

Lounais-Suomen ympäristökeskuksen monistesarja

1/2003

Tapio Suominen

**Pengertien vaikutukset veden vaihtuvuuteen -
Särkisalon siltahankkeen taustaselvitys**

TURKU 2003

ISBN 952-5288-86-2 (PDF)
ISSN 1238-3201

Taitto: Päivi Niemelä
Turku 2003

Sisällys

1 Johdanto	5
2 Aineisto ja menetelmät	6
2.1 Tutkimusalue ja sen vedenlaatu	6
2.2 ADCP -virtausmittaukset	7
2.3 Rekisteröivät virtausmittarit	7
2.4 Syvyysluotaus	8
3 Tulokset	10
3.1 ADCP -virtausmittaukset	10
3.1.1 Linjamittaukset	10
3.1.2 Virtaamalinjat	12
3.2 Rekisteröivät virtausmittarit	13
3.3 Kaikuluotaus	15
4 Tulosten tarkastelu	16
5 Virtausaukkovaihtoehtojen arvioiminen laskennallisesti	18
6 Virtausaukkojen mitoittaminen merialueilla	22
Lähteet	23
LIITTEET:	
Liite 1. Meriveden korkeus Hangossa 1. - 30.11.2000 ja 31.5. - 11.7.2001	24
Liite 2. Virtaukset 22. - 23.11.2000 salmien poikkileikkauksissa	25
Liite 3. Virtaukset 9.7.2001 salmien poikkileikkauksissa	26
Liite 4. Virtaukset ja lämpötila Finbynlahden suulla	27
Liite 5. Syvyys penkereen ympäristössä vuosina 1959 ja 2001	28
Liite 6. Salmen poikkileikkaus nykyisen penkereen kohdalla vuonna 1959 ...	29
Lounais-Suomen ympäristökeskuksen monistesarja	30

Johdanto

Tutkimuksessa selvitettiin Salon seudun yrityspalvelukeskuksen aloitteesta voidaanko Särkisalon Kaukassalo-Isoluodon pengertien virtausaukon muutostöillä vaikuttaa suotuisasti salmen kautta tapahtuvaan vedenvaihtoon ja sitä kautta vedenlaatuun. Samalla pyrittiin luomaan toimintatapoja myös muiden vastaavien pengeraukkokohteiden vaikutusten arvioimiseksi. Hankkeen rahoittajina toimivat alueen kunnat ja Lounais-Suomen ympäristökeskus.

Tutkimuksen kohteena oleva pengertie yhdistää Isoluodon saaren mantereeseen. Pengereen pituus on noin 500 m ja sen länsipäässä sijaitsee 15 metriä leveä ja syvimmillään noin 3 metriä syvä virtausaukko (kuva 1). Tutkimus tehtiin mittaamalla pengertien ympäristön virtauksien pääpiirteet syksyllä 2000 ja kesällä 2001. Pengereen aiheuttamia muutoksia aikaisemmin vallinneeseen virtausympäristöön ja pohjan muotoihin jäljitettiin luotaamalla alue ja vertaamalla syvyystietoja ennen pengertien rakentamista vallinneeseen tilanteeseen.



Kuva 1. Pengersilta. Valokuva: Tapio Suominen

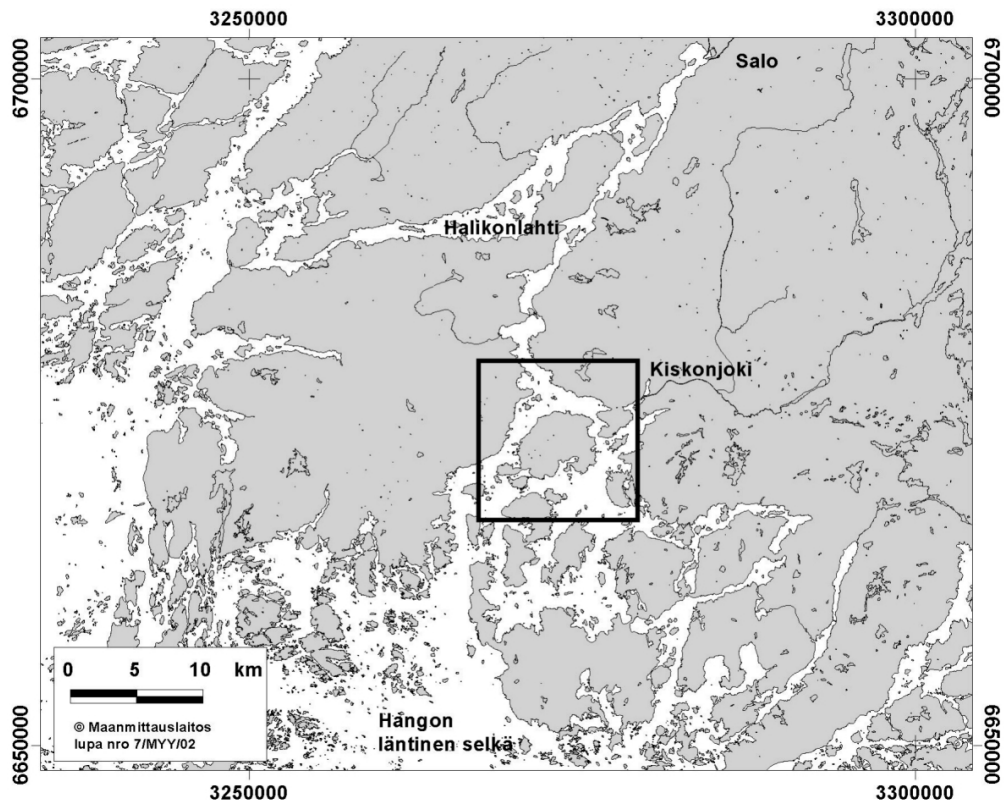
2

Aineisto ja menetelmät

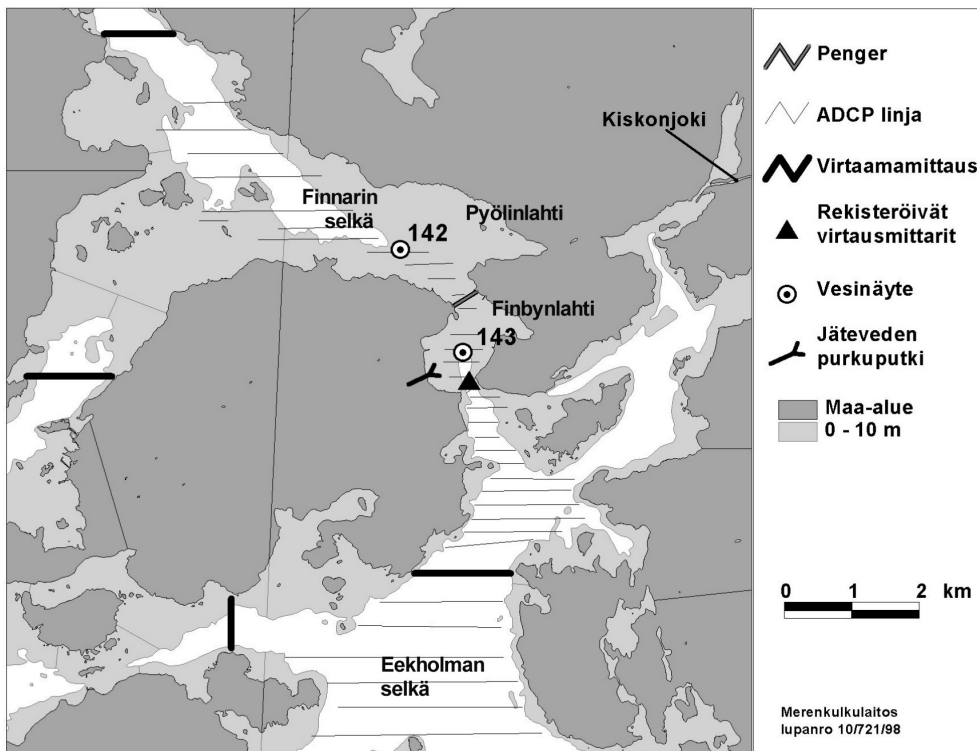
2.1 Tutkimusalue ja sen vedenlaatu

Tutkimusalue sijaitsee Särkisalon kunnassa Kemiön saaren itäpuolella. Sisäsaaristoon kuuluva alue on etelässä salmien kautta yhteydessä Hangonselälle ja pohjoisessa Halikonlahden vesialueeseen (kuva 2). Särkisalon alueen vedenlaatuun vaikuttavat suoraan Kiskonjoki ja Särkisalon kunnan jätevedet. Kiskonjoen vuosittaiseksi vesistökuormitukseksi on arvioitu noin 50 t fosforia ja 600 t typpeä, mistä valtaosa on peräisin maataloudesta (Turun vesi- ja ympäristöpiiri 1993). Vuonna 2000 Särkisalon kunnan jätevesien mukana vesistöön johtui 0,02 kgP/d ja 0,65 kgN/d (Lehtonen 2001). Alueen vedenlaatuun vaikuttavat lisäksi Halikonlahdelta purkautuvat ravinnerikkaat vedet.

Vedenlaadussa penkereen eri puolilla on eroja. Veden laadullinen käyttökelpoisuus on luokiteltu Särkisalon pohjoispuolella tyydyttäväksi ja Särkisalon itä- ja eteläpuolella hyväksi (Lehtonen 2001), Halikonlahti on luokiteltu välttäväksi. Loppukesän pintaveden kokonaistyyppi ja -fosforipitoisuudet sekä a-klorofylli ovat olleet viime vuosina korkeampia penkereen pohjoispuolella (kuvat 3 ja 4).



Kuva 2. Tutkimusalue



Kuva 3. Vesinäyteasemat ja virtausmittauslinjojen ja -mittareiden sijainti

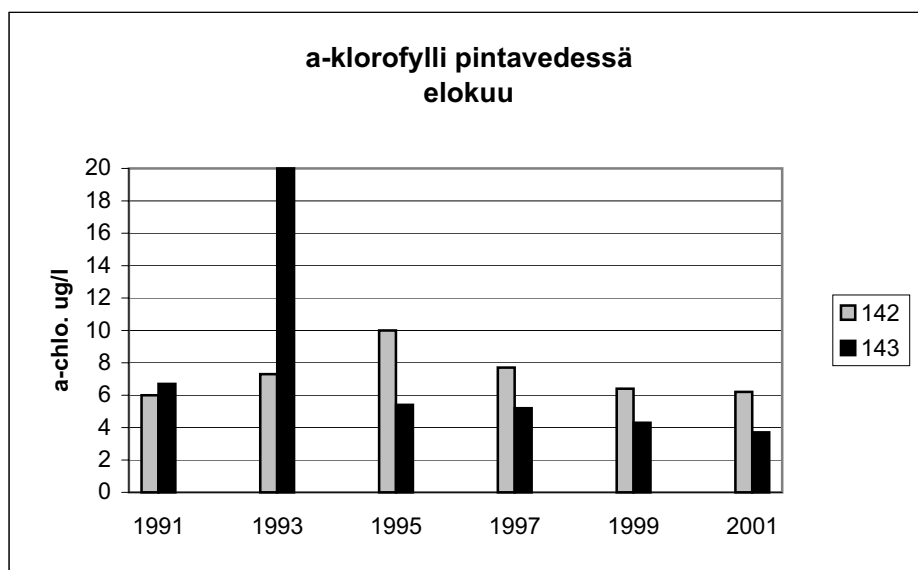
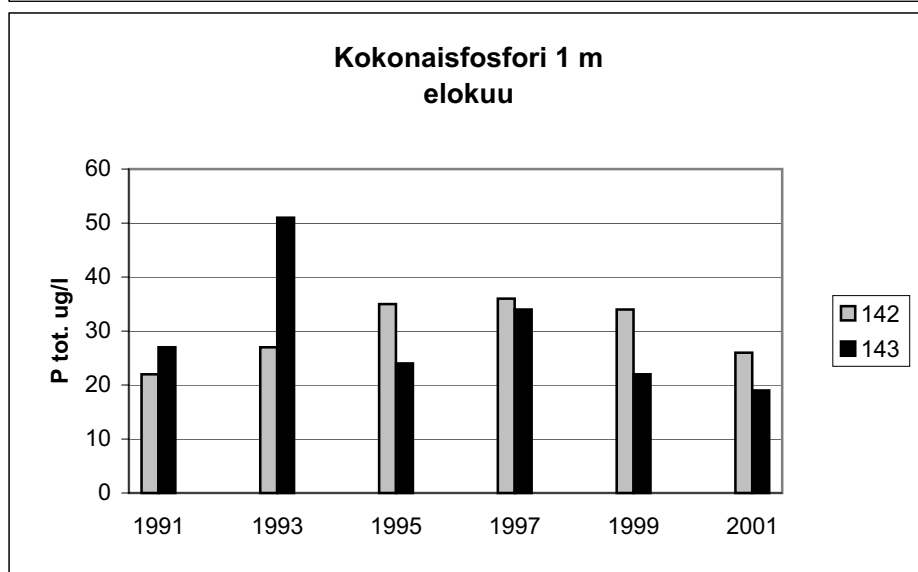
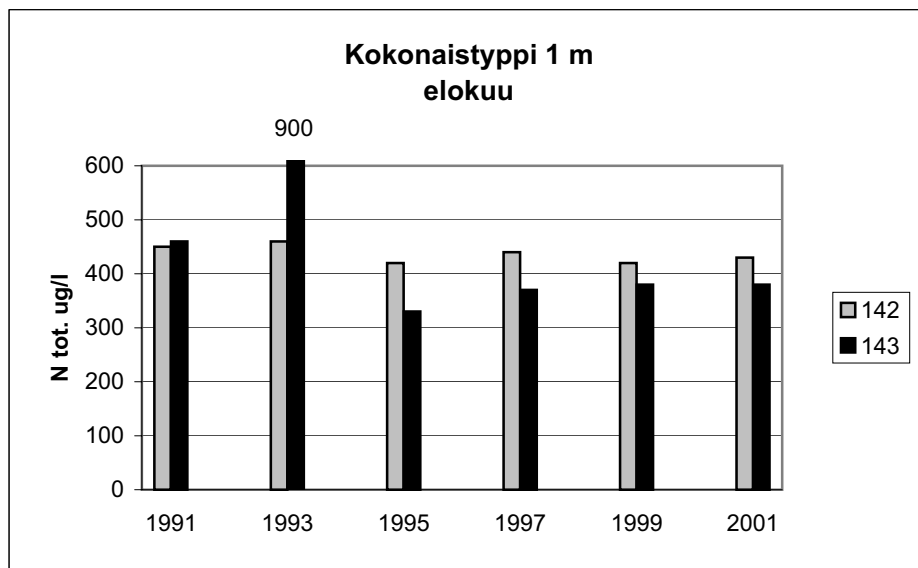
2.2 ADCP -virtausmittaukset

Alueella tehtiin virtausmittauksia 22.-23.11.2000 ja 9.-10.7.2001 Turun yliopiston Saaristomeren tutkimuslaitoksen r/v Aureliaan kiinnitetyllä RD Instruments Acoustic doppler current profiler -laitteistolla. ADCP lähettää äänipulsseja 600 KHZ taajuudella ja laskee vedessä olevista hiukkasista heijastuvien äänipulssien perusteella eri vesikerrosten nopeuden ja suunnan. Yleiskuva alueen virtauksista mittauspäivinä muodostettiin kattamalla tutkimusalue itä-länsi suuntaisilla mittauslinjoilla (kuva 3). Mittaustulokset käsiteltiin ArcView/3D Analyst -ohjelmistolla ja vallitsevat virtauskuviot tulkittiin visuaalisesti. Lisäksi ajettiin neljä erillistä mittauslinjaa alueen salmien poikki virtaaman mittaamiseksi.

ADCP:lla mitattaessa ylin mittauskerros oli 3 - 4 metrin syvyydessä ja alin mittauskerros ulottui noin kahden metrin päähän pohjasta. Tästä syystä matalilta, alle 6 metrin syvyisiltä alueilta ei ole mittaustuloksia. Vaikka ADCP:lla ei pystytä mittaamaan linjoja mataloitumisen takia rantoihin asti ja toisaalta ylimmät ja alimmat vesikerrokset jäävät katveeseen, mittaukset antavat kuvan virtaamien suuruusluokasta. Syksyllä linjat 1 ja 2 mitattiin 22.11.2000 mutta linjat 3 ja 4 vasta seuraavana päivänä. Kesällä 2001 virtaamat mitattiin 9.7.2001.

2.3 Rekisteröivät virtausmittarit

Rekisteröivät virtausmittarit asennettiin ajaksi 31.5.-9.7.2001 pengertien eteläpuolella sijainneseen kapeikkoon pisteeseen lat $60^{\circ} 06,599'$ / $22^{\circ} 58,275'$ (kuva 3). Pisteessä kokonaisyyvyys oli 12 metriä ja mittareiden syvyydet 3 ja 9 metriä. Mittarit (Aanderaa Instruments RCM7 ja RCM9) asetettiin taltioimaan veden lämpötila, virtausnopeus ja -suunta 10 minuutin välein.



Kuva 4. Pintaveden kokonaistyyppi ja -fosforipitoisuudet sekä a-klorofylli havaintoasemilla 142 ja 143.

Kolmen metrin syvyyteen asennetun RCM7 -mittarin roottori jumiutui siihen kasvaneen ja ajelehtineen levän takia noin neljän päivän kuluttua mittauksen aloittamisesta. Mittari taltioi kuitenkin virtaussuunnan ja lämpötilan. Yhdeksän metrin syvyyteen asennettu RCM9 toimi sen sijaan moitteetta mittausjakson ajan.

Mittareiden taltioimien virtaussuuntia ja -nopeuksia käsiteltiin jakamalla ne salmensuuntaisiin (150° - 330°) virtauskomponentteihin. Positiiviset virtauskomponentin arvot ilmoittavat nopeuden (cm/s) suuntaan 330° ja negatiiviset suuntaan 150°. Salmensuuntaisia virtauskomponenttien arvoja verrattiin Hangon Rus-sarön tuulitietoihin ja Hangon mareografin vedenkorkeustietoihin.

2.4 Syvyysluotaus

Alue luodattiin vuosina 1959 juuri ennen penkereen rakentamista. Pistemäiset syvyysarvot digitoitiin Merenkulkulaitoksen mittauskartasta (Turun saaristo, Särkisalo 2012 08, 8/23) ja niiden perusteella tehtiin uusi syvyyskartta kolmioimalla digitoituneita pisteitä pinnaksi ArcView 3D Analyst -ohjelmiston avulla. Alkuperäisen kartan syvyyslukemien vertailutaso MW1959 muutettiin korkeusjärjestelmään N60 ennen kolmioimista.

Alue luodattiin uudelleen 12.9.2001. Luotauksessa käytettiin Suomen ympäristökeskuksen luotauslaitteistoa (MD300) ja paikanmäärityksessä differentiaali-vastaanottimella varustettua GPS -vastaanotinta (Trimble ProXR). Luotauslinjoiksi valittiin vuoden 1959 linjat. Luotauslinjojen väli oli 75 m ja syvyysarvona käytettiin linjaa pitkin 10 metrin välein saatuja syvyyksiä. Merentutkimuslaitoksen mittauksen (Stina Visa, Merentutkimuslaitos, suull. tiedonanto 24.9.2001) mukaan Hangon vedenkorkeus luotauksen aikana vaihteli +26 ja +22 cm välillä (N60). Syvyystiedot korjattiin ajanjakson keskimääräisellä vedenkorkeudella +23,8 cm (N60) ja syvyystiedoista johdettiin pinta kolmioimalla. Pohjan tason muutoksia eri alueilla tarkasteltiin vertaamalla luotauksia keskenään. Maankohoamisen 3 mm/a (Kakkuri 1990) kompensoimiseksi vuoden 2001 syvyyslukemiin lisättiin 12,8 cm.

3

Tulokset

3.1 ADCP -virtausmittaukset

3.1.1 Linjamittaukset

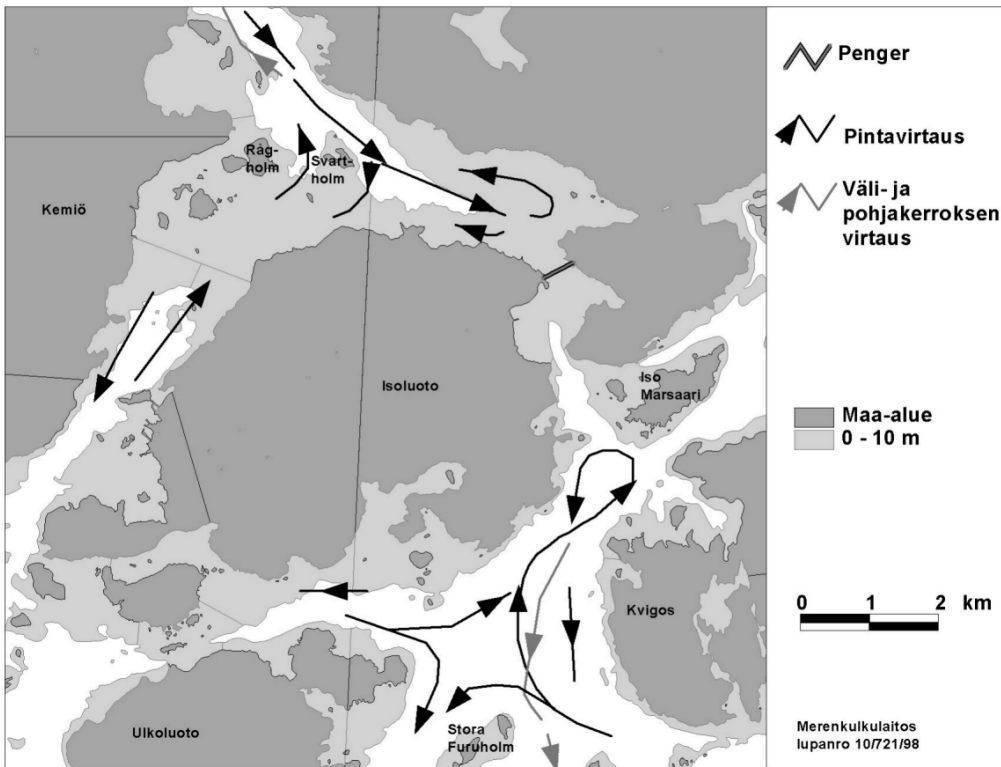
Mittauspäivinä 22. - 23.11.2000 tuuli oli Hangon Russarössä idän ja etelän välistä 7-14 m/s (Ilmatieteen laitos). Meriveden korkeus pysyi Hangon mareografin mukaan melko tasaisena mittauspäivien aikana (liite 1).

Alueen pohjoisosassa virtaukset olivat salmen länsilaidalla pohjoiseen ja itä-laidalla etelään (kuva 5). Etelänsuuntainen virtaus oli voimakkaampi. Svartholman ja Rågholmenin välistä pohjoiseen suuntautuva virtaus kääntyi osaksi itään ja takaisin etelään Svartholman toisella puolella. Svartholman itäpuolelta etelään kulkeutuva vesi törmäsi Isoluodon pohjoisrantaan ja kääntyi osin länteen ja jatkoi Kemiön itärantaa etelään. Osa Isoluodon pohjoisrantaan törmäävästä vedestä kääntyi kaakkoon kohti pengertietä alemmassa vesikerroksessa. Osa kaakon suuntaisesta virtauksesta kääntyi toisaalta paluuvirtaukseksi pinnassa ja toisaalta pyörremäisesti takaisin pohjoiseen ja edelleen takaisin länteen ja etelään.

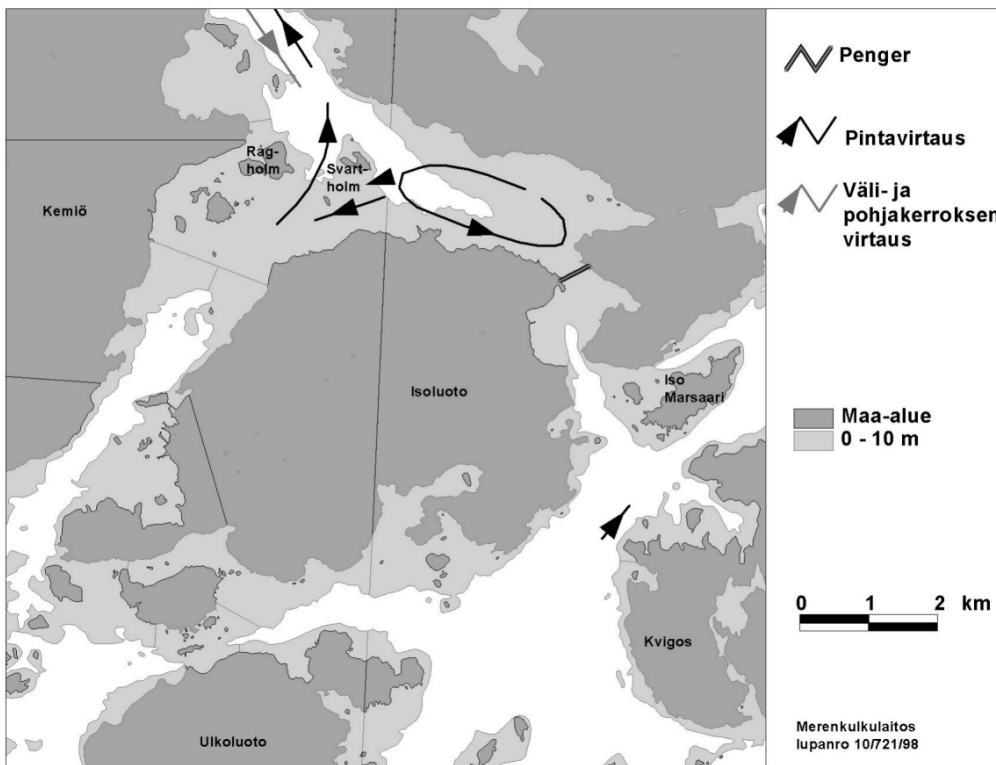
Stora Furuholmenin itäpuolelta pintakerroksen vesi virtasi tuulen suunnan mukaisesti luoteeseen. Osa vesimassasta kääntyi Stora Furuholmin länsipuolella lounaaseen, osa törmäsi Isoluodon ja Ulkoluodon välistä itään virtaavaan veteen ja kääntyi koilliseen. Ison Marsaaren eteläpuolella tämä virtaus törmäsi mantereeseen ja kääntyi ensin länteen ja sukelsi sitten em. koillisen suuntaisen virtauksen alitse välikerroksessa takaisin etelään ja kaakkoon. Kvigosin niemen länsipuolella paluuvirtaus ulottui pinnalle asti.

Mittauspäivänä 10.7.2001 tuuli oli Russarössä itäkaakosta 4-7 m/s (Ilmatieteen laitos). Meriveden korkeus nousi mittausten aikana (liite 1). Virtausnopeudet olivat alhaisempia kuin edellisellä mittauskerralla eikä selkeitä virtauskuvioita löytynyt etenkin pengertien eteläpuolisilta alueilta.

Pengertien pohjoispuolella erottui alueella vastapäivään kulkeva heikko ja laaja pyörremäinen virtaus (kuva 6). Svartholman ja Isoluodon välistä vesi virtasi lounaaseen ja toisaalta Rågholmin ja Svartholmin välistä pohjoiseen. Penkereen eteläpuolella virtaukset olivat heikkoja ja suuntautumattomia.



Kuva 5. Tulkinnat 22. - 23.11.2000 mitatuista virtauksista Särkisalon alueella.

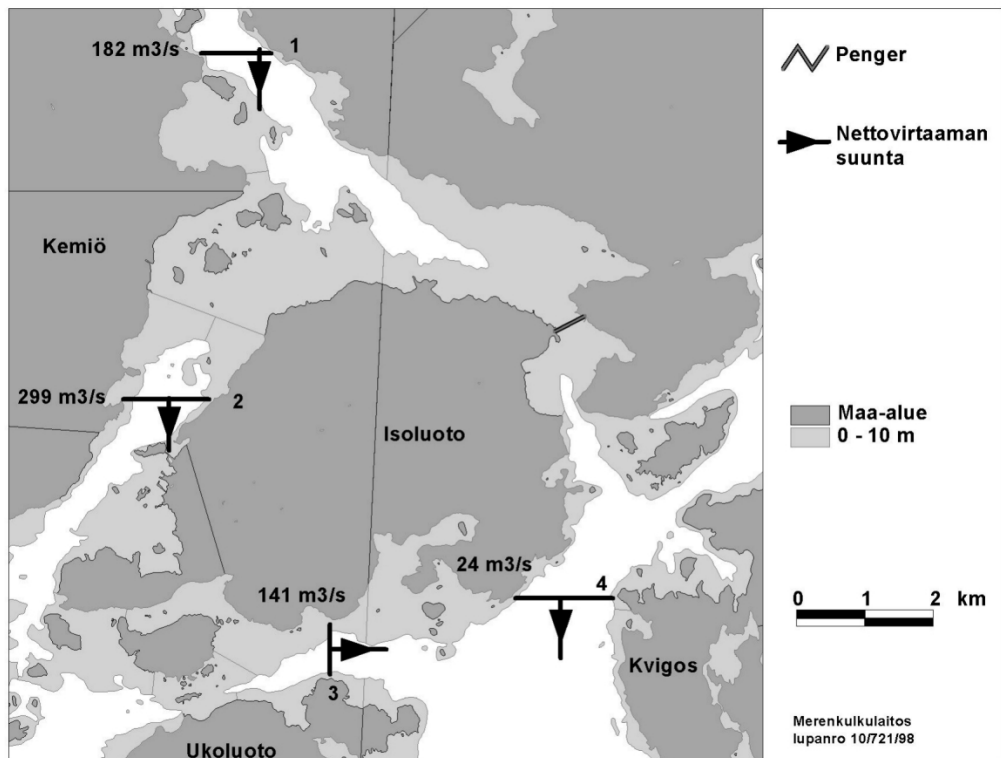


Kuva 6. Tulkinnat 22. - 23.11.2000 mitatuista virtauksista Särkisalon alueella.

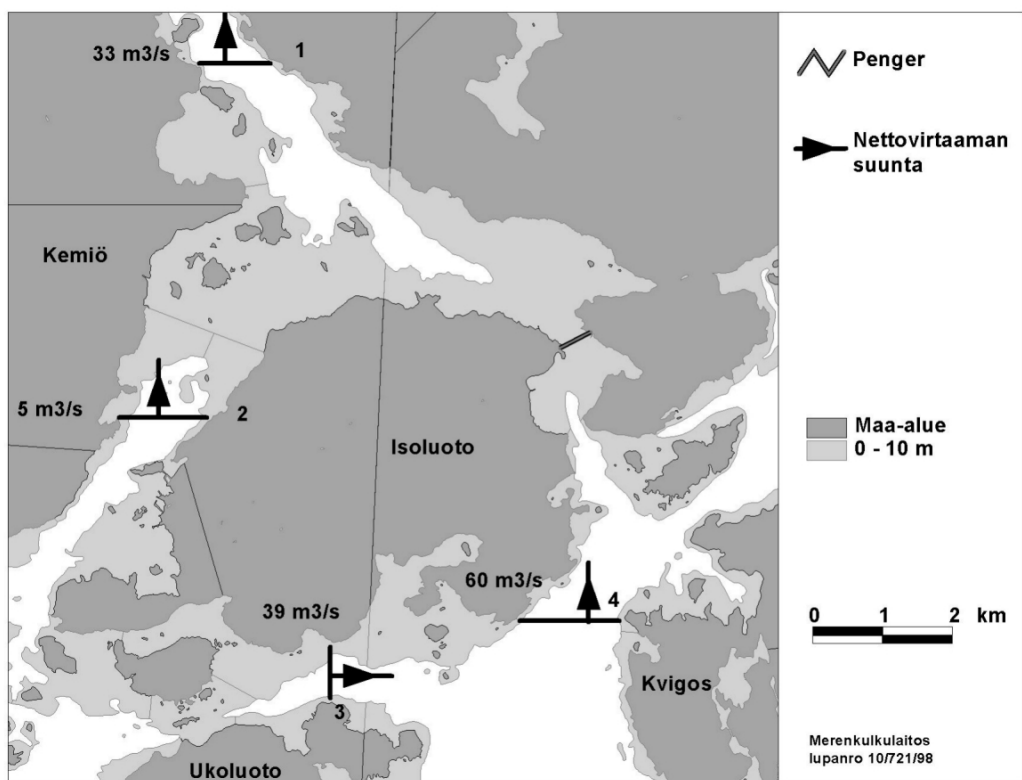
3.1.2 Virtaamalinjat

22.-23.11.2001 jokaisessa salmessa oli kahdensuuntaisia virtauksia joko eri syvyyksissä tai salmen eri laidoilla. Nettovirtaaman suunnan mukaan virtaus kävi pohjoisesta merelle päin (kuva 7, poikkileikkaukset 1, 2 ja 4) ja toisaalta Ulkoluodon ja Isoluodon välistä itään (poikkileikkaus 3). Nettovirtaamien suunta ja määrä on esitetty kuvassa 7 ja veden virtaussuunnat ja -nopeudet salmien poikkileikkauksissa liitteessä 2.

9.7.2001 virtaukset salmien poikkileikkauksissa olivat heikompia. Selkeimmin erottuu poikkileikkaus 1 lähes uomamainen pintavirtaus pohjoiseen, syvemmällä veden suunta oli etelään (liite 3). Poikkileikkaus 3 erottuu etelärannan pinnasta pohjoisrannan pohjaan ulottuva idän suuntainen virtaus muun vesimassan virratessa länteen. Nettovirtaaman suunta oli pohjoiseen ja Isoluodon/Ulkoluodon välistä itään. Nettovirtaamien suunta ja määrä on esitetty kuvassa 8.



Kuva 7. Virtaamat 22. - 23.11.2000 Särkisalon linjoilla 1-4 (ks. liite 2).



Kuva 8. Virtaamat 9.7.2001 Särkisalon linjoilla 1-4 (ks. liite 3).

3.2 Rekisteröivät virtausmittarit

Rekisteröivät virtausmittarit asennettiin Finbynlahden suulle (kuva 3). Virtauksen salmensuuntaisen komponentin suuruus 9 metrin syvyydessä ja nopeuksien puuttuessa virtauksen suunta 3 metrissä on esitetty liitteessä 4. Pinta- ja pohjavirtaukset olivat samansuuntaisia 45 % ajasta. Taulukossa 1 on esitetty salmensuuntaisista virtauskomponenteista laskettuja tunnuslukuja.

Taulukko 1. Tunnuslukuja salmensuuntaisista virtauskomponenteista Finbynlahden suulla. Negatiiviset arvot ilmaisevat virtaussuunnan salmen suunnassa kaakkoon, positiiviset luoteeseen.

	3 m	9 m
virtaus suuntaan 330° (% ajasta)	67 %	48 %
virtaus suuntaan 150° (% ajasta)	33 %	52 %
keskiarvo	-	0,32 cm/s
itseisarvojen keskiarvo	-	2,09 cm/s
keskihajonta	-	2,76 cm/s
minimi	-	-6,37 cm/s
maksimi	-	13,71 cm/s

Pinnassa virtaussuunta oli 67 % ajasta salmen suunnassa luoteeseen. Pohjas-
 virtaukset kävivät kumpaakin suuntaan lähes yhtä usein. Mittausjakson aikana
 vesi kuitenkin keskimäärin virtasi pohjakerroksessa luoteeseen nopeudella 0,32
 cm/s. Jollei virtaussuuntaa huomioida, veden nopeus lähellä pohjaa oli salmen
 suunnassa keskimäärin 2,09 cm/s.

Pohjavirtauksien salmen suuntainen komponentti keskiarvoistettiin vuoro-
 kauden pituisilta jaksoilta klo 00-23.50. Hangön Russarössä 3 tunnin välein mita-
 tuttujen tuulen nopeus- ja suuntatietojen perusteella laskettiin tuulelle itä- ja poh-
 joiskomponentit, joiden 24 tunnin keskiarvoja verrattiin salmen suuntaiseen poh-
 javirtauskomponenttiin. Vertailu tehtiin sekä samanaikaisilla arvoilla että viivyt-
 tämällä tuulen vaikutusta 12 tunnilla. Tuulen itäkomponentit ja viivytetyt tuulet
 eivät heijastuneet veden salmen suuntaiseen pohjavirtaukseen (taulukko 2). Sen
 sijaan samanaikainen tuulen pohjoiskomponentti korreloi merkitsevällä tasolla
 salmen suuntaisen pohjavirtauksen kanssa niin, että virtauksen suunta oli 9 met-
 rin syvyydessä tuulen vastainen.

Taulukko 2. Särkisalon 9 m mittauspisteen salmensuuntaisen virtauskomponentin sekä Hangon tuulien ja vedenkorkeuden
 muutosten välisiä korrelaatioita ja tunnuslukuja.

	r	r ²	n	P _{hav}
W _E	-0.076	0.006	38	p _{hav} > 0.05
W _{E12}	-0.235	0.055	38	p _{hav} > 0.05
W _N	-0.410	0.168	38	0.01 > p _{hav} > 0.001
W _{N12}	-0.079	0.006	38	p _{hav} > 0.05
ΔMW	0.458	0.210	37	0.01 > p _{hav} > 0.001

- W_E = Tuulen itäkomponentti ilman viivettä
- W_{E12} = Tuulen itäkomponentti viiveellä 12 tuntia
- W_N = Tuulen pohjoiskomponentti ilman viivettä
- W_{N12} = Tuulen pohjoiskomponentti viiveellä 12 tuntia
- ΔMW = Hangon vuorokautisten vedenkorkeuksien erotus

Virtauksien salmen suuntainen komponentti keskiarvoistettiin myös vuorokau-
 den pituisiksi jaksoiksi klo 12-12. Tulosta verrattiin Hangon mareografista saatu-
 jen päivittäisten vedenkorkeustiedoista (liite 1) laskettuihin vuorokautisiin veden-
 korkeuden muutoksiin. Vedenkorkeuden peräkkäisten vuorokausien (klo 12.00)
 erotus ja salmensuuntainen virtauskomponentin keskiarvo klo 12.00-11.50 korre-
 loivat merkitsevästi niin, että veden noustessa virtaukset kävivät 9 m syvyydessä
 luoteeseen ja veden laskiessa kaakkoon (taulukko 2).

Kesäkuussa lämpötilamuutokset olivat aluksi pinta- ja pohjakerroksessa sa-
 mansuuntaisia, mutta mittausjakson viimeisen 10 vrk:n aikana pohjan lämpötiloissa
 tapahtui jyrkkiä muutoksia pintaveden lämpötilan ollessa tasainen (liite 4).

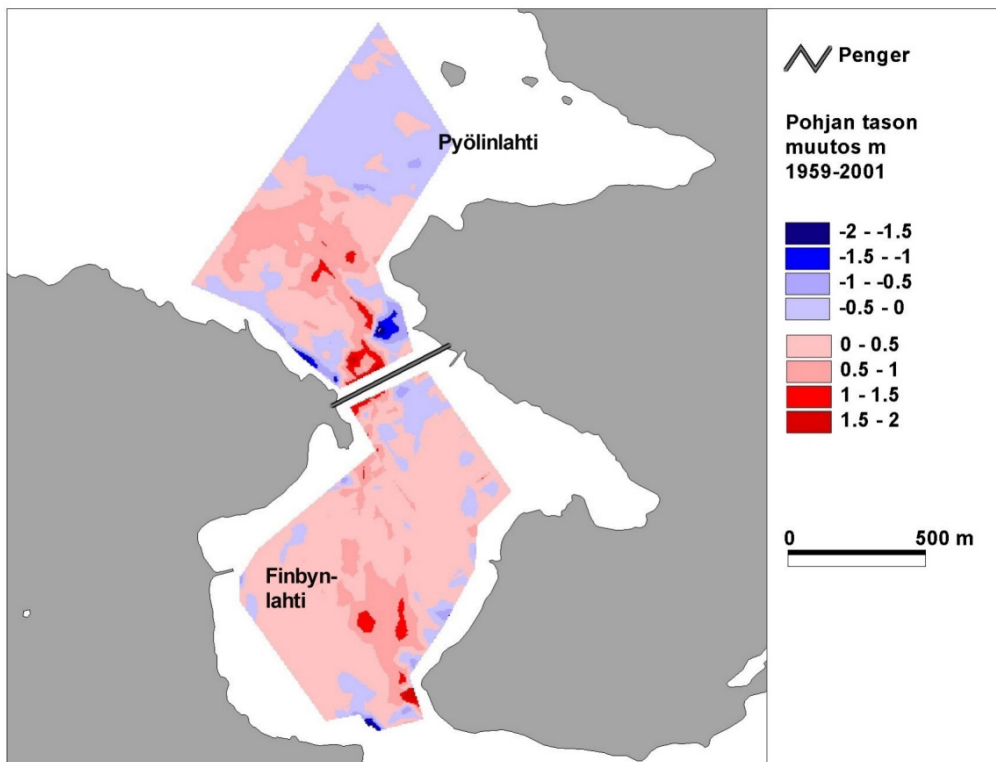
Nykyistä virtausaukkoa suurennettiin 25.-26.6.2001, jolloin leikkauspinta-ala
 kasvoi 27 m²:stä 42 m²:en. Tuulen ja vedenkorkeuden muutosten epäsäännöllisyy-
 den takia suoraa vertailua virtausnopeuksien muutoksista ennen ja jälkeen aukon
 suurentamista ei voida tehdä.

3.3 Kaikuluotaus

Penkereen pohjoispuolella sedimentaatio on ollut nopeinta salmen keskellä syvimmissä kohdassa (kuva 9, liite 5), missä pohjan taso on noussut 0,5-2 m. Pyölinlahdella pohjan taso on pysynyt lähes ennallaan. Penkereen nykyisen virtausaukon luoteispuolella pohjan taso on laskenut 0,5-1 m ja penkereen koillispuolella pienellä alueella 1-1,5 m.

Penkereen eteläpuolella suurimmat pohjan tason muutokset ovat tapahtuneet Finbynlahden suulla sijaitsevassa uomassa, missä pohjaan on kerääntynyt uutta ainesta 0,5-1,5 m. Toisaalta salmen länsireunalla pohjan taso on laskenut 0-1 m. Finbynlahden matalissa reunaosissa pohjan taso ei ole muuttunut merkittävästi.

Vuonna 1959 uoman syvin kohta sijoittui nykyisen penkereen kohdalla salmen keskilinjasta länteen. Nykyisen virtausaukon sijainti vuoden 1959 poikkileikkauksessa on esitetty liitteessä 6. Salmen poikkileikkauksen pinta-ala nykyisen penkereen kohdalla oli vuoden 1959 luotauksen mukaan 2920 m². Nykyisen virtausaukon leikkauspinta-ala laajennuksen jälkeen on 42 m² eli 1,4 % salmen poikkileikkauksalasta.



Kuva 9. Särkisalon pohjanmuotojen muutokset 1959 - 2001.

4

Tulosten tarkastelu

Mittauspäivinä vesi virtasi Isoluodon pohjoispuolella Rågholmin ja Svartholmin välistä pohjoiseen. Svartholman ja mantereen välistä vesi virtasi etelään ja edelleen Svartholmin ja Isoluodon välistä lounaaseen. Finnarinselällä osa vedestä kääntyi myös itään kohti pengertä Pyölinlahdelle, mutta virtaus kääntyi eri kerroksissa takaisin pohjoiseen. Lähellä penkerettä vesivirrat olivat suuntautumattomia.

Isoluodon kaakkoispuolella selkeitä virtauskuviota havaittiin Eekholmanselällä. Ison Marsaaren eteläpuolella virtaus kääntyi takaisin etelään ja Finbynlahdella lähellä penkerettä virtausnopeudet olivat pieniä ja suunnat epäsäännöllisiä.

Nettovirtaaman suunta oli veden noustessa linjoilla 1,2 ja 4 pohjoiseen ja veden laskiessa etelään. Isoluodon ja Ulkoluodon välisellä linjalla 3 nettovirtaaman suunta oli kummallakin mittauskerralla itään. Virtaamia tarkasteltaessa on huomioitava, että mittausalue ei kata laitteiston rajoitusten takia salmen koko poikkileikkauspinta-alaa ja lähellä rantoja on saattanut jäädä huomiotta nettovirtaaman suuntaan vastaisia virtauksia. Lukemia voidaan kuitenkin pitää suhteellisen luotettavina arvioina virtaaman suuruusluokasta.

Rekisteröivillä virtausmittareilla mitatut virtaukset osoittavat, että Finbynlahden suulla virtaukset ovat useimmin pinta- ja pohjakerroksissa erisuuntaisia. Pintakerroksissa veden suunta oli kahdessa tapauksessa kolmesta Finbynlahdelle päin. Pohjakerroksessa virtaukset olivat yhtä usein kumpaankin suuntaan, mutta Finbynlahdelle sisään menevä virtaus oli pohjakerroksessa keskimääräisesti nopeampi kuin sieltä pois tuleva virtaus. Mittauspisteessä etelänpuoleiset tuulet aiheuttivat pohjakerroksessa virtauksen Finbynlahdella pois ja pohjoisenpuoleiset tuulet virtauksen Finbynlahdelle sisään. Meriveden noustessa vesi virtasi Finbynlahdelle ja veden laskiessa vastakkaiseen suuntaan. Alueen läpi tapahtuvaan vedenvaihtoon vaikuttaa enemmän vedenkorkeuden vaihtelut kuin tuulen vedenpinnassa aiheuttama kitka. Tuulen työntäessä pintavettä lahteen se poistui pohjakerroksessa takaisin Eekholmanselälle ja toisaalta tuulen työntäessä vettä pois Finbynlahden pintakerroksesta vesi korvautui virtaamalla syvemmällä vastakkaiseen suuntaan.

Tulosten perusteella penger rajoittaa veden liikkumista Finbynlahdella Finnarinselälle ja päinvastoin. Tämä näkyy Finbynlahdella huonona veden vaihtuvuutena, koska Eekholmanselän vallitsevat virtaukset eivät pääse vaikuttamaan Finbynlahdelle saakka. Suotuisien tuuliolosuhteiden vallitessa pintakerroksen veden liike kuitenkin korvautuu vastakkaisuuntaisella pohjavirtauksella Eekholmanselän suunnalta. Tämä ei kuitenkaan aiheuttane tehokasta virtausta penkereen aukosta etelään tai pohjoiseen, vaan vedenvaihto Finbynlahdella pohjoisen suuntaan perustuu enemmän vedenkorkeuden muutoksista aiheutuviin virtauksiin. Pyölinlahden alueella veden vaihtuvuus on tehokkaampaa, sillä Finnarinselän virtaukset kiertävät Pyölinlahden kautta, vaikka kääntyvätkin vastakkaisuuntaisiksi joko salmen laidoilla tai eri vesikerroksissa penkereen estettyä suurimman läpivirtauksen.

Pohjanmuodot ovat muuttuneet Finbyn- ja Pyölinlahden eri osissa eri suuntiin. Muutosten aiheuttajana voidaan pitää penkereen rakentamisesta johtunutta virtausolojen muutosta. Vuoden 1959 luotauksessa näkyy virtauksen muokkaama veden luonnollinen virtausuoma. Penkereen rakentamisen jälkeen virtaukset ovat hidastuneet niin, että entinen kulutus pohja salmen keskellä on muuttunut ker-

rostumispohjaksi, minne on kerääntynyt ainesta huomattaviakin määriä. Virtausnopeudet penkereen virtausaukon kohdalla ovat hieman syventäneet rantaa aukon pohjoispuolella ja veden nopeampi liike Pyölinlahden kautta hidastaa sedimentaatiota Pyölinlahden koillisosissa.

Virtaaman suunta salmessa on kahdensuuntaista, mutta virtaus pohjoiseen on yleisempi. Läpivirtauksen tehostuessa alueen veden laadun erojen voidaan odottaa tasoittuvan. Penkereen mahdollisten muutosten takia virtausolosuhteet saattavat muuttua niin, että Finbyn- ja Pyölinlahden nykyiset kerrostumispohjat muuttuvat kulumispohjiksi, jolloin nopeutuneet virtaukset irrottavat ainesta pohjasta. Tämä saattaa aiheuttaa veden samennusta ja kiintoainespitoisuuksien kasvamista ympäröivillä vesialueilla.

Tutkimuksen kohteena olevan salmen virtauksia ja virtaamaa ilman pengertietä on mahdoton mittaamalla todeta. Nämä kysymykset voidaan ratkaista vain virtausmallien avulla. Saaristomerellä virtaukset ovat tyypillisesti useassa eri kerroksessa tapahtuvaa lyhytaikaista heilahtelua, sillä yhdensuuntaisen virtauksen kesto salmissa on yleensä vain 6-12 tuntia. Virtausnopeudet ovat yleensä pieniä, mutta ääri-nopeudet voivat hetkellisesti olla melko suuria (Virtaustutkimuksen neuvottelukunta 1974). 1970-luvulla Saaristomerellä, lähinnä Turun edustan merialueella tehtiin laajoja virtausmittauksia. Myös Halikonlahdella suoritettiin mittauksia kertaluonteisesti, mutta pysyviä mittausasemia ei lahdella ollut. Teijon edustalla tehdyissä mittauksissa mainitaan salmen hetkelliseksi virtaamaksi 115 m³ ja sitä vastaavaksi virtausnopeudeksi 3,3 cm/s. Samalla kuitenkin todetaan, että Halikonlahden virtauskuvio ei ole yhtenäinen samanlaistenkaan sääolosuhteiden vallitessa, vaan veden virtauksessa ilmenee lyhytaikaista heilahtelua, joka vaikeuttaa veden vaihtumista Halikonlahdelta Kemiön itäpuolitse ulos merelle (Virtaustutkimuksen neuvottelukunta 1974). Osasyyn tähän heilahteluun on todennäköisesti Halikonlahdella havaittu vuorovesi-ilmiö.

5

Virtausaukkovaihtoehtojen arvioiminen laskennallisesti

Ohessa arvioidaan virtauksien muutoksia virtausvastuksen perusteella 11 eri toteuttamisvaihtoedolla. Luettelossa on mainittu aukon leveys, aukon pohjan taso ja pinta-ala. Vaihtoehdot sijoittuvat liitteessä 6 mainitun suositeltavan virtausaukon keskilinjan kohdalle jollei toisin mainita.

Vaihtoehto A:	Nykyinen virtausaukko (suorakulmainen 15 x 2,8 m, A = 42 m ²)
Vaihtoehto B:	Penkereen itäreunaan kaivetaan vastaavan kokoinen kuin länsipäässä. (2 x 42 m ² , suorakulmainen 15 x 2,8 m)
Vaihtoehto C:	Virtausaukko 40 m, kynnyks ympäriävän pohjan taso + 2,5 m, A = 329 m ²
Vaihtoehto D:	Virtausaukko 40 m, ympäriävän pohjan taso, A = 429 m ²
Vaihtoehto E:	Virtausaukko 80 m, kynnyks ympäriävän pohjan taso + 2,5 m, A = 640 m ²
Vaihtoehto F:	Virtausaukko 80 m, ympäriävän pohjan taso, A = 840 m ²
Vaihtoehto G:	Virtausaukko 100 m, kynnyks ympäriävän pohjan taso + 2,5 m, A = 780 m ²
Vaihtoehto H:	Virtausaukko 100 m, ympäriävän pohjan taso, A = 1030 m ²
Vaihtoehto I:	Virtausaukko 150 m, kynnyks ympäriävän pohjan taso + 2,5 m, A = 1100 m ²
Vaihtoehto J:	Virtausaukko 150 m, ympäriävän pohjan taso, A = 1480 m ²
Vaihtoehto K:	Lautta (A = 2920 m ²)

Taulukossa 3 on esitetty kahden salmen virtausmittausten tuloksia viimeiseltä kolmelta vuodelta (Suominen, julkaisematon). Taulukosta voidaan todeta, että keskimääräiset virtausnopeudet salmien suunnassa olivat 1,9 - 9,6 cm/s, jollei suuntaa oteta huomioon (salmen suuntaisten virtauskomponenttien itseisarvojen keskiarvot). Kustavin Ströömistö tunnetaan salmena, jossa virtaukset ovat voimakkaita. Lisäksi mitausten ajankohta oli harvinaisen voimakastuulinen ja nopeimmat pinta-virtaukset olivat yli 70 cm/s, mitä voidaan Saaristomeren olosuhteissa pitää poikkeuksellisen nopeana virtauksena. Siitä huolimatta keskimääräinen virtausnopeus kuukauden jakson aikana salmen suuntaan oli pinnassakin alle 10 cm/s. Jos vielä tarkastellaan salmensuuntaisten virtauskomponenttien keskiarvoja, tulee samalla huomioduksi se tosiseikka, että vesi liikkuu heilahdellen edestakaisin. Pinnassa vesi liikkui Ströömistöissä kuukauden jakson aikana keskimäärin 3,1 cm/s pohjoiseen. Pohjassa vesi ei keskimäärin liikkunut juuri mihinkään, vaikka käytännössä vesimassa sekoittui poikkeuksellisen voimakkaissa tuulissa myös pystysuunnassa. Paraisten portilla veden virtaus oli salmen suunnassa mitausjaksona eri syvyyksissä keskimäärin 1,9 - 2,9 cm/s suuntaan tai toiseen.

Taulukko 3. Keskimääräisiä virtausnopeuksia Saaristomeren salmissa

	aika	D (m)	virtausnopeus keskim. (cm/s)	virtauskomponentin keskiarvo (cm/s)
Paraisten portti, pinta	24.6.-21.7.99	2	2,9	2,6
Paraisten portti, pohja		18	1,9	1,4
Ströömi, Kustavi, pinta	11.9.-9.10.01	3	9,6	3,1
Ströömi, Kustavi, pohja		16	7,1	0,2

Perustuen muihin samantyyppisten salmien virtausnopeuksiin tutkimuksen kohteena olevan salmen keskimääräisen virtausnopeuden ilman pengertä voidaan arvioida olevan 4 cm/s suuntaan tai toiseen. Vallitsevien tuulen suunnan ja veden kiertosuunnan Itämeren päältäassa perusteella voidaan myös arvioida, että veden nettovirtaaman suunta pitkän ajan kuluessa olisi heikosti kohti pohjoista. Salmen poikkileikkaus penkereen kohdalla on noin 3000 m², joten virtausnopeudella 4 cm/s salmen virtaama on 120 m³/s. Tämäkin arvo on todennäköisesti todellista arvoa suurempi, sillä rannan ja pohjan lähellä virtausnopeus pienenee.

Jos salmi käyttäytyisi kuin joki ja virtausaukossa ei olisi lainkaan ns. virtausvastusta, 120 m³/s virtaamalla vesi ahtautuisi penkereen nykyisestä 42 m²:n aukosta keskimääräisellä virtausnopeudella 2,9 m/s. Virtausvastuksen takia vesi kuitenkin nousisi penkereen tulovirtaaman puolella (ns. energiakorkeuden muutos tai kitkahäviö h_f). Koska pengeri ei sijaitse jokimaisessa avouomassa vaan meressä, vesi ei kuitenkaan nouse vastaavasti kuin avouomissa. Osa energiakorkeuden muutoksesta purkautuu paluuvirtauksena eri vesikerroksessa vastakkaiseen suuntaan eli kun lahteen ahtautuu vettä, se osittain purkautuu toisessa kerroksessa lahdesta pois. Vain osa vedestä purkautuu pengeraukon läpi. Toisaalta Kemiön saaren länsipuolelta kiertävä vesi vaikuttaa siihen, ettei vedenpinnan taso penkereen eri puolilla ole helposti laskettavissa. Yleistäen voidaan ajatella, että laskennallinen energiakorkeuden muutos (kitkahäviö h_f) vakiovirtaamalla on suhteessa siihen, miten paljon vettä pyrkii palautumaan eri vesikerroksissa nettovirtaamaan nähden vastakkaiseen suuntaan. Mitä pienempi on kitkahäviö, sitä paremmin vesi pääsee virtaamaan aukon läpi.

Kitkahäviö h_f lasketaan kaavalla
$$h_f = \frac{n^2 \times L \times Q^2}{R_h^{4/3} \times A^2}$$

n = karkeuskerroin

L = uomien pituus

Q = virtaama

R_h = uomien hydraulinen säde

A = uomien poikkileikkauspinta-ala

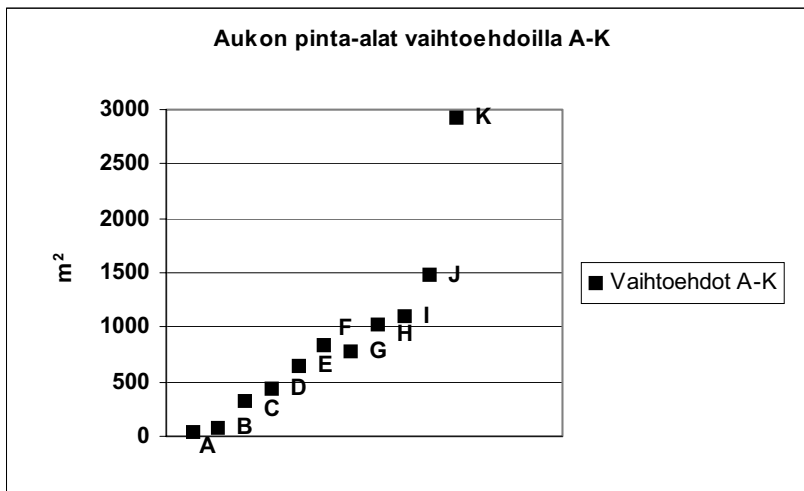
Karkeuskertoimen (n) määrittäminen on ongelmallista. Sen arvoon vaikuttavat mm. uomien materiaali, seinämien epätasaisuudet, uomien poikkileikkauksen epäsäännöllisyydet, uomassa olevat rakenteet, uomien mutkaisuus ja kasvillisuus (kts. esim. Järvelä 1998). Lisäksi veden syvyys uomassa ja virtaama eli virtaustilanne voivat vaikuttaa kertoimeen n merkittävästi (Mustonen 1986). Kertoimen tarkka määrittäminen tapahtuu maastomittauksia tekemällä. Kerroin voidaan määrittää myös kvalitatiivisen tarkastelun eli valokuvien ja taulukoihin perustuvalla menetelmällä. Tässä tutkimuksessa tarkoituksena on verrata eri aukkovalintojen vaikutusta virtaamaan ja toisaalta juuri virtaama eli virtaustilanne voi merkittävästi vaikuttaa kertoimen n suuruuteen, mikä tekee osaltaan mahdolliseksi määrittää kerroin n tarkasti.

Kitkahäviön laskemisessa käytetään yhtenä tekijänä virtaamaa Q , joka muuttuu eri aukkovaihtoehdoilla tuntemattomalla tavalla. Kun kitkahäviön kaavassa (5.1) uoman karkeuskerroin n , uoman pituus L ja virtaama Q on tässä tapauksessa oletettu muuttumattomiksi, on kitkahäviö kääntäen verrannollinen hydraulisen säteen ja uoman poikkileikkauksen tuloon. Kuvassa 10 on esitetty eri vaihtoehtojen poikkileikkauspinta-alat ja kuvissa 11 ja 12 niitä vastaavat kitkahäviöt. Koska termi $(L \cdot n \cdot Q^2)$ on kaikissa tapauksissa oletettu samaksi, asteikko on suhteellinen. Hydraulinen säde (R_h) ja uoman pinta-ala (A) laskettiin vaihtoehdoille niin, että aukon reunat oletettiin pystysuoriksi. Kahden virtausaukon erikoistilanteesta toteaa Antikainen (1998), että putkien ollessa samanlaiset voidaan olettaa mitoitusvirtaaman jakaantuvan kummallekin putkelle tasaisesti.

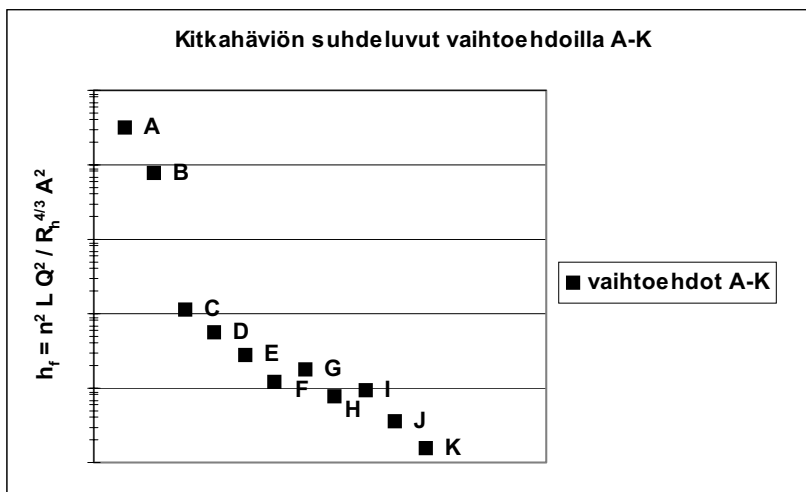
Kuvista 11 ja 12 ei voida päätellä virtaamia erikokoisilla aukkovaihtoehdoilla, sillä virtaama ja sitä kautta kitkahäviö riippuu aukon koosta ja toisaalta penkereen menovirtaaman puolella olevan veden korkeutta ei voi laskea ilman matemaattisia virtausmalleja. Kitkahäviön eroavaisuuksien perusteella voidaan kuitenkin tehdä johtopäätöksiä siitä, miten erilaiset aukot vastustavat virtausta.

Koska veden liike on lyhytaikaista edestakaista liikettä, veden vaihtuvuuden kannalta on tärkeää, että vesimäärät ovat suuria. Koska veden liike salmessa tapahtuu useammassa kerroksessa ja kesäaikaan oli havaittavissa selkeä kerrostunut tilanne Finbynlahdella, on aukon oltava myös riittävän syvä, jotta vedenvaihto tapahtuisi kaikissa vesikerroksissa. Nykyinen virtausaukko estää ennen kaikkea tuulten aiheuttamien virtausten kulkemista salmen läpi. Aukkoa on näiden virtausten tehostamiseksi levennettävä ja sijoitettava veden luonnollisen virtausreitit kohdalle. Veden luonnollinen virtausreitti muodostaa Finbynlahden läpi loivan s-kirjaimen muotoisen uoman, joka penkereen kohdalla on lähempänä län-sirantaa. Virtausaukon keskikohdan on sijaittava virtausuoman keskellä. Ilman suuria virtaamia ei vedenvaihtuvuudessa ja sitä kautta vedenlaadussa voida odottaa tapahtuvan suuria muutoksia.

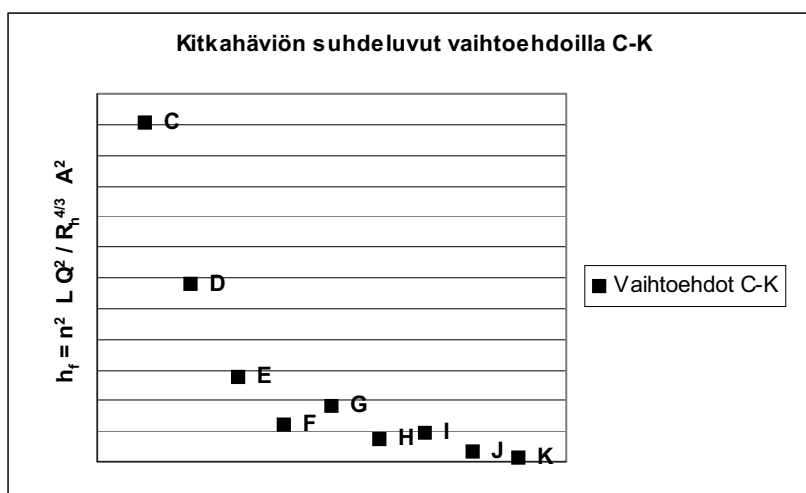
Kuvista 11 ja 12 huomataan, että kitkahäviöt pienenevät nopeasti aukon pinta-alan kasvaessa. Toisaalta pinta-alaltaan suurimmilla esitetyillä vaihtoehdoilla ei saavuteta vastaavaa lisähyötyä kitkahäviön pienenenemisenä. Myös aukon muodolla on merkitystä. Kaivamalla aukon pohjan taso lähelle ympäristön pohjan taso saavutetaan samat hyödyt kitkahäviön pienentymisenä kuin leveämmillä aukoil-la ja lisäksi penkereen kohdalle ei muodostu vesialueita erottavaa kynnystä. Tulosten perusteella voidaan suositella aukon leventämistä vaihtoehtojen E tai F mukaisesti.



Kuva 10. Aukon poikkileikkauspinta-
alat vaihtoehdoilla A-K.



Kuva 11. Kitkahäviön suhdeluvut vaihtoehdoilla A-K. Huomaa logaritminen asteikko.



Kuva 12. Kitkahäviön suhdeluvut vaihtoehdoilla C-K. Vaihtoehtoa F suuremmilla aukoilla ei saavuteta enää vastaavaa hyötyä virtausvastuksen pienentymisenä.

6

Virtausaukkojen mitoittaminen merialueilla

Yleispäteviä tutkimuksia tai suosituksia pengeraukkojen mitoittamisesta merialueilla ei ole tehty. Useimmat julkaisut koskevat jokimaisiin avouomiin tehtyjen rumpujen tai yleisesti ottaen avouominen virtausta. Virtausaukkojen koon ja sijainnin määrittämiseksi merialueilla voidaan tehdä mittauksia luonnollisten virtauksien ja mitoituksen perusteena käytettävien virtaamien määrittämiseksi. Jo rakennettujen penkereiden kohdalla salmien häiriintymättömien virtaamien määrittäminen ei ole mahdollista vain mittauksia tekemällä eikä yksinkertaisilla kaavoilla, vaan tarvitaan malleja. On lisäksi tarpeen tehdä säännöstö sille, miten paljon nykyisten tai suunnitteilla olevien vesirakennuskohteiden hyväksytään vaikuttavan vedenvaihtuvuuteen.

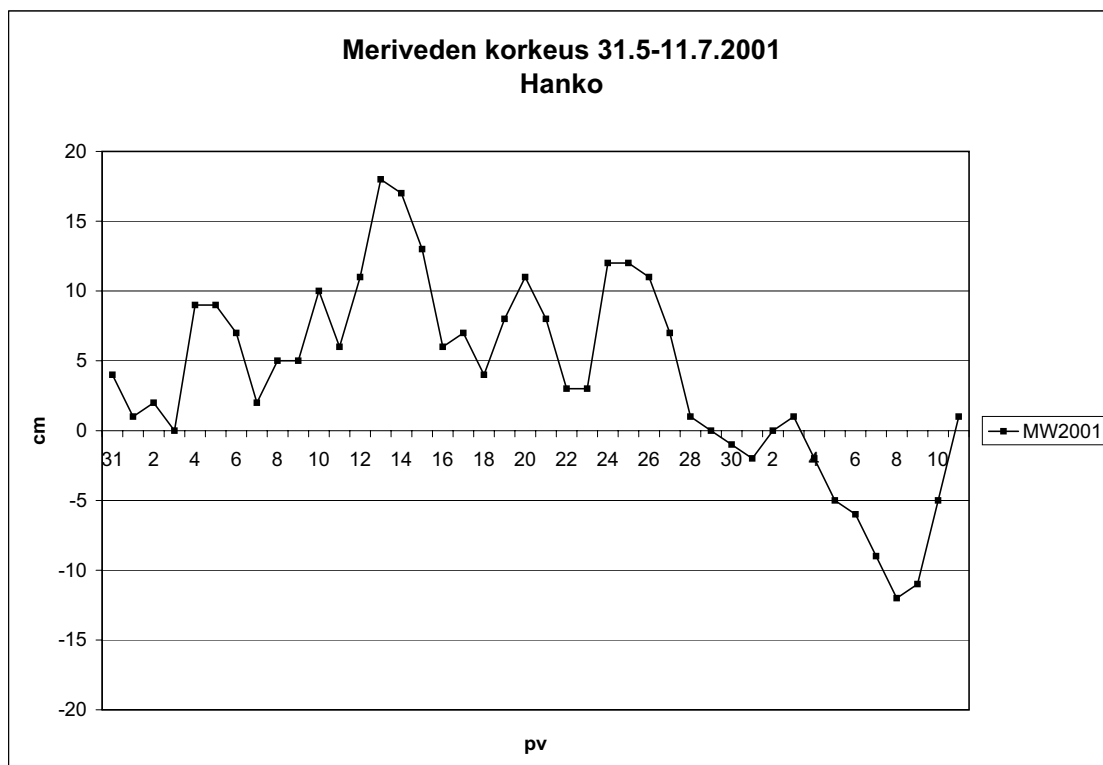
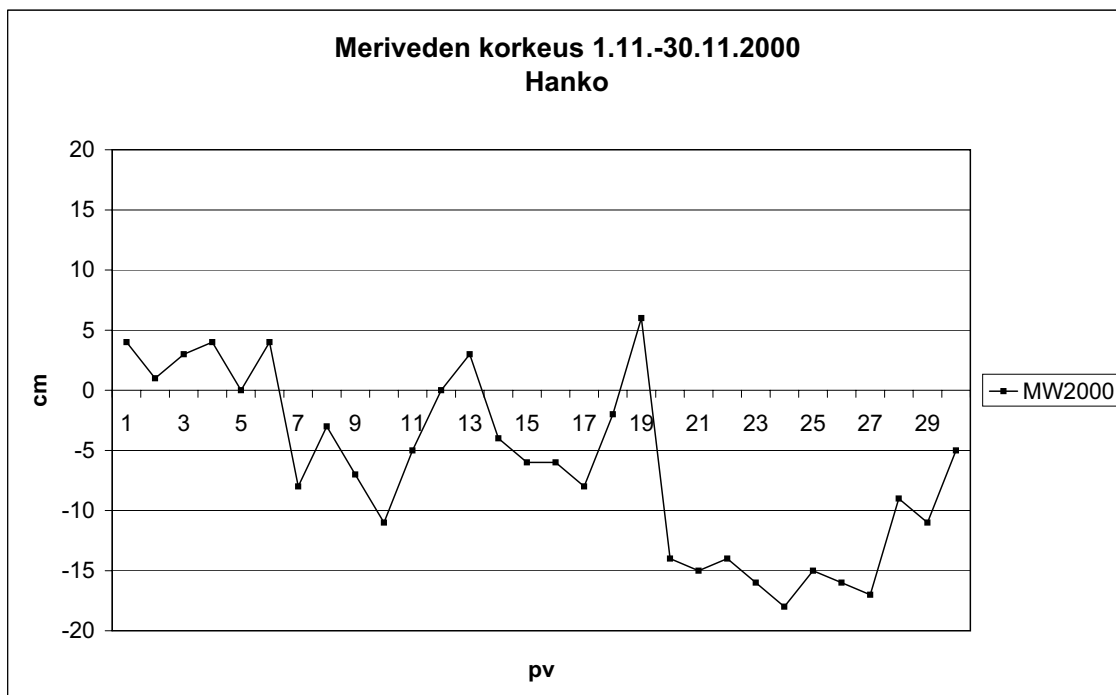
Mikäli alueelle suunnitellaan pengertien rakentamista on suunnitellun penkereen kohta luodattava veden luonnollisen virtausuoman selvittämiseksi ja toisaalta luonnontilaiset virtaamat on mitattava. Pehmeillä pohjilla nopeimman virtauksen kohta on pääteltävissä mikäli salmen poikkileikkauksessa on havaittavissa selvä uoma. Virtausnopeudet ja virtaamat salmen poikkileikkauksen eri kohdissa voidaan selvittää rekisteröivillä virtausmittareilla, jolloin virtausaukko voidaan sijoittaa nopeimman virtauksen kohdalle. Jos penkereen tai muun vesirakennustyön arvioidaan merkittävästi heikentävän alueen vedenvaihtoa, on paikakohtaisen virtausmallin tekeminen perusteltua.

Tässä tutkimuksessa arvioitiin penkereen aiheuttamia haittoja alueen virtauksiin vasta penkereen rakentamisen jälkeen. Mahdollinen penkereen aiheuttama virtauksen estyminen ja toimenpiteiden tarpeellisuus voidaan osoittaa pohjan muotojen muuttumisella eli sedimentoitumisen kiihtymisen kautta. Tämä kuitenkin edellyttää, että alueelta on saatavilla luotausaineistoa ennen penkereen rakentamista, johon uutta luotautusta voidaan verrata. Jollei aikaisempaa luotausaineistoa ole saatavilla, voidaan sedimentaatioympäristön ja -nopeuden aiheuttamia rajapintoja sedimentissä jäljittää ns. sedimenttikaikuluotauksella. Myös kasvillisuudessa (Kalpa 1997) tai vedenlaadussa tapahtuneita muutoksia voidaan käyttää perusteina arvioitaessa penkereiden vaikutuksia vesialueen tilaan. Virtausmittauksin voidaan osoittaa lähinnä virtauksien puuttuminen. Koska tietoa luonnollisten virtausten suunnasta ja nopeudesta ei ole, ei ole myöskään vertailutasoa mihin niitä verrata. Mittaamalla virtausnopeudet ja -suunnat olemassaolevassa virtausaukossa voidaan päätellä mahdollisten muutosten vaikutusalueen suunta. Mittaaminen edellyttää kuitenkin rekisteröiviä mittareita, sillä virtauksien suunta vaihtelee esimerkiksi Saaristomeren salmissa tyypillisesti usean kerran vuorokaudessa. Mittausjaksojen tulisi olla useiden kuukausien pituisia.

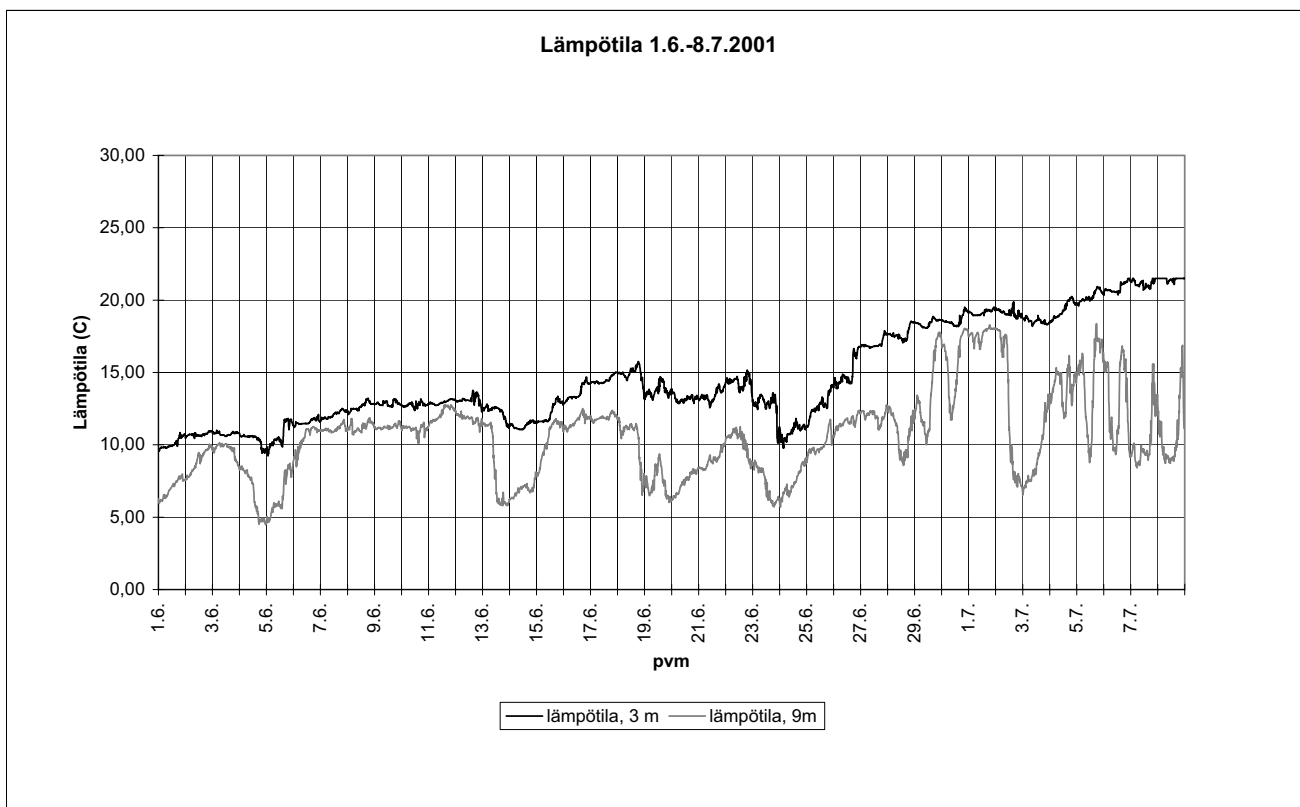
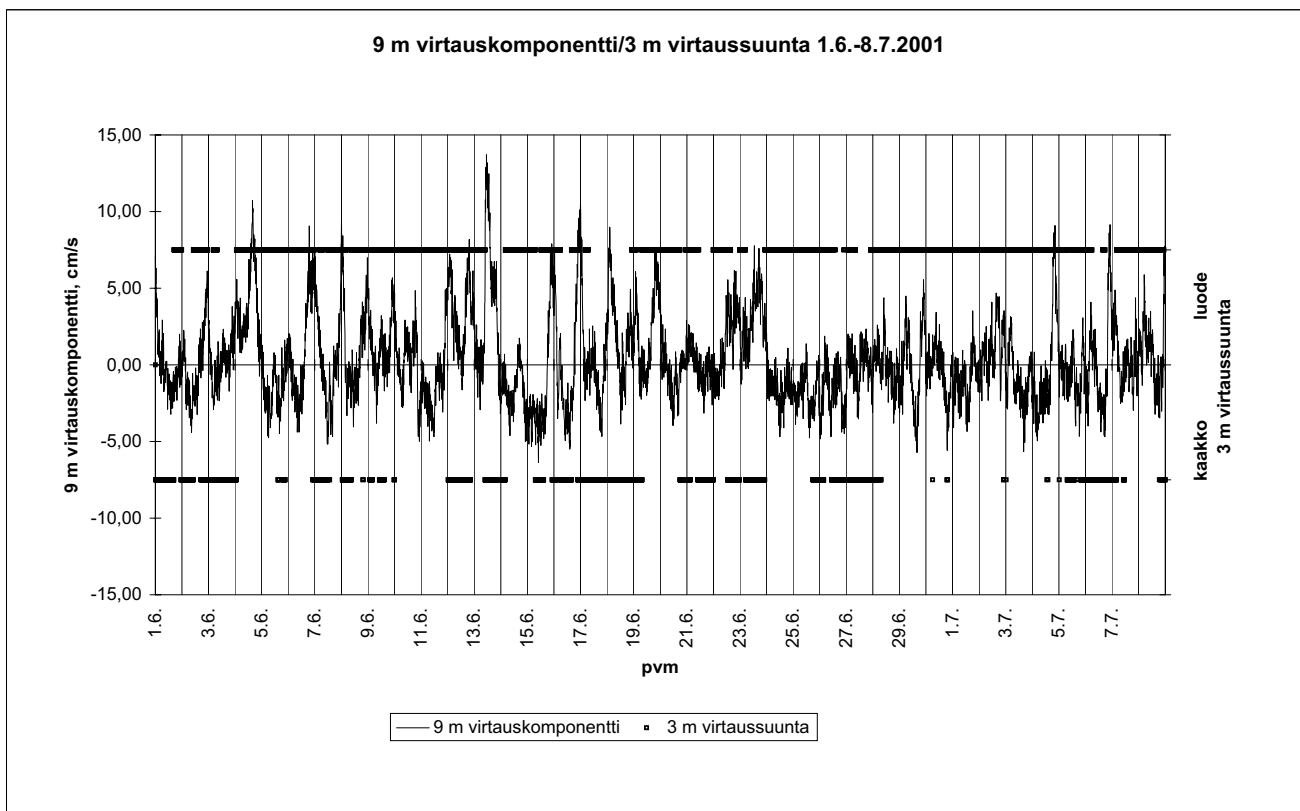
Lähteet

- Antikainen, Raimo (1998). Rumpuaukkojen mitoitus. Kirjallisuusselvitys. 46 s. Uudenmaan ympäristökeskus moniste nro 39. Uudenmaan ympäristökeskuksen monistamo.
- Järvelä, Juha (1998). Luonnonmukainen vesirakennus. 129 s. Teknillisen korkeakoulun vesitalouden ja vesirakennuksen julkaisuja TKK-VTR-1. Libella Oy, Espoo.
- Kalpa, Arto (1997). Vesistöpenkereiden virtausaukkojen rakentamisen vaikutusten seuranta. Tutkimusraportti. 17 s. Turun tiepiiri ja Lounais-Suomen ympäristökeskus. Turku.
- Kakkuri, J. (1990). Fennoskandian maankohoaminen. *Teoksessa* Alalammi, P (toim.) *Geologia. Suomen kartasto* 123-126, 35-36. Maanmittauslaitos ja Suomen maantieteellinen seura, Helsinki.
- Lehtonen, Kari (2001). Halikonlahden tarkkailututkimus vuonna 2000. Tutkimusseloste 186, 30 s. Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy, Turku
- Merenkulkulaitos (1959). Mittauskartta 8/23. Lehti 2012 08, *Särkisalo*. 1:20 000.
- Mustonen, Seppo (toim.) (1986). Sovellettu hydrologia. 503 s. Vesiyhdistys r.y., Helsinki
- Virtaustutkimuksen neuvottelukunta (1979). Saaristomeren virtaustutkimus. 265 s. Turku.
- Visa, Stina, Merentutkimuslaitos. Suull. tiedonanto 24.9.2001

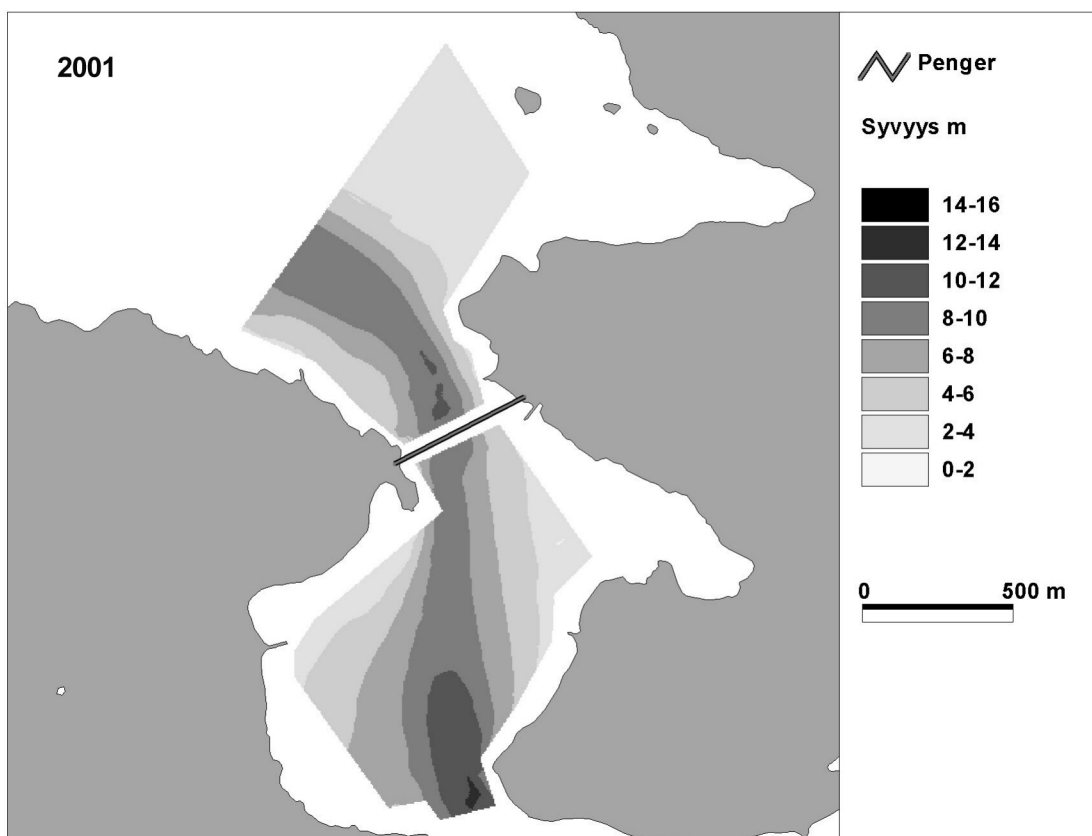
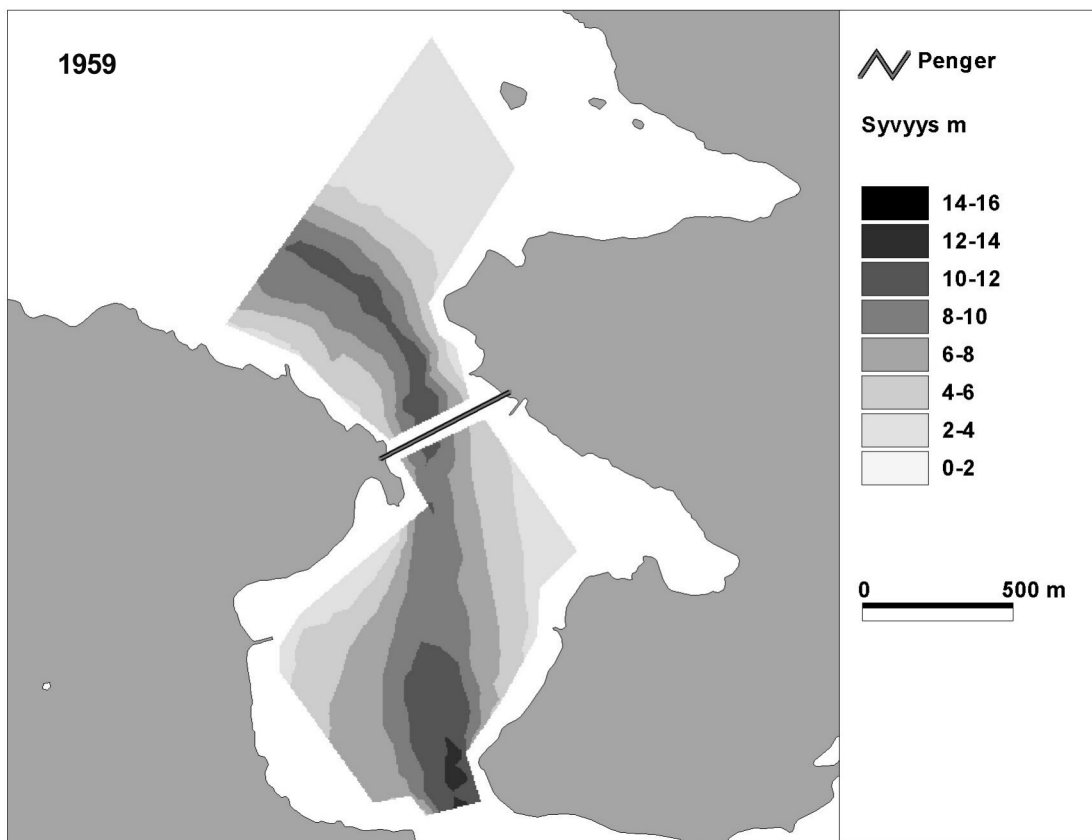
**Meriveden korkeus Hangossa I. - 30.11.2000 ja 31.5. - 11.7.2001
(Merentutkimuslaitos)**



Ylhäällä salmen suuntaisen virtauskomponentin suuruus 9 metrin syvyydessä ja virtauksen suunta 3 m syvyydessä Finbynlahden suulla 1.6. - 8.7.2001. Alhaalla lämpötilat samalta jaksolta.





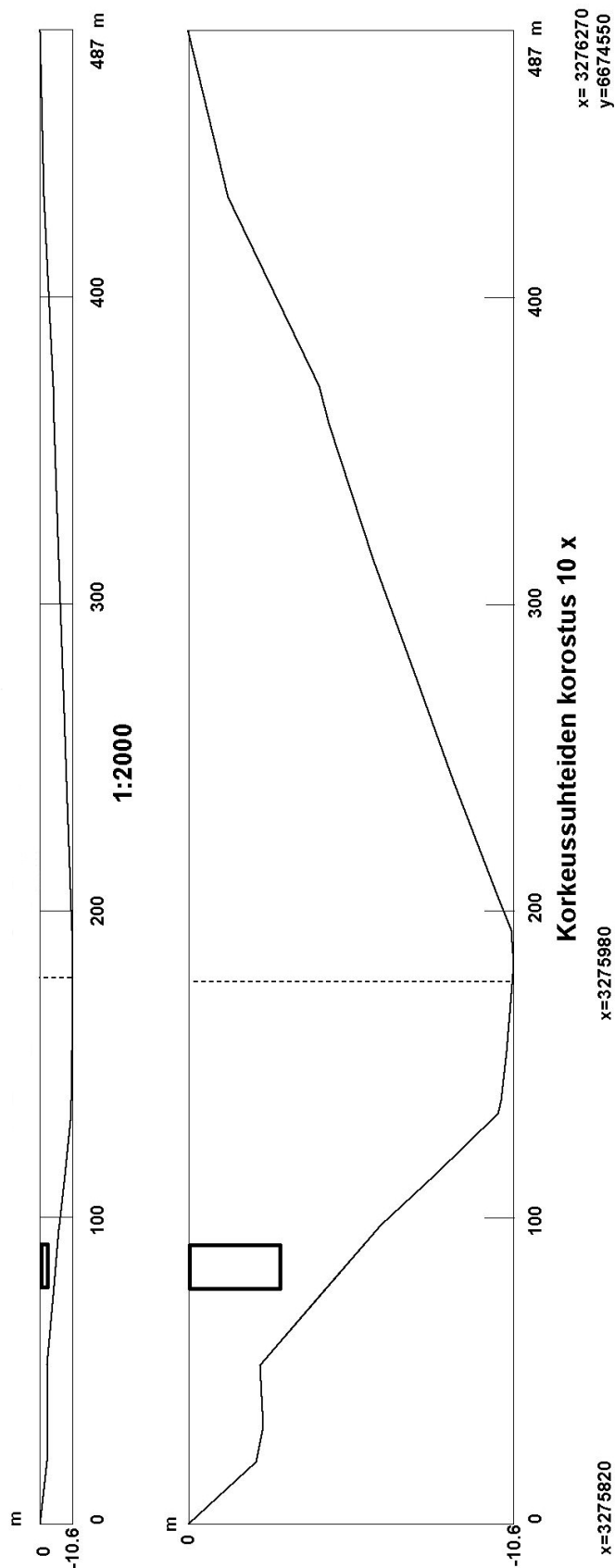
Syvyys penkereen ympäristössä vuosina 1959 - 2001



Salmen poikkileikkaus nykyisen penkereen kohdalla vuonna 1959

Poikkileikkaus 1959

	Nykyisen virtausaukon sijainti v.1959 poikkileikkauksessa		Suosittelavan virtausaukon keskiinjä
---	---	---	--------------------------------------



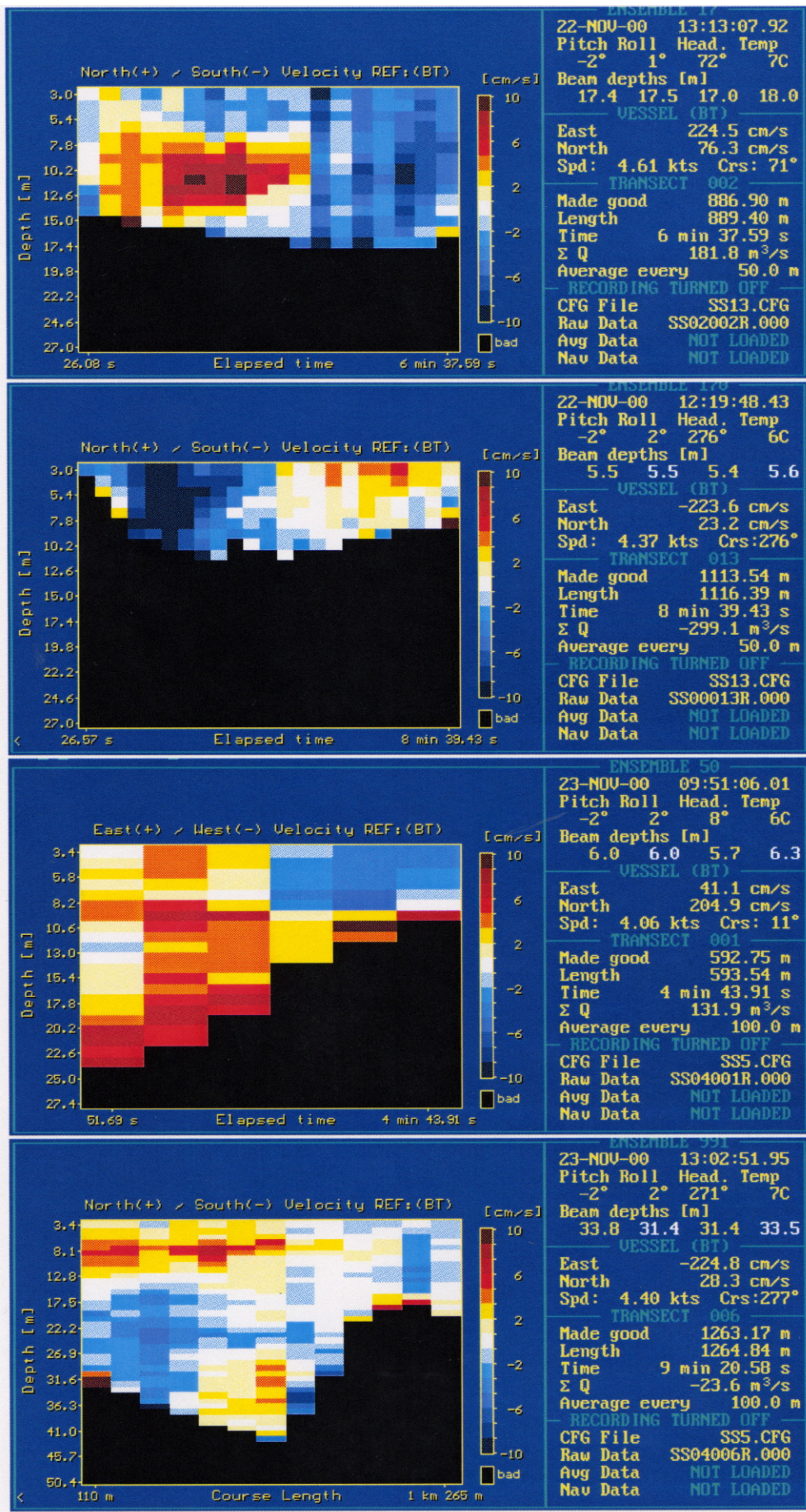
Lounais-Suomen ympäristökeskuksen moniste. Sarjassa on julkaistu raportteja vuodesta 1995 alkaen.

2002

- 1/2002 **Iiro Ikonen, Antti Lammi ja Eija Hagelberg (toim.)**
Varsinais-Suomen Interreg -projektin pienet perinnemaisemasuunnitelmat. ISBN 952-5288-63-3.
- 2/2002 **Mirja Koskinen**
Lounais-Suomen rannikon tiepengerinventointi. ISBN 952-5288-64-1.
- 3/2002 **Antti Ollula, Anni Karhunen, Kaija Salmela**
Maanviljelysalueiden suojavyöhykkeiden yleissuunnitelma. Saaristomereen laskevat pienet joet. ISBN 952-5288-65-X.
- 4/2002 **Maija Silander**
Halikon Raiviston lehdon kasviston muutokset 70 vuoden aikana. ISBN 952-288-66-8.
- 5/2002 **Antti Haarto, Veli-Matti Mukkala, Seppo Koponen**
Tutkimus Rekijokilaakson hyönteisistä ja hämähäkkieläimistä. ISBN 952-5288-67-6.
- 6/2002 **Rami Lindroos**
Omenajärven linnustoselvitys 2001. ISBN 952-528-68-4.
- 7/2002 **Leena Lehtomaa, Anni Karhunen**
Luonnon monimuotoisuuden yleissuunnitelma. Halikonjokilaakso. ISBN 952-5288-70-6.
- 8/2002 **Juuso Kalliokoski ja Raija Laaksonen**
Pieni yritys suuressa ympäristössä. Teollisten mikroyritysten valmiudet kohdata kestävä kehityksen haasteita Varsinais-Suomen alueella. ISBN 952-5288-71-4.
- 9/2002 **Kari Karhu**
Saaristomeren pikkuapolloesiintymien kartoitus. Utredning över mnemosynefjärilens förekomst i Skärgårdshavet. ISBN 952-5288-72-2.
- 10/2002 **Arto Kalpa**
Otajärven kasvillisuus kesällä 2001. ISBN 952-5288-73-0.
- 11/2002 **Minna Uusiniitty (toim.)**
Uudenkaupungin Kalannin Kaukjärven nykytila. ISBN 952-5288-74-9.
- 12/2002 **Minna Uusiniitty (toim.)**
Mynämäen - Mietoisten Kivijärven nykytila. ISBN 952-5288-75-7.
- 13/2002 **Minna Uusiniitty (toim.)**
Vehmaan Vihtjärven nykytila. ISBN 952-5288-76-5.

- 14/2002 **Minna Uusiniitty (toim.)**
Uudenkaupungin Hiunjärven nykytila. ISBN 952-5288-77-3.
- 15/2002 **Minna Uusiniitty (toim.)**
Laitilan Lankjärven nykytila. ISBN 952-5288-78-1.
- 16/2002 **Lassi Liippo ja Kirsi Anttila**
Lounais-Suomen alueellinen jätesuunnitelma. Seuranta ja tarkistaminen 2001 - 2001. ISBN 952-5288-79-X.
- 17/2002 **Jukka Reko**
Maanviljelysalueiden suojavyöhykkeiden yleissuunnitelma. Köyliönjärven ja Köyliönjoen valuma-alue. ISBN 952-5288-85-4.

Virtaukset 22. - 23.11.2000 salmien poikkileikkauksissa (ylhäältä lukien 1-4)



Virtaukset 9.7.2001 salmien poikkileikkauksissa (ylhäältä lukien 1-4).

