimuksessa käytettyjä menetelmiä on esitetty postereina (liitteet 1-3) kahdessa konferenssissa: “2003 ICES Annual Science Conference, Tallinn 2003” ja “Baltic Sea Science Congress 2003, Helsinki 2003”.

Eroosiotutkimuksen (luku 6) tuloksia on esitelty TV 2:n alueuutisissa joulukuussa 2003.

Kuvailulehti

Julkaisija	Saaristomeren tutkimuslaitos Turun yliopiston ympäristöntutkimuskeskus
Tekijät	Tuula Kohonen, Petri Vahteri, Ulla Helminen, Mari Sihvonen, Ilppo Vuorinen
Julkaisun nimi	Loppuraportti tutkimushankkeesta (KOR) Kalojen lisääntymisalueet Saaristomerellä
Julkaisun myynti/ jakaja	Julkaisu on saatavissa internet-osoitteessa: http://www.utu.fi/erill/saarmeri/publications
Tiivistelmä	Saaristomerellä tehdyssä tutkimuksessa paikannettiin yksi merikutuisen siian kutualue, useita kuhan, kampelan ja ahvenen kutualueita sekä muutamia kolmipiikin lisääntymisalueita. Kalojen lisääntymisalueiden tilaa tutkittiin kasvillisuuden pitkäaikaisselainten, geologisten ja hydrografisten mittausten sekä ilmakuvien avulla. Viideltä rantavyöhykkeeltä tutkittiin lisäksi pohjasedimenttiin eri tavoin sitoutuneiden fosforifraktioiden pitoisuuksia. Sedimenttitutkimusten mukaan tutkittujen kutualueiden tila oli hyvä. Pohjalle ei ollut kertynyt happea kuluttavaa orgaanista ainesta ja veteen liunneen hapen määrä oli pohjan lähelläkin yleensä yli 8 mg/l. Tutkituilla kalojen lisääntymisalueilla ei ole sisäisen fosforikuormituksen vaaraa edes happiolojen huonontuessa, sillä tutkittujen litoraalivyöhykkeiden karkearakeisessa pohjasedimentissä oli vain vähän herkästi liukenevaa fosforia. Saaristomerta rehevöittävä ravinnekuormitus näkyy kasvillisuuden pitkäaikaissurantalinijoilla vedenalaisen kasvillisuuden määrän ja laadun muutoksina. Neljältä tutkituista 11 kasvillisuuslinjasta rakkolevävyöhyke on hävinnyt kartoitusvälillä 1993-2002 kokonaan. Yksivuotisten kasvien määrä monivuotisiin verrattuna on viime vuosina noussut. Tämän projektin aikana, vuosien 2001 ja 2002 välillä, kasvillisuudessa ei tapahtunut merkittäviä muutoksia. Yksi suurimmista kalojen lisääntymisalueita uhkaavista riskitekijöistä on ranta- ja pohjaeroosio, joka muuttaa habitaattien tilaa laivavyöhylien läheisyydessä. Habitaattimuutoksia tapahtuu myös alueilla, jonne erodoituneet massat kertyvät. Eri vuosina kuvattujen ortoilmakuvien avulla seurattiin rantaeroosion kehitystä Naantaliin ja Turkuun johtavan laivavyöhylien vaikutuspiirissä Innamon alueella. Suurin muutos havaittiin Kolkan saaren koillisosassa, jossa rantaa oli huuhtoutunut mereen yli 15 metrin matkalta vuosien 1995 ja 2001 välillä. Raportissa on esitetty kunnostus- ja suojeluehdotuksia mm. eroosion pysäyttämiseksi ja kasvillisuusmuutosten hallitsemiseksi.
Asiasanat	kalat, kutualue, lisääntymisalue, sedimentti, vesikasvillisuus, ilmakuvat, eroosio, fosforijakeiden pitoisuudet, virtausmittaukset, ympäristön tila, Saaristomeri
Julkaisusarjan nimi ja numero	SEILI Archipelago Research Institute Publications 2
Projektihankkeen nimi ja projektinumero	Kalojen lisääntymisalueet Saaristomerellä Hanke nro 134125; EU:n KOR-hankkeiden ryhmä: pilottihankkeet ja tutkimukset
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Varsinais-Suomen TE-keskus, Kalatalousyksikkö
ISSN	1456-4548
ISBN	951-29-2699-7
Julkaisuvuosi	2004
Sivuja/ liitesivuja	109/ 31