VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUKSEN
MONISTESARJA

Nro 382

OULUJÄRVEN RANTOJEN KASVILLISUUDEN KEHITTYMINEN JA KÄYTTÖEDELLYTYSTEN PARANTAMINEN

Reijo Keränen, Juha Riihimäki,
Anu Asunmaa, Olli Madekivi,
Seppo Hellsten, Erkki Alasaarela,
Esko Seppänen

Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja

Nro 382

OULUJÄRVEN RANTOJEN KASVILLISUUDEN KEHITTYMINEN JA KÄYTTÖEDELLYTYSTEN PARANTAMINEN

Reijo Keränen, Juha Riihimäki,
Anu Asunmaa, Olli Madekivi,
Seppo Hellsten, Erkki Alasaarela,
Esko Seppänen

Vesi- ja ympäristöhallitus
Oulun vesi- ja ympäristöpiiri
Helsinki 1992

Julkaisua saa Oulun vesi- ja ympäristöpiiristä.

ISBN 951-47-5585-5
ISSN 0783-3288

Painopaikka: Vesi- ja ympäristöhallituksen monistamo, Helsinki 1992.

Julkaisija
Vesi- ja ympäristöhallitus
Oulun vesi- ja ympäristöpiiri

Julkaisun päivämäärä
15.5.1992

Tekijä(t) (toimielimestä: nimi, puheenjohtaja, sihteeri)
Reijo Keränen, Juha Riihimäki, Anu Asunmaa, Olli Madekivi, Seppo Hellsten, Erkki Alasaarela, Esko Seppänen

Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)
Oulujärven rantojen kasvillisuuden kehittyminen ja käyttöedellytysten parantaminen.
Igenväxningen av stränderna runt Uleträsk och möjligheterna att restaurera dem.

Julkaisun laji
raportti

Toimeksiantaja

Toimielimen asettamispvm

Julkaisun osat

Tiivistelmä
Julkaisu on osa Oulujoen vesistön säännöstelyn kehittämisselvityksiä. Pääpaino on ranta- ja vesikasvillisuuden poistolla tehtävässä rantavyöhykkeen kunnostuksessa ja hoidossa.

Vuosien 1990-91 aikana tehtiin kartoitus kasvillisuuden sijoittumisesta ja määritettiin ajanjaksot, milloin kasvillisuus on järven eri osissa levinnyt hiekkarannoille. Kartoitus tehtiin vanhojen karttojen ja ilmakuvien avulla. Tutkittavat rantaosuudet rajattiin kokonaisuuksiksi aineksen kulumisen, kulkeutumisen ja kerrostumisen mukaan. Kasvillisuuden merkitystä rannan käyttömahdollisuuksiin suhteutettiin mm. vaikutusalueen väestöön, kesämökkien määrään ja kaavoitukseen. Oulujärven rantakasvillisuuden leviäminen säännöstelyn aikana näyttää tapahtuneen kahdessa vaiheessa. Ensimmäinen vaihe ajoittuu 1960-luvun alkuun ja toinen 1970-luvun loppuun.

Haitallisen kasvillisuuden poistokokeita tehtiin erityyppisissä kohteissa. Poistomenetelmänä oli neljässä kohteessa rannan muokkaus kyntämällä ja äestämällä sekä kahdessa kohteessa ruoppaus. Muokkaus on edullinen menetelmä, mutta sen vaikutukset ovat ilman toistuvaa käsittelyä ilmeisen lyhytaikaisia. Suunnitelmallisesti tehty ruoppaus ja massojen läjitys antaa hyvän tuloksen, joskin kustannukset ovat suuremmat. Hiekkarannalla tapahtuvien prosessien selvittämiseksi tehtiin kesällä 1991 Oulujärvellä aallokosta ja sen aiheuttamista virtauksista mittaussarja. Tulosten pohjalta on mahdollista määrittää erilaisilla ulapan laajuuksilla ja tuulen nopeuksilla pohja-aineksen kulumisen ja kerrostumisen rajasyvyydet sekä kasvillisuuden vaikutus aallokon energiaan.

Asiasanat (avainsanat):
säännöstely, rantakasvillisuus, kunnostus, kyntäminen, ruoppaus, käyttöpaine, aallokko.

Muut tiedot

Sarjan nimi ja numero
Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja Nro 382

ISBN
951-47-5585-5

ISSN
0783-3288

Kokonaissivumäärä
100

Kieli
suomi

Hinta

Luottamuksellisuus
Julkinen

Jakaja
Oulun vesi- ja ympäristöpiiri
PL 124 90101 Oulu

Kustantaja
Vesi- ja ympäristöhallitus
PL 250 00101 Helsinki

Utgivare
Vatten- och miljöstyrelsen
Uleåborgs vatten- och miljödistrikt

Utgivningsdatum
15.5.1992

Författare (uppgifter om organet: namn, ordförande, sekreterare)
Reijo Keränen, Juha Riihimäki, Anu Asunmaa, Olli Madekivi, Seppo Hellsten, Erkki Alasaarela, Esko Seppänen

Publikation (även den finska titeln)
Igenväxningen av stränderna runt Uleträsk och möjligheterna att restaurera dem.
Oulujärven rantojen kasvillisuuden kehittyminen ja käyttöedellytysten parantaminen.

Typ av publikation	*Uppdragsgivare*	*Datum för tillsättandet av organet*
rapport		

Publikatonens delar

Referat
Denna studie utgör en del av en större undersökning där man försöker finna möjligheter att minska effekterna av reglering på Uleträsk. Studien vill visa på olika sätt avlägsna oönskad vegetation från strandzonen.

Under åren 1990-91 kartlades utbredningen hos vegetationen och preciserades de perioder då vegetationen i olika delar av sjön spridit sig till sandstränderna. Kartläggningen gjordes med hjälp av gamla kartor och flygbilder. De strandsavsnitt som ingick i undersökningen indelades enligt de sätt som erosion, transport och avlagning av material skedde. Strandvegetationens inverkan på användningsmöjligheterna av stränderna relaterades till bosättning, antal sommarstugor och planeringsstatus. Det verkar som om strandvegetationen runt Uleträsk skulle ha brett ut sig i två etapper under tidsperiod som sjön reglerats. Det första skedet var i början av 1960-talet och andra under 1970-talet.

Restaureringsförsök genom att avlägsna vegetation utfördes på olika strandtyper. Vegetationen avlägsnades genom att plöja och harva på fyra platser och genom muddring på två platser. Försöken visade att plöjning var användbar, men att inverkan är kortvarig om inte behandlingen upprepas. Muddring av stränderna ger bättre och mera bestående resultat, men är betydligt dyrare. Vågornas inverkan på sandstränderna runt Uleträsk undersöktes sommaren 1991 genom mätning av vågsvall och vattenströmmar. På basen av mätningsresultaten är det möjligt att definera gränsdjup för erosion och sedimentation med hjälp av expositionsgrad, vindhastighet och typ av vegetation.

Nyckelord:
reglering, strandvegetation, restaurering, plöjning, muddring, nyttjandegrad, vågsvall.

Övriga uppgifter

Seriens namn och nummer	*ISBN*	*ISSN*
Vatten- och miljöstyrelsens duplikatserie Nr 382	951-47-5585-5	0783-3288

Sidantal	*Språk*	*Pris*	*Sekretessgrad*
100	finska		Offentlig

Distribution	*Förlag*
Uleåborgs vatten- och miljödistrikt PB 124 90101 Uleåborg	Vatten- och miljöstyrelsen PB 250 00101 HELSINGFORS

ALKUSANAT

Oulujoen vesistöalueella aloittettiin vuonna 1989 säännöstelyjen kehittämisselvitykset, joiden tarkoituksena oli ottaa säännöstelyjen käytössä entistä paremmin huomioon ekologisia sekä vesistön yleiskäytön tavoitteita sekä kehittää säännösteltyjen järvien hoitoa ja kunnostusta. Säännösteltyjen järvien rantavyöhykkeen kunnostuksen ja hoidon kehittämistä käsittelevien osaselvitysten kohdevesistöinä ovat Ontojärvi ja Oulujärvi. Tässä raportissa esitetään Oulujärvellä tehtyjen maastokokeiden tulokset ja pohditaan säännöstelyn vaikutusta kasvillisuuden lisääntymiseen ja tämän välityksellä rantojen käyttöön. Lisäksi selvitetään menetelmiä kasvillisuuden aiheuttamien ongelmien vähentämiseksi. Ontojärven eroosi- orannoilla tehdyt maastokokeet on raportoitu erikseen.

Säännöstelyselvityksiä koordinoi vesi- ja ympäristöhallituksen 28.6.1990 asettama ohjausryhmä, jonka asettamaan tätä selvitystä ohjaavaan asiantuntijaryhmään ovat kuuluneet:

Kai Kaatra, vesi- ja ympäristöhallitus
Mika Marttunen, vesi- ja ympäristöhallitus
Jukka Muotka, Imatran Voima Oy
Mika Pohjonen, Imatran Voima Oy
Jouko Saastamoinen, Kainuun vesi- ja ympäristöpiiri
Esko Seppänen, Kainuun vesi- ja ympäristöpiiri

Selvityksen vastuuhenkilö on ollut Erkki Alasaarela (Oulun vesi- ja ympäristöpiiri). Rantaprosessien asiantuntija ja maastotöiden suunnittelija ja johtaja on ollut Reijo Keränen, rantojen luokitteluun on osallistunut Anu Asunmaa (Oulun yliopisto), joka vastasi myös Oulujärven rantojen kasvillisuuden karttaja videotarkastelusta. Vesikasvillisuutta koskevasta osasta ovat vastanneet Seppo Hellsten (Valtion teknillinen tutkimuskeskus, rakennuslaboratorio) ja Juha Riihimäki (Oulun vesi- ja ympäristöpiiri). Aaltomittauslaitteiston rakentamiseen ovat osallistuneet Oulun yliopiston Oulujärven tutkimusasema ja Rautaruukki New Technology. Aaltomittausten kenttätyön teki Ari Kähkönen Oulujärven tutkimusasemalta ja mittausaineiston tulostuksesta vastasi Olli Madekivi TKK:n vesirakennuslaboratoriosta. Tiivistelmän ruotsinkielisen käännöksen teki Hans-Göran Lax Vaasan vesi- ja ympäristöpiiristä. Selvitystä ovat rahoittaneet vesi- ja ympäristöhallitus, Oulujoki Oy ja VTT.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO

Ranta- ja vesikasvillisuus muodostaa tärkeän tekijän rantaekosysteemissä, rantojen maisemakuvassa ja näiden myötä myös rantojen eri käyttömuodoille. Rantojen käytön kannalta on tärkeää, että kasvillisuutta on sopiva määrä. Vedenkorkeuden säännöstely muuttaa rantaprosesseja ja sitä kautta joko parantaa tai heikentää kasvillisuuden selviytymisedellytyksiä rantavyöhykkeessä. Tämän selvityksen kohdejärvenä on Oulujärvi, jossa säännöstely on stabiloinut vyöryrantoja ja luonut siten edellytyksiä kasvillisuuden lisääntymiselle rantaprosessien heikentymisen myötä, vaikka muutkin tekijät (mm. jätevesi ja hajakuormitus) ovat vaikuttaneet kasvillisuutta lisäävästi. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on;

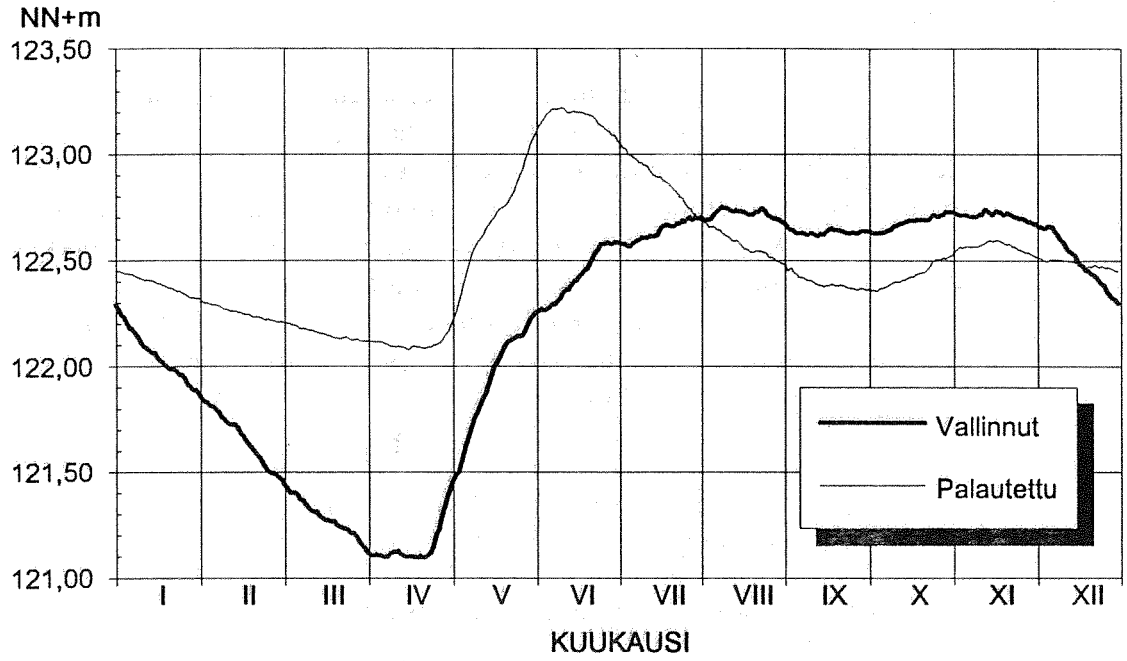
- selvittää ranta- ja vesikasvillisuuden lisääntymistä ja siihen vaikuttavia tekijöitä Oulujärven hiekkarannoilla
- arvioida kasvillisuuden virkistyskäytölle aiheuttaman haitan laajuutta Oulujärvellä ja
- selvittää menetelmiä haittavaikutusten vähentämiseksi.

2 OULUJÄRVEN SÄÄNNÖSTELY

Oulujärven säännöstely aloitettiin vuonna 1951. Järven kesävedenkorkeutta laskettiin n. 30 - 40 cm (kuva 1, taulukko 1). Vedenkorkeuden lasku pysäytti eroosion kuluvilla hiekkarannoilla, mutta samalla se on vaikuttanut haitallisiksi koettuihin muutoksiin rantavyöhykkeellä. Kasvillisuuden lisääntyminen Oulujärvellä on muuttanut rantamaisemaa ja vaikeuttanut paikoitellen rantojen virkistyskäyttöä.

Taulukko 1. Yleistietoja Oulujärvestä

Pinta-ala	944 km^2
Rantaviivan pituus	920 km
Säännöstely alkoi 1.11.1951	
Suurin sallittu säännöstelyväli	
vuosittain	2.70 m
kesällä	1.60 m
Vedenkorkeus NN+m	
HW säännöstelemätön	124.20 m
HW säännöstelty	123.20 m
NW säännöstelemätön	121.70 m
NW säännöstelty	120.50 m



Kuva 1. Oulujärven päivittäisten vedenkorkeusarvojen mediaaneja vuosilta 1981-90 säännösteltynä ja säännöstelemättömänä palautuslaskelmien mukaan laskettuna.

3 OULUJÄRVEN RANTOJEN KASVILLISUUDEN KEHITTYMISEN PÄÄPIIRTEET

3.1 Rantavyöhykkeen historiallinen kehitys

Rantojen muotoutumisen yleisilme on luonnontilaisessa Oulujärvessä ollut kuluva ja hukkuva. Jääkauden jälkeinen maan kohoaminen on altaan länsiosassa ollut selvästi nopeampaa. Luusuan kohotessa muuta allasta nopeammin on vedenpinta altaan itäpäässä noussut n. 8300 vuoden aikana lähes 15 metriä. Kivikkoiset ja soiset rannat ovat uponneet kallistuvan altaan nostattaman veden alle etenkin altaan itäpäässä. Harjurantojen kohdalla veden kohoaminen on näkynyt ennen muuta nopeana ja laaja-alaisena kulumisena, ja törmien sortumisena (esim. Koutaniemi & Keränen 1983 ja Saukko 1986).

Monilla paikoilla on selvästi nähtävissä, miten rantavyöhykkeen kehittyminen on tapahtunut jaksoittain. Korkean veden aikoina, jotka näyttävät seuranneen toisiaan noin 10 tai 20 vuoden välein, tapahtui törmien kulumista ja samalla myös kuluneen aineksen kerrostumista viereisille rantaosuuksille. Suurilmastolliset muutokset ovat antaneet omat piirteensä kehitykseen. Näyttää siltä, että tämän vuosituhannen alku on ollut varsin merkittävää aikaa, samoin nk. pieni jääkausi 1600-luvulla, jolloin monin paikoin tapahtui laajojen rantahietikoiden soistumista.

Säännöstelyn alennettua veden pintaa väheni rantatörmien kuluminen ratkaisevasti, mikä olikin säännöstelyn yhtenä tavoitteena. Säännöstelyn tehoa tässä suhteessa lisäsi vielä lupaehtoihin kuulunut joidenkin rantaosuuksien suojaus-

velvoite. Törmärantojen asettuminen näkyy puuston ja muun kasvillisuuden lisääntymisenä. Vain maaperältään kaikkein alttiimmat paikat ovat nykyisin vyöryviä (ks. Saukko 1986, Hentilä 1989, Väre 1990).

Törmien asettuminen on jo heijastunut kerrostuma-alueille. Kun uutta hiekkaa ei enää kerrostu, on tapahtunut joko laaja-alaisia kasvittumisia ja soistumisia, tai sitten entiset kerrostumat, lähinnä rantadyynit, ovat muuttuneet kulutuksen kohteeksi. Näin on tapahtunut ennen kaikkea Manamansalossa ja kasvittumisen osalta myös muilla hiekkaranta-alueilla. Säännöstely lähes lopetti törmäkulutuksen ja siihen liittyvän kerrostumisen. Alkuvuosikymmeninä säännöstely kiihdytti vedenpinnan alapuolisen rannan uudelleen muotoutumista ja ajoi pohjan materiaalia ylös vesirajalle. Vedenalaisesta kulumisesta on esimerkkinä joidenkin hukkuneiden soiden osittaista paljastumista niitä luonnontilassa peittäneen hiekan alta.

Palomäki (1992) on selvittänyt Oulujärvellä tavattujen rantatyyppien ja habitaattien suhteellisia osuuksia koko rantavyöhykkeestä, jonka pinta-ala mitataan keskiveden tasolta noin kahden metrin syvyyteen (taulukko 2). Luokittelun mukaan yleisimmät rantahabitaatit (rantavyöhykkeellä rajattavissa olevat tietyn pohjanlaadun ja kasvillisuuden alueet) ovat suojaiset detritusrannat ja avoimet hiekkakasvillisuusrannat, jotka peittävät yhteensä kolmasosan tuottavan rantavyöhykkeen pinta-alasta. Koko rantaviivan pituudesta on hiekkarantojen osuus Palomäen (1992) mukaan jopa 70 %. Avointen hiekkarantojen vedenalainen osa on säännöstelemättömissä järvissä yleensä vailla kasvipeitettä, koska epästabiili pohja-aines ei tarjoa mahdollisuutta kasvien juurtumiseen.

Taulukko 2. Oulujärven eri rantatyyppien ja -habitaattien määrä (km^2) ja suhteelliset osuudet (%) rantavyöhykkeen kokonaispinta-alasta (73 km^2) Palomäen (1992) mukaan (Detritus = pohjalle kerrostuneet kuolleet levät yms.).

Rantahabitaatti	Rantatyyppi					
	Suojainen		Avoin		Tyrsky	
	km^2	%	km^2	%	km^2	%
Kivikko	0,01	0	0,94	1,3	1,70	2,3
Kivikko-Hiekka	0,72	1	8,78	12	2,44	3,3
Kivikko-Hiekka-Kasvillisuus	3,76	5,1	6,59	9		
Kivikko-Kasvillisuus			0,70	1		
Kivikko-Hiekka-Detritus	1,23	1,7	0,72	1		
Hiekka	4,10	5,6	6,42	8,8		
Hiekka-Kasvillisuus			12,31	16,8		
Hiekka-Detritus			2,13	2,9		
Hiekka-Detritus-Kasvillisuus	8,77	12				
Detritus	11,94	16,3				
Yhteensä	30,53	41,7	38,59	52,8	4,14	5,6

3.2 Oulujärven kasvillisuuden rantakohtainen kehitys

Oulujärven hiekkarantojen kasvillisuuden kehitystä selvitettiin Iivari Leiviskän (1913) julkaisemasta Oulujärven rantoja kuvaavasta kartasta, Oulujärven säännöstelystä maalle koituvan haitan arviointia varten laadituista kartoista (1947), peruskartoilta (kenttätyöt 1966-67) sekä toukokuussa 1990 kuvatulta ilmavideolta (liite 1). Lisäksi täydennyksenä käytettiin eri tutkimushankkeiden tuomaa kenttätuntemusta ja ilmakuvauksia 1950-luvulta lähtien. Tässä yhteenvedossa tehdään selvitys kasvillisuuden alueellisesta esiintymisestä ja leviämisen ajoittumisesta. Lähestymistapana on selittävä yleiskartoitus, joten aivan yksityiskohtaiseen rantaosuustarkasteluun ei mennä.

Menetelmistä ja viimeisimmästä kartoitusajankohdasta (toukokuu 1990) johtuen tarkastelun ulkopuolelle jäävät upos- ja kelluslehtiset vesikasvit sekä yksivuotisten rantakasvien esiintymät. Menetelmällä ei siis varmuudella löydetä ongelmallisia umpeenkasvavia lahtia eikä esimerkiksi vesisammalesiintymiä; selvitys keskittyy vakiintuneisiin rantakasviyhdyskuntiin.

Seuraavassa esitellään Oulujärven keskeiset rantaosuudet siten, että kasvillisuuden esiintyminen pyritään sitomaan rantaviivan muotoon, maaperään ja muihin kohteen kannalta merkittäviin tekijöihin. Tekstissä mainitut paikat tunnuksineen sekä kartta hiekkarantojen kehittymisestä on esitetty liitteessä 1.

Oulujärven pohjoisranta, Mieslahti sekä Jormuanlahti

Oulujärven pohjoisrannalla maaperä on pääasiassa moreenia, joten rannat ovat rikkonaisia kivikkorantoja. Myös suurin osa saarista on kivikkorantaisia moreenisaaria. Rikkonainen ranta ja ravinteikas maaperä (liuskeinen ja paikoin kalkkipitoinen kallioperä ja hienoainesvaltainen moreeni) luovat runsaasti suojaisia kasvupaikkoja ranta- ja vesikasvillisuudelle. Lukumäärältään vähäiset hiekkarannat ovat enimmäkseen moreenialueille tyypillisiä taskuhietikoita.

Pohjoisrannan hiekkarannoista ovat Leiviskän (1913) kartan laatimisen jälkeen kasvittuneet Vaalan Hietalahti (N1), Hyrkinkaarre (P4) sekä Neuvosenniemen (Ä2) rannat lukuunottamatta Hietakaartoa (P1), joka on kasvittunut vasta vuoden 1966 kartoituksen jälkeen.

Neuvosenniemen Hietakaarron lisäksi peruskarttojen (1966-67) laadinnan jälkeen ovat kasvittuneet Paltamon Metelinranta (P2) sekä Mieslahden Kuhaniemestä Hietaniemeen ulottuva alue (P3).

Kevään 1990 videokuvilta avonaisiksi hiekkarannoiksi olivat havaittavissa Kankarinlahden Hietalahti (N2), Likolahti (N3), Kivesniemenhiekka (N4), Väätäjänsuon edusta (N5), Petäjäniemen pohjoispuolinen Hautakaarre (P5) sekä Hietalahti (P6).

Manamansalo

Manamansalon saaren läpi kulkee harjujakso, jonka yhteydessä rannat ovat pääasiassa törmiä tai niiden liepeille kerrostuneita hiekkarantoja. Muita ran-

tatyyppejä esiintyy saaren koillis- ja lounaisosissa (ks. Kemiläinen ja Keränen 1989).

Vuosisadan alussa ulottuivat yhtenäiset hiekkarannat länsi- ja luoteisosassa Ahvenkaarteesta (N13) Lehminiemeen (N9) sekä koillis- ja kaakkoisosassa Martinlahdelta (Ä34) Rytökynnäkseen (Ä25).

Kasvillisuuden levittäytyminen on alkanut rikkonaisilta koillis- ja lounaisrannoilta. Vain Leiviskän (1913) kartassa avonaiseksi hiekkarannaksi on merkitty Haapokarin kohdalla oleva ranta Lehminiemi (Ä17). Rusilanlahden ranta (N7), Kaivosojanlammen ja Kesätiensuun välinen ranta (Ä33), Harmaalanranta (Ä21), osa Mustalahtea (Ä19), lähes koko Kaaresjärvi (N10) sekä Kuivalammen Pirttiniemi (Ä24) ovat viimeksi olleet merkittynä hiekkarannoiksi säännöstelykartoissa (1947). Myös Piskosentörmän (Ä28) alapuolisen rannan, Martinlahden (Ä34) perukan sekä Rahkasuonpouheen (Ä31) kasvittuminen on alkanut ennen peruskarttojen (1966-67) laadintaa.

Peruskarttojen laadinnan jälkeen (1966-67) kasvittuneita alueita ovat Paljakantörmä (Ä29), Rantapelto (Ä27), Kuivaniemi (Ä23), Ahvenkaarre (N13), Kesätiensuun ja Soiluanlammen välinen alue (Ä32) sekä Korteniemenkärki (Ä1), joka on merkitty hiekkarannaksi vain peruskartoilla.

Manamansalon hiekkarannoista avonaisia keväällä 1990 olivat Rytölahti (Ä26) leirintäalueesta etelään, Kuivaniemen (Ä23) koilliskärki, Lusikkalahti (Ä22) lukuunottamatta Nuottiniemeä, Harmaalanlahti (Ä20), Mustaniemen (Ä18) kärki, Hiisiniemen Hietakaarre (N14), Puronrannan (N12) ja Kilonniemen (N8) välinen alue lukuunottamatta Lehminiemeä (N9) sekä Pantionniemen (N11) päätä, Martinlahti (Ä34) osittain sekä Soiluanniemi (Ä30), jonka pohjoisranta oli vielä Leiviskän (1913) kartassa merkitty suoksi.

Kuostonsaari

Kuostonsaari (N6) puuttui keväällä 1990 kuvatulta videolta, mutta kenttähavaintojen mukaan tilanne ei ole paljon muuttunut peruskarttojen laadinnan jälkeen, jolloin pohjois-, kaakkois-, ja länsiranta olivat avoimia hiekkarantoja.

Niskanselän länsiranta

Niskanselän länsirannalle ovat luonteenomaisia harjujaksoon liittyvät laajat hiekkarannat, jotka Leiviskän (1913) kartan laadinnan aikana olivat suurimmaksi osaksi avoimia. Lähes katkeamattomat hiekkarannat ulottuivat Kaarteenperältä (N34) Sorsaniemelle (N16). Kasvillisuutta oli vain Kaarteenperällä, Painuanlahden (N28) luoteiskulmassa, Isonojan suussa (N27), Mäntyniemen (N24) kohdalla, Riihilahdessa (N20) ja Selkäniemellä (N19), Juurikkalahden (N18) perukoissa sekä hieman Karinniemellä (N17).

Katselmuskarttojen laadintaan mennessä (1947) hiekkarantoja oli kasvittunut vain Hietapuronniemestä Säynäjänniemeen ulottuva alue (N22). Isonojansuussa sekä Karinniemellä hiekkarannat olivat lyhentyneet.

Peruskarttojen (1966 - 67) laadintaan mennessä rannat olivat kasvittuneet Okkolankaarteen (N30) länsipuolella, Kontiopään (29) itäpuolella, Painuanlahdella (N28) sekä paikoitellen Saarenrannassa (N25) ja Enonlahdella (N21).

Peruskarttojen (1966 67) laadinnan jälkeen ovat kasvittuneet rannat Hautakankaasta Ruununtörmälle (N32), Saarenranta lukuunottamatta Salmanniemen (N26) kärkeä, Pitkähieta (N23) lähes kokonaan, sekä Enonlahti.

Keväällä 1990 Hiekkarannat olivat avoimia Kaarteenperältä Hautakankaalle (N33), Voihaminasta Okkolanniemeen (N31), Salmenniemessä (N26), Pitkänhiedan eteläpäässä, Säynäjänniemellä sekä Sorsaniemen (N16) ja Rykyniemen (N15) pohjoispuolella.

Ärjänselän etelärannat

Niskanselän ja Ärjänselän etelärannat eroavat pohjoisrannoista etupäässä siinä, että kivikkorantoja on täällä paljon vähemmän ja metsärannat ovat yleensä vähäkivisiä ja matalia. Sen sijaan alueella on runsaasti hietakaarteita, joita pienet kivikkonokat katkovat. Etelärannoilla on myös rämerantoja sekä laajoja luhtia etenkin Käkisaaren (Ä13) suojassa ja Vuottolahdella (Ä8). Etelärantojen luonne ei ole nopeasti muuttunut. Rannat ovat madaltuneet veden laskun seurauksena ja kasvillisuuden leviämistä on jonkin verran tapahtunut.

Syynä suhteellisen lievään kasvittumiseen on ennen muuta se, että nämä hiekkarannat ovat stabiileja, suljettuja järjestelmiä, joista ainesvirtaa ei pääse tapahtumaan ulos. Kuluminen ja kerrostuminen vaihtelevat paikallisesti, siis rantaosuuskohtaisesti, tuulen suunnan ja vedenkorkeuden säätelemänä. Tämä ainestasapainon säilyminen mahdollistaa jatkuvan prosessin rantaosuuden sisällä.

Laajimmat kasvillisuuden valloittamat yhtenäiset hiekkarannat ovat Alassalmessa (Ä16), Jataharjunniemen (Ä14) koillissivulla, Käkilahden (Ä12) lounaisrannalla, Kuusirannalla (Ä10), Vuoreslahden (Ä59 rannoilla sekä Koutalahdella (Ä4).

Keväällä 1990 kasvittomista hiekkarannoista laajimpia olivat Varpokaarre (Ä15), Selkäniemen (Ä11) koillisranta, osa Vuottoniemen (Ä9) rannoista, Kumpuniemen (Ä6) länsiranta, Sivolanniemen (Ä3) länsiranta sekä Ärjän saari (Ä7).

Paltaselän eteläranta

Paltaselän eteläpuolelle ovat tunnusomaisia leveät, matalat hiekkarannat, jotka Leiviskän (1913) kartan laadinnan aikana ulottuivat Sivolanniemeltä Kiviniemeen (P9) sekä Hannusrannasta (P8) Luhdanniemeen (P7). Näitä hiekkarantoja syöttivät ennen säännöstelyn alkua nopeasti kuluneet törmät.

Hiekkarantojen kasvittuminen on alkanut pääasiassa säännöstelykarttojen laadinnan (1947) jälkeen. Viimeisinä, peruskartoituksen jälkeen (1966 67), ovat

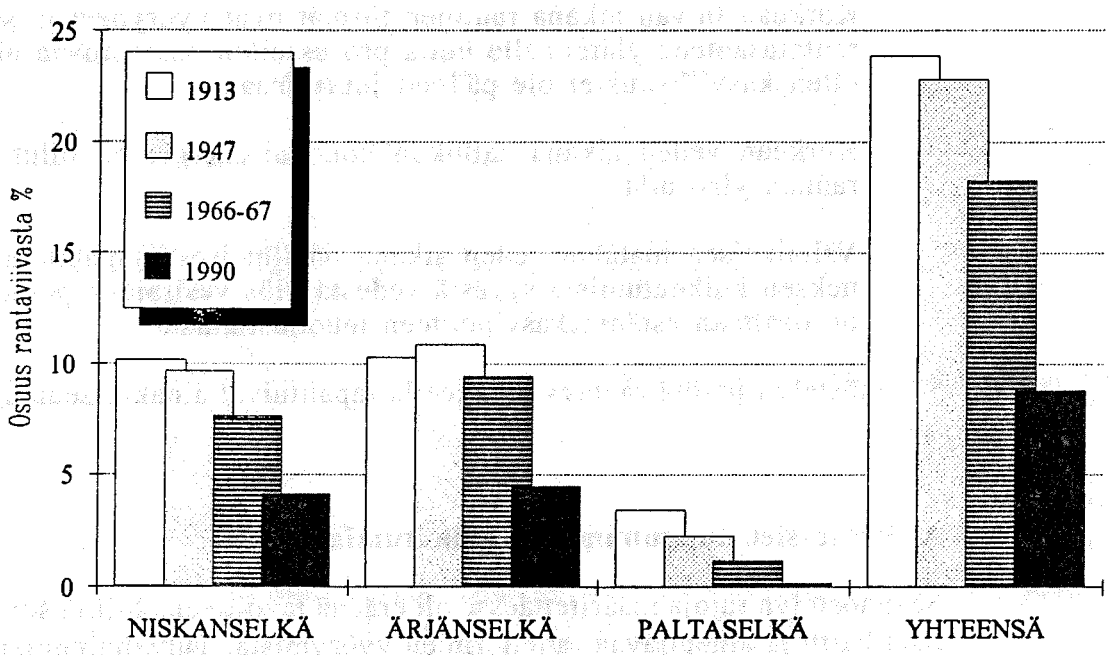
kasvittuneet Sivolanniemen pohjoisranta sekä Toukansaaren (P12) pohjois ja lounaisrannat.

Avonaisia hiekkarantoja oli keväällä 1990 vain Kerittävänniemen (P11) pohjoispuolella, Paltaniemen (P10) venesataman kohdalla, Kiviniemessä sekä hieman Hannusrannalla.

Yhteenveto

Oulujärven hiekkarantojen kasvillisuuden kehittymistä on tarkastelu kuvassa 2. Hiekkarantojen kokonaismäärä on tutkimuksessa arvioitu huomattavasti pienemmäksi kuin Palomäen (1992) vastaavassa työssä, jossa myös kasvittuneet hiekkarannat on laskettu mukaan.

Kuvaa 2 tulkittaessa on otettava huomioon lähteiden erilaisuus ja osin yhteismitattomuus. Näyttää siltä, että rantojen kasvipeitteen leviäminen on tapahtunut säännöstelyn aikana kahdessa vaiheessa. Ensimmäinen suhteellisen hidas vaihe ajoittuu noin 10 vuotta säännöstelyn alkamisesta 1960-luvun alkupuolelle, kun taas nopean kasvittumisen vaihe on tapahtunut ilmeisesti 1970-luvun loppupuolelle. Paltaselällä on kasvittuminen alkanut jo ennen säännöstelyä (kuva 2). Seuraavassa kappaleessa etsitään syitä kasvillisuuden runsastumiseen Oulujärvellä.



Kuva 2. Oulujärven kasvittomien hiekkarantojen suhteellinen osuus koko rantaviivasta Niskanselällä, Ärjänselällä ja Paltaselällä eri ajankohtina tehtyjen kartoituksen avulla mitattuna. 1913 = Leiviskä 1913, 1947 = säännöstelykartta 1947, 1966-1967 = peruskartat 1966-67, 1990 = videokuvaus 1990.

3.3 Kasvipeitteen muodostumisen syitä Oulujärvellä

Loivien hiekka- ja hietarantojen yläosan kasvipeitteen muodostumisen Oulujärvellä voidaan periaatteessa katsoa johtuvan ainakin kolmesta tekijästä, joiden tärkeysjärjestyksen määrittäminen on vaikeaa:

- kesäaikaisen vedenkorkeustason ja vedenkorkeuden vaihtelurytmin muutos,
- vesistön ravinnekuormitus (haja- ja pistekuormitus) sekä
- luonnollinen "maa valtaa alaa" kehitys.

Seuraavassa tarkastellaan erikseen kunkin tekijän merkitystä Oulujärven tapauksessa.

Muutokset vedenkorkeudessa

Oulujärvellä vedenkorkeus on vaihdellut luonnontilaisena useilla eri periodeilla. Lähes säännönmukaisesti ainakin tulvahuiput ovat olleet verraten korkeita (MHW 1896-1948 NN+123,35 m, Keränen 1982:234). HW-tason keskipitkän ajan vaihtelu on tapahtunut noin 10 tai 20 vuoden periodeissa. Vesi on ollut välillä matalammalla, mutta on muutaman vuoden välein kohonnut varsinkin tulva-aikana korkealle. Tällä ilmiöllä on ollut ainakin kolme vaikutusta rantakasvillisuuden muodostumiseen:

- Korkean tulvan aikana rantojen törmät ovat vyöryneet ja siten tuoneet rantatasanteen yläreunalle uutta prosesseihin osallistuvaa ainesta. Näin ollen kasvillisuus ei ole päässyt juurtumaan.
- Korkean veden aikana aallokon kokonaisenergia on ollut suuri myös rannan yläosalla.
- Väliaikaisen matalan veden aikana on ilmeisesti tapahtunut pohjan aineksen kulkeutumista syvästä vedestä ylös vesirajalle päin, mikä sekin on osaltaan estänyt kasvipeitteen muodostumista.

Säännöstelyn myötä rantavyöhykkeellä tapahtuivat ainakin seuraavat muutokset;

A. Prosessien loppuminen (stabiloituminen)

Säännöstelyn rajoja määritettäessä oli eräänä tavoitteena hillitä suuria taloudellisia haittoja aiheuttavaa rantatörmien vyörymistä. Tulvahuippujen leikkaaminen onkin ***vähentänyt selvästi törmäkulutusta.*** Pohjan olosuhteet stabiloituvat niin paljon, että kasvillisuus pääsee juurtumaan ja versomaan. Toinen ilmeisen tärkeä tekijä on ravinnerikkaiden ***hienojakoisten sedimenttien lisääntyminen;*** rauhallisemmassa ympäristössä pohjaan kerrostuu myös hienoja sedimenttejä, jotka lisäävät karun hiekan ravinnepitoisuutta. Tällainen tilanne on yleinen varsinkin suojaisissa lahden pohjukoissa.

B. Rantatasanteiden yläreunojen ajoittainen paljastuminen

Kasvukauden vedenkorkeuden aleneminen on puolestaan siirtänyt rantavyöhykkeen kulumis- ja kerrostumisrajaa huomattavasti vanhalta rantaviivalta ulapalle päin, samalla laaja ***rantavyöhyke on jäänyt kuiville***. Paljastunut rantavyöhyke on erittäin otollinen kasvualusta etenkin ilmaversoiselle kasvillisuudelle, jonka lisääntyminen on yleisesti tunnettu ilmiö etenkin järvenlaskujen yhteydessä (esim. Lillieroth 1950, Meriläinen ja Toivonen 1979, Rørslett 1991). Kasvillisuuden lajimäärä lisääntyy ja biomassa kasvaa erityisesti ylimmällä rantavyöhykkeellä.

Paikallisesti kiihdyttävänä tekijänä voi olla rantaa nostava poikkeuksellinen kerrostuminen, joka on seurausta siitä, että rantaprosessit kerrostavat uutta ainesta syvemmältä rantavyöhykkeen ulkolaidalle. Mikäli rantavyöhykkeen yläosaan purkautuu pohja- ja/tai pintavesiä, voi soistuminen olla hyvinkin nopeaa.

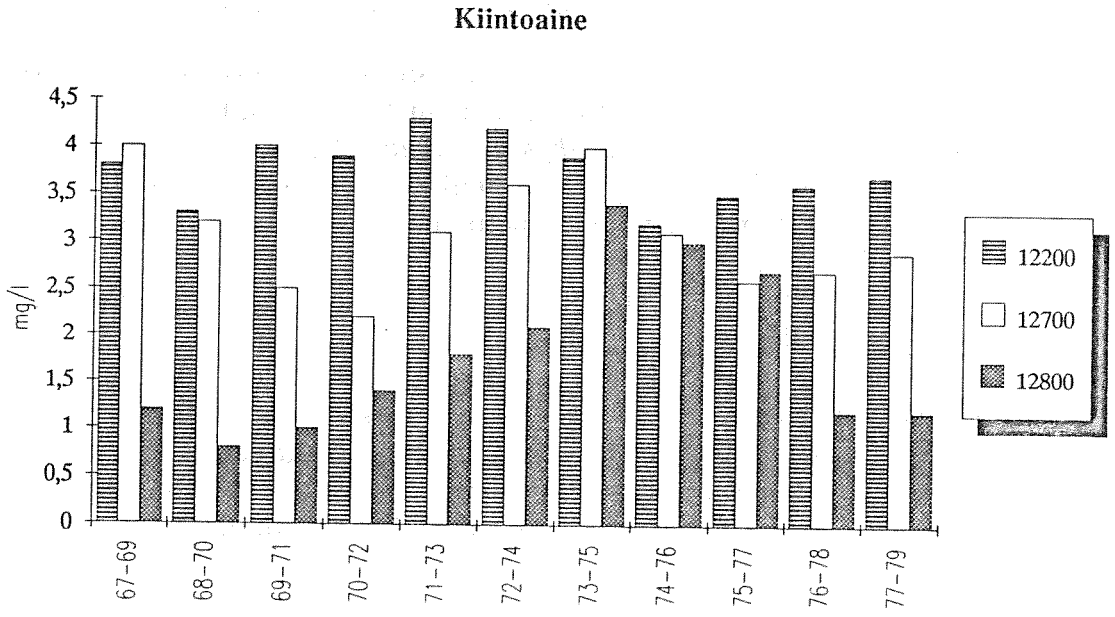
C. Muutokset vedenkorkeuden vaihtelurytmissä

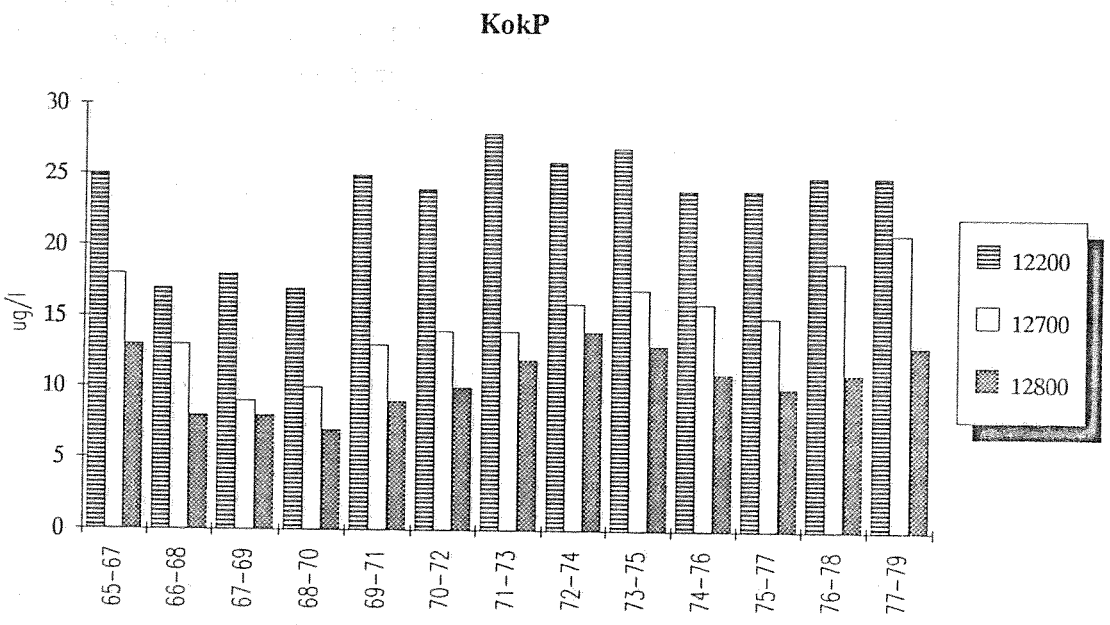
Kevättulva puhdistaa rantavyöhykettä kuolleesta kasviaineksesta ja siirtää sitä rantavyöhykkeen ulkopuolelle kuivalle maalle hapekkaisiin olosuhteisiin, missä aines hajoaa. Säännöstely on ***alentanut kevättulvaa*** ja ***siirtänyt vedenkorkeushuipun*** kesäkuun puolivälistä heinäkuun loppupuolelle (kuva 1). Kuollut kasvimassa on siten suurelta osin uuden kasvillisuuden käytössä, koska vesi ei ehdi huuhdella sitä ylemmille rannan osille. Ilmiön vaikutus kasvillisuuden leviämiseen on kiistanalainen. Suominen (1987) olettaa eräillä järvillä (Päijänne, Säkylän Pyhäjärvi, Vammalan Rautavesi) tapahtuneen matalien lahtien rehevöitymisen johtuvan juuri kevättulvien leikkautumisesta. Puustinen (1983) totesi, että kevättulvien leikkaantuminen Onki- ja Porovedellä ei juuri lainkaan lisännyt ranta- ja vesikasvillisuutta. Anttonen-Heikkilä (1983) on Oulujärvellä todennut, että esim. ylimmän rantavyöhykkeen sammaloituminen lisääntyy tulvan jäätyä pois.

Säännöstelyn aikaansaama talvinen vedenpinnan lasku karsii ainakin jäätymiselle altista kasvilajistoa ylimmältä rantavyöhykkeeltä. Tosin suuri osa varsinaisesta rantakasvillisuudesta on sopeutunut sietämään jäätymistä varsin hyvin.

Muutokset ravinnekuormituksessa

Oulujärveen kohdistuva kuormitus on vaihdellut viime vuosikymmenien aikana voimakkaasti. Kuvassa 3 on esitetty kiintoaineen ja kokonaisfosforin pitoisuuksia Oulujärveen tulevista vesistä ja sieltä purkautuvasta vedestä 1965-79 kolmen vuoden liukuvana keskiarvona (Tiitto 1983). Vaikka aineistoon ei kuulu 1960-luvun alkupuoliskoa, voidaan kuvasta 3 havaita kiintoaineen pitoisuuden olevan Oulujärveen tulevissa vesissä erittäin suuren 1960-luvun puolivälissä poistuvan veden pitoisuuksiin verrattaessa. Vasta 1970-luvun puolivälissä kasvaa Oulujärvestä purkautuvan kiintoaineen määrä huomattavasti, mikä viittaa aktiiviseen ojitustoimintaan lähivaluma-alueella (Tiitto 1983). Sama ilmiö on havaittavissa kokonaisfosforipitoisuuksissa; 1960-luvulla arvot laskevat huomattavasti kääntyäkseen taas 1970-luvun alkupuolella nousuun. Sotkamon rei-





Kuva 3. Oulujärven vesistöalueen virtahavainnointipaikoilla mitattuja kiintoaineen ja kokonaisfosforin pitoisuuksia kolmen vuoden liukuvana keskiarvona Tiiton (1983) mukaan. 12200 = Kajaanijoki (Sotkamon reitti), 12700 = Kiehimäjoki (Hyrynsalmen reitti) ja 12800 = Oulujärven luusua.

tin korkeat pitoisuudet aiheutunevat Kajaanin sellutehtaan jätevesien vaikutuksesta.

Ravinnepitoisuuden lisääntymisen vaikutusta kasvillisuuden kehitykseen on kuitenkin vaikea eritellä muista vaikuttavista tekijöistä, vaikka ravinnemäärien kasvu tapahtuukin samalla ajanjaksolla kuin kasvillisuuden runsastuminen. Säännöstelyn paljastama stabiloitunut rantavyöhyke on otollinen kasvuympäristö etenkin ilmaversoisille kasveille, jotka eivät välttämättä vaadi suuria ravinnepitoisuuksia. Koko järven lisääntynyt ravinnekuormitus luonnollisesti lisää biomassan tuotantoa ja muuttaa lajiston koostumusta, mutta ei toimi ensisijaisena ilmaversoisen kasvillisuuden leviämistä säätelevänä tekijänä. Sen sijaan maa- ja metsätalouden ojitustoiminnasta ja muusta hajakuormituksesta tulleilla maa-aineksilla ja ravinteilla voi olla paikallisesti hyvinkin suuri merkitys. Lisääntyneen kasvillisuuden muodostama suojavyöhykkeen merkitys ravinteiden pidättäjänä on otettava huomioon kasvillisuuden poistoon tähtäävissä suunnitelmissa.

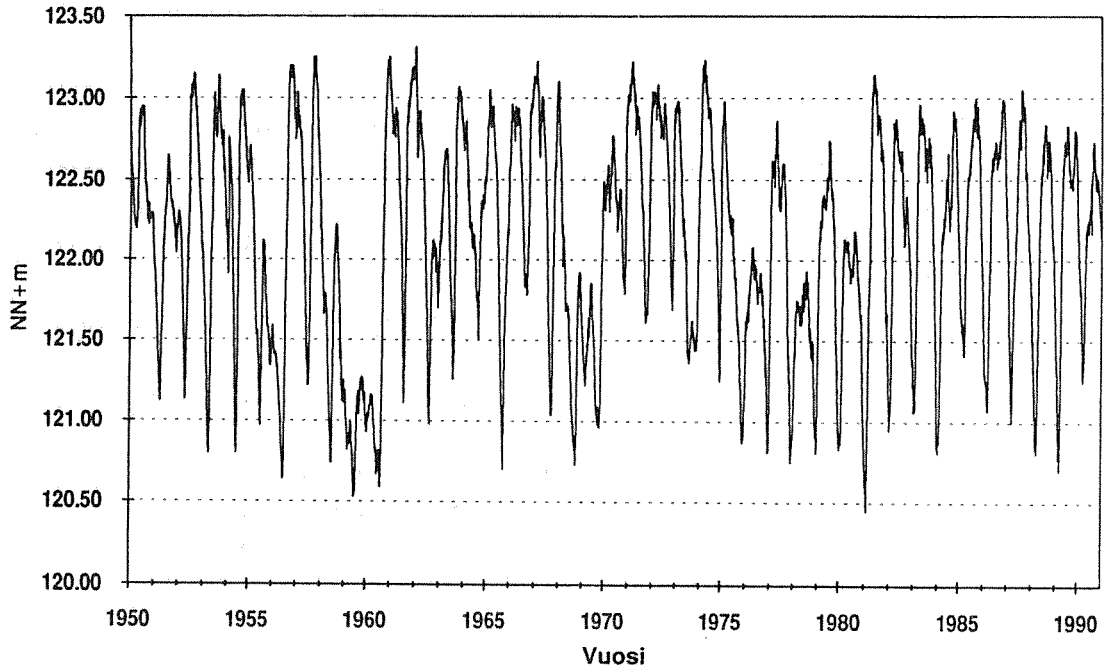
Luontainen kasvittuminen

Kasvillisuus pyrkii luontaisesti levittäytymään alueelle, jossa se pystyy kasvamaan ja lisääntymään. Mikäli ympäristöolosuhteet eivät merkittävästi muutu, kasvillisuus saavuttaa tietyn vakauden, joka on havaittavissa esim. järvillä, joissa vedenkorkeuden vaihtelu on erittäin vähäistä. Oulujärvellä on kasvillisuuden luontainen kehitys ollut taantuva altaan kallistumisen ja vedenpinnan nousun takia. Sen sijaan altaan itäosassa huomattavasti muita selkiä suojaisemmalla Paltaselällä on rantojen kasvittuminen luontaisesti ollut ilmeisesti merkittävää, koska kasvittomien hiekkarantojen osuus on vähentynyt jo ennen säännöstelyn aloittamista (kuva 2). Osasyynä varhaiseen kasvittumiseen on myös Paltaselän alueen maaperän hienojakoisuus, joka osaltaan on edistänyt kasvillisuuden leviämistä.

Yhteenveto

Tarkasteltaessa kasvillisuuden ajallista kehitystä (kuva 2) voidaan eri kehitysvaiheiden syitä arvioida seuraavasti. Ensimmäisen kasvillisuusvaiheen 60-luvun alkupuolella aiheutti aaltoenergian väheneminen rannan yläosalla ja siitä johtunut prosessien hidastuminen (kuva 4). Myös 60-luvun alun kaksi peräkkäistä huonoa vesivuotta on ilmeisesti edistänyt kasvillisuuden leviämistä. Myöhäisemmälle vaiheelle, joka on ilmentynyt ennen muuta kasvillisuuden levittäytymisenä rannan syvempään osaan, ei löydy yksiselitteistä syytä. Muutokseen voi vaikuttaa se, että rantatasanteella tapahtunut kuluminen, siis rantaprofiilin syveneminen laskenutta vedenpintaa vastaavalle tasolle, on ollut niin hidasta, että tasapainoprofiili on saavutettu vasta 20-25 vuotta säännöstelyn aloittamisen jälkeen.

On mahdollista, että em. 20-25 vuoden kuluessa peittohiekkakerrostumat ovat kuluneet kasvillisuuden leviämisalueilta pois ja näin kasvillisuus on päässyt juurtumaan rantahiekkaa ravinteikkaampaan maalajiin. Valuma-alueella lisääntyi ojitustoiminta voimakkaasti 1960-luvulla, samoin muu hajakuormitusta aiheuttava toiminta, joilla voi paikallisesti olla rantoja rehevöittävä vaikutus.



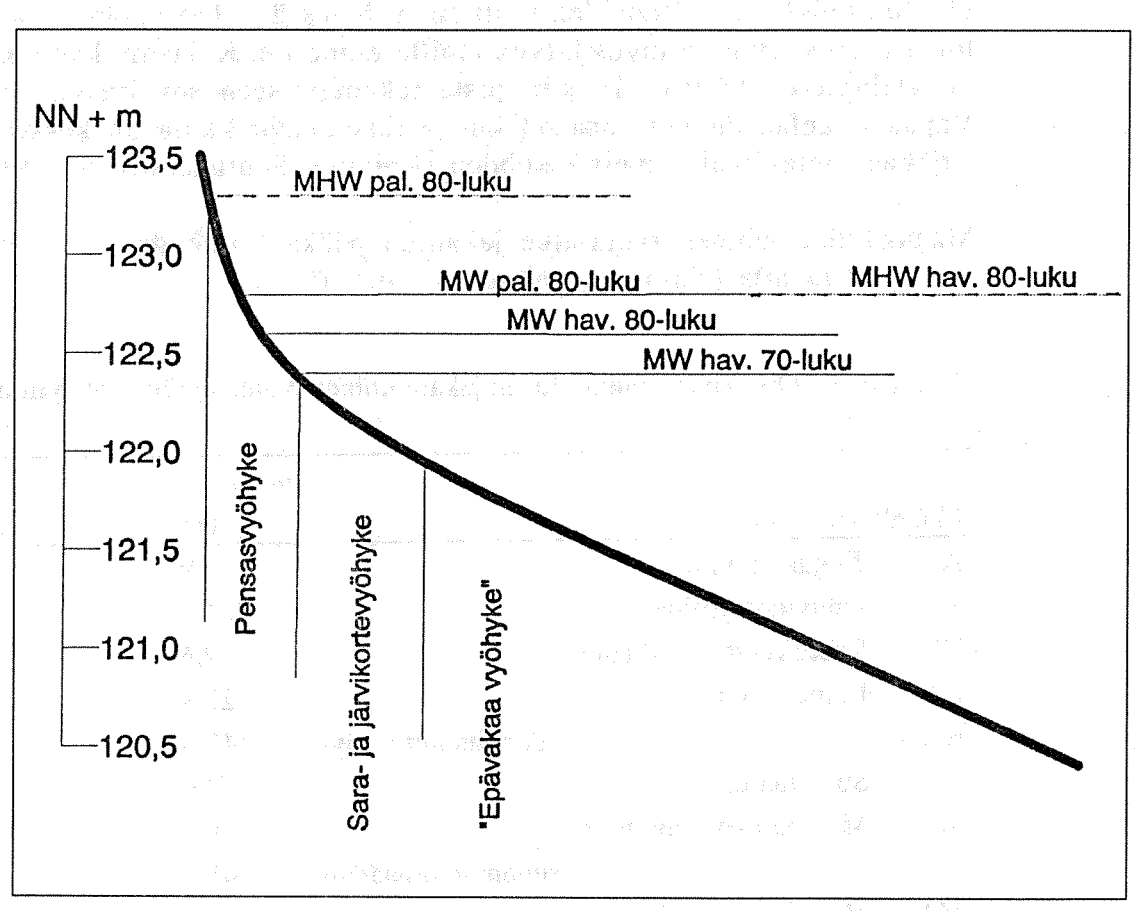
Kuva 4. Oulujärven vedenkorkeuden vaihtelu säännösteltynä.

Myös 70-luvun poikkeuksellisen huonot vesivuodet ja siitä aiheutuneet alhaiset kesäaikaiset vedenpinnan tasot esim. vuosina 1976, 1978 ja 1980 ovat ilmeisesti vaikuttaneet kasvillisuutta lisäävästi (kuva 4). Yksittäisen huonon vesivuoden merkitys ei välttämättä ole suuri; esim. Anttonen-Heikkilä (1983) totesi Oulujärvellä kasvillisuuden taantuvan seuraavana hyvänä vesivuotena miltei entisilleen. Toisaalta alhainen kesäveden korkeus lisää rantaa suojaavien vallien muodostumista, jotka estävät aallokon vaikutusta seuraavana korkean veden aikana. Lisäksi monet ongelmalliset ilmaversoiset kuten järviruoko ja -korte juurtuvat erittäin syvälle ja kestävät täten voimakastakin eroosiota. Samalla ne vaimentavat tehokkaasti voimakastakin aallokkoa (kts. kohta 6.1.7). Esimerkiksi voimakkaasti säännöstellyllä Irnijärvellä järviruoko muodostaa tiheitä kasvustoja vanhoilla kasvupaikoillaan, jotka nyt ovat erittäin epästabiileja ja sopimattomia kasvupaikkoja muille ilmaversoisille (Hellsten toim. 1991)

1980-luvulla vesi oli selvästi korkeammalla kuin aikaisempina vuosina, eikä kasvillisuus ilmeisesti levittäytynyt ainakaan ulapalle päin. Kasvistoa ja sen runsautta on seurattu samoilla koealoilla vuosina 1980, 1985 ja 1990 (Anttonen-Heikkilä 1983, Tolonen 1986, Tolonen 1991). Ensimmäisen tutkimusjakson (1980-85) aikana kasvillisuus oli taantunut selvästi rantavyöhykkeen ulkorajalla, kun taas alueilla, joissa kasvillisuus on saavuttanut merkittävän jalansijan, umpeenkasvu jatkui. Erityisesti järvikorte ja erilaiset luhtaisuutta ilmentävät lajit olivat lisääntyneet (Tolonen 1986). Myös Tolosen (1991) vuonna 1990 suorittaman kartoituksen mukaan kasvillisuuden leviäminen rannan ulkolaidalla oli pysähtynyt eräitä kortteikoita lukuunottamatta, mutta kasvillisuuden runsastuminen rannan ylemmällä osalla on jatkunut.

Puhuttaessa rantavyöhykkeestä ja kasvittumisesta on syytä erottaa rannan eri osa-alueet toisistaan (kuva 5). Entisen ja nykyisen vedenkorkeushuipun välinen vyöhyke pensoittuu ja muuttuu vähitellen rantametsäksi, jollei rantatörmän kuluminen käynnisty uudelleen. Sen sijaan sara- ja kortevyöhykkeellä kasvillisuuden leviämisnopeus riippuu keskeisesti vallitsevista kesäveden korkeuksista. Uloimmalla epävakaalla vyöhykkeellä myös kasvillisuuden taantuminen on mahdollista, mikäli vedenkorkeus pysyy korkealla koko avovesikauden ajan.

Alueellisesti ja paikallisesti olosuhteet kasvillisuuden lisääntymiseen vaihtelevat suuresti. Ei riitä, että tulkintaa kasvillisuuden leviämisen syistä tehdään vain tietyllä kapealla kohteella. Ranta tulee nähdä prosessien suhteen kokonaisuutena, jossa aineksen lähtöalue ja kerrostumisalueet määritetään prosessien vallitsevuuden perusteella ja myös tilannekohtaisesti. Paikallisesti esim. ravinnekuormituksen merkitys voi olla erittäin merkittävä, vaikka se ei koko järven tilannetta ratkaisevasti muuttaisikaan.



Kuva 5. Teoreettinen rantaprofiili Oulujärveltä ja siinä esiintyvät vyöhykkeet suhteessa palautettuihin ja havaittuihin kesäajan (kesä - syyskuu) vedenkorkeusarvoihin. MHW = keskiylivesi, MW = keskivedenkorkeus.

4 RANTOJEN LUOKITTELU KÄYTÖN JA KASVILLISUUDEN PERUSTEELLA

4.1 Rantojen käyttö

Lähes puolet Kainuun väestöstä asuu Oulujärven ympäristökunnissa. Väestö Oulujärven ympärillä on keskittynyt Kajaanin kaupunkiin ja muihin kuntakeskuksiin. Lisääntynyt vapaa-aika sekä kesämökkeilyn yleistyminen ja luontoharrastuksen viriäminen ovat myös lisänneet Oulujärven rantojen virkistyskäyttöä. Rantojen käyttöpaineen määritystyössä, siis lähinnä rantojen käsittelytarpeen luokittelussa, on aineistona käytetty Kainuun Liiton seutukaavakarttaa ja Alueellinen maaseutupolitiikkakehittämishankkeen (Malinen & Kela 1990) kyläkohtaista aineistoa.

Loma-asutus on aikaisemmin keskittynyt Kajaanin lähiympäristöön paikallisen väestön mökkeihin. Vapaiden tonttien vähetessä ja kysynnän lisääntyessä on loma-asutus levinnyt myös järven muille rannoille. Kajaanin kaupungin osalla on Oulujärven rantaa 116 km, josta rakentamiseen soveltuvaa on 112 km. Vapaata rantaa on yhteensä 53 km ja rakennuspaikkoja on keskimäärin 5,2 paikkaa rantaviivakilometriä kohden (Kainuun Seutukaavaliitto 1990).

Maankäytön suhteen ranta-alue jakautuu pääkäyttömuodoittain taulukossa 3 esitetyllä tavalla (Kainuun Seutukaavaliitto 1991).

Taulukko 3. Oulujärven ranta-alueen jakautuminen maankäytön pääkäyttömuotoihin.

Maankäyttömuoto			Rantaviivaa km
A	Taajamatoiminnot		0.9
VL	Lähivirkistysalue		4.1
VR	Retkeily- ja ulkoilualue		9.6
RA	Loma-asuntoalue		22.8
RA-1	"	suunnittelumääräys	12.0
S	Suojelualue		2.6
M	Maa- ja metsätalousvalt.		8.7
M-1	"	suunnittelumääräys	45.7
MT	Maa- ja metsätalousalue		4.5

Kainuun seutukaavassa Oulujärven ranta-alueiden virkistyskäytön oletetaan keskittyvän pääasiassa harjualueen hiekkarantojen yhteyteen. Suurin osa matkailuyrityksistä on jo sijoittuneena tälle alueelle. Myös Oulujärven markkinointi veneilyjärvenä perustuu osaltaan harjualueeseen ja sen hiekkarantoihin.

Merkille pantavaa on lisäksi se, että varsinaiset RA - alueet (loma-asuntoalueet) ovat kaavassa sijoitettuna järven länsiosaan Vaalan ja Vuolijoen alueille. Selviä painoalueita ovat Kankarin ja Jaalanganlahdet, Säräisniemen alueelta Käkisaareen ja Jormuanlahti sekä Mieslahti.

Näistä suunnitelluista loma-asutuksen alueellisista painotuksista on tämän selvityksen mukaan seurauksena rantakasvillisuuden suhteen ongelmia ennen kaikkea Säräisniemi - Käkisaari alueella, siis järven länsiosassa. Tällä alueella kasvillisuus on ilmeisesti lisääntymässä hiekkaisilla rantaosuuksilla. Muilla RA - alueilla kasvillisuus on jo niin vanhaa, että mökin rakentaja on jo muodostanut kantansa siihen ja ainakin osittain hyväksynyt sen. Tämä tulkinta on hyvin karkea eikä siitä voi vetää paikallisia johtopäätöksiä. Kainuun Liitossa valmistuva aineisto rantojen (muutkin kunnat kuin Kajaani) käytöstä on kunnostuksen ja hoidon suunnittelussa hyvin käyttökelpoinen.

Käyttöpainetta mitattaessa voi lähtökohtana olla paikallisen väestön (kantaväestö ja loma-asutus) määrä rannan läheisyydessä. Toinen määritystapa on pääasiassa matkailuyritysten ja esimerkiksi kaavoituksella ohjatun mökkiasutuksen vaikutuspiirit. Näillä kahdella rantojen ja vesien käyttömuodolla on ainakin teoriassa eroja. Voidaan olettaa, että paikallinen väestö tulee toimeen ja pystyy jopa hyödyntämään kasvillisuuden peittämiä rantoja, jos kasvillisuus ei ole merkittävästi lisääntynyt. Tämä pätee ennen muuta sellaisilla alueilla, joissa ranta- ja vesikasvillisuus on luontaisesti peittänyt rantaa. Sen sijaan uudella, rannan vallanneella peittävällä kasvillisuudella on selvästi toimintoja rajoittava merkitys.

Matkailuun liittyvä rannan ja veden massakäyttö on selvästi rantojen kasvittumisesta kärsivä toimintamuoto. Yleinen vetovoimatekijä on "hiekkaranta", "beach" ja siihen liittyvät odotukset. Kasvillisuus koetaan haittana ja epämiellyttävänä asiana. Jos rannan ja veden käyttöön liittyy esimerkiksi vesilintujen metsästystä tai rantavesien kalastusta, siis rantakasvillisuuteen liittyviä toimintoja, ne voidaan hakea hieman kauempaa, luontaisilta kasvillisuuden peittämiltä rannoilta.

Kunnostuksen ja hoidon suunnittelussa ja kohdentamisessa on perusteltua tehdä valinta käyttöpaineen mukaan. Tätä varten on Oulujärven länsi- ja eteläosalta tehty kyläkohtaiset rantakortit, joissa on tiedot käyttäjäpotentiaalista, kaavoituksesta, rannan morfologiasta ja mahdollisen kasvillisuuden muodostumisen syistä. Pohjoisrannalta korttien laatimista ei katsottu tarpeelliseksi rantaosuuksien pienimuotoisuuden ja kasvillisuuden yleisen vanhuuden vuoksi. Rantakortit sekä kartta korttien alueista on liitteenä 2.

Yksittäisen maanomistajan kohdalla mahdollisen haitan poistaminen voi tulla suhteellisesti kalliimmaksi käyttökertoja tai käyttöaikaa kohden verrattuna massakäytön kohteisiin.

4.2 Rantojen luokitus

Järven virkistyskäytön kannalta arvokkaimpia ja parhaita alueita ovat hiekkarannat. Virkistyskäytön määrän ja arvostuksen lisääntyessä hiekkarantojen kas-

vittumiseen on alettu kiinnittää huomiota. Rantojen luokituksen tarkoituksena on etsiä rannat, joiden kasvillisuudesta on haittaa rantojen käytölle ja joille mahdolliset kunnostustoimenpiteet kannattaisi suunnata.

Luokituksessa on otettu huomioon kasvillisuuden ikä, alueen laajuus ja sen maisemallinen merkitys sekä rannan käyttö.

Varsinaisiksi ongelma-alueiksi katsotaan rannat, joiden kasvittuminen on tapahtunut viime vuosikymmeninä ja joiden käytölle on kasvillisuudesta haittaa. Siten tarkastelun ulkopuolelle jäävät ranta-alueet joiden kasvillisuus on ollut vakiintunutta jo ennen säännöstelyn alkua, joiden kasvillisuutta ei tutkimuksessa käytetyillä menetelmillä ollut havaittavissa tai joiden käytön kannalta kasvillisuus on merkityksetöntä tai käyttö on vähäistä. Näillä kriteereillä voidaan kunnostuksen ja hoidon tarpeisiin jakaa rannat kahteen ryhmään.

A. Harjujaksoon liittyvät kasvittuneet hiekkarannat, joiden virkistyskäyttöpaine on suuri.

Selvimmin havaittavaa ja eniten järven rantojen luonnetta ja maisemaa muuttavaa kasvittuminen on ollut Oulujärven läpi kulkevan harjujakson vyöryvien törmärantojen edustoilla ja viereisillä rantatasanteilla. Hiekkarantojen muuttuminen kasvipeitteiseksi kenties monipuolistaa näiden rantojen ilmettä ja eliöstöä, mutta heikentää oleellisesti virkistyskäyttöarvoa mm. katkaisemalla yhteyden järvelle.

Tämän tyypin rantoja ovat ennen kaikkea Manamansalon keskeisen harjualueen läheisyydessä olevat hiekkarannat. Käyttöpaineen mukaan merkityksellisimpänä on pidettävä Martinlahtea, Rytölahden koillisosaa ja Kaaresjärveä.

Puronrannan alue on nopeasti kasvittumassa ja samalla sen mökkikäyttö on lisääntymässä. Soiluanniemen Ärjänselän puoleinen ranta ei ole vaikean kasvillisuusongelman aluetta. Sen sijaan Martinlahden puoleinen rantaviiva on muodostumassa ongelmaksi.

Pohjoisrannalla Pantion alueen kehitys tulee riippumaan hyvin paljon siitä, miten paikallinen törmäkulutus jatkuu; varsinkin Kaaresjärven suun alue on kriittisellä vyöhykkeellä. Sama koskee Kaaresjärven suun ja Lehminiemen välistä aluetta.

Manamansalon rantojen suurin käyttöpaine kohdistuu Metsähallinnon leirintäalueelle Teeriniemessä. Varsinainen ranta kohteen edustalla on kahdella niemellä suljettu osuus, joten mittavaa kasvillisuusongelmaa ei ole odotettavissa.

Rytölahti (Kultahiekka) on Manamansalon toinen suuren käyttöpaineen alue. Lahden koillisrannalle on levinnyt kasvillisuus pääasiassa 1970-luvulla. Leirintäalueelta lounaaseen ranta on kasvillisuudesta vapaa. On ilmeistä, että kasvillisuuden siirtyminen tulevaisuudessa lounaaseen on hidasta. Tätä puoltaa se, että korkean vedenpinnan aikana rantaviivan kerrostumissa tapahtuu riittävästi kulumista prosessien ylläpitämiseksi. Lisäksi Rytölahden lounaisosaan rakennettu kalasatama estää ainesvirran edelleen luontaista reittiä lounaaseen

Nurmenniemen alueelle, joten Rytölahti on muodostunut pitkäksi suljetuksi rantaosuudeksi. Kalasataman vaikutuksesta Nurmenniemen kärjen kuluminen kiihtyy korkean vedenpinnan aikana.

Paltaniemen ranta on paikallisen väestön (Kajaani, Paltaniemi) vuoksi suuren käyttöpaineen kohde. Lisäksi alueen kulttuuriperinne lisää osuuden merkitystä. On kuitenkin luultavaa, että suurin paine purkautuu nykyisen tilanteen vallitessa venesataman kautta järvelle. Varsinaisiin hiekkarantatoimintoihin alue ei sovellu lukuunottamatta kapeaa kunnostettua vyöhykettä. Lisäksi on ilmeistä, että ainakin pieni osa Kajaanin väestön käyttöpaineesta jakautuu laajemmalle alueelle kesämökkien kautta.

Paltaniemen rantavyöhyke on prosessien kannalta itäosan Kiviniemen aluetta lukuunottamatta avoin; törmäkulutuksen vapauttama aines on päässyt kulkeutumaan Kiviniemen kainaloon kiihdyttäen osaltaan kasvillisuuden leviämistä.

Hannusranta on myös avoin Jormuanlahden suun suuntaan. Hienosta materiaalista ja loppuneesta törmäkulutuksesta johtuen kasvillisuuden leviäminen on ollut nopeaa. Rannan käyttö on tehokasta runsaan asutuksen, peltoviljelyn ja suuren mökkitiheyden vuoksi.

Säräisniemen pohjoisrannan paikalliset kasvillisuusvyöhykkeet eivät vielä merkittävästi haittaa rantojen käyttöä. Matkailukäyttö on laajenemassa, mutta matkailuyritysten alueelle kohdentamiin investointeihin nähden kasvillisuuden poisto ei kuitenkaan ole merkittävä menoerä.

B. Virkistyskäyttöarvoltaan vähäisemmät kasvittuneet hiekkarannat

Kasvillisuuden ongelmat tässä luokassa vastaavat ensimmäisen luokan ongelmia, mutta rantaosuuksien lyhyyden ja vähäisemmän virkistyskäytön, pääasiassa yksityisen loma-asutuskäytön, vuoksi rantojen merkitys koko järven kannalta ei ole niin suuri kuin harjualueeseen liittyvien hiekkarantojen.

Rantatyyppi esiintyy ennen kaikkea Oulujärven lounais- ja eteläosalla Säräisniemeltä Vuoreslahteen. Rannat ovat muodostuneet joko moreeni- tai silttiainekseen. Aallokon huuhtelu on ollut riittävää irrottamaan hiekkalajitteita niin paljon, että ranta täyttää "hiekkarannan" kriteerit aineksen ominaisuuksien osalta.

Lounaisranta on maaperänsä puolesta hienoainespainottunut. Maalajin ravinteikkuuden ja rantaviivan rikkonaisuuden vuoksi kasvillisuudella on hyvä ympäristö levittäytyä. Tästä perustyypistä on periaatteessa lyhyt matka jo vuosisadan alussa kasvillisuuden peittämiin rantatyyppeihin.

4.3 Ranta- ja vesikasvillisuuden merkitys

Ranta- ja vesikasvillisuuden lisääntymisen luonnostaan karussa Oulujärvessä voidaan katsoa laajentaneen lintujen ja kalojen elin-, ruokailu- ja lisääntymisalueita, hidastaneen eroosiota, sitoneen ravinteita ja kiintoainesta sekä mo-

nipuolistaneen maisemaa. Lisäksi rantatasanteen kasvillisuus vaimentaa aallokon tehoa ja siten estää törmien kulumista korkean vedenpinnan aikana. Tästä tosin seuraa edelleen prosessien kokonaisvaltainen hidastuminen ja kasvillisuuden leviämismahdollisuuksien lisääntyminen.

Ongelmalliseksi kasvittuminen voidaan katsoa silloin, kun se liian rehevänä on haitaksi elinkeinojen harjoittamiselle ja myös vapaa-ajan vietolle. On myös huomioitava mahdollinen haitta eläimistölle ja luontaiselle kasvillisuudelle (ks. Laikari 1976).

Tässä arvoasettelussa on huomattava kolme näkökulmaa:

1) Verrataanko nykyistä tilannetta luonnontilaiseen vallitsevuuteen vai nykyisen ranta- ja vesikasvillisuuden tilannetta alueellisesti. 2) Arvostuksessa on myös otettava huomioon aikakysymys. Nuori käyttäjäsukupolvi on jo oppimassa elämään "kasvillisuusongelman" kanssa. 3) Vielä yhtenä näkökulmana on se, että luonnontilaisessakin Oulujärvessä osa käyttäjistä joutui elämään rantakasvillisuuden kanssa, ottamaan siitä myös hyötyä, ja osa sai tottua toimimaan hietikoiden keskellä.

5 KASVILLISUUDEN POISTON MENETELMÄT

5.1 Katsaus erilaisiin menetelmiin

5.1.1 Yleistä

Vesi- ja rantakasvillisuuden poisto on yleinen tapa parantaa rantavyöhykkeen käyttömahdollisuuksia. Kasvillisuuden poistokokeiluja on tehty eri puolella Suomea ja tulokset ovat olleet lupaavia etenkin ilmaversoisten kasvien osalta. Oulujärvi suuren kokonsa ja säännöstelykäytäntönsä vuoksi tarjoaa kuitenkin ekologisilta olosuhteiltaan ympäristön, jossa yleisiä menetelmiä ei voi soveltaa, mutta toisaalta eräät erikoismenetelmät ovat käyttökelpoisia. Seuraavassa esitetään keskeisimmät maassamme käytetyt kasvillisuuden poistomenetelmät (Nybom ym. 1991), jotka ovat ainakin osittain käyttökelpoisia Oulujärvellä. Oulujärvelle soveltuvat erikoismenetelmät esitetään tarkemmin kohdassa 5.2.

5.1.2 Vedenpinnan nosto

Kaikille yhteyttäville kasveille tärkeä valo on vedessä ensisijainen kasvupaikkatekijä. Valon määrä ja voimakkuus vähenee nopeasti ja valon koostumus muuttuu veden väristä ja sameudesta riippuen vesisyvyyden kasvaessa. Vedenpinnan nostolla voidaan kasvillisuuden esiintymisaluetta tehokkaasti rajata. Upos- ja pohjalehtiset kasvit kasvavat vedenpinnan alapuolella, joten vedenpinnan nosto supistaa niiden kasvualaa suoraviivaisesti. Samoin ilmaversoisten kasvien (esim. järviruoko ja -korte) esiintymisalue on tarkoin riippuvainen vesisyvyydestä; ne eivät pysty juuriston vararavinnon turvin nostamaan versojaan paksun vesikerroksen läpi. Sen sijaan kelluslehtiset kuten ulpukat ja palpakot ovat äärimmäisen sopeutumiskykyisiä ja pystyvät mukautumaan vaihteleviin vedenkorkeuksiin.

Nostoa edeltävä vesikasvien mekaaninen poisto tehostaa noston vaikutusta. Niitto voidaan toistaa useana kesänä, mutta yhdelläkin on jo kasvillisuutta tukahduttava vaikutus. Matalassa vedessä niiton vaikutusta voidaan tehostaa rikkomalla vesikasvien juuret. Mikäli kasvillisuutta halutaan harventaa tai poistaa pelkällä vedennostolla, on tärkeää tuntea kohteen kasvillisuus ja eri lajien nykyiset kasvusyvyydet sekä veden väri, sameus ja näkösyvyys.

Tarkkaa ohjetta tarvittavasta vedennostosta on hyvin vaikea antaa. Ensiksi on tiedettävä, minkä kasvilajin elinaluetta halutaan supistaa. Linjatutkimuksilla tulisi kartoittaa tärkeimpien lajien kasvusyvyys, ja vedenlaatuaineistosta tulisi selvittää tärkeimmät veden valoilmastoon vaikuttavat tekijät. Kasvillisuuden ulkoraja siirtyy useimmissa tapauksissa vedenpinnan noston verran rannemmaksi, jolloin kasvillisuudelle sovelias ranta-alue pienenee. Kaikissa tapauksissa ei kuitenkaan syvyys ole ainoa kasvillisuuden ulkorajaa määräävä tekijä.

Voidaan kuitenkin sanoa, että alle 0,5 metrin kasvukautista keskiveden nostoa ei kannata suunnitella. Tavoitteena tulisi olla nykyisten suurimpien kasvusyvyyksien lisääminen 0,5 - 1 metrillä. Käytännössä veden noston suuruuden määräävät muut tekijät, kuten rantojen nykyinen ja tuleva käyttö, omistussuhteet, mahdolliset pengerrykset, lunastukset, korvaukset jne.

Heti vedennostoa seuraavina vuosina juurelliset vesikasvit - ellei niitä ole ennakkoon poistettu - voivat vielä kasvaa pintaan asti. Samanaikaisesti odotettavissa oleva veden ohimenevä sameneminen ja lisääntyneen huuhtoutumisen seurauksena oleva planktonin runsastuminen eivät tässä ajassa häiritse vesikasvien kasvua. Siellä, missä uudelta rantavyöhykkeeltä puuttuu kasvillisuus, kehittyy talvella vahva jää, jonka kuluttava vaikutus kevättalvella ja keväällä hidastaa uuden vesi- ja rantakasvillisuuden kehittymistä.

Vedenpinnan nosto soveltuu käytettäväksi vain hyvin pienikokoisten järvien kunnostuksessa. Erityisesti siinä tapauksessa, kun järven vedenpintaa on aikaisemmin laskettu ja vanha rantavalli on selkeästi näkyvissä, on vedennosto eräs parhaimmista vaihtoehdoista.

Vedenpinnan nostoa ei Oulujärvellä sanan varsinaisessa merkityksessä voida toteuttaa, koska allas on erittäin suuri, rannat laakeita ja tiheästi asuttuja. Lisäksi vedenpinnan nosto aiheuttaisi laajoja eroosio-ongelmia lajittuneesta aineksesta koostuneilla rannoilla. Sen sijaan säännöstelyssä tulisi pyrkiä mahdollisimman korkeaan kesäveden tasoon, joka tosin huonoina vesivuosina ei ole mahdollista. Korkea kesävedenpinta supistaa merkittävästi kasvillisuuden esiintymisaluetta, kuten esim. Anttonen-Heikkilä (1982) Oulujärven kasvillisuustutkimuksissa toteaa. Suurempi merkitys on kuitenkin korkean kesäveden käynnistämillä rantaprosesseilla, joiden vaikutusta on selostettu tarkemmin seuraavassa kohdassa.

5.1.3 Niitto

Vesikasvien niitolla tarkoitetaan niiden leikkaamista kasvupaikastaan ja keräämistä. Niiton tavoitteena on poistaa ylimääräistä, "häiritsevää" vesikasvillisuutta tietyistä, ennalta määrätyistä vesistön osista, esimerkiksi uimarannoilta,

väylistä, jokisuista. Vesikasvien niitolla on seuraavat edut muihin poistokeinoihin verrattuna:

- Niitto on suhteellisen halpaa.
- Niittoa voivat toteuttaa rannanomistajat omin voimin.
- Käsiteltävä alue on helposti rajattavissa.
- Vesikasvien niittoon ei yleensä tarvita muita lupia kuin vesialueen omistajan suostumus.
- Niitto ei yleensä aiheuta haittaa vedenlaadulle, vesiluonnolle tai vesistön muille käyttäjille, varsinkaan jos leikkuujäte poistetaan huolellisesti.

Vesikasvien niitolla on seuraavia haittapuolia:

- Niiton tulos on pitkällä tähtäyksellä väliaikainen, ellei poisteta kasvien lisääntymiseen johtaneita syitä, kuten vesistön rehevöitymistä tai vedenpinnan laskua.
- Vesikasvien eri elomuodot vaativat osittain erilaisen poistotekniikan, eikä niitto sovellu niille kaikille.
- Leikattu kasvimassa on kerättävä ja poistettava vedestä, mikä usein on huomattavasti työläämpää kuin itse leikkuu.
- Aika, jona vesikasvien niitto on vaikutukseltaan tehokkainta, on lyhyt, noin yksi kuukausi heinäkuun puolivälistä elokuun puoliväliin (Nybom 1988).
- Niitetyn kasvuston tilalle voi ilmestyä muita, vielä vaikeammin torjuttavia vesikasvilajeja (Nybom 1988).
- Kasviplanktonin lisääntyminen, kun suurvesikasveilta käyttämättä jääneet ravinteet koituvat planktonin hyödyksi.

Vesikasvien niittoon on kehitetty useita konetyyppejä. Yksinkertaisimmissa ja pienimmissä veneen sivulla tai edessä on leikkaava terä, joka katkaisee kasvit laitteen kulkiessa eteenpäin. Kasvimassa kerätään samalla veneellä, jos siinä on haravointilaite, tai erillisellä haravointiveneellä. Niittokoneet soveltuvat parhaiten ilmaversoisten kasvien poistoon. Uposkasvien poistoon on käytettävä sellaista leikkaavaa konetta, joka välittömästi leikkuun yhteydessä kerää vedestä koko leikatun massan tai imuruoppaajaa.

Niiton vaikutus käsiteltyyn vesikasvustoon riippuu seuraavista tekijöistä (Nybom 1988):

- Niitettävä kasvilaji: järvikorte on kokeissa saatu häviämään neljän - kuuden niittokerran jälkeen niitettäessä kerran kesässä, järviruoko ja järvikaisla noin neljän, haarapalpakko kolmen ja osmankäämi yhden tai kahden niittokerran jälkeen. Kelluslehtisistä on saatu vaihtelevia tuloksia. Yleensä ne ovat niittämällä vaikeasti poistettavia.
- Vesikasvuston tiheys: tiheä kasvusto häviää hitaammin kuin harva.

- Vesisyvyys: kuta syvempää, sitä suuremmat edellytykset niitolla on onnistua.

- Veden laatu: runsasravinteisuus hidastaa niiton tehoa.

- Niittokertojen lukumäärä: useampi leikkuu samana kesänä on yhtä leikkuukertaa tehokkaampaa.

- Niiton ajankohta: niitto tehoaa parhaiten, kun kasvin ravinnemäärä on suurimmillaan versossa (heinäkuun puolivälin ja elokuun puolivälin välinen ajanjakso).

- Niittokone: pienehköt koneet tehoavat ilmaversoiskasvustoihin, mutta vaikutus uposkasvustoissa voi olla jopa kasveja lisäävä.

Mikäli edellä kuvatut vesikasvien niiton onnistumisen edellytykset ovat olemassa, ovat sen lyhytaikaiset (0 - 2 vuotta) vaikutukset itse kasvustossa seuraavat:

- Niitetyn kasvillisuuden harveneminen jokaisen niiton jälkeen ja yksittäisten kasviyksilöiden koon pieneneminen.

- Niitetyn kasvuston korvautuminen muilla lajeilla. Pohjaan juurtuneen kasvillisuuden olosuhteet eivät oleellisesti muutu (Björk 1967); yleisin muutos on ilmaversoiskasvuston korvautuminen kelluslehtisillä, koska kelluslehtiset niittoa paremmin sietävinä säilyvät. Myös uposkasveja (esim. sammalia) saattaa nopeasti lisääntyvinä ja leviävinä ilmestyä niiton jälkeen, samoin suuria kasviplanktonmassoja (Björk 1967, Nybom 1988).

- Aallokon tehostunut vaikutus rantaan eli eroosion lisääntyminen ja sedimentaation väheneminen niitetyllä alueella.

Niitto soveltuu parhaiten siis pienialaisten ranta-alueiden hoitoon ja sitä käytetäänkin erittäin usein uimarantojen ja mökkirantojen kasvillisuuden poistomenetelmänä. Mikäli rannan ekologiset olosuhteet eivät muutu, kyseessä on kuitenkin vain jonkinasteinen ensiapu, jolloin tilanne palaa entiselleen lähitulevaisuudessa.

Oulujärvellä saattaa niitto vaikuttaa myös rannan ekologisia olosuhteita muuttavasti avoimilla rannoilla. Kasvillisuuden poistamisen myötä aallokko voi aloittaa eroosioprosessit uudelleen, jolloin ainesta kulkeutuu ulospäin ja rannan uloimmat osat syvenevät. Syveneminen johtaa kasvillisuuden elinolosuhteiden huononemiseen ja toisaalta aallokon vaikutuksen tehostumiseen rantavyöhykkeellä, joka entisestään lisää eroosiota.

5.1.4 Ruoppaukset

Ruoppausmenetelmät soveltuvat vesikasvien poistoon silloin, kun niittoa ei voida käyttää tai kun halutaan pysyvä tulos. Tyypillisiä tapauksia ovat erittäin tiheät ilmaversoiskasvustot, joiden kasvualusta on järven pohjalta pintaan asti ulottuvaa tai pinnalla kelluvaa, turpeen kaltaista massaa. Ruoppaus soveltuu myös ilmaversoisten ja kelluslehtisten juurakoiden poistoon. Ulpukoiden ja lumpeiden kohdalla ruoppaus on miltei ainoa tehokas menetelmä. Etuna niittoon

on se, että tulos on varmempi ja pysyvämpi, sekä se, että useimmiten yksi ruoppauskerta riittää. Niittoon verrattuna kielteistä ovat ruoppauksen kalleus, työnaikainen veden samentuminen sekä muulle luonnolle aiheutuvat suuremmat ja äkillisemmät muutokset.

Vesikasvien ruoppauksessa voidaan käyttää tavanomaisia menetelmiä ja välineitä, kuten mekaanisia ja hydraulisia veto- ja kuokkakaivukoneita. Talvella työskentelyalaa voidaan laajentaa kaivamalla jään päältä (jäätä voidaan vahvistaa). Erityisesti soistuneita ja tiheitä kasvustoja varten on viime vuosina kehitetty muutamia uusia laitteita ja menetelmiä (Nybom 1988):

- Ns. Sauerman-menetelmä. Tavallisesta laahakaivukoneesta on kehitetty kelluvalla laahakauhalla varustettu laitteisto, jolla pystytään poistamaan vesikasvustoa ja turvelauttoja usean sadan metrin levyisestä vyöhykkeestä.

- Uiva kaivuri, jossa ponttoonilohkoista rakennetulla lautalla on etuosassa kaivulaite. Työskentely tapahtuu kaivamalla maata tai turvetta koneen edestä. Kone ui kaivamassaan uomassa. Kaivumassat nostetaan uoman reunoille. Kone soveltuu rajoitetusti myös vesikasvien juurien irrottamiseen ja turvelauttojen työntämiseen rannalle.

- Pumppukauharuoppaaja. Laitteen runko on alus, jonka etuosassa olevaan kaivulaitteeseen voidaan kiinnittää kaivukauha, pumppukauha tai hara. Pumppukauhalla voidaan poistaa soistunutta vesikasvillisuutta, vesikasvien juurakkoja ja tiheää uposkasvillisuutta. Haralla voidaan poistaa uposkasvillisuutta, irrottaa vesikasveja juurineen 0,5 m:n pohjan syvyyteen asti sekä kerätä irrotettua kasvimassaa. Kaivukauhalla massa voidaan nostaa rannalle.

- Kahmaruoppaaja. Alas laskettavalla kauhalla kaivetaan pohjasta kauhaan mahtuva määrä massaa, joka välittömästi kuljetetaan rantaan. Kokemukset vesikasvien poistosta kahmarilla ovat toistaiseksi vähäiset.

- Tavallista imuruoppausta on käytetty vesikasvien poistoon muun ruoppauksen yhteydessä. Uudempien imuruoppaajien paremman tehon ja imuputken suulla olevan jyrsimen ansiosta tukkeutumisongelmia ei pitäisi esiintyä. Imuruoppaus ei sovellu saraikon, sen sijaan kyllä esimerkiksi kortteen, ulpukan ja lumpeen poistoon.

Ruoppauksen kiistattomiin haittapuoliin kuuluu sen kalleus; olosuhteista riippuen ruoppauskustannukset ovat 20-30 mk m^{-3}. Ongelmana on myös löytää sopiva läjitysalue erityisesti imuruoppausta käytettäessä. Läjitetyt ainekset tulee myös sijoittaa siten, etteivät ravinteet ja liete pääse valumaan takaisin vesistöön ja toisaalta myös läjitysalueen maisemoinnista ja/tai kasvittamisesta tulee huolehtia. Ruoppaus sopiikin menetelmänä vain hyvin rajatuille alueille. Oulujärvellä ruoppauksia on suoritettu yleisesti lähinnä yksityisten toimesta venevalkamien ja uimarantojen raivaamiseksi. Usein työ on tehty keväällä kuivatyönä puskutraktorien avulla (kts. kohta 5.2). Ruoppaukset ovat olleet yleensä kuitenkin hyvin pienialaisia, jolloin ainakin avoimilla lajittuneesta aineksesta koostuneilla rannoilla ne vaativat uusimista säännöllisin väliajoin.

5.2 Rannan muokkauskokeilun perusteet

Edellisessä kohdassa kuvatuista menetelmistä erityisesti ruoppaus ja niitto soveltuvat myös Oulujärvelle. Järven suuruudesta ja erityisluonteesta (laakeat rannat, säännöstelty) johtuen siellä voidaan kokeilla myös kasvillisuuden poistomenetelmiä, jotka eivät muille järville sovellu. Kyntämisellä pyritään siihen, että kasvillisuuden aallokkoa estävä vaikutus poistetaan ja rannan luontaiseen kehitykseen kuuluva hiekan liikkuminen käynnistetään uudelleen. Aallokon virtausten irrottaman hiekka peittää kerrostuessaan kasvillisuutta ja toisaalta pohjan kuluminen irrottaa ainakin osan kasvillisuudesta.

Muokkauksen laukaisema aineksen liikkuminen edellyttää, että avattu rantaosuus on ainakin osan avovesikautta riittävän vesikerroksen peittämä, jotta aallokon aiheuttama virtaus saavuttaisi riittävän nopeuden. Ilman massojen poistamista, siis rannan syventämistä, ei kuitenkaan ole mahdollista teoriassakaan päästä samalle prosessitasolle kuin luonnontilaisen korkeamman vedenpinnan vallitessa.

6 MAASTOKOKEIDEN TULOKSET

6.1 Aallokkomittaukset

Aallokon toiminnassa on mahdollista erottaa useita eri energiamuotoja. Yleisesti käytetään Airy'n aaltoteoriasta johdettua energiaa pinta-alayksikköä kohden. Tällä menetelmällä saadaan laskettua yleinen energiamäärä, jonka merkitys prosesseihin on vaikea määrittää. Hyvin monien tekijöiden vaihdellessa on mahdollista kuitenkin esittää Airy'n aaltoenergia kaavalla:

$$E = \frac{\rho g H^2}{8} \qquad (1)$$

Jossa E = aaltoenergia
ρ =veden tiheys
g =9,81 m/s^2
H =aallon korkeus

(Esim. Brydsten 1985; ks.Eagleson - Dean 1966).

On olemassa lukuisia muitakin energian määritysmenetelmiä. Suoraviivaisimpana voitaneen pitää aallokon aiheuttaman veden kehävirtauksen nopeuden mittausta (katso kaavat 4-5).

Virtausnopeuden kaavan soveltamisessa on huomattava, että monien muuttuvien tekijöiden vuoksi tulokset ovat suuntaa antavia, eivät välttämättä tapauskohtaisesti pitäviä. Rantakohtaisen aaltomallin laatiminen vaatii paljon mittauksia ja niiden tulosten soveltamista.

Kehävirtauksen horisontaalikomponentin nopeudesta (kaavat 4-5) riippuu lähinnä se, miten vedenalaisella pohjalla tapahtuu kulumista ja aineksen kerrostumista suhteessa pohja-aineksen raekokoon. Näin voidaan määrittää karkeasti eri prosessivyöhykkeet. Edellä mainittu energian kokonaismääritys (1) kuvastaa puolestaan ennen muuta sen energian määrää, joka päätyy vesirajalle aiheuttamaan huuhteluvirtausta ja siten esimerkiksi törmäkulutusta. Tässä kokeilussa pohjan prosesseja aiheuttava veden virtausnopeus on katsottu tärkeäksi, siksi vesirajan huuhtelun kuluttavaan vaikutukseen ei juurikaan kiinnitetä huomiota.

Oulujärvellä esiintyy noin 10 m/s:n tuulia varsin harvoin (vain noin 0.5 % havainnoista, siis noin yksi päivä avovesikaudesta). Näin voimakkaat tuulet puhaltavat yleensä lännen ja luoteen suunnista. Yli 5 m/s:n tuulet puhaltavat etelästä ja lounaasta ja niiden yleisyys on noin 15 % havainnoista. Kesän 1991 tuulihavainnot Kajaanin lentokentältä esitetään kuvassa 6. Kesän aikana ei ollut yhtään kovatuulista päivää (tuulennopeus 14 m/s) eikä myrskypäivää (tuulennopeus 21 m/s) Jos laskennan lähtökohtana pidetään näin ääreviä olosuhteita, on luultavaa, että energiataso yliarvioidaan.

Toisaalta on olemassa havaintoja, joiden mukaan prosessit käynnistyvät vain voimakkailla tuulilla; suurimman osan avovesikaudesta rannoilla ei tapahdu käytännöllisesti mitään; prosessit painottuvat kesäisiin ukkosmyrskyihin ja syysmyrskyihin.

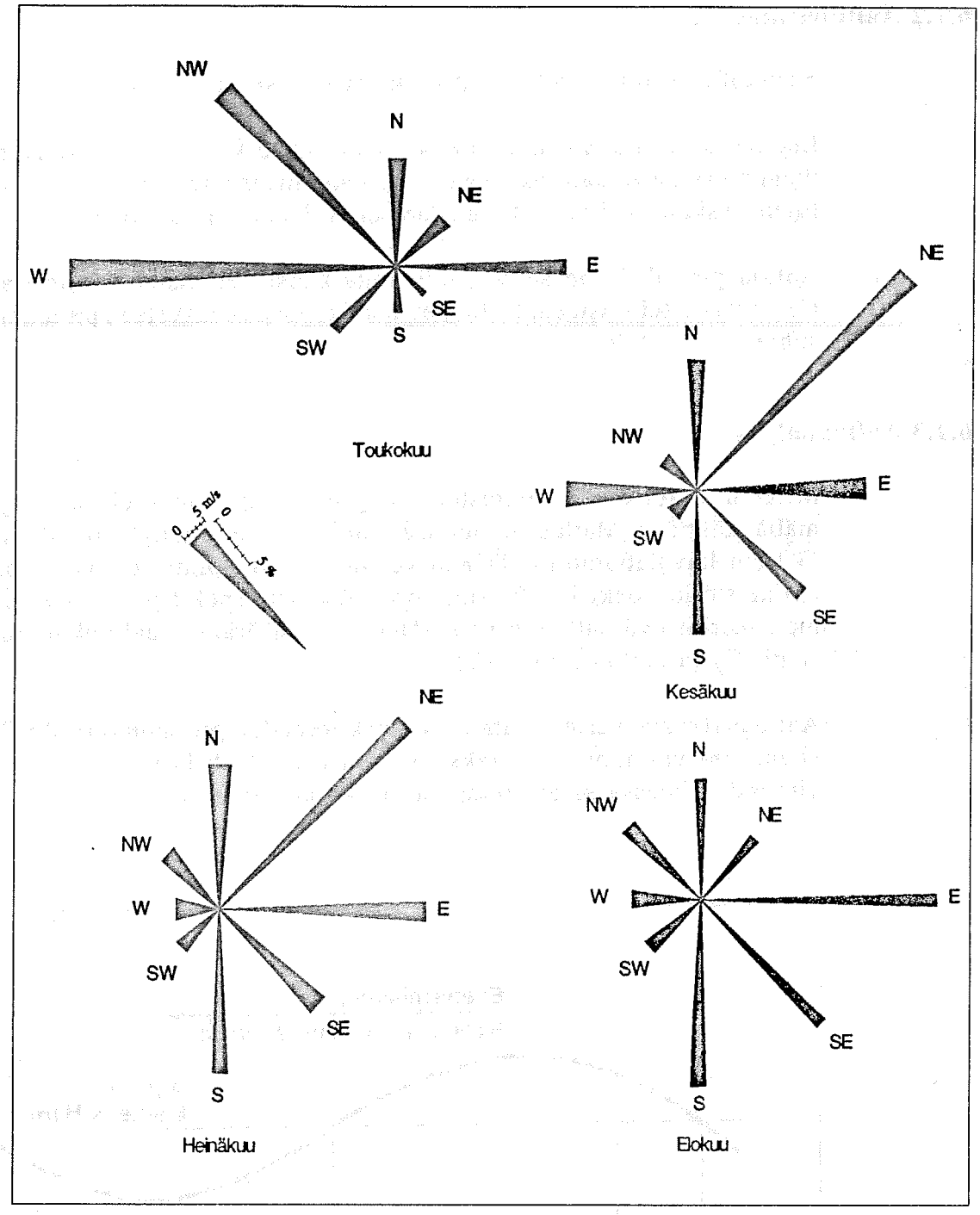
6.1.1 Mittausaineisto

Oulujärvellä mitattiin kesällä 1991 seitsemässä havaintopaikassa yhteensä 92 mittaussarjaa, jotka käsittivät samanaikaisen aallonkorkeuden ja pohjan tuntumassa tapahtuvan virtausnopeuden mittauksen. Anturit rekisteröivät 8 mittausta sekunnissa ja jokainen sarja käsitti 125 sekunnin pituisen jakson. Oulujärvellä suoritettujen mittausten tavoitteena oli pohjan tuntumassa tapahtuvien virtausten määrittäminen tuuli- ja aaltoparametrien sekä rannan mittasuhteiden avulla

Pinta-anturilla (AN1) mitattiin vedenkorkeuden vaihtelu millivoltteina. Lukemat muutetaan metreiksi jakamalla tulokset 600:lla. Kaavakuva mittauslaitteistosta on liitteenä 3.

Virtausnopeusanturilla (AN2) mitattiin nopeus järven pohjassa n. 5 cm pohjan yläpuolella sekä rantaa kohti (+) että rannasta poispäin (-) tapahtuvana liikkeenä. Anturin kalibrointikäyrän avulla mitattu jännite (y, mV) muutettiin nopeuksiksi (x, m/s) seuraavan yhtälöryhmän (2) mukaan:

$$y = \begin{cases} (\sqrt{x}-\sqrt[3]{x})/37.5 & ;0 \le x \le 260 \\ 0{,}00042x + 0{,}1495 & ;260 < x \le 360 \\ 0{,}00025x + 0{,}21 & ;360 < x \le 460 \\ \sqrt{x}/66 & ;460 < x \le 702 \\ (x-702)^2/10^4 + 0{,}4 & ;x \le 840 \end{cases} \qquad (2)$$



Kuva 6. Tuuliruusut kesäkuukausilta vuonna 1990 Kajaanin lentoaseman tuulihavainnoista. Sakaran pituus kuvaa tuulten lukuisuutta (%), 1 cm = 5% ja kärjen leveys keskinopeutta (m/s), 1 mm = 1 m/s.

6.1.2 Aaltoparametrit

Säännöllisen pinta-aallon mittasuureet on esitetty kuvassa 7.

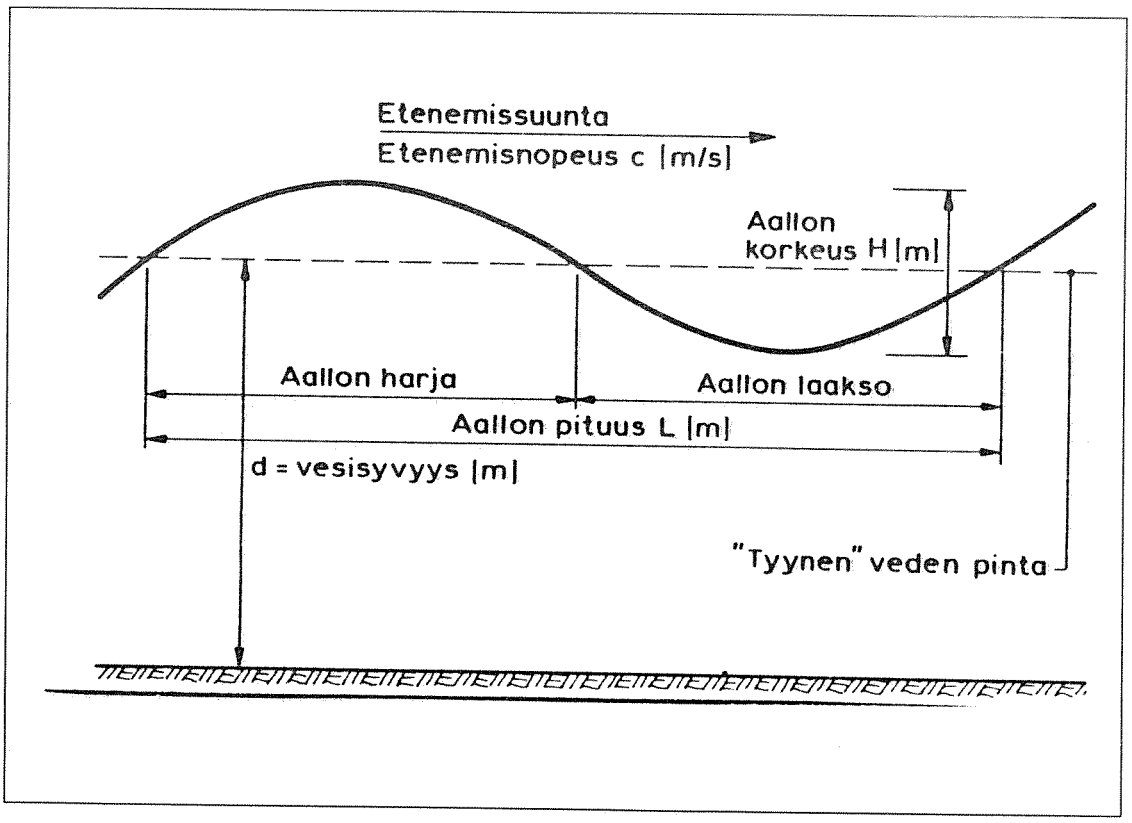
Luonnossa esiintyvästä aallokosta voidaan tärkeänä aaltoparametrina mainita vielä merkitsevä aallonkorkeus H_S , joksi määritetään niiden korkeimpien aaltojen keskiarvo, joiden lukumäärä on 1/3 kaikista aalloista.

Aallon periodi T on se aikaväli, jona kaksi peräkkäistä aallonharjaa ohittaa tietyn tarkastelupisteen. Aallon etenemisnopeus c lasketaan pituuden ja periodin suhteena c = L/T.

6.1.3 Aaltoanalyysi

Mitatun aallonkorkeusaineiston analysointi tapahtui spektrianalyysimene-telmällä käyttäen Matlab -ohjelmaa, jonka on kehittänyt DI Göran Granholm (VTT:n laivalaboratorio/TKK:n vesirakennuslaboratorio). Ohjelma tekee aaltoaineistolle spektrianalyysin, josta saadaan spektriparametreina tulostettua mm. merkitsevä aallonkorkeus (H_S), keskimääräinen aallonkorkeus (H_m), periodi (T) ja aallon pituus (L).

Aaltoanalyysiä varten mitatut vedenkorkeudet piti muuttaa ASCII muotoon siten, että vasemmassa sarakkeessa on aika (0, 0,125, 0,250,...,125s) ja ajan vieressä oikeassa sarakkeessa aallon korkeustaso (m).



Kuva 7. Aallon mittasuureet (RIL 1983).

Kuvissa 8-11 on yhden mittaussarjan (MAHA37) aaltoanalyysistä tulostettua grafiikkaa. Mittaushetken aallokon ominaisuuksia kuvaavat parametrit:

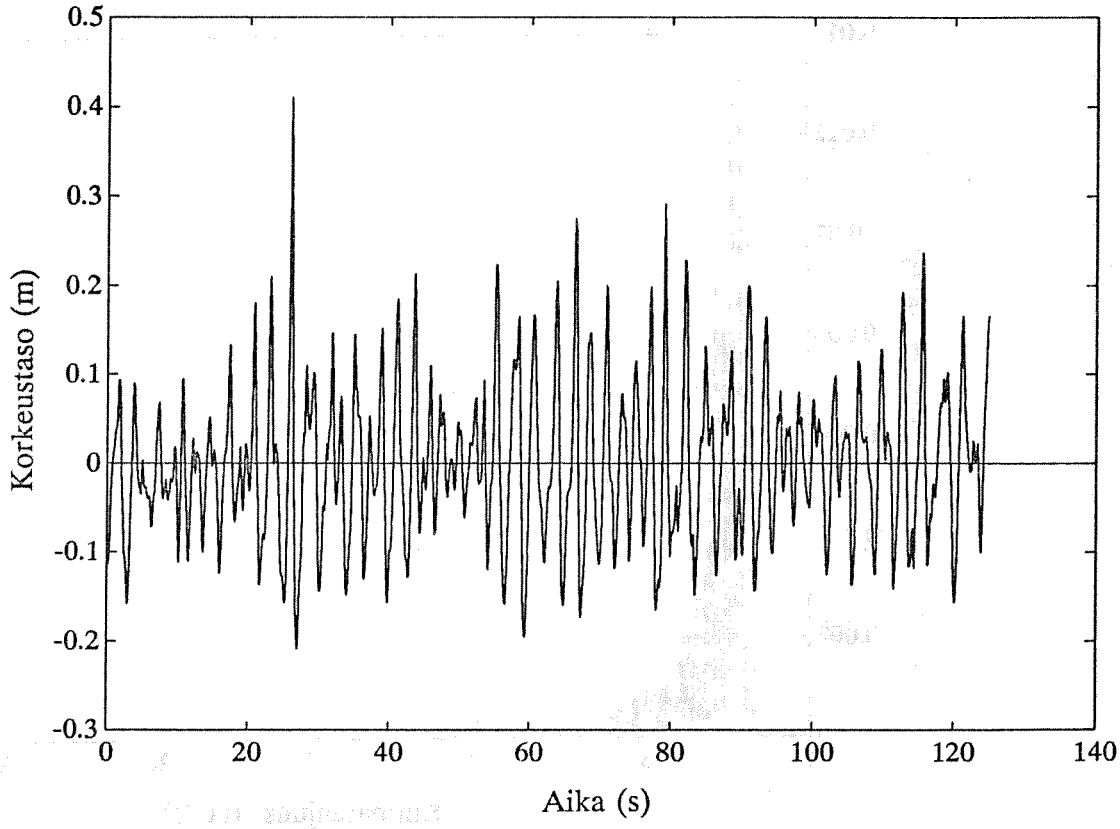
Hs = 0,349 m, T = 2,025 s, L = 2,396 m.

Oulujärvellä mitatut sarjat olivat ehkä liian suppeita (muutamat mittaussarjat käsittivät vain noin 60 aaltoa) tarkkaan analyysiin, mikä saattaa vaikuttaa heikentävästi joidenkin parametrien luotettavuuteen. Syynä sarjojen lyhyyteen oli käytettävissä olleen loggerin suppea talletustila; käytännön työskentelyä varten loggerille oli sovittava viiden mittauksen sarja ennen purkamista rannalla olleeseen PC- tietokoneeseen. Valitulla mittausajalla (125 s) tämä menettely oli mahdollista.

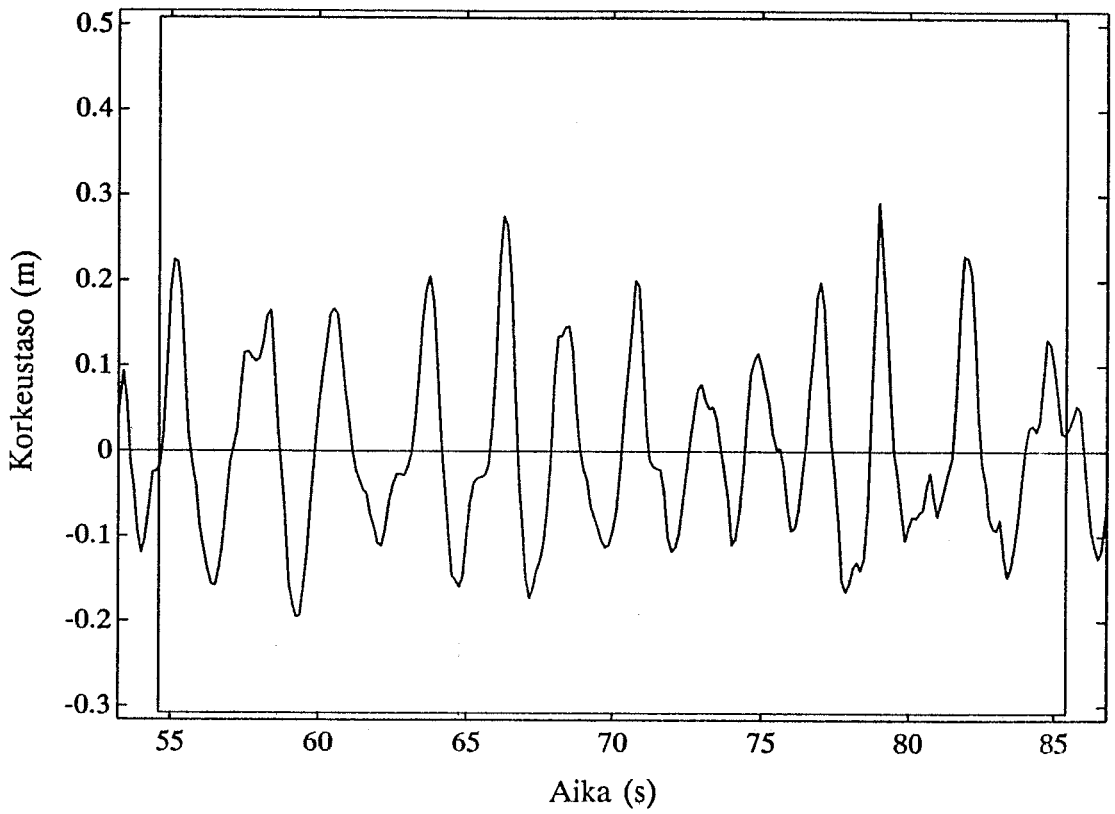
6.1.4 Virtausnopeuden laskeminen aaltoparametreista

Aaltoanalyysistä saatuja parametreja käytettiin maksimivirtausnopeuden laskemiseen lineaarisesta aaltoteoriasta johdetun yhtälön avulla (esim.Brydsten 1985, Huntley - Bowen 1975, Keränen 1985a, Raudkivi 1976; hyberbolifunktion (sinh) käytöstä ks. esim. Eagleson & Dean 1966: 25).

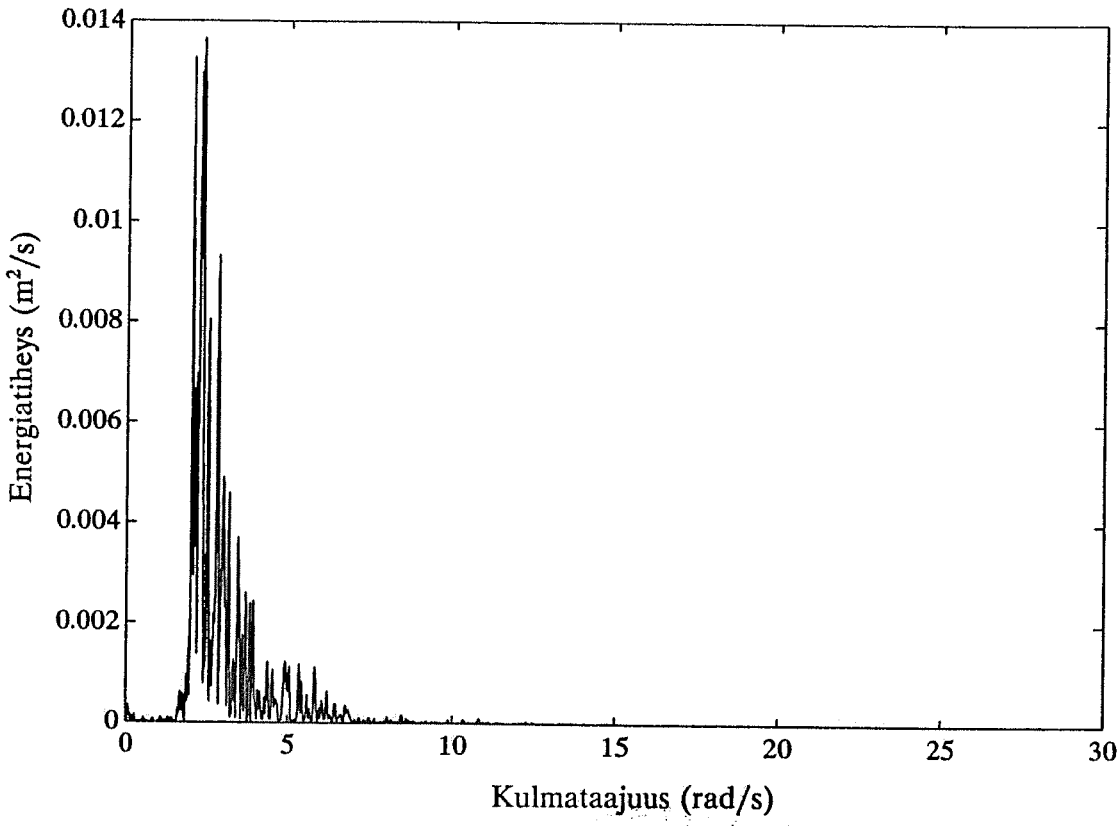
Tässä yhteydessä on syytä huomioida, että lineaarinen (pieniamplitudinen) aaltoteoria perustuu säännöllisen sinimuotoisen aallon (maininki) etenemiseen, joten sen soveltaminen epäsäännölliseen luonnossa esiintyvään epästabiilien olosuhteiden aallokkoon on vain suuntaa antavaa.



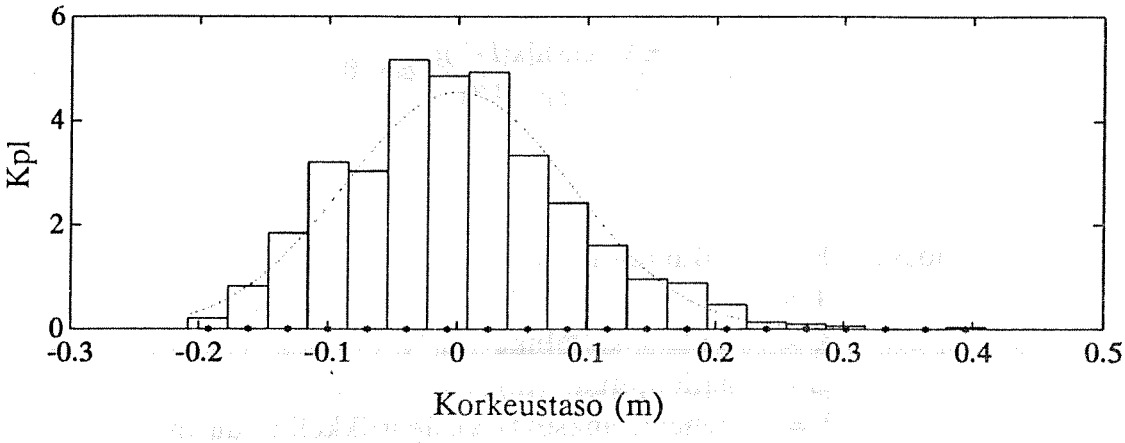
Kuva 8. Aallokon aikahistoria mittauksesta MAHA37 (liite 4).



Kuva 9. Kuvassa 8 esitetyn aallokon aikahistorian suurennus.

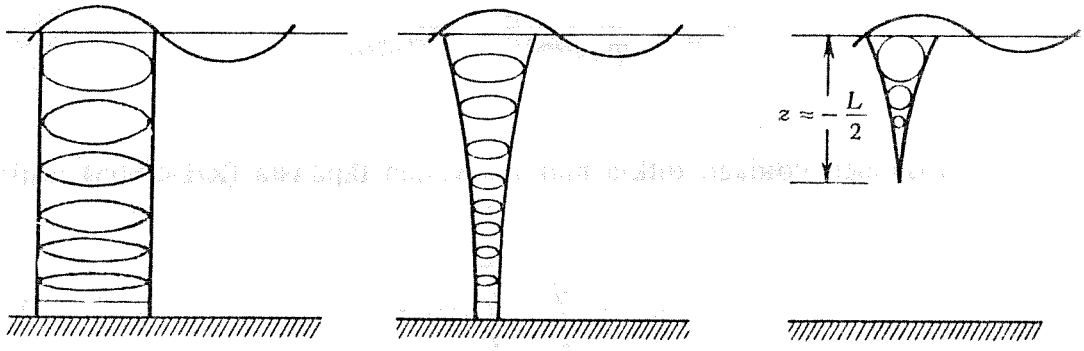


Kuva 10. Aallokon spektri mittauksesta MAHA37 (liite 4).



Kuva 11. Aaltojen jakauma mittauksesta MAHA37 (liite 4).

Aallokon aiheuttamassa virtauksessa nestepartikkelit liikkuvat syvän veden aalloissa (vesisyvyys (Z) / aallonpituus (L) >0,5) ympyrärataa, joka pohjan madaltuessa muuttuu ellipsin muotoiseksi (kuva 12).



Matala vesi (Z/L<00,5) | Siirtymävyöhyke (0,05<Z/L<0,5) | Syvä vesi (Z/L>0,5)

Kuva 12. Nestepartikkelin liikeradat aaltoilussa eri eri syvyysvyöhykkeillä (Eagleson & Dean 1966).

Aallon aiheuttamaa nestepartikkelin liikettä kutsutaan veden kehävirtaukseksi. Kehävirtauksessa voidaan nestepartikkelin liikkeen horisontaalikomponentti esittää lineaarisen aaltoteorian mukaan muodossa

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh[k(l+Z)]}{\sinh(kZ)} \cos\theta \qquad (3)$$

jossa H = aallonkorkeus (m)
T = aallon periodi (s)
k = $2\pi/L$ = aaltoluku (m^{-1})
L = aallonpituus (m)
l = kehävirtauksessa vesipartikkelin suurin pystysuora etäisyys kehän keskipisteestä (m)
Z = vesisyvyys (m)
θ = $kx-\omega t = k(x-ct)$,
x = etenemismatka (m)
ω = $2\pi/T$ = kulmataajuus (Hz)
t = aika (s)
c = aallon etenemisnopeus (m/s)

Yhtälöstä (3) saadaan maksimivirtausnopeudeksi yleisessä muodossa,

$$u_{max} = \frac{\pi H}{T \sinh(\frac{2\pi Z}{L})} \qquad (4)$$

josta

$$u_{max} = \frac{2\pi H}{T\,(e^{(2\pi Z/L)} - e^{-(2\pi Z/L)})} \qquad (5)$$

Erikseen voidaan tutkia matalan veden tapausta (Z/L<0,05), jolloin

$$u_{(s)} = \frac{H}{2}\sqrt{\frac{g}{Z}} \cos\theta \qquad (6)$$

josta

$$u_{(s)max} = \frac{H}{2}\sqrt{\frac{g}{Z}} \qquad (7)$$

Edelleen voidaan erottaa syvän veden (Z/L>0,5) tapaus:

$$u_{(d)} = \frac{\pi H}{T} e^{kl} \cos \theta \qquad (8)$$

ja

$$u_{(d)\max} = \frac{\pi H}{T} e^{kl} \qquad (9)$$

6.1.5 Lasketun ja mitatun virtausnopeuden vertailu

Koska tarkoituksena on tutkia nimenomaan rannan tuntumassa tapahtuvaa aallokon aiheuttamaa veden kehävirtausta, ei syvän veden yhtälö tule tässä kysymykseen. Toisaalta ei voida myöskään pidättyä matalan veden virtaustilanteeseen, koska tehdyt mittaukset on monessa tapauksessa tehty siirtymävyöhykkeessä (0,05<Z/L<0,5). Virtausympäristö muuttuu edelleen aivan matalassa vedessä, jos aallokko muuttuu luonteeltaan eteneväksi (ks. Keränen 1985). Aivan vesirajalla tapahtuva huuhteluvirtaus on myös nyt määritettävien virtausmuotojen ulkopuolella. Näin ollen aluksi käytetään maksimivirtausnopeuden arvioinnissa yleistä muotoa olevaa yhtälöä (5).

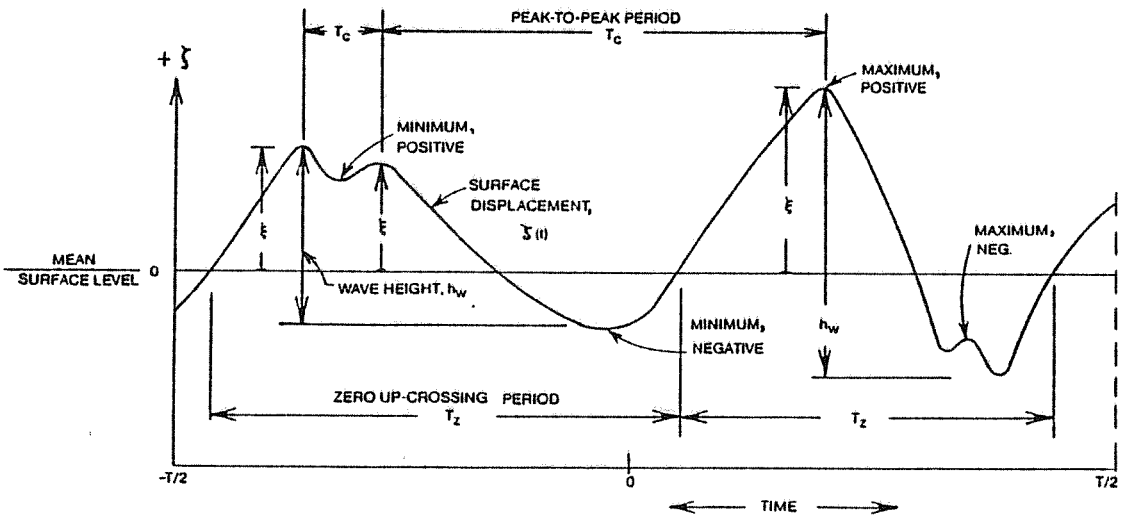
Oulujärvellä mitatut virtausnopeudet analysoitiin siten, että jokaisesta erillisestä havaintosarjasta huomioitiin vain suurin yksittäinen havaittu virtausnopeus pohjan tuntumassa. Tätä menettelyä perustellaan sillä, että myös yhtälössä (5) on kyseessä vesipartikkelin teoreettinen maksiminopeus.

Laskettuja ja mitattuja tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon seuraavat virhetekijät:

1) Perusyhtälö (5) tukeutuu säännöllisen aallon lineaariseen teoriaan, jossa aallonkorkeus H on korvattu merkitsevällä aallonkorkeudella H_S.

2) Mittaukset on tehty osittain niin matalassa vedessä, että pohjan läheisyys vaikuttanee aallokon muotoon. Tämä voi vääristää laskennassa käytettyjä aaltoparametreja.

3) Yhtälössä (5) käytettävistä aaltoparametreista on aallonpituuden arvioiminen ongelmallista. Oulujärven mittauksista on aallonpituus estimoitu spektrianalyysin kautta aallokon peräkkäisten 'zero up-crossing' -kohtien etäisyytenä (kuva 13), mikä kuvaa hyvin epäsäännöllisen aallokon aallonpituutta. Näin saatu L eroaa kuitenkin huomattavasti säännöllisen aallon aaltoteorian mukaisesta matalan veden tilanteesta.



Kuva 13. Epäsäännöllinen aallokko termeineen (Cummins 1985).

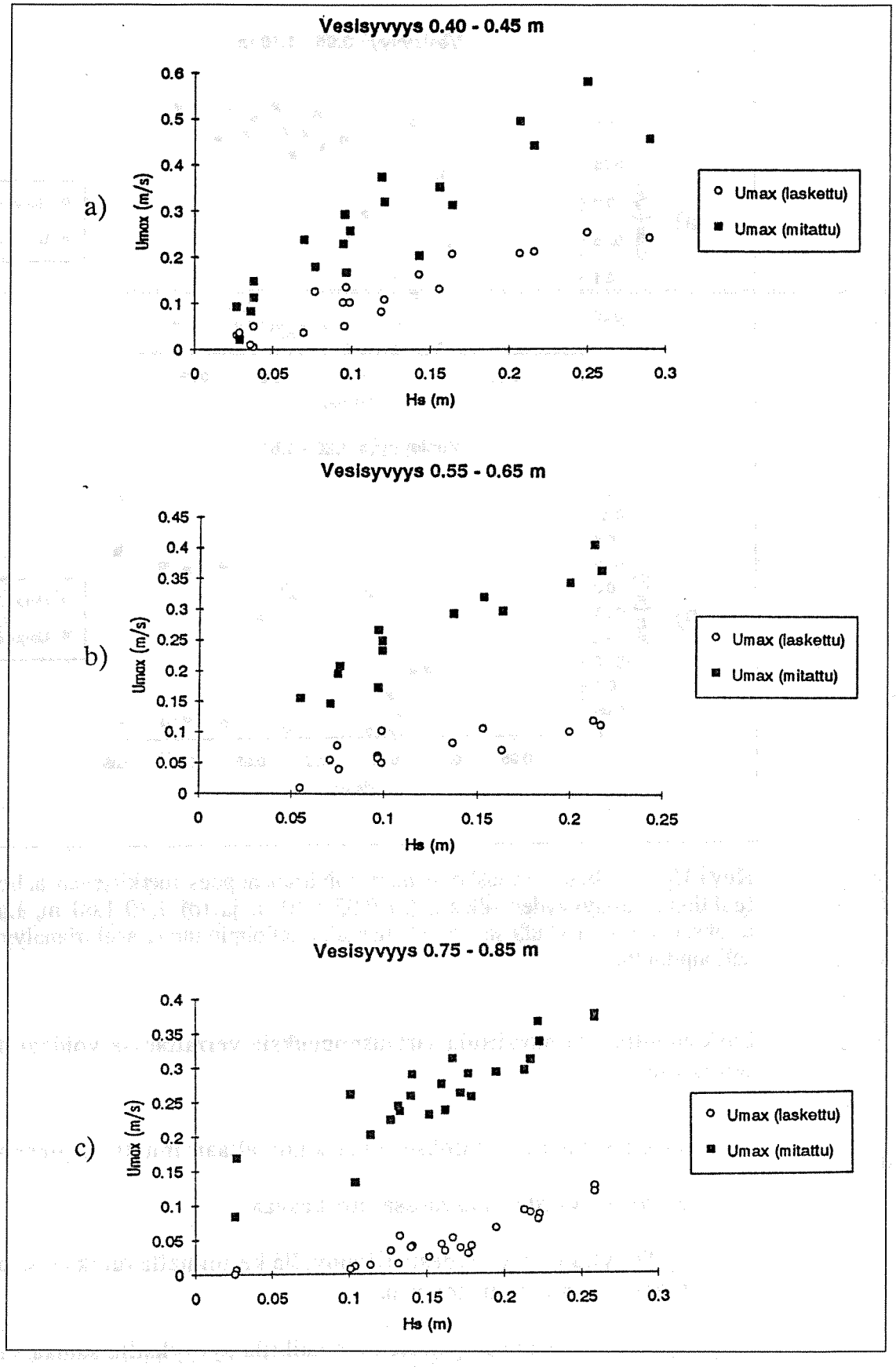
Mikäli yhtälössä (5) käytetään spektrianalyysin antaman aallonpituuden sijaan yhtälöstä (10) saatua aallonpituutta, ovat näin lasketut virtausnopeudet lähempänä mitattuja arvoja. Yhtälön (10) käyttämistä aallonpituuden arviointiin voidaan kuitenkin pitää kyseenalaisena, koska se perustuu säännöllisen aallon tapaukseen. Näillä perusteilla on virtausnopeuden ensimmäisen vaiheen laskennassa käytetty spektrianalyysin antamaa aallonpituutta.

$$L = T\sqrt{gZ} \qquad (10)$$

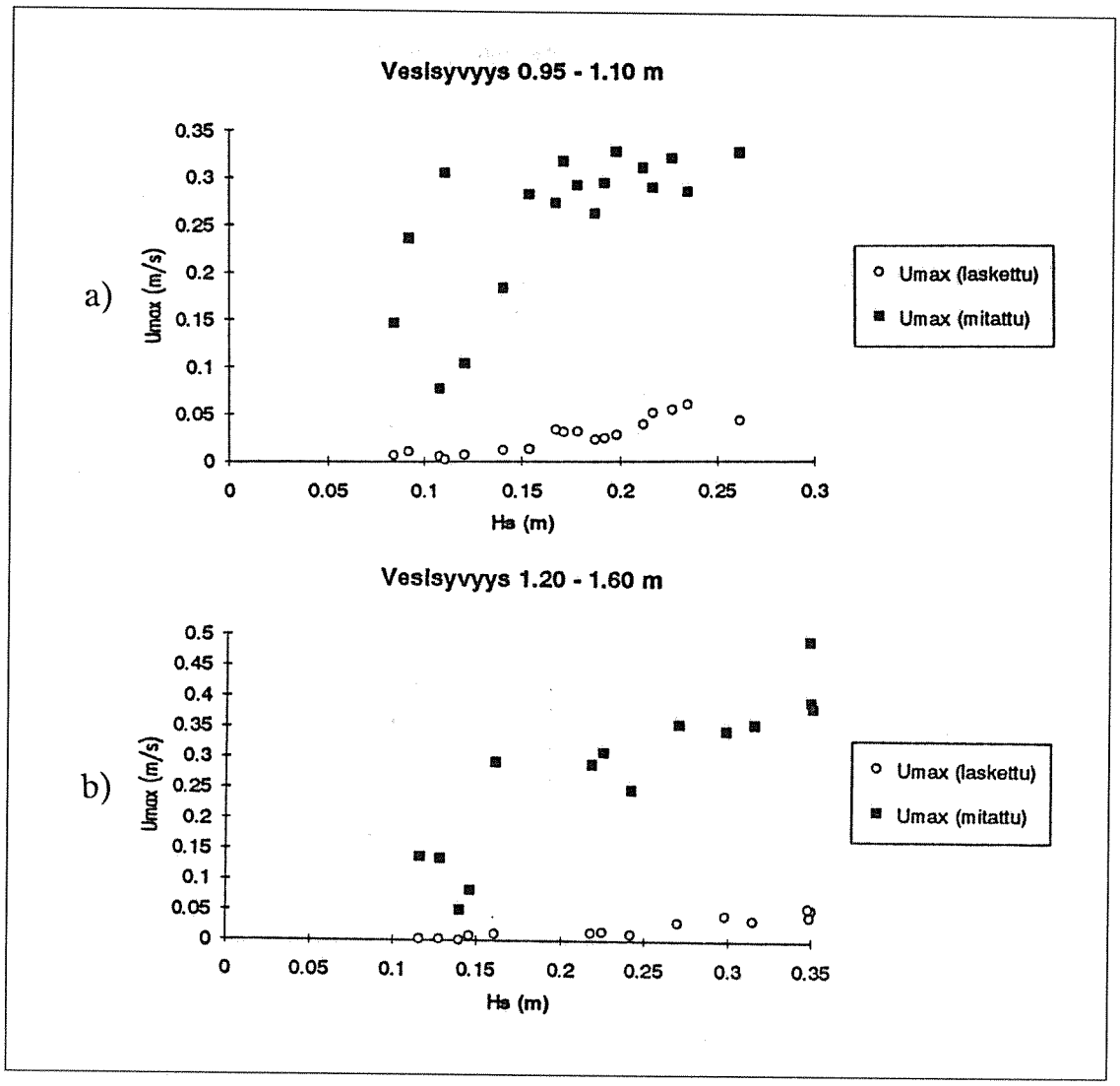
4) Pohjan tuntumassa tapahtuvista virtauksista saataisiin parempi kuva, mikäli tarkasteluun otettaisiin mitattujen nopeuksien suurimman kolmanneksen keskiarvo (vrt. merkitsevä aallonkorkeus H_S). Edelleen olisi syytä eritellä rantaa kohti ja sieltä poispäin suuntautuva virtaus.

Oleellisinta on, että em. kriittinen keskustelu aallokon parametrien laskentamenetelmistä osoittaa, miten vaikea ja laaja asiakokonaisuus on pyrkiä soveltamaan yleisiä malleja rantatasanteella vallitsevaan todellisuuteen.

Aaltoparametreista yhtälön (5) avulla lasketut sekä suurimmat havaitut virtausnopeudet ovat liitteessä 4. Kuvissa 14 ja 15 on esitetty virtausnopeudet merkitsevän aallonkorkeuden funktiona eri vesisyvyyksillä. Tulosten tarkastelu on tehty merkitsevän aallonkorkeuden funktiona ja vesisyvyyden mukaan luokiteltuna.



Kuva 14. Mitattu ja laskettu maksimivirtausnopeus merkitsevän aallonkorkeuden funktiona vesisyvyyden ollessa (a) 0,40-0,45 m, (b) 0,55-0,65 m ja (c) 0,75-0,85 m. Laskennalliset tulokset on saatu yhtälöstä (5) käyttämällä aallonpituutena spektrianalyysin antamaa aallonpituutta.



Kuva 15. Mitattu ja laskettu maksimivirtausnopeus merkitsevän aallonkorkeuden funktiona vesisyvyyden ollessa (a) 0,95-1,10 m ja (b) 1,20-1,60 m. Laskennalliset tulokset on saatu yhtälöstä (5) käyttämällä aallonpituutena spektrianalyysin antamaa aallonpituutta.

Laskennallisia ja havaittuja virtausnopeuksia verrattaessa voidaan todeta mm. seuraavaa:

1) Laskennalliset tulokset ovat kauttaaltaan mitattuja pienempiä

2) Vesisyvyyden kasvaessa ero kasvaa

3) Tietyllä vesisyvyydestä riippuvalla kertoimella tulokset saataneen vastaamaan paremmin toisiaan

4) Mitatut virtausnopeudet ovat kaikilla syvyyksillä samaa suuruusluokkaa, kun taas lasketut arvot pienenevät jyrkästi syvemmälle mentäessä. On selvää, että virtausnopeuden maksimiarvon yhtälö on liian paljon painottunut aallonpituuteen ja ilmeisesti myös veden syvyyteen. Tästä esimerkkinä ovat Manamansalon 'MAHA' -havaintopaikalla 17.8. tehdyt mittaukset (MAHA 24, MAHA 26, MAHA 28) sekä samasta tilanteesta

lasketut arvot (taulukko 4), joiden mukaan 0,2 - 0,3 m korkea aalto aiheuttaisi laskennallisesti merkittävän virtauksen vain alle puolen metrin syvyydessä. Mittausten perusteella maksimivirtausnopeus on ollut yli 0.3 m/s vielä 1,25 metrin syvyydessä.

Taulukko 4. Esimerkki MAHA -havaintopaikan virtausnopeuksista eri syvyyksillä. Z = syvyys, H_S = merkitsevä aallonkorkeus, u_{max} = virtausnopeus.

Z (m)	0.4	0.8	1.25
H_S (m)	0.216	0.222	0.298
Mitattu u_{max} (m/s)	0.441	0.365	0.346

Kuvattu laskentamenetelmä antaa siis liian pieniä virtausnopeuksia lähinnä aallonpituuden määrittämisongelman vuoksi. Virtausnopeutta voidaan tarkastella myös matalan syvyyden erikoistapaukseen laadittua yhtälöä (7) käyttämällä, jolloin aallonpituutta ei tarvitse huomioida.

Yhtälön (7) avulla lasketut virtausnopeudet vastaavat parhaiten mitattua havaintoaineistoa (kuvat 16 - 17), joten sen käyttö on tehtyjen havaintojen valossa perustellumpaa kuin yhtälön (5) käyttö ainakin siihen saakka, kunnes aallonpituus voidaan luotettavasti mitata.

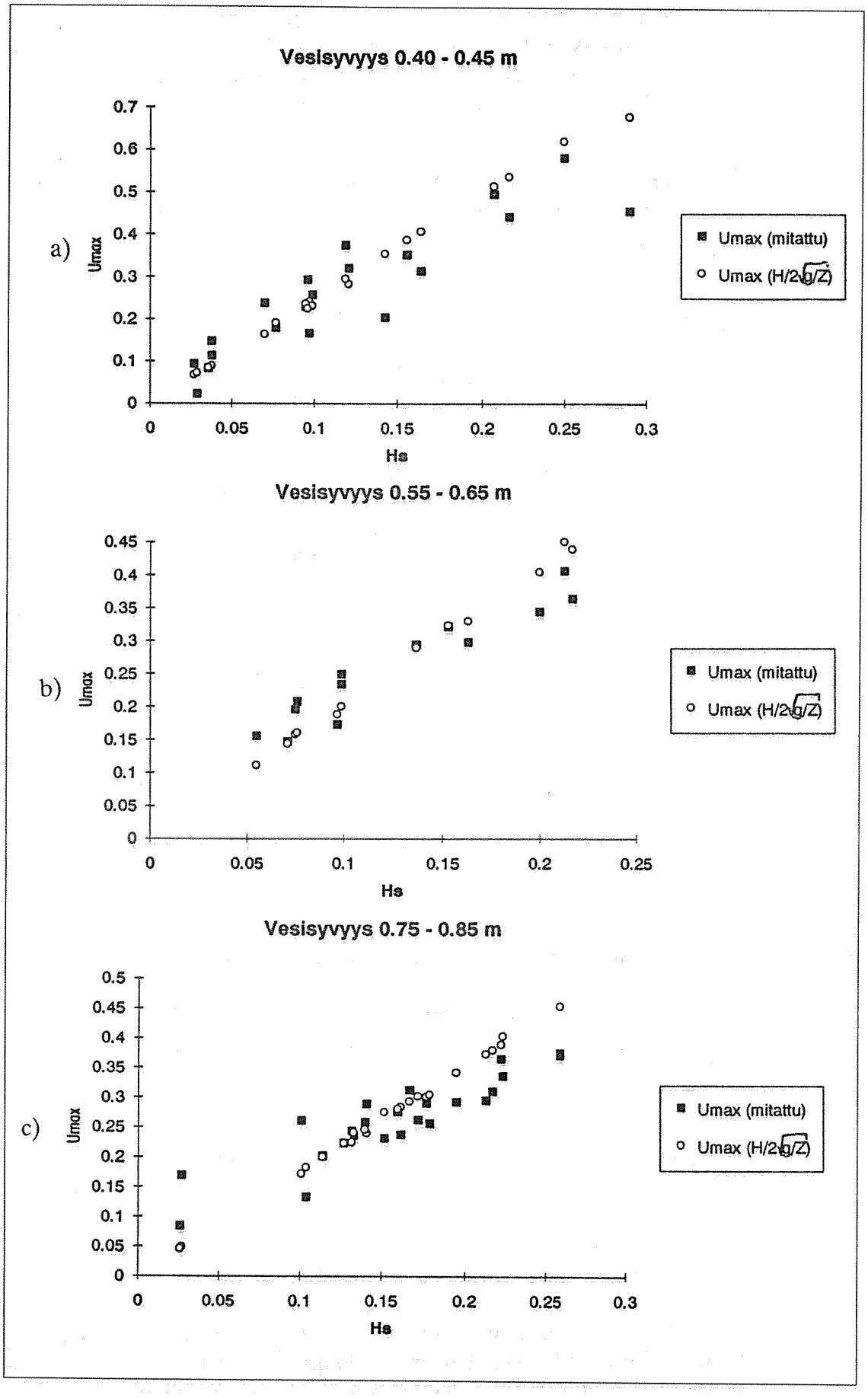
Yhdistämällä jäljempänä esitettävä ulappa- ja tuulitiedoista johdettava aallonkorkeus kaavaan (7) on mahdollista tulostaa laskennallinen virtausnopeus eri syvyysvyöhykkeillä. Rannan paikallisten tekijöiden, kuten pohjan pienmuodot (särkät) ja kasvillisuus, merkitys on edelleen joko johdettava tehdystä mittausaineistosta tai mitattava tapaus kerrallaan.

6.1.6 Aaltoparametrien määrittäminen tuuli- ja ulappatietojen perusteella

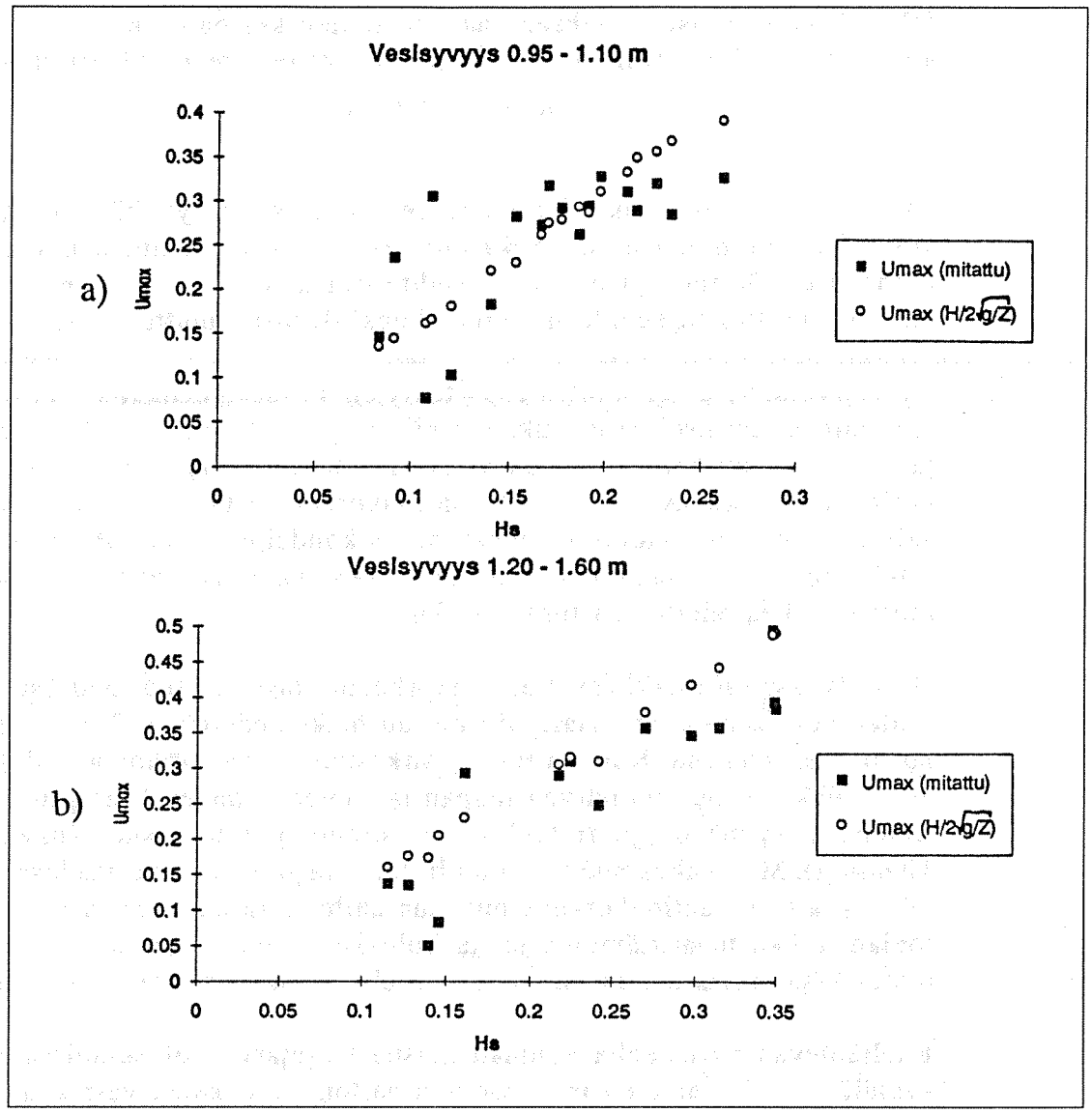
Aallokon aiheuttamien virtausten määrittämiseksi on pystyttävä arvioimaan merkitsevä aallonkorkeus, kun tiedetään tuulen pyyhkäisymatka, suunta, nopeus ja kesto.

Tämän selvityksen tuulihavainnot on tehty Ilmatieteen laitoksen mittausasemalla Kajaanin lentokentällä. Tuulen nopeus ja suunta on havaittu tunnin välein (noin 15 min. ennen tasatuntia) 10 minuutin aikajakson keskiarvona. Tämän menetelmän rajoittuneisuuden vuoksi täytyy tuulihavaintoja pitää vain suuntaa antavina, koska aaltojen muodostumisen kannalta on tärkeää tietää tuulen voimakkuus tarkemmin mittausta edeltävänä aikana.

Alkuperäisissä tuulihavainnoissa on tuulen nopeus ilmaistu solmuina, joten kertoimella 0,5144 päästään m/s -yksikköön. Erityisesti on tuulihavainnoista huomioitava, että Ilmatieteen laitoksen tilastoimat säähavainnot on sidottu UTC -aikaan, mikä on 3 tuntia Suomen kesäaikaa jäljessä; ts. UTC + 3h = Suomen kesäaika.



Kuva 16. Mitattu ja laskettu maksimivirtausnopeus merkitsevän aallonkorkeuden funktiona vesisyvyyden ollessa (a) 0,40-0,45 m (b) 0,55-0,65 m ja (c) 0,75-0,85 m. Laskennalliset tulokset on saatu yhtälöstä (7).



Kuva 17. Mitattu ja laskettu maksimivirtausnopeus merkitsevän aallonkorkeuden funktiona vesisyvyyden ollessa (a) 0,95-1,10 m (b) 1,20-1,60 m. Laskennalliset tulokset on saatu yhtälöstä (7).

Tuulen pyyhkäisymatkat on mitattu kartalta 10 asteen välein etäisyytenä vastarannalle. Mitatut pyyhkäisymatkat muodostuvat siten vapaan vedenpinnan ulottuvuudesta. Esimerkiksi Oulujärvellä rantaviivan rikkonaisuus ja saarien runsaus aiheuttaa jonkin verran virhetekijöitä. Ulapan laajuuden (tuulialan pituus) määrittäminen onkin pienialaisissa vesistöissä (verrattuna meriolosuhteisiin) yksi lisäselvitystä vaativa osakokonaisuus.

Merkitsevän aallonkorkeuden laskemiseen varsin hyvin sopivaksi osoittautui Pohjanmeren olosuhteisiin JONSWAP -projektin (JONSWAP = The Joint North Sea Wave Project) yhteydessä v.1973 kehitetty yhtälö:

$$H_s = 0{,}0016 * U * (F/g)^{1/2}, \qquad (11)$$

missä Hs = merkitsevä aallonkorkeus (m)
U = tuulen nopeus (m/s)
F = pyyhkäisymatka (m) g = 9,81 m/s^2

JONSWAP:n tulosten mukaan saadaan tuulen kestoajan minimi (teoreettinen aika, joka tarvitaan aallokon täydelliseen kehittymiseen) määritettyä yhtälöstä

$$t_{min} = 65{,}6 * (F^2/gU)^{1/3} \qquad (12)$$

Tästä saadaan esimerkiksi 5 m/s:n tuulella ja 20 km:n pyyhkäisymatkalla tuulen kestoajan minimiksi noin 3h 40 min, ts. aallon eteneminen ulapan reunasta reunaan kestää tuon ajan. Järviolosuhteisiin tämä lienee kuitenkin liian pitkä aika, koska tuulen suunta ja voimakkuus yleensä muuttuvat nopeammin.

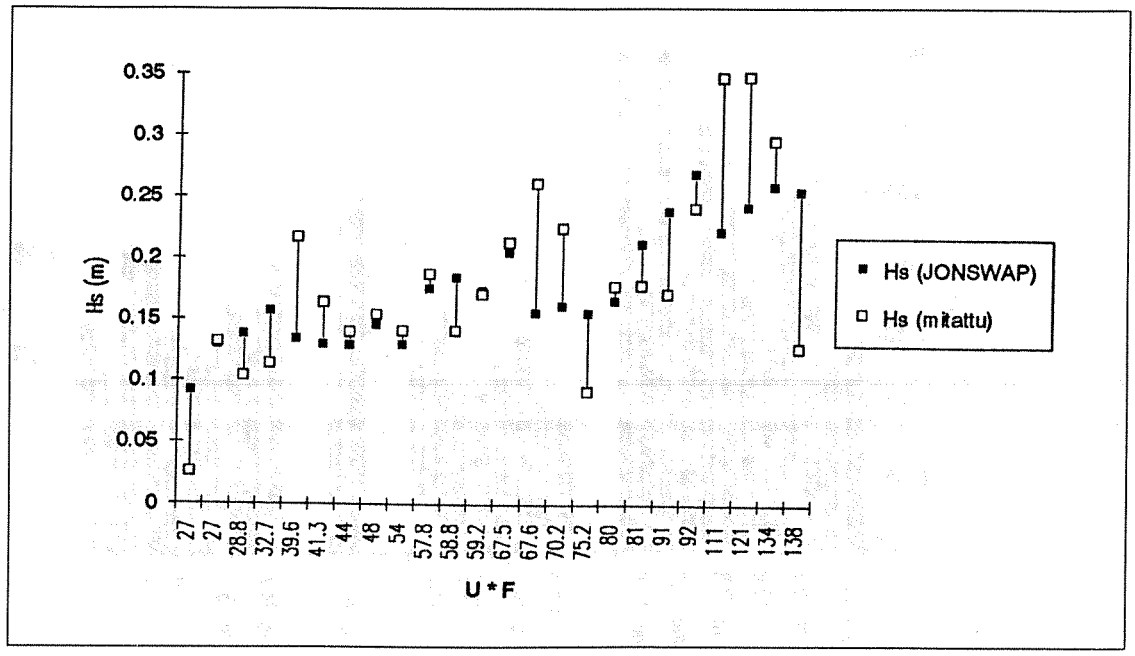
Oulujärvellä heinä-elokuussa 1991 tehtyjen mittausten aikana ovat tuuliolosuhteet vaihdelleet useissa tapauksissa niin paljon, että tuulen tehollisen suunnan ja nopeuden määrittäminen on vaikeaa. Yhtälön (11) avulla lasketut aallonkorkeudet poikkeavat mitatuista aallonkorkeuksista (kuva 18). Merkitsevän aallonkorkeuden arviointi osuu paremmin kohdalleen, kun tutkitaan ainoastaan niitä tilanteita, joissa tuulen suunta ja nopeus ovat pysyneet suhteellisen vakaina mittaushetkeä edeltävinä tunteina (kuva 19).

Tässä työssä on merkitsevät aallonkorkeudet laskettu tuulitiedoista siten, että tuulen voimakkuus on määritetty mittaushetkeä edeltävän 2 tai 6 tunnin ajanjakson keskiarvona. Kuuden tunnin tarkastelu antaa paremman tuloksen (kuva 20), vaikka se on Oulujärven ulapan laajuuteen nähden liian pitkä aikajakso. Ilmeisenä syynä on juuri tuulihavainnoinnin puutteellisuus (havainnot vain 10 min/h). Mitä vakaammat ovat tuuliolot, sitä paremmin vastaa laskettu (yhtälö 12) merkitsevä aallonkorkeus mitattua aallonkorkeutta. Toisaalta tuulen kestoajan tarkka määrittäminen tapauskohtaisesti antaisi paremmat lähtökohdat, mutta käytettävissä ollut aineisto sitä ei ole tässä työssä mahdollistanut.

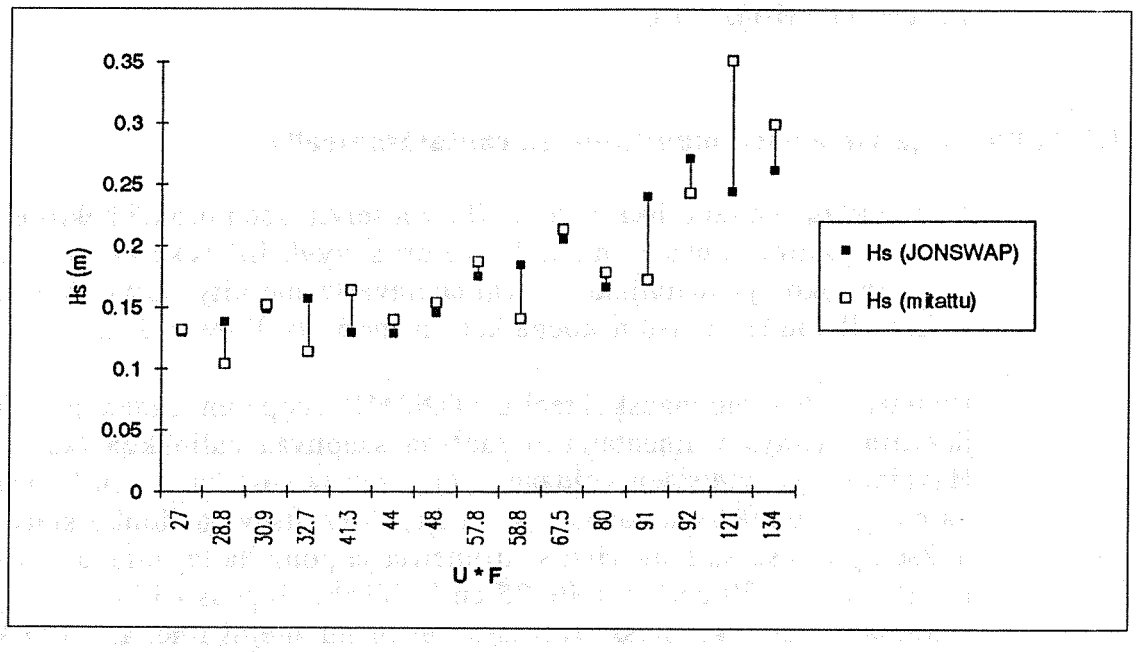
Edelläolevan perusteella voidaan katsoa Oulujärven olosuhteissa JONSWAP -yhtälöstä (11) saatujen merkitsevien aallonkorkeuksien vastaavan kohtuullisella tarkkuudella luonnossa mitattuja aallonkorkeuksia. Tuulihavaintojen puutteellisuuden lisäksi eroja aiheuttavat aikaisemmin mainitut rantakohtaiset tekijät. Virtausnopeuksien perusteella on selvää, että syvimmilläkin mittauspaikoilla pohjan läheisyys vaikutti jossakin määrin aallokon mittasuhteisiin vääristäen JONSWAP- tulosten vertailua.

Laskentajärjestelmän tulee siis jatkossa edetä siten, että JONSWAP- periaatteella lasketaan rannan ulkoreunalle tulevan aallokon merkitsevä korkeus. Sen jälkeen rannan madaltuessa redusoidaan aallonkorkeus mittaustulosten pohjalta jokaisella rantaosuudella erikseen (esim. kuva 25).

Edellä on kuvattu lyhyesti niitä toimenpiteitä, joilla on pyritty analysoimaan Oulujärven aallokon aiheuttamia virtaustilanteita mitatun aineiston perusteella. Yhteenvetona voidaan todeta, että lineaariseen aaltoteoriaan perustuva virtausnopeuden laskentakaava (5) ei yleisessä muodossa sellaisenaan näytä sopivan Oulujärveen (pienialaisiin sisävesiin yleensä). Tehtyjen havaintojen valossa virtausnopeus pystytään arvioimaan varsin hyvin käyttämällä matalan veden erikoistapauksen yhtälöä (7). Syvän veden aallonkorkeuksien arviointi tuuli- ja ulappatietojen perusteella näyttää onnistuvan riittävällä tarkkuudella meriolosuhteisiin kehitetyn JONSWAP -hankkeen tuottaman yhtälön (11) avulla, mikäli tuulihavaintojen kattavuus saadaan paremmaksi.

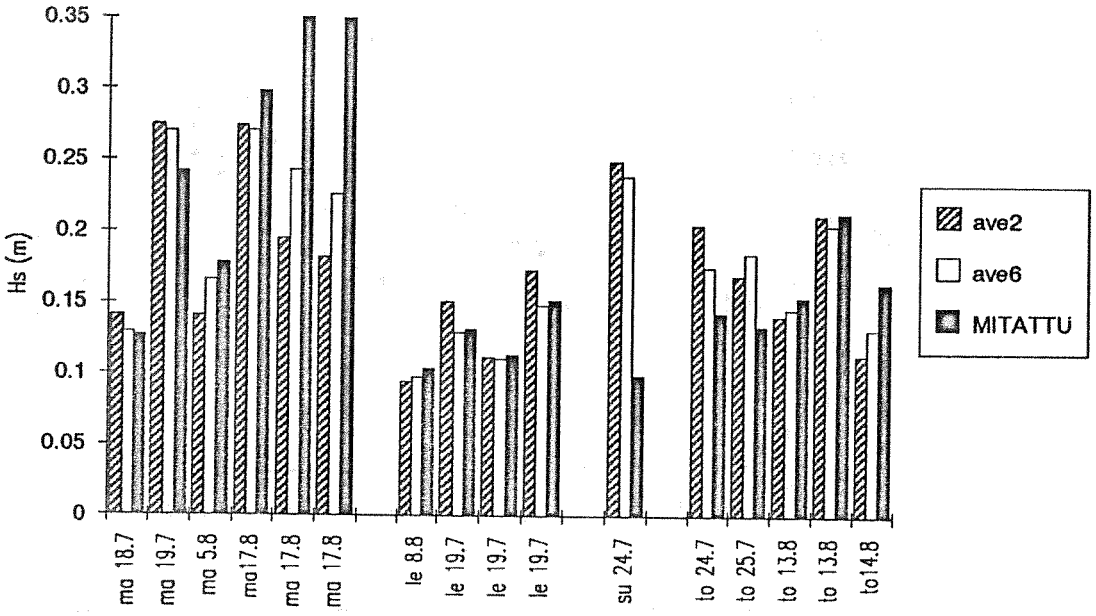


Kuva 18. Mitatut ja JONSWAP :lla lasketut aallonkorkeudet koko havaintoaineistosta (vesisyvyydellä Z ≥ 0.8m). Vaaka-akselilla tuulen pyyhkäisyala (km) * tuulen nopeus (m/s)



Kuva 19. Mitatut ja lasketut (yhtälö 11) aallonkorkeudet vakaan tuulitilanteen mukaan valikoidusta havaintoaineistosta (vesisyvyydellä Z ≥ 0,8m). Vaaka-akselilla tuulen pyyhkäisymatka (km) * tuulen nopeus (m/s).

Tähän asti on tutkittu virtausnopeuden arviointia määrittämällä ensin aallokon ominaisuuksia kuvaavat aaltoparametrit. Useiden yksinkertaistusten ja virhemahdollisuuksien eliminoimiseksi tulisi kuitenkin selvittää, voidaanko virtausnopeus määrittää suoraan tuuli- ja rantakohtaisista tiedoista. Riittävän aineiston avulla pystytään ehkä muodostamaan yhtälö, jonka muuttujina ovat tuulen nopeus, kesto ja pyyhkäisymatka sekä vesisyvyys. Nyt analysoitu Oulujärven aineisto ei suppeudessaan vielä antanut edellytyksiä tällaiselle tarkastelulle.



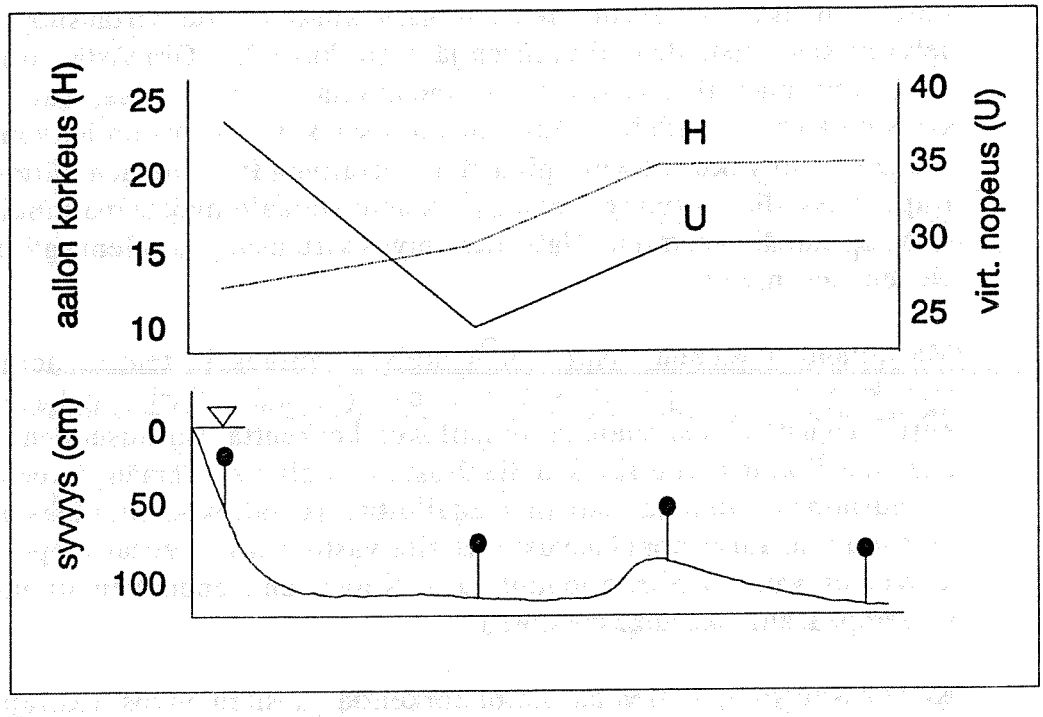
Kuva 20. Merkitsevän aallonkorkeuden arviointi käytettäessä 2 (ave2) ja 6 tunnin (ave6)tuulihavaintoja. Vaaka-akselilla havaintopaikka (ma=MAHA, le=LEINO, su=SUTE, to=TOMMI) ja -aika.

6.1.7 Aallokon ja virtausten muuttuminen rantatasanteella

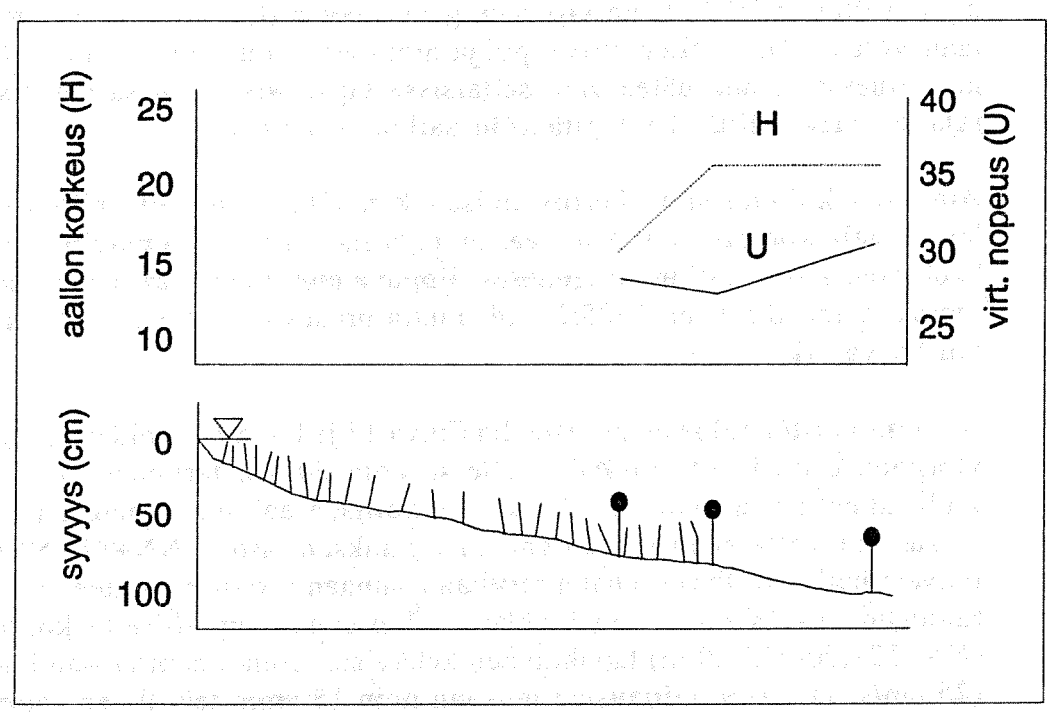
Aaltomittausten tarkoituksena oli yleisen selvityksen lisäksi hakea esimerkkejä aallokon ominaisuuksien muutoksista eri syvyyksillä sekä kasvipeitteen (korte ja järviruoko) ja matalikkojen vaimentavasta merkityksestä. Aaltomittausten ja kasvillisuuden poiston koepaikat on merkitty liitteen 2 karttaan.

Hannusrannan ruoppauskohteella (TOMMI) ruopatun altaan ja järven väliin jätettiin kynnys vaimentamaan rantaan saapuvaa aallokkoa (ks. kohta 6.2). Havaintosarjat yleistäen voidaan kynnyksen ja sillä kasvavan harvan kortteen vaimennus esittää seuraavasti (kuva 21). Merkitsevä aallonkorkeus aleni kynnyksen ylityksessä noin viisi senttimetriä ja pohjalla tapahtuva suurin virtausnopeus tasolta 30 cm/s tasolle 25 cm/s. Virtausnopeus kasvoi uudelleen aivan vesirajalla aallokon tyrskyyntyessä ennen huuhteluvaihetta. Tällä kynnyksen aiheuttamalla vaimennuksella on ilmeisen suuri merkitys kohteella esiintyneen läjitysmassojen kulumisen määrään.

Kasvillisuuden merkitystä vaimentajana mitattiin Paltaniemellä (SUTE) ja Manamansalon Puronrannalla (PURO) sekä Martinlahdella (LEINO). Paltaniemen koekohteella aallonkorkeus aleni merkittävästi kortteikon sisällä verrattuna avoveden aallonkorkeuteen (kuva 22). Sen sijaan näyttää siltä, että maksimivirtausnopeus ei hidastu yhtä selvästi vaan se voi jopa lievästi kasvaa. Tämä ilmiö selittynee sillä, että ainakin korte, ja kasvillisuus yleensä, muuttaa epäsymmetrisen tuuliaallokon lähes siniaallon muotoiseksi. Tämä muutos selittänee ainakin osan virtauksen vain vähäisestä vaimenemisesta tai jopa voimistumisesta.



Kuva 21. Mittauksiin perustuva kaaviollinen esitys ruoppausalueen eteen jätetyn kynnyksen vaikutuksesta aallon korkeuden (H, cm) ja virtausnopeuden (U, cm/s) muutokseen Hannusrannalla (TOMMI).



Kuva 22. Mittauksiin perustuva kaaviollinen esitys sara- ja kortekasvillisuuden vaikutuksesta aallon korkeuden ja (H, cm) ja virtausnopeuden (U, cm/s) muutokseen Paltaniemen Sutelan koealueella (SUTE).

Puronrannalla sen sijaan sekä aallokon korkeus että virtausnopeus alenivat selvästi kasvillisuuden ylittämisen jälkeen (kuva 23). Osa tästä vaimenemisesta selittyy normaalilla madaltumisen aiheuttamalla muutoksella, mutta suurin merkitys on kasvillisuudella. Tässä tapauksessa kasvillisuus on harvempaa ja kasvillisuusvyöhykkeen leveys pienempi verrattuna Paltaniemen mittauspaikkaan. Kapea kasvillisuusvyöhyke ei muodostanut siniaaltomaista maininkia jota esiintyi vasta lähellä vesirajaa. Näin ollen myös virtausnopeus aleni aallonkorkeuden alenemisen myötä.

Martinlahden pienen ulapan olosuhteissa mittauksia tehtiin noin 40 metrin kortekasvustossa ja järviruokokasvustossa (kuva 24). Sarjan mukaan yhtenäinen kortekasvusto alensi tehokkaasti aallokon korkeutta. Virtausnopeus sitä vastoin kasvoi aallokon muuttuessa tuuliaallosta siniaalloksi. Tämän jälkeen alkoi myös virtausnopeus alentua rannan madalluttua ja aallokon muutoksen kokonaan tapahduttua. Järviruokokasvustossa sitä vastoin myös virtausnopeus aleni heti kasvuston vaikutuspiiriin jouduttuaan. Nopeuden aleneminen oli huomattavasti selvempää kuin kortekasvustossa.

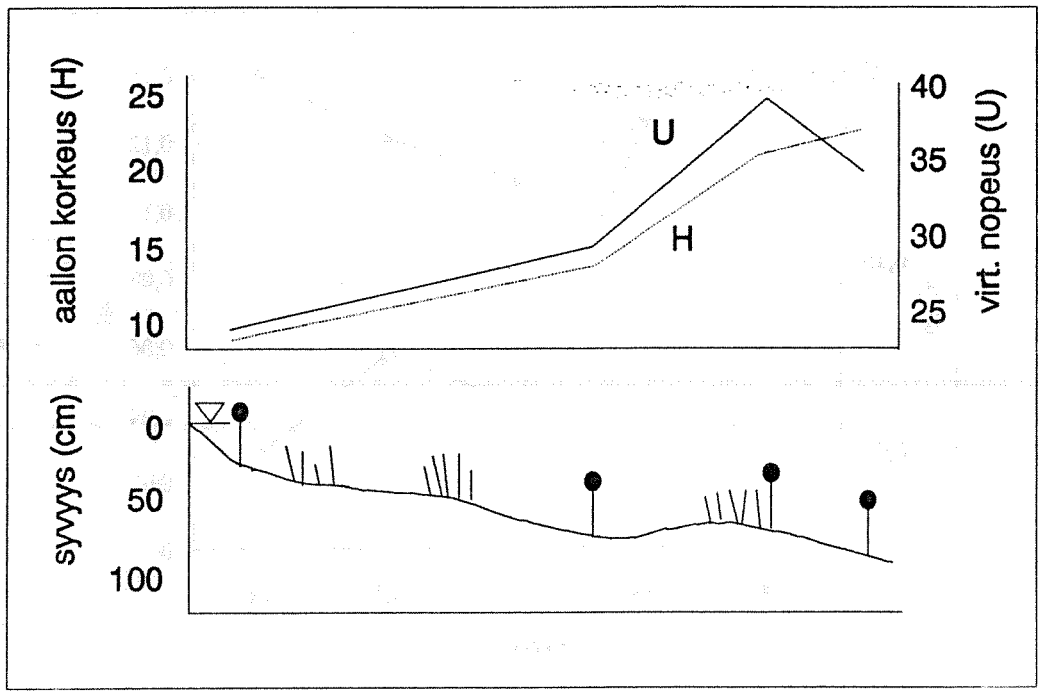
Kortekasvusto siis alentaa aallonkorkeutta ja siten myös vesirajalle tulevaa aaltoenergiaa. Kapea kortevyöhyke voi kuitenkin paikallisesti lisätä pohjan prosesseja heti kasvuston suojapuolella.

Aaltosarjan ylittäessä kasvipeitteettömänkin rantatasanteen tapahtuu aallonkorkeuden pienenemistä syvyyden madaltuessa. Samalla myös useimmat muut aaltoparametrit muuttuvat. Merkittävin muutos on aallon jyrkkyyden lisääntyminen pohjan läheisyyden aiheuttaman kitkan vuoksi. Osittain tästä syystä myös aallokon aiheuttama virtausnopeus kasvaa (kuva 25) siirryttäessä matalaan veteen. Näin ollen myös pohja-aineksen kulutusalttius lisääntyy veden madaltuessa. Tämä pätee vain sellaisissa tapauksissa, joissa syvyys on vesirajalle saakka riittävä ylläpitämään aallokon perusmuotoa.

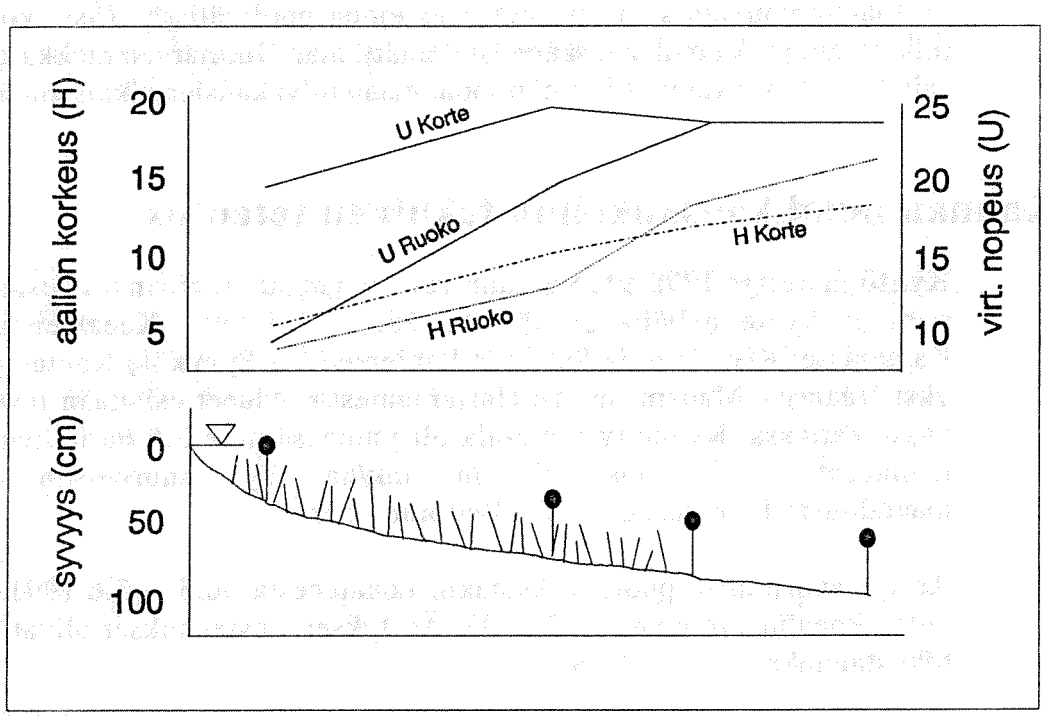
Aineksen kulumisen ja kerrostumisen kannalta ei siis ole niinkään tärkeää laskea aallokon tai yksittäisen aallon energiasisältöä. Lopputulos voi olla virheellinen, koska aallonkorkeudesta riippuva energiataso alenee rannan madaltuessa (esim. Brydsten 1985:23-24) mutta prosesseja aiheuttava virtausnopeus voi kasvaa (kuva 25).

Aaltomittausten tulosten perusteella (kuva 17 ja kuva 19) voidaan jonkin verran yleistäen esittää, että tuulialan ollessa noin 20 km tarvitaan noin 4,5 m/s:n tuuli aiheuttamaan noin 21-23 cm:n tehollisen aallonkorkeuden ja siten prosessien kannalta kriittisen 25 cm/s:n virtauksen tasolla NN+121,50 m. Puolta lyhyemmällä (10 km) ulapalla tarvitaan samaan virtausnopeuteen noin 9 m/s:n tuulennopeus. Korte-saravyöhykkeen ulkoreunan tyypillisellä korkeustasolla (NN+122,00-122,20 m) tapahtuvaan kehävirtauksen aiheuttamaan kulutukseen (25 cm/s) tarvitaan mittausten mukaan noin 15 cm:n tehollinen aallonkorkeus (20 km:n ulappa ja 2,5 m/s:n tuuli tai 10 km:n ulappa ja n. 4,5 m/s:n tuuli).

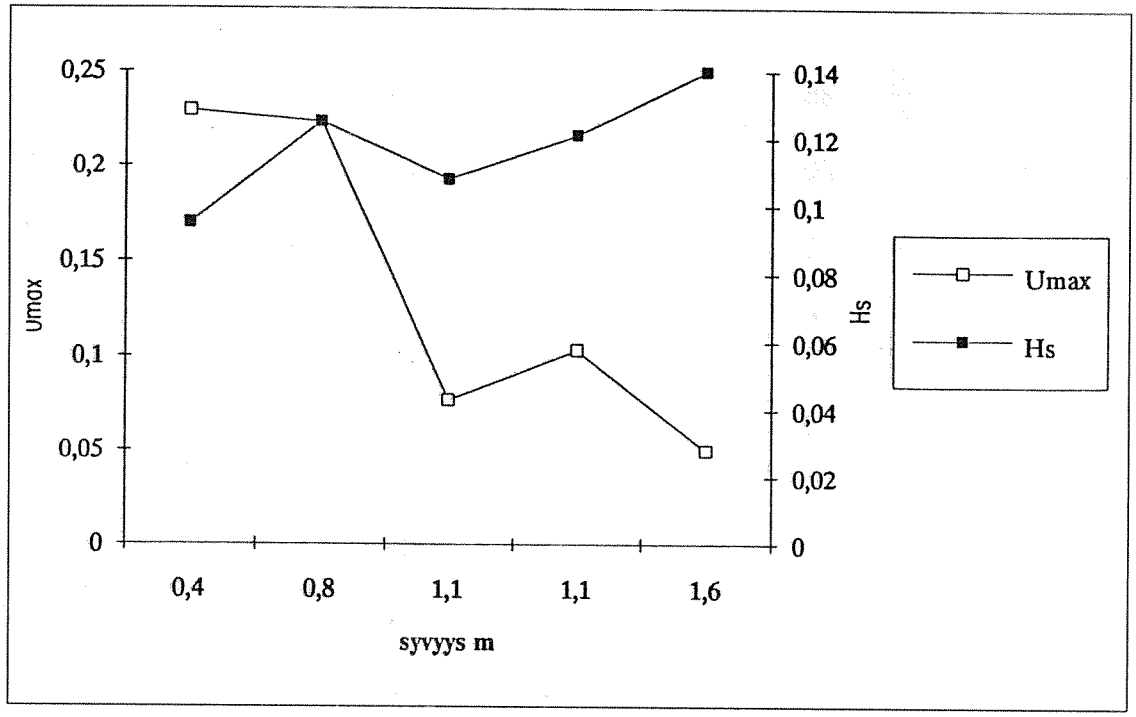
Näyttää siltä, että kesän 1991 kaltaisen korkean vedenpinnan aikana virtausnopeus oli kulutuksen kannalta riittävä yleensä noin 50 cm:n syvyydestä (noin NN+122,50-40 m) ainakin 150 cm:n syvyyteen (NN+121,50 m). Rantatasanteen yläreunan kerrostumat aiheuttavat sen, että esimerkiksi 122,40 m:n kor-



Kuva 23. Mittauksiin perustuva kaaviollinen esitys sara- ja kortekasvillisuuden sekä pohjan muodon vaikutuksesta aallon korkeuden (H, cm) ja virtausnopeuden (U, cm/s) muutokseen Manamansalon Puronrannalla (PURO).



Kuva 24. Mittauksiin perustuva kaaviollinen esitys korte- ja ruokokasvillisuuden vaikutuksesta aallon korkeuden (H, cm) ja virtausnopeuden (U, cm/s) muutokseen Manamansalon Martinlahdella (LEINO).



Kuva 25. Esimerkki aallon korkeuden (H, cm) ja virtausnopeuden (U, cm/s) muutoksesta syvyyden mukaan, Manamansalon Harjun koealue (MAHA).

keuskäyrä sijaitsee varsin kaukana rantaviivasta. Kyntökokeilun kohteilla se on säännönmukaisesti korkeintaan alueiden puolivälissä. Tästä voidaan edetä tulkintaan, jonka mukaan säännöstelemättömän Oulujärven hiekkarantojen pääasiallinen kasvittomuus johtui nimenomaan tulvakausien aikaisista prosesseista.

6.2 Rannan muokkauskokeilun tekninen toteutus

Kyntö ja äestys 1990-91. Kainuun vesi- ja ympäristöpiirin toimesta suoritettiin rantojen kyntö neljällä koealueella 28. - 31.5.1990. Koealueista kolme on Kajaanissa: Kiviniemi ja Sutela Paltaniemellä ja Pyykkölä Koutaniemellä sekä yksi Vaalassa Manamansalon Harjuniemessä. Alueet esitetään liitteenä 1 olevassa kartassa. Kynnetty pinta-ala oli yhteensä noin 3,5 ha ja kyntötyön kustannukset 2 300 mk eli 660 mk/ha. Työ suoritettiin 4-vetoisella maataloustraktorilla, jossa oli 4-siipinen aura.

Äestys suoritettiin puolelle kustakin koealueesta 30.5. - 3.6.1991 sekä Pyykkölän koealueella myös 18.7.1990. Äestyksen kustannukset olivat puolet kyntökustannuksista eli 330 mk/ha.

Ruoppaukset 1991. Kajaanin Hannusrannassa poistettiin soistunutta rantamaata huhtikuun alkupuolella noin 5 000 m^2:n alueella (liite 5). Ranta oli ennen kaivua tasolla NN+122,70 m. Maata poistettiin tasolle NN+121,90 m eli 0,8 m. Poistettavia massoja oli siten noin 4 000 m^3. Kaivumaat pengerrettiin vanhan törmän juurelle. Työ tehtiin kahdella 23 tonnin telaketjukaivinkoneella. Konetyö maksoi 21 000 mk ja kesti 1-vuorotyössä viikon. Työnjohtokulut

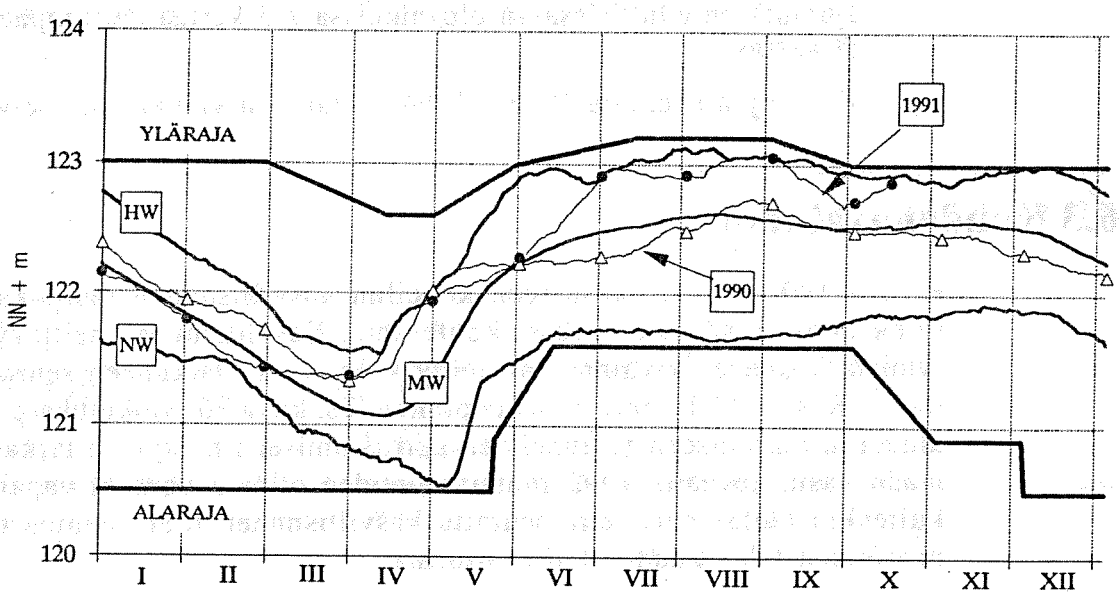
olivat 4 000 mk. Kustannukset olivat yhteensä 25 000 mk eli 6,25 mk/m^3. Massat jouduttiin siirtämään useampaan kertaan, koska maaperä ei kestänyt pyöräkuormaajaa.

Kajaanin Vuoreslahdessa tehtiin vastaava työ huhtikuun puolivälissä. Työalue oli noin 3 000 m^2 (liite 6). Ranta oli tasolla NN+122,40 -122,90 m, maata poistettiin tasolle 121,80 eli 0,5 - 1,0 m. Massoja siirrettiin vanhan törmän juureen noin 2 500 m^3. Konetyö maksoi 16 000 mk ja työnjohto 3 500 mk, yhteensä 19 500 mk (7,8 mk/m^3). Työ tehtiin kahdella 23 tonnin koneella ja kesti 1-vuorotyönä 4 päivää.

Oulujärven vedenpinta nousi heinäkuussa 1991 korkealle saavuttaen 5.7. tason NN+122,97 m (kuva 26). Samanaikaisesti vallinnut kova luodetuuli aiheutti rantavyöhykkeelle pengerrettyjen ruoppausmassojen syöpymistä. Vuoreslahden ruoppausmassat suojattiin heinäkuussa 1991 ajamalla rantavyöhykkeelle noin 40 cm:n paksuinen kerros alle 150 mm sepeliä. Sepelikerroksen alle asennettiin suodatinkangas. Suojaus on kestänyt kesän ja syksyn 1991 aallokon kohtuullisen hyvin. Keväällä 1992 tehdyssä tarkastuksessa havaittiin verhouksen syöpyneen paikoitellen jonkin verran. Varsinaista massojen kulumista ei tapahtunut.

Suojaustyötä tehtiin 70 metrin matkalle. Konetyökustannukset olivat 11 000 mk, suodatinkangas maksoi 1 500 mk, työnjohto 4 000 mk eli yhteensä 16 500 mk. Suojaus maksoi siten 235 mk/m.

Hannusrannan koealueen läjitysmassat jäivät huonojen olosuhteiden vuoksi ruoppauksen aikana verhoamatta. Syksyn 1991 aikana penger syöpyi paikoin



Kuva 26. Oulujärven vedenkorkeudet tutkimusvuosina 1990 ja 1991 sekä vedenkorkeuden ääriarvoja vuosijaksolta 1977-1990.

jopa seitsemän metriä. Tämä siitäkin huolimatta, että ruoppausalueen suojaa matala kynnys, joka vaimentaa aallokon tehoa huomattavasti (ks. kuva 18). Läjitysmassat on suojattu karkealla kiviaineksella kevään ja kesän 1992 aikana.

Jyrsintä 1992. Keväällä 1992 tehtiin Koutaniemen ja Kiviniemen koealojen viereen koealat jyrsintä käyttäen. Tarkoituksena oli tutkia jyrsimen käytön mahdollisuuksia kasvillisuuden poistossa. Jyrsintä suoritettiin 13.-14.5-1992 turvetuotantoalueiden kunnostukseen suunnitellulla jyrsintäkoneella, jota vedetään 4-vetoisella maataloustraktorilla. Jyrsimen siipien rakenne on sellainen, että sitä voidaan käyttää puun juuria ja kiviä sisältävän maan käsittelyyn. Jyrsittävä alue oli Kiviniemessä n. 700 m^2 ja Koutaniemellä n. 5000 m^2. Kasvillisuus jyrsityllä aluella oli korteikkoa, järviruokoa ja saraa.

Jyrsinnän kustannukset olivat yhteensä 9100 mk, mistä kuljetusten osuus 1600 mk. Kustannukset olivat siten 1,2 ha:n alueelta 7500 mk/ha.

Jyrsinnän aikana 13.-14.5. Oulujärven pinta oli tasolla n. NN+122,10 m ja nopeassa nousussa, joten jyrsinnän suorittamista pidettiin kiireellisenä. Jyrsintää vaikeutti ja hidasti varsinkin saraikkoalueilla tavattu routa, mihin jyrsin ei kunnolla pystynyt. Jyrsittävän alueen korkeus oli Kiviniemen koealueella noin NN+122,30 - 122,45 m. Oulujärven pinta nousi kesäsateiden takia elokuussa nopeasti ja oli 10. syyskuuta vuoden 1991 tasolla eli NN+123,00 m. Jyrsitty alue on ollut elokuusta asti veden peittämä.

Yhteenvetona kokeesta voidaan esittää:

- Jyrsintään käytetty erikoiskalusto oli olosuhteisiin nähden kallis
- Sama työ voidaan tehdä normaalilla maatalousjyrsimellä noin 50 % halvemmalla kun mm. kuljetuskustannukset jäävät pois.
- Jyrsimen käyttö onnistuu huonosti jos maassa on routaa. Jyrsintä onnistuu normaalivuonna kunnolla vasta kesäkuun alkupuolella.
- Jyrsintä on edullisissakin olosuhteissa 2-3 kertaa kalliimpaa kuin kyntö ja äestys.
- Koealojen seuranta 1993 - 1994 on tarpeen vaikutusten selvittämiseksi.

6.3 Kohdehavainnot

Kesien 1990-91 ajan kestäneen kokeilun kasvillisuuden muutoksia koskevat tulokset esitellään seuraavassa kohteittain. Kasvillisuuden peittävyyden kehittymistä koskevat havainnot on tehty koko kesän jatkuneen seurannan perusteella. Kesän 1991 korkean vedenpinnan (ks. kuva 26) vaikutukset varsinaiseen aineksen kulumiseen ja uudelleen kerrostumiseen pystytään tarkasti määrittämään vasta keväällä 1992 rantatasanteiden ollessa vedestä vapaita. Voidaan kuitenkin lähteä siitä, että seurattu kasvillisuuden tilan muutos toimii hyvin prosessien tehokkuuden indikaattorina.

Kasvillisuuden kehittymisen seurantaa varten perustettiin kynnetyille koealueille sekä niiden viereisille käsittelemättömille alueille koealoja. Alat perustettiin heinäkuun 1990 alussa siten, että kullekin rannan valtalajien

muodostamalle kasvillisuusvyöhykkeelle sijoitettiin systemaattisesti kaksi neljän koealan ryhmää. Kunkin koealaryhmän kaksi koealaa oli kynnetyllä alueella ja toiset kaksi käsittelemättömällä alueella. Koealojen keskipiste merkittiin maastoon puupaalulla ja kasvillisuuden peittävyys arvioitiin ympyrän muotoiselta koealalta, jonka säde on yksi metri.

Ensimmäisen kerran havainnot koealojen kasvillisuudesta tehtiin 3.7.1990. Tämän jälkeen peittävyydet arvioitiin kesän 1990 aikana noin kahden viikon välein elokuun loppuun asti sekä viimeisen kerran 25. syyskuuta. Käsittelemättömien koealojen kasvillisuuden peittävyydet arvioitiin vain ensimmäisellä kerralla. Vuoden 1991 aikana havainnot kasvillisuuden peittävyyksistä tehtiin kolme kertaa. Käsittelemättömien koealojen peittävyydet arvioitiin toisen kerran 16.7. ja näitä peittävyyksiä käytettiin laskettaessa kahden viimeisen havaintokerran peittävyysindeksejä. Havaintoja ei tehty heinäkuun puolenvälin ja lokakuun alun välisenä aikana, koska vedenpinta Oulujärvessä oli niin korkealla, ettei kasvillisuuden peittävyyden arviointi onnistunut. Vuonna 1992 kasvillisuuden peittävyydet arvioitiin 7.7. Kiviniemen koealueelta oli uloin ruokokoeala ja sen vertailukoeala tuhoutunut jyrsintäkokeen vuoksi.

Peittävyyden kehityksen seuraamiseksi laskettiin kunkin kasvillisuusvyöhykkeen neljän käsitellyn koealan kasvilajien kokonaispeittävyyden keskiarvo erikseen jokaiselta havaintokerralta sekä käsittelemättömien koealojen peittävyyksien keskiarvo. Heinäkuussa 1990 tehdyn Koutaniemen Pyykkölän koealueen toisen puolikkaan äestämisen jälkeen kummankin koealueen puolikkaan koealojen peittävyysindeksit laskettiin erikseen. Toukokuussa 1991 tehdyn kaikkien koealueiden toisen puolikkaan äestämisen jälkeen laskettiin peittävyysindeksit erikseen kummallekin koealueen puolikkaalle myös muilla koealueilla. Peittävyyksien keskiarvoja verrattiin laskemalla peittävyyksien yhtäläisyysindeksi kaavalla:

$$S = 1 - \frac{|a - b|}{a + b} \qquad (13)$$

jossa S = Peittävyysprosenttien yhtäläisyysindeksi

a = koealan A kasvillisuuden peittävyys (tässä käsittelemättömän alueen koealojen peittävyysprosenttien keskiarvo).

b = koealan B kasvillisuuden peittävyys (tässä käsitellyn alueen koealojen peittävyysprosenttien keskiarvo).

Indeksin arvo vaihtelee välillä 0 - 1. Kun arvo on 0, ei toisella koealalla ole ollut lainkaan kasvillisuuden peittävyyttä ja arvon ollessa 1 on kasvillisuuden peittävyys yhtäsuuri molemmilla koealoilla.

Seurannan tulokset esitellään kuvissa 27 - 30. Kunkin koealueen kasvillisuusvyöhykkeet on kuvissa numeroitu roomalaisin numeroin alkaen koealueen uloimmasta, lähinnä avovettä olevasta kasvillisuusvyöhykkeestä.

KOUTANIEMI, Pyykkölä

Koutaniemen kohteen maalaji on varsin hienojakoista. Toukanlammen edustalla Sivolanniemestä Toukansaareen kulkeva vedenalainen särkkää ilmeisesti vaimentaa lännestä tulevaa aallokkoa varsinkin matalan vedenkorkeuden aikana. Rantapeltojen viljely lisää jonkin verran ravinteita.

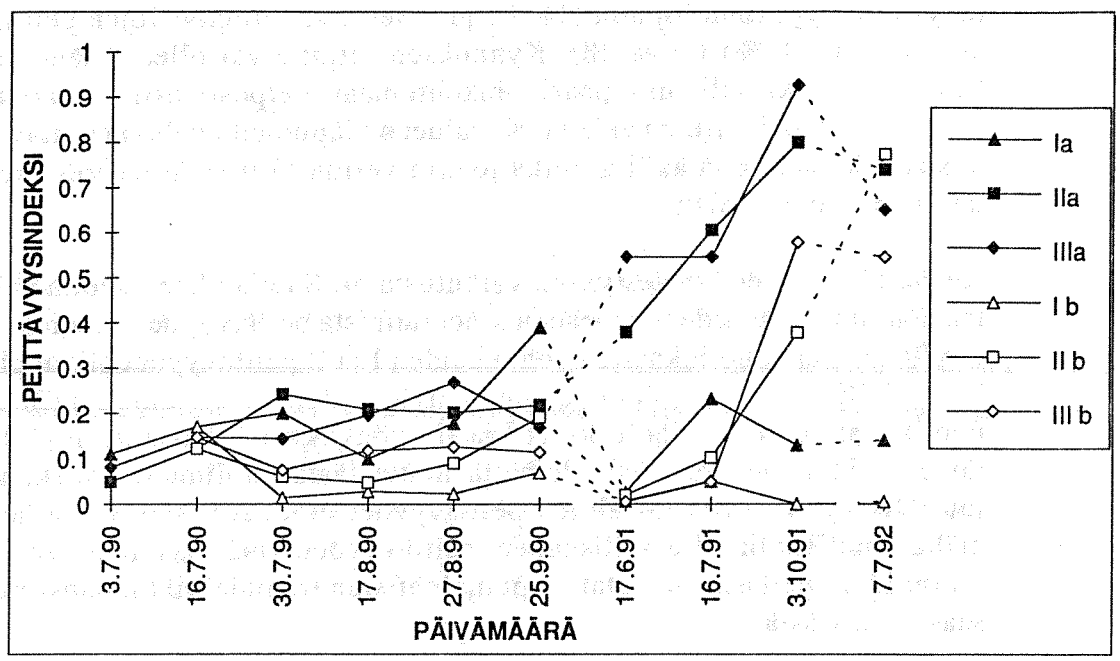
Varsinkin kynnetyllä ja äestetyllä alueella on materiaalia ollut liikkeellä runsaasti. Merkkinä prosessien aktiivisuudesta on se, että pinta on hyvin selvien virtakareiden peittämä. Ainesta on kulkeutunut kynnöstä ylöspäin noin 20-30 metriä. Ainespatjan paksuus vaihteli syksyllä 1990 10-25 cm:iin.

Vedenpinnan laskiessa ja pohjan paljastuessa on kulkeutuneen hiekan päälle kerrostunut paikoin runsaasti kasvien jätettä, kuten kortteen kappaleita ja turvetta. Kyntöalueen länsipuolella hiekkaa on noussut kortteikon sekaan ilmeisesti voimakkaiden itätuulien aikana. Aines on lähtöisin kynnösalueelta, koska 20-30 metriä kauempana ainesta ei enää ole kortteikossa näkyvissä.

Varsinkin kyntöalueen itäpuolella on kortteen juurella paljon pohjaan vajonnutta hienoainesta, joka on suspensiossa kulkeutunutta kynnökseltä itään. Jos hienoaines ei pysty täysin peittämään ja tukahduttamaan kortteen kasvua voi sillä olla myös kortteen kasvua kiihdyttävä vaikutus. Suspensiokuorman vajoaminen pohjaan tapahtunee kortteikon hidastaessa virtausta.

Pyykkölän koealueella oli kasvillisuuden peittävyyden lisääntyminen vuoden 1990 kasvukauden aikana selvästi hitaampaa kuin muilla koealueilla. Osasyynä tähän on 16.7.1990 ja 30.7.1990 havaintojen välillä tehty koealueen toisen puoliskon äestäminen, joka jossain määrin hillitsi peittävyyden kehittymistä äestetyillä koealoilla. Koealueen toisen puolen kasvillisuuden peittävyys lisääntyi tasaisemmin ja oli syyskuun 1990 lopulla suurempi kuin äestetyillä koealoilla (kuva 27). Koealueella laiduntava karja söi mm. koealoillakin kasvavaa pullosaraa vaikuttaen osaltaan kasvillisuuden peittävyyden lisääntymistä hillitsevästi. Kasvillisuusvyöhykkeiden välinen ero oli hyvin pieni.

Ennen toisen kasvukauden alkua suoritettu uusintaäestys vaikutti vuoden 1991 ensimmäisen havaintokerran peittävyysindekseissä. Koealueen uudelleen äestetyn puolen koealojen peittävyydet laskivat. Selvä kasvillisuuden peittävyyden väheneminen tapahtui myös I vyöhykkeen (järvikortevaltainen uloin vyöhyke) muissa koealoissa. Koealueen rannan yläosan kasvillisuusvyöhykkeiden koealojen peittävyydet lisääntyivät nopeammin kuin aallokon vaikutuksille alttiiden koealojen peittävyydet. Myös keväällä 1991 äestetyn koealueen puoliskon kasvillisuuden peittävyys jäi uudelleenkäsitellyn puolikkaan koealoja pienemmäksi. Vuonna 1992 tapahtunut äestetyn järvikorte-saravyöhykkeen (IIb) kasvillisuuden peittävyys lisääntyi selvästi lähinnä pienten pohjalehtisten kasvien määrän huomattavan lisääntymisen vuoksi. Sama ilmiö oli havaittavissa muös muilla koealoilla.



Kuva 27 Kasvillisuuden peittävyyden kehittyminen Koutaniemen Pyykkölän koealueella. I = järvikortevyöhyke (uloin vyöhyke), II = järvikorte-saravyöhyke, III = sara-vyöhyke (sisin vyöhyke), a = kynnetty koealue, b = kynnetty ja äestetty koealue.

PALTANIEMI, Sutela

Paltaniemellä aines on vielä hienompaa kuin Koutaniemellä. Rantatasanteelle tulee paljon pohjavettä. Kasvillisuuden peittämä vyöhyke on kapeahko, noin 100-120 metriä.

Vedenpinnan alaisella osalla materiaali näyttää kulkeutuneen laajalle alueelle sekä itään että länteen. Hiekka on pehmyttä ja aktiivisesti liikkuvaa. Kynnöksen reunavako on täyttynyt itäpuolella täysin ja materiaalia on siirtynyt kortteikon sekaan. Ainesta on paikasta riippuen 5-10 senttimetriä. Näyttää kuitenkin siltä, että varsinaisesti kortteen kasvuun hiekan siirtyminen ei ole vaikuttanut, mikä johtunee siitä, että peittyminen on tapahtunut pääasiassa kasvukauden jälkeen.

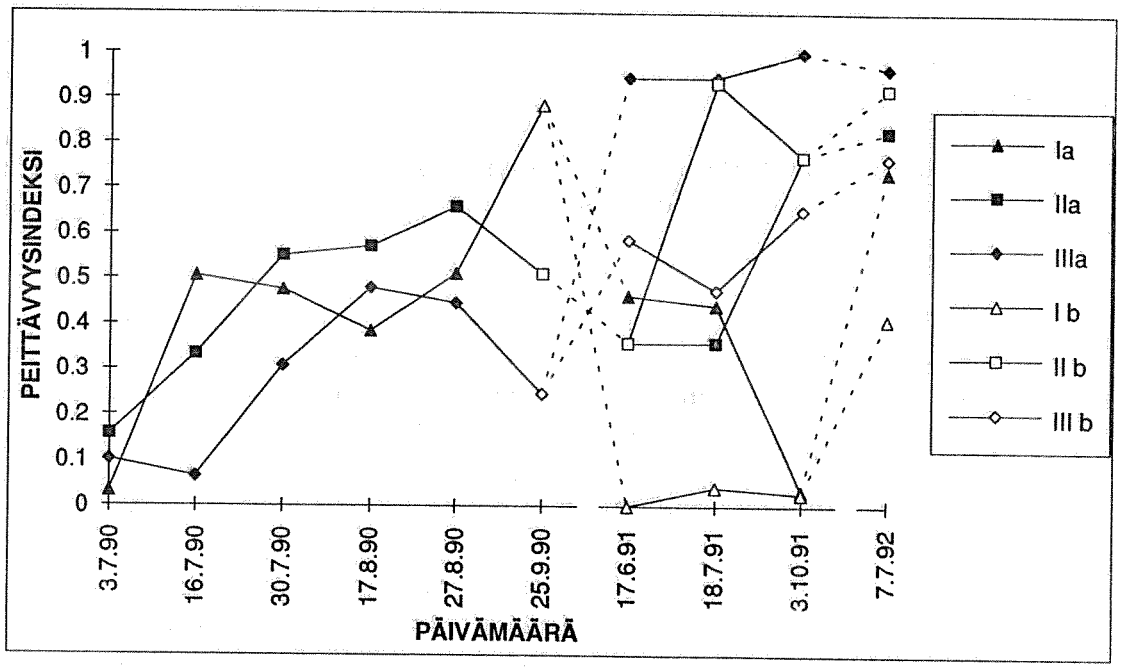
Varsinkin kynnetyn alueen itäosalla materiaalia on kulkeutunut runsaasti. Vedenpinnan alenemisen seurauksena paljastunut hiekkakieleke on edennyt kyntöalueen alapäästä noin 30 metriä. Hiekka on haudannut alleen lähes kaiken kasvillisuuden. Vesirajalle (12.10.1990) on paljastunut lähinnä kortteen juurakoita ilman uutta kasvustoa. Kuollutta kasvimassaa on jonkin verran hiekkakielekkeen päällä.

Kynnetyn alueen keskiosalla, missä aallokko ei varsinaisesti ole kesän 1990 aikana vaikuttanut, on allikoiden pohjilla 5-10 senttimetriä hienoa ruskeaa detritusta. Väri johtuu pohjaveden rautapitoisuudesta.

Kasvillisuuden peittävyyden palautuminen oli ensimmäisen kasvukauden (1990) aikana voimakkainta Sutelan koealueella. Erityisesti ilmaversoiskasvillisuuden uloimman vyöhykkeen (I vyöhyke) koealojen keskimääräinen peit-

tävyys oli syyskuun lopulla (16 %) jo lähellä vertailukoealojen peittävyyksien keskiarvoa (20 %) (kuva 28). Kynnöksen viilut eivät olleet kääntyneet kovin hyvin, joten kasvillisuus pääsi tunkeutumaan helposti esille. Varsinkin sara kasvoi rehevästi viilujen välistä. Koealueen yläpuolelta valuvat pintavedet muodostivat koealalle lätäköitä, jotka jonkin verran hillitsivät kasvillisuuden peittävyyden kehittymistä.

Keväällä 1991 tehdyn äestyksen vaikutusta oli Sutelan koealueella vaikea erottaa jäätymisen ja vedenkorkeuden aiheuttamista peittävyyden muutoksista. Äestetyllä koealan puolikkaalla vyöhykkeiden I ja II peittävyydet olivat pienemmät kuin edellisvuoden syyskuussa, mutta myös uudelleen äestämättömän koealueen puolikkaan peittävyydet laskivat I ja II vyöhykkeellä. Koealueen ylin vyöhyke jäi osittain uudelleen käsittelemättä mutta tästä huolimatta lokakuussa 1991 juuri III vyöhykkeen koealojen peittävyydet eroavat äestetyllä ja äestämättömällä puoliskolla. Kasvillisuuden peittävyyden lisääntyminen vuonna 1992 johtui lähes pelkästään matalien pohjalehtisten (rantaleinikki, hapsiluikka) runsaasta määrästä.



Kuva 28 Kasvillisuuden peittävyyden kehittyminen Paltaniemen Sutelan koealueella. I = järvikorte-vyöhyke (uloin vyöhyke), II = järvikorte-rölli-saravyöhyke, III = sara-rölli-kastikkavyöhyke (sisin vyöhyke), a = kynnetty koealue, b = kynnetty ja äestetty koealue.

PALTANIEMI, Kiviniemi

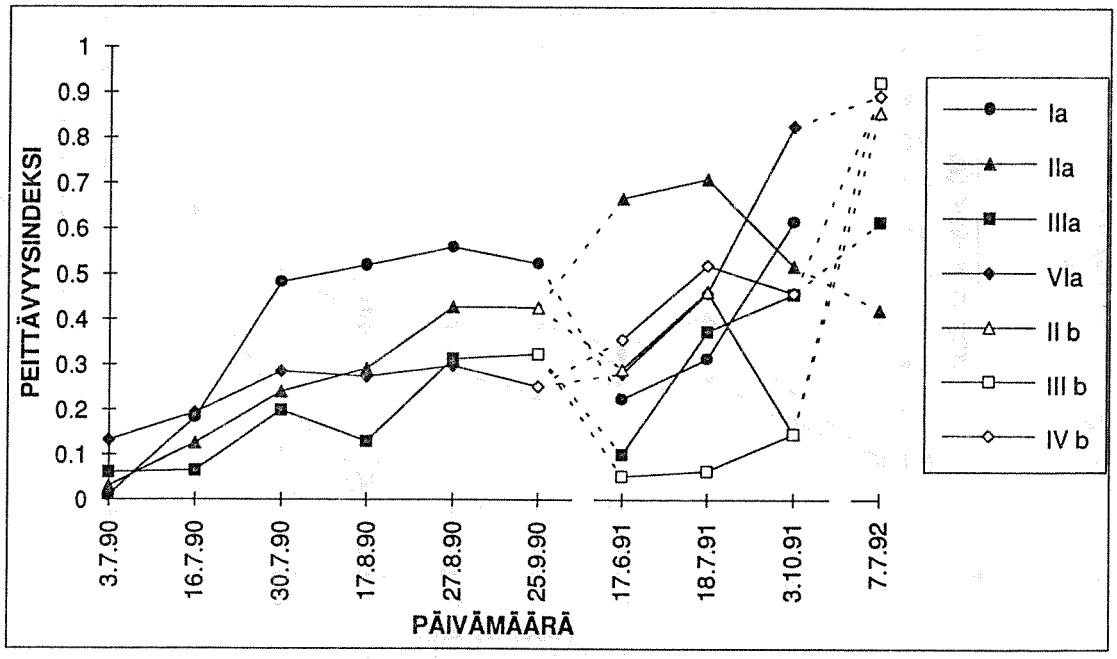
Paltaniemen kulutus-kerrostumisalueen itäisimmän osan ranta on kulkeutumissuunnasta johtuen (ansavaikutus) korkeammalla kuin muissa kohteissa. Läheinen moreeniniemi vaikuttaa myös aallokon energiaan vähentävästi

pohjoistuulilla. Tällä rantaosuudella kasvillisuuden lisääntyminen lienee johtunut ainakin osaksi juuri aineksen liiallisesta kerrostumisesta Kiviniemen muodostamaan ansaan. Kohteen ravinteikkuutta lisää ainakin osittain hiekan alle jääneet hukkuneet turvekerrostumat.

Koealueen kummallakaan sivustalla ei ole tapahtunut kulkeutumista kynnösalueen ulkopuolelle. Kuollutta kasvimassaa on paikoitellen paljon ylimmällä vesirajalla.

Kynnetyn alueen ulkoreunalla kynnös oli tehty järviruokokasvuston keskeltä. Kyntämättömäksi jääneellä osalla järviruoko kasvoi normaalisti vuonna 1990 ja ehti kukkimaan kesän aikana. Kynnetyllä alueella järviruoko ei kukkinut ja kasvusto oli huomattavasti harvempaa kuin kyntämättömällä alueella. Ruoko oli kasvanut sekä viilujen välistä että päältä; tämä johtuu juurakon kyvystä versoa katkenneenakin. Kiviniemen koealueella kasvillisuuden peittävyyden kehittyminen oli voimakkainta uloimmassa, lähes puhtaassa järviruokokasvustossa. Kyntämisen katkomat ja esiin kaivamat järviruo'on juurakon kappaleet kasvattivat tiheän versoston, jonka peittävyys oli noin puolet käsittelemättömän ruokokasvuston peittävyydestä (kuva 29). Muilla vyöhykkeillä ei peittävyyden kehittymisessä ollut ensimmäisenä vuonna suuriakaan eroja.

Koealueen toisen puolikkaan äestys toukokuussa 1991 vaikutti kesäkuun havainnoissa ainoastaan II vyöhykkeen koealoilla. Erot muiden vyöhykkeiden koealoilla tosin lisääntyivät syksyä kohden ja äestettyjen koealojen peittävyydet jäävät lopulta selvästi pienemmiksi kuin vastaavan vyöhykkeen äestämättömän koealan peittävyydet. Vyöhykkeen I koealoja ei äestetty uudelleen. Myös Kiviniemen koealoilla oli selkeästi kesällä 1992 havaittavissa äestetyn koe-



Kuva 29 Kasvillisuuden peittävyyden kehittyminen Paltaniemen Kiviniemen koealueella. I = järviruokovyöhyke (uloin vyöhyke), II = järvikortevyöhyke, III = järvikorte-saravyöhyke, IV = sara-paju-järvikortevyöhyke (sisin vyöhyke), a = kynnetty koealue, b = kynnetty ja äestetty koealue.

alueen puolikkaan pullosarojen ja järvikortteiden taantuminen ja stressiä sietävien pohjalehtisten runsastuminen.

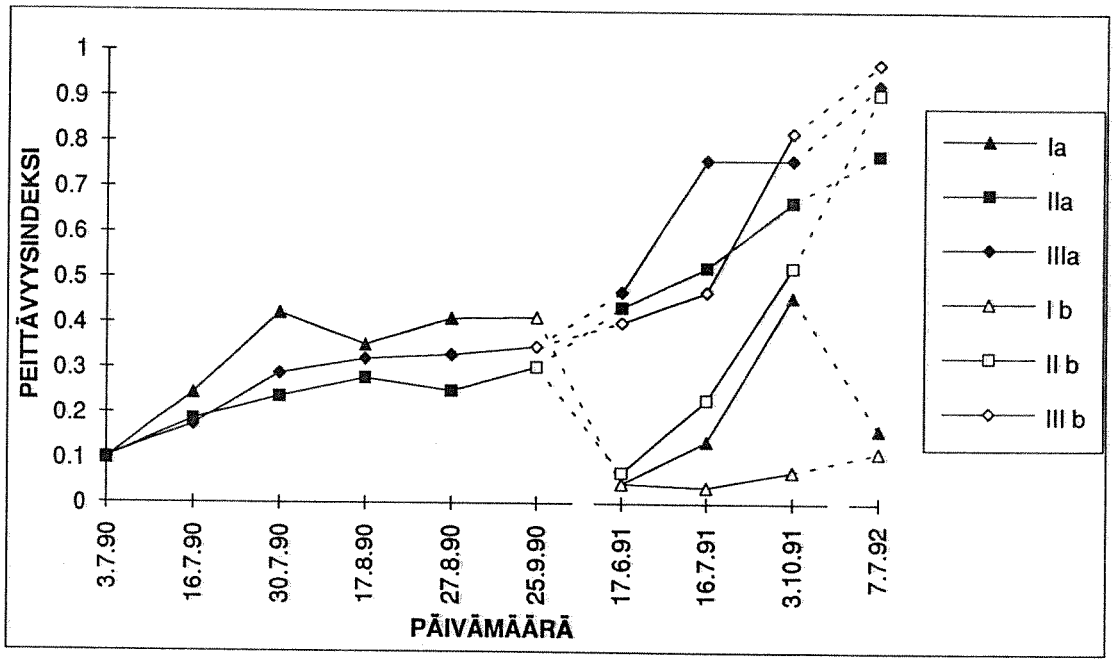
MANAMANSALO, Harju

Manamansalon Harju on karkean hiekan alueella, missä aineksen kulkeutuminen on lähes kokonaan loppunut. Säännöstelyajan keskiyliveden tasolle kerrostunut huuhteluvalli estää aallokon energian vaikutuksen rannan yläosalla. Valli patoaa taakseen myös törmästä vuolaasti valuvaa pohjavettä.

Manamansalon koealueella kasvillisuuden peittävyys lisääntyi keväällä 1990 tehdyn kyntämisen jälkeen melko hitaasti mutta tasaisesti koko ensimmäisen kasvukauden (kuva 30). Kasvillisuusvyöhykkeiden välillä ei voitu havaita selkeää eroa peittävyyden lisääntymisessä. Törmän juuresta purkautuvat pohjavedet patoutuivat huuhteluvallin taakse ja tämä näytti jossain määrin hillitsevän kasvillisuuden palautumista.

Kevään 1991 äestyksen jälkeen vyöhykkeiden I ja II peittävyydet pienenivät selvästi. Myös äestämättömän I vyöhykkeen koealan peittävyydet pienenivät voimakkaasti. Uusintaäestys ei täydellisesti ylettynyt III vyöhykkeen koealoille asti, joten sen vaikutukset eivät näy kovin hyvin. Koealueen edessä (I vyöhykkeellä) oli selvä aallokon kasaama hiekkavalli, joka kesän 1991 korkean veden aikana liikkui äestetyllä koealueen puolikkaalla kohti rannan yläosaa.

Kulkeva hiekka piti paljaana vyöhykkeen Ib koealat ja peitti 20 - 30 cm paksulla hiekkakerroksella vyöhykkeen IIb toisen koealan. Valli kuitenkin esti aallokon voiman pääsyn rannan yläosan koealoille ja keväällä äestettyyn koe-



Kuva 30 Kasvillisuuden peittävyyden kehittyminen Manamansalon Harjun koealueella. I = järvikorte-järviruokovyöhyke (uloin vyöhyke), II = sara-järvikorte-kastikkavyöhyke, III = sara-järvikortevyöhyke (sisin vyöhyke), a = kynnetty koealue, b = kynnetty ja äestetty koealue.

alueen puolikkaan kasvillisuus oli lokakuussa 1991 jo melko peittävää. Kasvillisuuden peittävyyden lisääntyminen jatkui myös kesän 1992 aikana ja oli heinäkuussa useimmilla käsitellyillä koealoilla jo varsin lähellä käsittelemättömien alojen peittävyyttä.

6.4 Muokkauskokeilun arviointia

Kesien 1990-91 koetoiminan tarkoituksena oli rikkoa hiekkaisen rantatasanteen pintaa siten, että hiekka lähtee uudelleen liikkeelle aallokon aiheuttamien virtausten vaikutuksesta. Toisaalta tarkoituksena oli heikentää kasvillisuutta ja vähentää sen peittävyyttä ja siten edelleen edistää normaalien hiekkarantaprosessien etenemistä.

Aallokon aiheuttamien virtausten mittauksilla pyrittiin löytämään ne raja-arvot, joiden vallitessa ranta-aineksen kuluminen ja kulkeutuminen mm. kynnetyillä koealoilla on periaatteessa mahdollista. Aallokon mittasuhteille pyrittiin löytämään myös yleisiä lainalaisuuksia, joista voidaan ilman mittauksia johtaa aallokkoperäisten virtausten voimakkuus.

Laskennallisesti on selvää, että vedenpinnan mataluus ja pieni pysyvyys kesällä 1990 mahdollisti aallokon kehävirtauksen merkittävän toiminnan vain kynnettyjen koealojen alimmilla osilla. Sen sijaan kesän 1991 vedenkorkeuksilla prosessialue ulottui mittausten mukaan kynnösalueiden puoliväliin, noin tasolle NN+122,40-122,50 m.

Prosessien uudelleen käynnistyminen muokatulla alueella riippuu ennen muuta vedenkorkeudesta ja muokatun alueen muodosta suhteessa ulappaan. Vedenpinnan tulee olla ainakin tasolla NN+122,90 m, jotta virtaukset pääsevät vaikuttamaan kyllin tehokkaana noin puolella rantatasanteesta. Lisäksi aineksen on oltava kyllin karkeaa hiekkaa; hieno aines liettyy ja kulkeutuu pääasiassa ulapalle päin.

Muokkauskokeilun lähtökohtana oli se, että rannan luontaiset prosessit käynnistetään uudelleen aallokon toimintaa vaimentavaa ja ainesta sitovaa kasvillisuutta poistamalla. Prosessien käynnistäminen tapahtuu ilmeisesti tuloksekkaimmin kahdella virtausvyöhykkeellä. Tehokkainta aallokon toiminta on aivan vesirajalla, missä tapahtuu lopullinen tyrskyyntyminen ja sen jatkona aallokon ***huuhteluvirtaus***. Tämä virtausmuoto aiheuttaa ennen muuta vesirajan syöpymisen ja mm. törmien muodostumisen. Virtausmuodolle on kuitenkin ehtona se, että veden syvyys ennen vesirajaa on riittävä (noin 30-50 cm). Jos vesi on matalaa, vaimenee aallokon teho olemattomaksi ennen huuhteluvaihetta.

Toinen merkittävä virtaustyyppi on ***kehävirtaus***, joka sekin vaatii kuluttavaan toimintaan ainakin 30-50 cm:n syvyyden. Kehävirtauksen toiminta perustuu jatkuvaan hitaaseen aineksen kulkeutumiseen alueelta ja sen seurauksena tapahtuvaan pohjan kulumiseen.

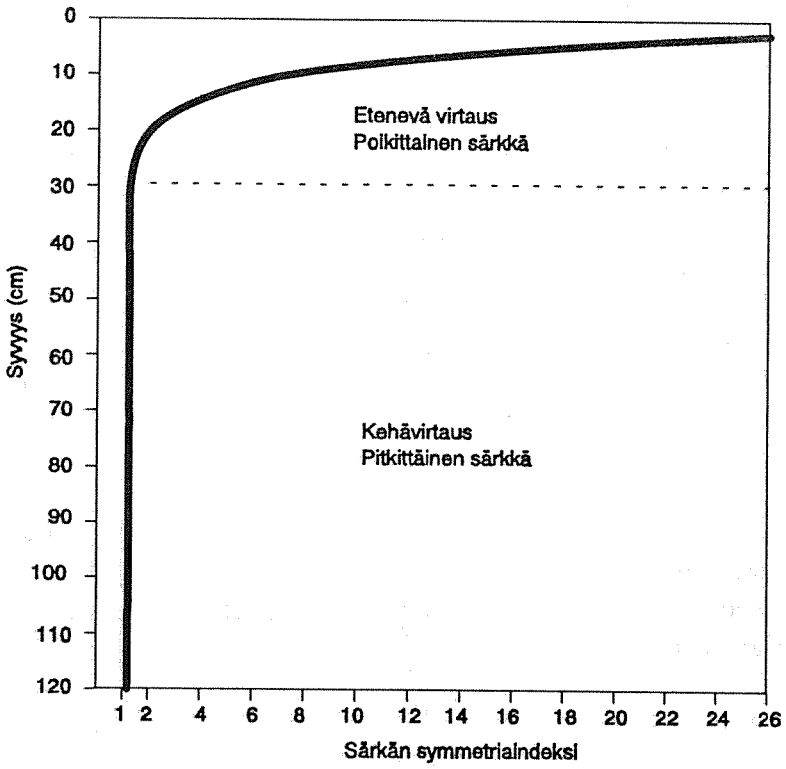
Matalan veden aikana etenkin loivilla hiekkarannoilla on kuluttavien huuhteluvirtausvyöhykkeen ja kehävirtausvöyhykkeen välillä leveä etenevän virtauksen vyöhyke, jossa virtausnopeudet ovat suuret. Tässä vyöhykkeessä vallitseva

aineksen kulkeutumissuunta on aallokon etenemissuunta. Aineksen kulkeutumisen välittäjänä toimivat erilaiset etenevät särkät ja vallit, jotka omalla ainesmassallaan estävät varsinaisen pohjan kulumisen. Etenevän virtauksen tuloksena voi siis tapahtua kasvillisuuden hautautumista ranta-aineksen alle, mutta se ei sinällään kuluta pohjaa huolimatta hyvinkin suuresta virtausnopeudesta.

Virtausnopeutta heijastavasta pohjaa peittävien särkkien ja kareiden poikkileikkauksen epäsymmetrisyydestä voidaan arvioida virtausnopeutta. Keräsen (1985b) tekemien mittausten perusteella kehävirtaus muuttuu Oulujärven hiekkarantojen olosuhteissa eteneväksi virtaukseksi noin 30 cm:n syvyydessä (noin 1,3 kertaa aallonkorkeus) 4 m/s:n tuulennopeudella (ks. kuva 31). Etenevässä aaltotyypissä aallokon teho laskee nopeasti vähentäen siten ratkaisevasti vesirajalla tapahtuvaa huuhtelukulutusta.

Koska kunnostuskokeilussa lähtökohtana on ennen muuta aallokon kuluttavan toiminnan edistäminen, sille on parhaat onnistumisen edellytykset rannoilla, jotka ovat niin jyrkkiä, että kriittinen 30 cm:n syvyys saavutetaan mahdollisimman lähellä vesirajaa. Lopputulos on saman tyyppinen, jos vedenpinta on avovesikaudella niin korkealla, että edellä mainittu ehto toteutuu.

On kuitenkin tähdennettävä sitä, että kohtuullisen matalan vedenpinnan aikana yli 50 cm:n syvyydessä (Oulujärven olosuhteissa) tapahtuva kehävirtauskulutus tuottaa irtonaista ainesta, joka hitaasti kulkeutuu pääsääntöisesti kohti vesirajaa ja siten madaltaa rantaa etenevälle virtaukselle ja nopealle kulkeutumiselle otolliseksi. Itse asiassa juuri tämä seikka on se, joka alaspäin säännöstellyissä järvissä estää tulvienkin aikana tehokkaan vesirajakulutuksen ja toisaalta ke-



Kuva 31 Aallokon tyypin muutos syvyyden mukaan (Keränen 1985b).

hävirtauskulutuksen aina 30-40 cm:n syvyyteen saakka. Tuulen nopeuden lisääntyessä (aallonkorkeuden kasvaessa) voi etenevä aallokko, ja siis nopea aineksen kulkeutuminen muodostua vielä syvemmllä. Etenevä virtausvyöhyke ja sen seurauksena kynnyksenomaisesti madaltuva ranta on hyvin tärkeä rannan yläosaa suojaava ja kulutusta estävä tekijä. Kesällä 1990 koealueilta otetuissa ilmakuvissa ilmiö on todettavissa varsinkin Manamansalon kohteella.

Hyvin korkean vedenpinnan tason aikana tätä ilmiötä ei pääse merkittävästi tapahtumaan, koska varsinkin koverilla rantaosuuksilla kehävirtauksen irrottaman aineksen kulkeutumissuunta on kovan tuulen vallitessa rannalta ulapalle päin. Tämä edellyttää ainakin teoriassa sitä, että vesiraja on törmän tyvellä ja äyräällä on vettä ainakin 50 cm.

Kasvillisuuden seuranta muokatuilla alueilla osoitti varsin selvästi, että muokkaus ja sen seurauksena käynnistyneet pohja-aineksen prosessit eivät yhdessäkään pysty täysin taannuttamaan kasvillisuutta. Toisaalta muokkauksen aiheuttaman taantuman ja koealojen alaosilla tapahtuneen kulumisen merkitystä on vielä vaikea erotella toisistaan.

Tuloksen parantamiseksi tulisi muokatun kuvion olla nyt kokeiltua leveämpi tai muodoltaan ulapalle avautuva sektori. Lisäksi kevyehköt maansiirtotyöt, lähinnä pienten pitkittäisten vallien poistamiset kenties jonkin verran lisäävät aineksen liikkumista.

Kynnöksen tulisi olla mahdollisimman tiukka, jotta sara ei kasvaisi viilujen välistä esille. Siksi auran koon ja kyntösyvyyden tulee olla olosuhteisiin sopivia (ns. kuorimen käyttö auran siivissä saattaisi myös auttaa). Korte ja järviruoko kasvavat uudelleen kynnön yhteydessä katkeilleista viiluun jääneistä juurakoista. Kasvua on mahdollista rajoittaa seuraavan kevään aikana tehdyllä äestyksellä, jolloin juurakon vararavinnon määrä on vähäisimmillään.

Kuollut karkea kasvimassa kulkeutuu rannan yläosalle. Hieno liete sen sijaan kerrostuu pohjan painanteisiin. Pienialaisilla käsittelykohteilla kasvimassalla ei kuitenkaan liene merkittävää ravinteita lisäävää merkitystä.

Kyntö ja äestys voidaan toteuttaa helposti 4-vetoisella maataloustraktorilla toukokuun lopulla laajoillakin kasvittuneilla ja soistuneilla ranta-alueilla. Kaivinkoneen tai puskutraktorin tehollinen maansiirtomatka on noin 70 m. Mikäli ruoppauskaista on leveämpi, on käytettävä pyöräkuormaajaa tai lastattava massat kuorma-autoon. Autokuljetus on edullisin toteuttaa talvityönä.

Kahden kesän kokeilun perusteella näyttää siltä, että kyntämisen vaikutukset jäävät paikallisiksi ja ilmeisen lyhytaikaisiksi. Suurimpana syinä olivat alhainen vedenkorkeus ja kasvillisuuden nopea toipuminen mekaanisesta käsittelystä. Kynnetyn alueen myöhempi äestäminen paransi tulosta. Kasvillisuuden tehokkaampi torjuminen edellyttää kortteen ja järviruo'on juurakoiden tuhoamista. Tämä lienee ainakin osittain mahdollista esimerkiksi traktorikäyttöisillä möyhimillä, jotka murskaavat juuriston pieniksi palasiksi. Järviruoko kestää tätäkin menetelmää kortetta paremmin, koska sen juurakko voi olla syvällä pohjahiekassa. Tätä menetelmää kokeiltiin vasta kesällä 1992, joten sen osalta ei voida tehdä kovin pitkälle meneviä johtopäätöksiä.

Vaihtoehtona kyntämällä tapahtuvalle pohjan prosessien aktivoimiselle on ruoppaus, jolla poistetaan ainakin ravinteikas pintakerros. Samalla poistuu myös kasvien juuristo mukaan lukien kortteen ja järviruo'on juurakot. Pohja myös syvenee, jolloin aallokon toiminta tehostuu estäen kasvillisuuden uudelleen juurtumista. Riittävä ruoppaustaso lienee noin 121.80 NN+m. Ruoppaus on kuitenkin tehtävä suunnitelmallisesti. Ennen muuta on huomioitava rannan syventämisen mahdolliset vaikutukset alkuperäisen rannan ja läjitysmassojen kulumiseen. Lisäksi hienojakoinen aines ei kestä aallokkoa vedenpinnan ollessa korkealla. Ruopattujen massojen sijoittelu vallitsevan aallokon suhteen on suunniteltava siten, että mahdollisesti syöpyvä aines ei kulkeudu takaisin käsitellylle alueelle.

Koealueilla massat pengerrettiin jakokunnan luvalla vanhan törmän juurelle. Mikäli ruopattava rantavyöhyke on leveä, syntyy ruoppausmassoja niin paljon, että niitä ei voida sijoittaa rantavyöhykkeelle vaan massat on siirrettävä läjitysalueelle. Oulujärvellä on runsaasti verraten leveän kasvillisuusvyöhykkeen peittämiä ranta-alueita, joiden kunnostaminen ruoppaamalla virkistyskäyttöön sopivaksi olisi mahdollista. Työ voitaisiin suorittaa talvityönä kaivinkoneella ja kuorma-autolla läjitysalueelle ajaen.

7 YHTEENVETO

Oulujärven rantojen kasvillisuus on melko selvästi ryhmiteltävissä kahteen ajalliseen ja kahteen alueelliseen ryhmään. Ajallinen jako käsittää vanhat, ennen säännöstelyn alkua (1951) kasvittuneet rannat ja toisaalta 1960-70 luvuilla kasvittuneet rannat.

Alueellinen jako noudattaa karkeasti järven halki kulkevaa harjujaksoa siten, että harjun ja sen liepeiden hiekkarannat ovat pysyneet kasvillisuudesta vapaina pitemmän ajan kuin pohjois- ja etelärantojen moreeniin ja hienosedimentteihin muodostuneet rannat.

Kasvillisuuden leviäminen ennen säännöstelyä kasvittomina pysyneille hiekkarannoille on monen tekijän aiheuttama ilmiö. Hiekkarantojen yleistä kehittymistä ja niillä vallitsevia kulumis-kulkeutumisprosesseja tulkitsemalla voidaan sanoa, että kasvillisuuden leviämisen merkittävin syy on ollut vedenpinnan alentaminen säännöstelyllä ja sitä seurannut rantojen stabiloituminen. Toinen merkittävä kasvillisuutta edistävä tekijä on ollut ravinnekuormituksen ilmeinen lisääntyminen rantavyöhykkeellä.

Rantojen kasvillisuuden lisääntymiseen voidaan suhtautua periaatteessa kolmella tavalla. Ensimmäisen näkemyksen mukaan tulee pyrkiä ns. luonnontilaan ja näin ollen kasvillisuus on poistettava tavalla tai toisella. Toinen etsii leviävästä kasvillisuudesta etuja, kuten lintukannan lisääntyminen. Kolmas näkökulma lähtee siitä, että muuttunut vedenpinta seurauksineen on luonut uuden rantaelementin, joka vähitellen muuttaa myös maisemaa. Tämän veden ja maan uuden vaihettumisvyöhykkeen hyödyntäminen voi tapahtua mm. maisemoinnilla ja eri asteisilla maanrakennushankkeilla, joiden kautta rantavyöhykkeelle saadaan uusia tai parempia käyttömuotoja.

Tässä raportissa näkökulmana on ollut osittain ensimmäinen ja osittain kolmas. On pyritty kokeellisesti etsimään niitä keinoja, joilla kasvillisuuden peittämät entiset hiekkarannat voitaisiin palauttaa lähelle luonnontilaista olomuotoa ja käyttömuotoja ilman esimerkiksi mittavia rantavyörymiä. Toisaalta yksittäisten rantakohteiden ruoppaamisella lähelle luonnontilaista syvyyttään ja läjitysmassojen maisemoinnilla etsitään myös uutta Oulujärven rantailmettä.

Oulujärvellä tehtyjen kasvillisuuden poistokokeiden tarkoituksena oli selvittää, riittävätkö aallokon aiheuttamat virtaukset käynnistämään uudestaan rannan kasvittomana pitävät prosessit, jos hiekka käännetään kyntämällä esille kasvimassan alta. Ruoppauskokeissa oli selvitettävänä aallokon käyttäytyminen ja läjitysmassojen kestävyys kulutusta vastaan.

Rantojen ja kasvillisuuden kehitystä säätelevän aallokon mittasuhteisiin haettiin Oulujärven rantakohteisiin ja myös yleensä sisävesille pätevää laskentamallia, jolla voidaan määrittää mm. virtausnopeudet ulappa- ja tuulitietojen perusteella. Vertaamalla mittaussarjojen havaintoja yleisistä aaltoteorioista johdettuihin yhtälöihin ja muualla tehtyihin mittauksiin havaittiin, että tietyillä reunaehdoilla on mahdollista palauttaa rannan ulkoreunalle tulevan aallokon mittasuhteet tuuli- ja ulappatiedoista. Rantakohtainen eri syvyyksillä tapahtuvan virtauksen määrittäminen vaatii mm. pohjan muodon vaihtelun vuoksi jatkossakin paikallisia mittauksia. Lisää havaintoja vaatii myös aallokon mittasuhteiden muuttumisen selvittäminen eri kasvillisuusvyöhykkeissä.

Kasvillisuuden poiston kokeilu osoitti, että varsinkaan pienialaisilla kynnöksillä aallokon aiheuttama virtaus ei ole kesän 1991 vedenkorkeustasoilla (kesä-syyskuun MW oli NN+ 122,85 m) riittävä aiheuttamaan mainittavaa kulumista ja kulkeutumista kuin noin tasolle NN+122,40 m saakka. Kasvillisuuden elpymistä muokkauksen aiheuttamasta taantumasta tapahtui tuon prosessitason alapuolellakin.

KIRJALLISUUS

Anttonen-Heikkilä, K. 1983. Säännöstelyn vaikutuksista Oulujärven ranta- ja vesikasvillisuuteen. - Vesihallituksen tiedotuksia 231, Helsinki 1983, 75 s.

Björk, S. 1967. Makrofytproblem i kulturpåverkande vatten. - Limnologi symposion 1967: 9-16.

Blevins, R. D. 1984. Applied fluid dynamics handbook. - New York

Brydsten, L. 1985. Om stränder - processer, material och former. - GERUM 1. Geografiska institutionen, Umeå Universitet.

Cummins, W. E. 1985. Ocean waves. - Teoksessa: Principles of Naval Architechture.

Eagleson, P.S & Dean R. G. 1966. Small Amplituden Wave Theory. - Teoksessa A.T.Ippen (toim.): Estuary and Coastline Hydrodynamics, 1-92, McGraw-Hill Book Company.

Hellsten, S. (toim.) 1991. Iijoen vesistön latvajärvien säännöstelyn kehittämisselvitys. - Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 302: 46 s. + 6 liitt.

Hentilä, R. 1989. Kasvillisuus Oulujärven rantatörmien kehityksen kuvastajana. - Pro gradu-tutkielma. Oulun yliopisto, maantieteen laitos.

Huntley, D.A. & Bowen A. J. 1975. Comparison of the hydrodynamics of steep and shallow beaches. - Teoksessa Hails, J & A. Carr (toim.): Nearshore sediment dynamics and sedimentation, 69-109, John Wiley & Sons, Bath.

Kainuun seutukaavaliitto, 1990. Oulujärven rantojen käytön suunnitelma. Nykytilan inventointi ja alustava arvio rantojen soveltuvuudesta eri maankäyttömuotoihin. - Moniste, Kainuun seutukaavaliitto, Kajaani.

Kainuun seutukaavaliitto, 1991. Oulujärven rantojen käytön suunnitelma. Suunnitelmaluonnoksen valmistelu. - Moniste, Kainuun seutukaavaliitto, Kajaani.

Kemiläinen, H. & Keränen, R. 1989. Manamansalon geomorfologinen kartta. Manamansalon kehittymisen yleispiirteet. Oheislukemisto geomorfologiseen karttaan. - Oulujärven tutkimusasema. Moniste.

Keränen, R. 1982. Water level variations of lake Oulujärvi, Finland. - Nordia 16:4, 227-242.

Keränen, R. 1985a. Wave-induced sandy shore formations and processes in lake Oulujärvi. - Nordia 19:1, 1-58.

Keränen, R. 1985b. Subaquatic bar dynamics in connection with lake level variations. - Esitelmä First International Conference on Geomorphology. Manchester.

Koutaniemi, L. & Keränen R. 1983. Lake Oulujärvi, main holocene developmental phases and assosiated geomorphic events. - Annales Academiae Scientiarum Fennicae A III:135. 48s.

Laikari, J. 1976. Oulujärven virkistyskäyttötutkimus. - Pro gradu-tutkielma, Oulun yliopisto, Maantieteen laitos, 98 s.

Leiviskä, I. 1913. Über den See Oulujärvi und Seine Uferformen. - Annales Academicae Scientarum Fennicae A III: 2 107 s.

Lillieroth, S. 1950. Über Folgen kulturbedingter Wasserstandsenkungen für Makrophyten- und Planktongemeinschaften in seichten Seen des Südschwedischen Oligotrophiegebietes. - Acta Limnol. 3: 1-288

Malinen, P. & Kela, E. 1990. Kainuun maaseutuelinkeinot ja kylittäiset kehittämislähtökohdat. Alueellinen maaseutupolitiikka -kehittämis- hankkeen tutkimusvaiheen raportti. - Kainuun seutukaavaliitto, julkaisu D:13.

Meriläinen, J. & Toivonen, H. 1979. Lake Keskimmäinen, dynamics of vegetation in a small shallow lake. - Ann. Bot. Fenn. 16: 123-139.

Nybom, C. 1988. Vesikasvien poiston koetoiminta vesihallinnossa vuosina 1972-1986. - Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja 16: 1-78.

Nybom, C., Hellsten, S. & Hiltunen, P. 1990. Liiallisen kasvillisuuden vähentäminen. - Teoksessa Ilmavirta, V. (toim.): Järvien kunnostuksen ja hoidon perusteet. Helsinki, Yliopistopaino, s. 374-409.

Puustinen, M. 1983. Säännöstelyn vaikutuksista vesistön tilaan Onkivedellä ja Porovedellä. - Vesihallituksen monistesarja 178: 1-87.

Raudkivi, A. J. 1976. Loose boundary hydraulics. - Pergamon international library.

RIL 144-1983. 1983. Rakenteiden kuormitusohjeet. - Suomen rakennusinsinööriliitto.

Rørslett, B. 1991. Principal determinants of aquatic macrophyte richness in northern European lakes. - Aquatic Botany 39: 173-193.

Palomäki, R. 1992. Oulujärven rantatyyppien ja rantahabitaattien suhteellisten osuuksien arviointi. - Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja. Painossa.

Saukko, P. 1986. Tulva rantojen sortajana. Oulujärven ja Sotkamon järvien rantatörmien vyöryminen vesistön luonnontilassa. - Vesihallituksen tiedotuksia 269.

Suominen, J. 1987. Kevättulva - tutkimatta hutkittu! Suomen Luonto 4: 10-11.

Tiitto, T. 1983. Oulujoen vesistön tila ja sen kehittyminen. - Oulun yliopisto, vesirakennustekniikan laitos. Sarja A, julkaisu 10. 1-136.

Tolonen, E. 1986. Seurantatutkimus säännöstelyn vaikutuksista Oulujärven ranta- ja vesikasvillisuuteen. Vesihallituksen monistesarja 419: 1-40.

Tolonen, P. 1991. Seurantatutkimus säännöstelyn vaikutuksista Oulujärven ranta- ja vesikasvillisuuteen. Tutkimusraportti. - Moniste, 37 s. Kainuun vesi- ja ympäristöpiiri.

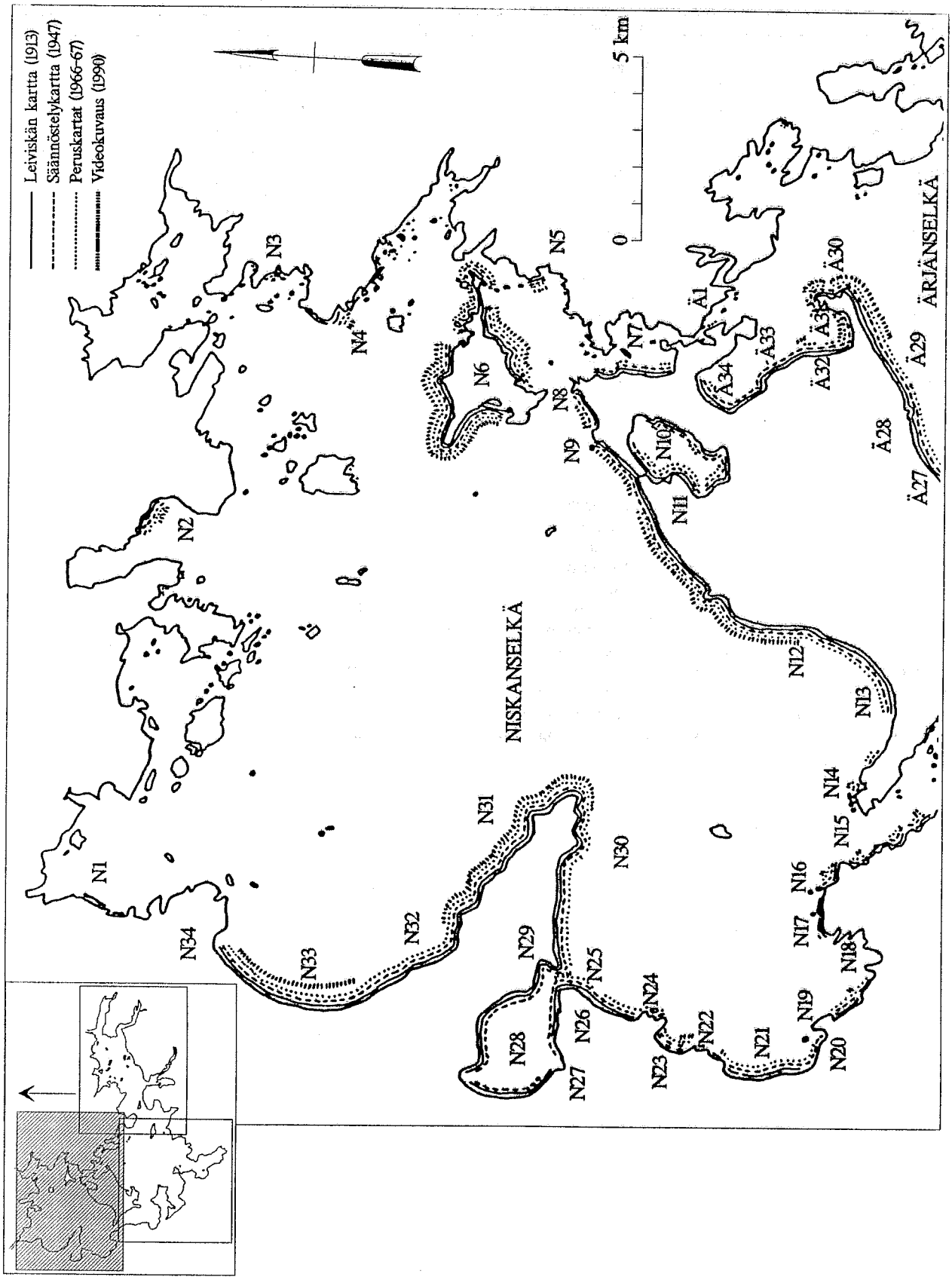
Väre, J. 1990. Rantatörmän tyvikorkeutta säätelevät tekijät Oulujärvellä. - Pro gradu-tutkielma. Oulun yliopisto, maantieteen laitos.

LIITE 1. OULUJÄRVEN KASVILLISUUDESTA VAPAAT HIEKKARANNAT. TEKSTISSÄ MAINITUT PAIKANNIMET TUNNUKSINEEN.

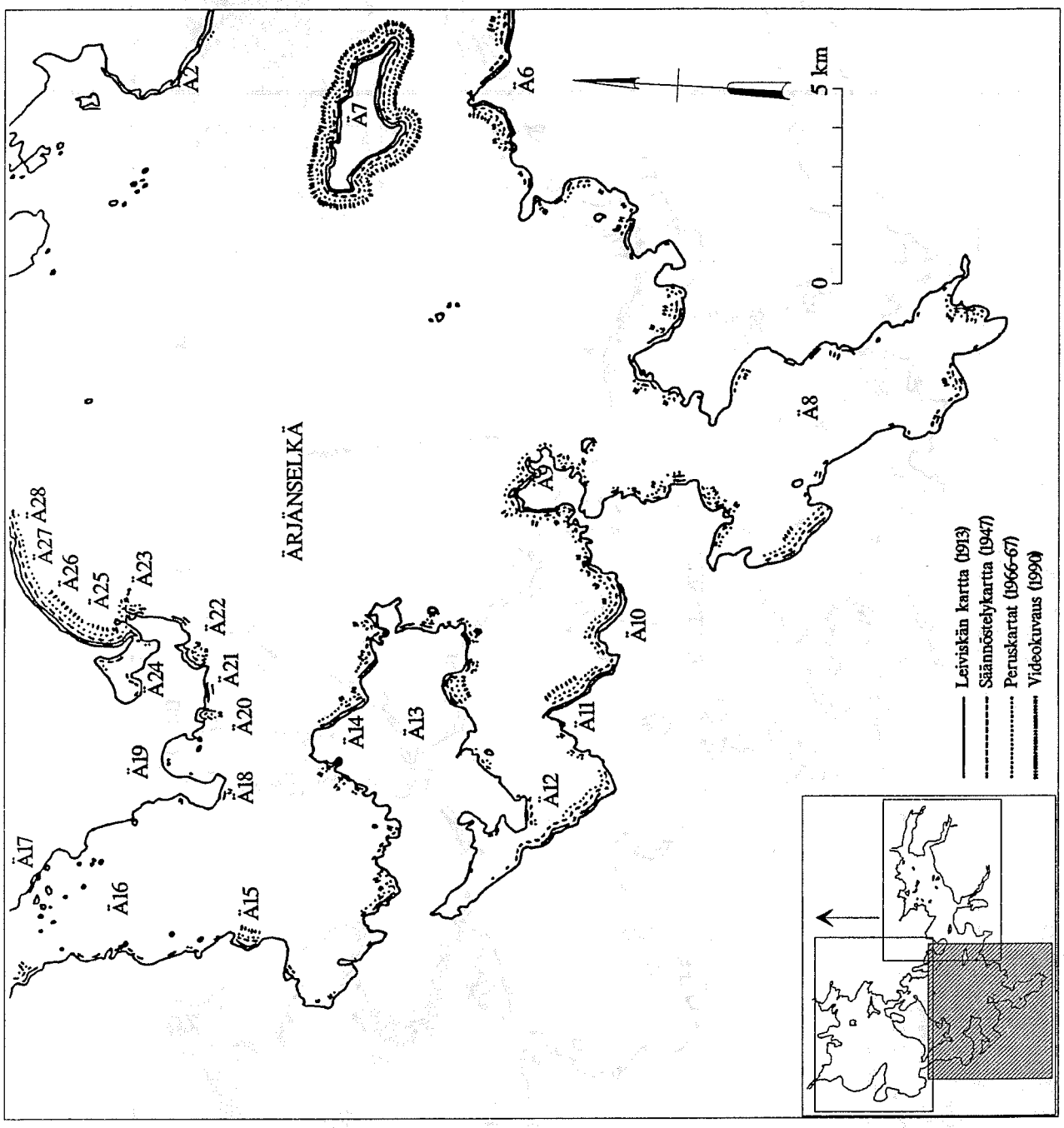
NISKANSELKÄ (N)			ÄRJÄNSELKÄ (Ä)			PALTASELKÄ (P)		
Hietalahti (Vaala)	N	1	Korteniemen kärki	Ä	1	Hietakaarto (Neuvosenniemi)	P	1
Hietalahti (Kankari)	N	2	Neuvosenniemi	Ä	2	Metelinranta	P	2
Likolahti	N	3	Sivolanniemi	Ä	3	Kuhaniemi-Hietaniemi	P	3
Kivesniemenhiekka	N	4	Koutalahti	Ä	4	Hyrkinkaarre	P	4
Väätäjänsuo	N	5	Vuoreslahti	Ä	5	Hautakaarre	P	5
Kuostonsaari	N	6	Kumpuniemi	Ä	6	Hietalahti	P	6
Rusilanlahti	N	7	Ärjänsaari	Ä	7	Luhdanniemi	P	7
Kiloniemi	N	8	Vuottolahti	Ä	8	Hannusranta	P	8
Lehminiemi	N	9	Vuottoniemi	Ä	9	Kiviniemi	P	9
Kaaresjärvi	N	10	Kuusiranta	Ä	10	Venesatama (Paltaniemi)	P	10
Pantionniemi	N	11	Selkäniemi	Ä	11	Kerittäväniemi	P	11
Puronranta	N	12	Käkilahti	Ä	12	Toukansaari	P	12
Ahvenkaarre	N	13	Käkisaari	Ä	13			
Hietakaarre (Hiisiniemi)	N	14	Jataharjunniemi	Ä	14			
Rykyniemi	N	15	Varpokaarre	Ä	15			
Sorsaniemi	N	16	Alassalmi	Ä	16			
Karinniemi	N	17	Lehminiemi (Haapokari)	Ä	17			
Juurikkalahti	N	18	Mustaniemi	Ä	18			
Selkäniemi	N	19	Mustalahti	Ä	19			
Riihilahti	N	20	Harmaalanlahti	Ä	20			
Enonlahti	N	21	Harmaalanranta	Ä	21			
Hietapuronniemi-Säynäjänniemi	N	22	Lusikkalahti	Ä	22			
Pitkähieta	N	23	Kuivaniemi	Ä	23			
Mäntyniemi	N	24	Pirttiniemi	Ä	24			
Saarenranta	N	25	Rytökynnäs	Ä	25			
Salmenniemi	N	26	Rytölahti	Ä	26			
Isonojansuu	N	27	Rantapelto	Ä	27			
Painuanlahti	N	28	Piskosentörmä	Ä	28			
Kontiopää	N	29	Paljakantörmä	Ä	29			
Okkolankaarre	N	30	Soiluanniemi	Ä	30			
Voihamina-Okkolanniemi	N	31	Rahkasuonpouhe	Ä	31			
Hautakangas-Ruununtörmä	N	32	Kesätiensuu-Soiluanlampi	Ä	32			
Kaarteenperä-Hautakangas	N	33	Kaivosojanlampi-Kesätiensuu	Ä	33			
Kaarteenperä	N	34	Martinlahti	Ä	34			

LIITE 1/2

LIITE 1. OULUJÄRVEN KASVILLISUUDESTA VAPAAT HIEKKARANNAT. NISKANSELKÄ

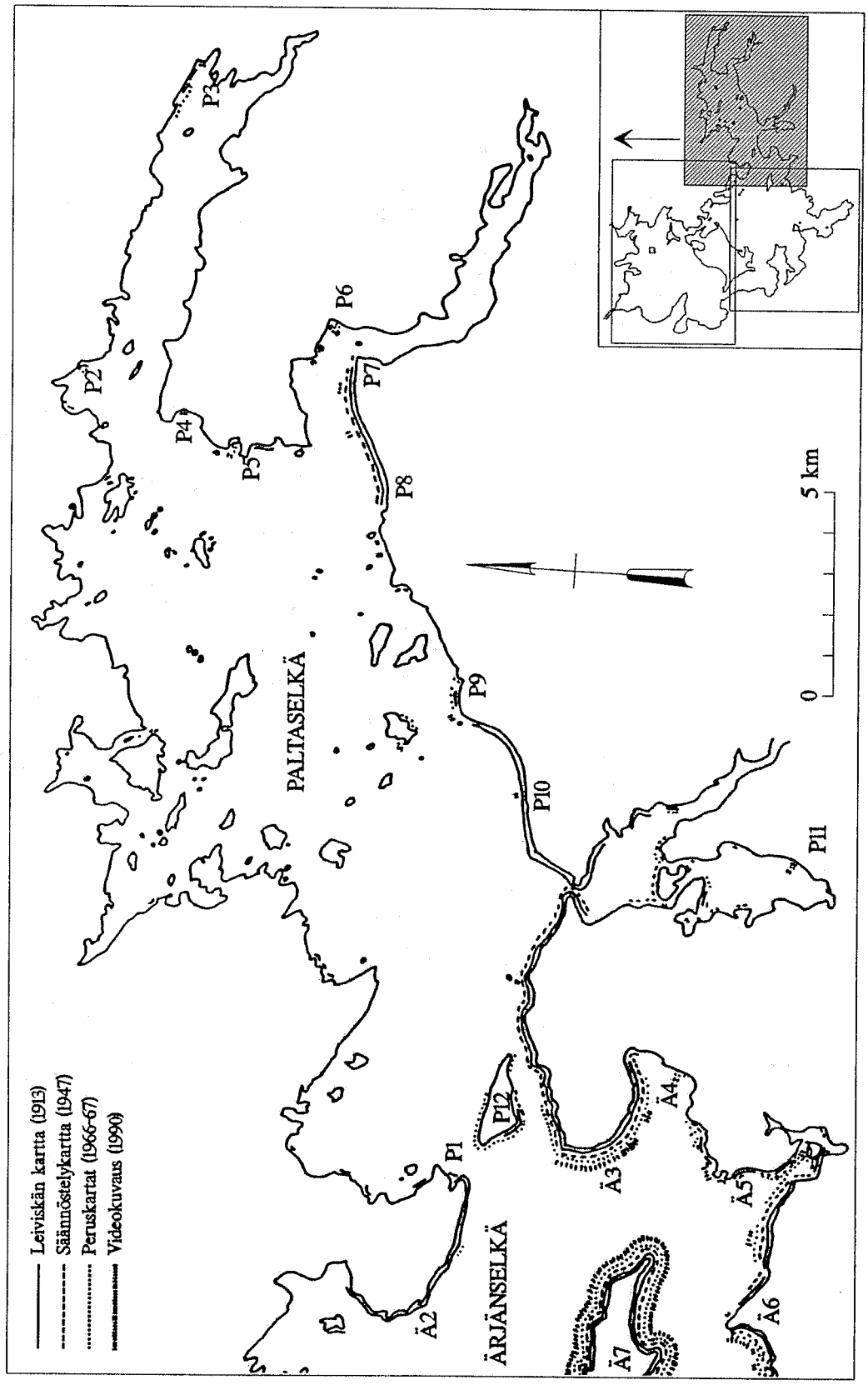


LIITE 1. OULUJÄRVEN KASVILLISUUDESTA VAPAAT HIEKKARANNAT. ÄRJÄNSELKÄ

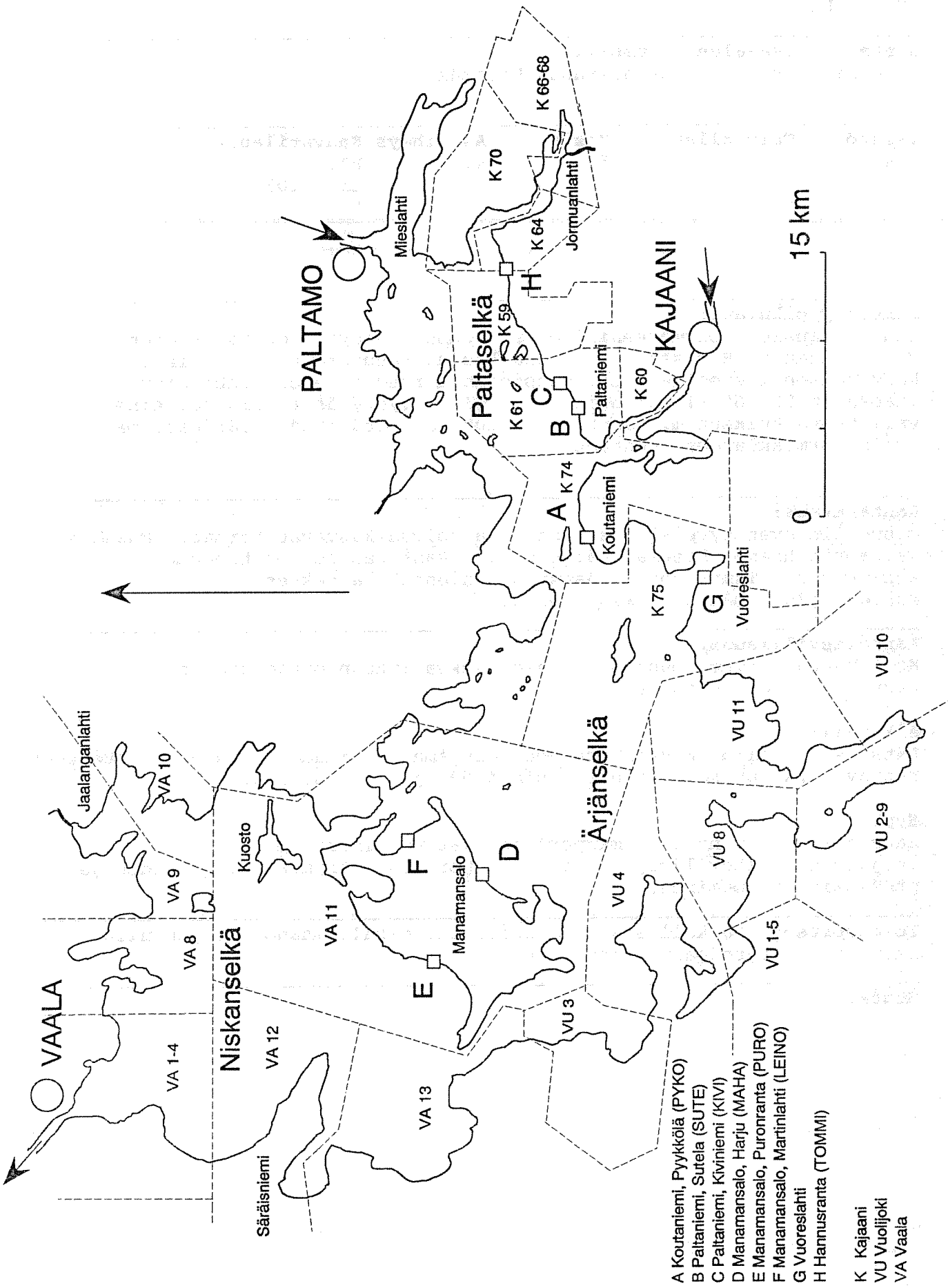


LIITE 1/4

LIITE 1. OULUJÄRVEN KASVILLISUUDESTA VAPAAT HIEKKARANNAT. PALTASELKÄ



LIITE 2. RANTAKORTIT JA KARTTA KOEALUEISTA



LIITE 2/2

LIITE 2. RANTAKORTIT JA KARTTA KOEALUEISTA

KORTTI Nro 1

Kunta	Osa-alue	Aluenimi
Kajaani	59	Hannusranta Hepomäki

Väestö	Toim.tilat	Mökit	As.tiheys	Kaavatilanne
194	5	58	4.4	RA: S: 103 LV1: LV2: RM:

Rantatyyppikuvaus:
Alueen länsiosa on moreenialuetta, johon kuuluvat edustan saaret Maahonkinen ja Hevossaari. Itäosa kuuluu Hannusranta-Paltaniemi harjujakson lievealueeseen. Länsiosan moreenialue on stabiloitunutta ja itäosa on 50- 60 -luvullakin vielä ollut vyöryvässä tilassa. Aineksen vallitseva kulkeutumissuunta on ollut lännestä itään. Järjestelmä on avoin Jormuanlahden suuntaan.

Rantakuvaus:
Osuudelle ovat tyypillisiä leppää ja koivua kasvavat törmät. Maalaji on valtaosin hienoa hiekkaa tai hietaa. Rantatasanne on huonosti kehittynyt. Tämä johtuu pääasiassa hienosta aineksesta ja rantajärjestelmän avoinaisuudesta.

Rantakasvillisuus:
Koko rantavyöhyke, muutamaa niemenkärkeä lukuun ottamatta, on kasvillisuuden peitossa.

Aikaväli:
Länsiosa on ollut kasvillisuuden peittämä vuosisadan alussa. Harjualueen rantavyöhyke on kasvittunut lähinnä 60- ja 70 -luvulla.

Syy:
Länsiosalla ravinteikas maaperä ja saarien aiheuttama suojaisuus,peltoviljely. Itäosalla törmien vyörymisen loppuminen ja prosessien loppuminen.

Toimenpiteet: Paikallisia toimenpiteitä, mikäli maanomistajat niin haluavat. Käyttäpaine kohtalainen.

Muuta:

LIITE 2. RANTAKORTIT JA KARTTA KOEALUEISTA

KORTTI Nro 2

Kunta	Osa-alue	Aluenimi
Kajaani	60	Jokivarsi

Väestö	Toim.tilat	Mökit	As.tiheys	Kaavatilanne
25		8	4.0	RA: S: LV1: LV2: RM:

Rantatyyppikuvaus: Sokajärven itäranta ja jokivarsi ovat suojaisia moreenialueen rantoja.

Rantakuvaus:

Rantakasvillisuus:
Sokajärven itärantaa lukuunottamatta alue on rantakasvillisuuden peittämä.

Aikaväli:
60-70 -luku.

Syy:
Maaperän ja veden ravinteikkuus sekä suojaisuus.

Toimenpiteet:
Paikallisia toimenpiteitä.

Muuta:
Tutkimustietoa alueelta runsaasti.

LIITE 2. RANTAKORTIT JA KARTTA KOEALUEISTA

KORTTI Nro 3

Kunta	Osa-alue	Aluenimi
Kajaani	61	Paltaniemi

Väestö	Toim.tilat	Mökit	As.tiheys	Kaavatilanne
376	15	29	8.5	RA:
				S:
				LV1:
				LV2: 102
				RM:
				KM: 101
				ET1: 104
				A:
				EH: 101

Rantatyyppikuvaus: Paltaniemi kuuluu harjujaksoon. Ranta on tyypillinen kulutusranta, jonka kerrostuma-alue on rantatasanteella ja toisaalta idässä Kiviniemen alueella.

Rantakuvaus:
Paltaniemen rantaosuus on ollut ennen säännöstelyn alkua voimakkaan törmäkulutuksen kohteena. Tästä johtuen törmän tyven vahvistamisia on tehty. Aines on pääosin hienoa hiekkaa tai hiekkaa.

Rantakasvillisuus:
Ranta on kasvillisuuden peittämä.

Aikaväli:
60-70 -luku.

Syy:
Törmäkulutuksen ja prosessien loppuminen vedenpinnan alenemisen seurauksena.

Toimenpiteet:
Yhteistyössä ja maanomistajien, lähinnä kaupungin kanssa, tulee neuvotella toimenpiteiden tarpeellisuudesta ja laajuudesta. Käyttäpaine on suuri.

Muuta:
Alueella on tehty runsaasti rantatutkimuksia. Katso esim. Oulujärven tutkimusaseman bibliografia.

Myös ilmakuvauksia on tehty runsaasti 70 -luvun lopussa ja 80 -luvulla.

LIITE 2. RANTAKORTIT JA KARTTA KOEALUEISTA

KORTTI Nro 4

Kunta	Osa-alue	Aluenimi
Kajaani	64	Torvela

Väestö	Toim.tilat	Mökit	As.tiheys	Kaavatilanne
70	3	33	6.3	RA: S: LV1: 102 LV2: RM:

Rantatyyppikuvaus: Paltaselän puoleinen osa on Hannusrannan kerrostumisaluetta Jormuanlahden suuhun työntyvä kynnäs esimerkkinä. Jormuanlahden etelä- ja länsiranta sitä vastoin on ruhjeeseen muodostunutta moreenirantaa, mistä syystä rantatasanne on kapea.

Rantakuvaus:

Rantakasvillisuus:
Koko rantaosuus on kasvillisuuden peittämä.

Aikaväli:
Kasvillisuuden muodostumisaika osittain jo vuosisadan alku. Paikoitellen rannan keskiosalla lähinnä 50 -luku.

Syy:
Ravinteikas moreenimaasto ja hyvin suojainen sijainti.

Toimenpiteet:
Korkeintaan paikallisia toimenpiteitä asukkaiden pyynnöstä.

Muuta:

LIITE 2. RANTAKORTIT JA KARTTA KOEALUEISTA

KORTTI Nro 5

Kunta	Osa-alue	Aluenimi
Kajaani	66-68	Hilleri, Loikkala ja Jormua

Väestö	Toim.tilat	Mökit	As.tiheys	Kaavatilanne
Noin 260	13	50	n. 6.0	RA: 102 S: LV1: 104 LV2: 109 RM:

Rantatyyppikuvaus: Jormuanlahden pohjukka on lähinnä moreenialueille tyypillinen lahti, johon virtaa Jormuanjoki. Rannat ovat etelärannalla jyrkät, pohjoisrannalla hieman loivemmat. Rantaosuus on hyvin suojainen.

Rantakuvaus:

Rantakasvillisuus:
Koko alue on ranta- ja vesikasvillisuuden peittämä.

Aikaväli:
Jo ennen säännöstelyn alkua.

Syy:
Hajakuormitus ja ravinteikas maaperä.

Toimenpiteet: Paikallisesti suurtakin käyttöpainetta rantakaavan ja Jormuan kylän vuoksi. Toimenpiteitä tarkan harkinnan mukaan paikallisesti.

Muuta:

LIITE 2. RANTAKORTIT JA KARTTA KOEALUEISTA

KORTTI Nro 6

Kunta	Osa-alue	Aluenimi
Kajaani	70	Hietalahti

Väestö	Toim.tilat	Mökit	As.tiheys	Kaavatilanne
79	9	45	3.1	RA: 102
				RA: 106
				S:
				LV1:
				LV2:
				RM:

Rantatyyppikuvaus:
Jormuanlahden pohjoisranta ja itäranta on moreenialuetta, osittain kallioperän ruhjeeseen muodostunutta. Paltaselän rantaosuus on niin ikään kallio- ja moreenirantaa. Jormuanlahti on suojainen ja Paltaselän ranta avoin.

Rantakuvaus:

Rantakasvillisuus:
Jormuanlahden ranta on kasvillisuuden peittämä, jyrkimpiä kallio- ja moreeniosia lukuun ottamatta. Paltaselän rantaosuus sitä vastoin on kasvillisuudesta vapaata. Osittain jopa paljasta hiekkarantaa.
Aikaväli:

Syy:
Jormuanlahdella syynä kasvipeitteen muodostumiselle ravinteikas maaperä, hajakuormitus ja ennen kaikkea suojainen sijainti.

Toimenpiteet:
Rantakaava-alueelle voidaan suunnitella paikallisia toimenpiteitä yhteistyössä maanomistajien kanssa.

Muuta:

LIITE 2. RANTAKORTIT JA KARTTA KOEALUEISTA

KORTTI Nro 7

Kunta	Osa-alue	Aluenimi
Kajaani	74	Koutaniemi

Väestö	Toim.tilat	Mökit	As.tiheys	Kaavatilanne
209	16	74	3.0	RA:
				S: 106
				LV1:
				LV2: 115
				RM: 103
				PV: 102
				ET1: 109

Rantatyyppikuvaus:
Alue käsittää Koutaniemen ja Toukansaaren. Rannat ovat Oulujärven puolella, osittain vyöryviä hiekkarantoja. Toukansaari on karkeimmasta aineksesta muodostunut myös Harjusaari. Kajaanijoen ja Sokajärven alue on pohjamoreenialuetta. Rantaviiva on täällä rikkonainen ja saarien ja niemien suojaama.

Rantakuvaus:

Rantakasvillisuus:
Sivolanniemen etelärannan kynnäksen tausta on kasvillisuuden peittämä samoin koko kynnäs. Koutaniemen pohjoisranta on myös yläreunaltaan kokonaan kasvillisuuden peittämä. Samoin Kajaanijoen ja Sokajärven rannat. Avointa rantaa on vain Sivolanniemen länsikärki.
Aikaväli:
1950- 70 luku. Koutaniemen pohjoisrannalla 70- luku, Kajaanijoen ja Sokajärven alueella 50-60 -luku.

Syy:
Koutaniemen alueella syynä on lähinnä veden pinnan aleneminen. Sokajärven ja Kajaanijoen alueella syynä voi olla myös ravinteikas maaperä sekä hajakuormitus.

Toimenpiteet:
Koutaniemen alueella paikallisia toimenpiteitä, koska rakennuspaineita ei tällä hetkellä ole, samoin Kajaanijoen ja Sokajärven alueella tarvittaessa paikallisia toimenpiteitä.

Muuta:
Alueelta on tehty runsaasti rantakasvillisuuden ja rantojen kehtittymistä koskevaa työtä. Katso Oulunjärven tutkimusjärven bibliografia.

LIITE 2. RANTAKORTIT JA KARTTA KOEALUEISTA

KORTTI Nro 8

Kunta	Osa-alue	Aluenimi
Kajaani	75	Vuoreslahti

Väestö	Toim.tilat	Mökit	As.tiheys	Kaavatilanne
142	5	123	1.1	RA:
				S: 104
				LV1:
				LV2: 107
				LV2: 106
				LV2: 103
				RM:
				AH: 101

Rantatyyppikuvaus:
Ärjänselän eteläranta Kumpuniemen alueella on moreenialuetta, moreeniniemeä ja taskuhietikoita. Vuoreslahti on varsin rehevä maaperänsä suhteen. Alueella runsaasti soita. Koutalahden alue kuuluu Koutaniemen harjualueeseen, jonka aines on osittain moreenia, osittain levinneitä hiekkoja. Ärjänsaari on kokonaisuudessaan harjualuetta. Vuoreslahtea lukuun ottamatta rannat ovat avoimia. Vuoreslahden pohjaan purkautuu Vuoresjoki ja Kontiopuro.

Rantakuvaus:

Rantakasvillisuus:
Kumpuniemen alueen taskuhiekat ovat osittain vapaita kasvillisuudesta. Vuoreslahden rannat ovat lähes kokonaan ranta- ja vesikasvillisuuden peittämiä. Vuoreslahdesta Koutalahteen moreenirannat ovat muutamia osuuksia lukuun ottamatta vapaita kasvillisuudesta. Ärjänsaari on kasvipeitteetön.

Aikaväli:
Kasvipeite on muodostunut varsinkin Vuoreslahdessa jo vuosisadan alussa, mutta Kumpuniemen alueella 50- 60-luvulla.

Syy:
Vuoreslahden alueella hajakuormitus ja rantojen soisuus sekä lahden suojaisuus.

Toimenpiteet:
Kumpuniemen alueella voidaan harkita paikallisia kunnostustöitä. Koutalahden rakennuskaavaa rantakaava-alueella voidaan harkita toimenpiteitä.

Muuta:
Alueelta on runsaasti ilmakuvia. Vuoreslahdesta on tehty opinnäytetöitä mm. Jukka Kemppainen. Ärjänsaaren rantojen kehittymistä on kuvattu lukuisissa eri töissä.
Kainuun Liiton Oulujärven rantojen käytön suunnitelmassa on koko Kajaanin rantavyöhyke käyty läpi. Siitä työstä löytyvät rannan käytön mitoitusluvut ja tilakohtiset rantojen käyttöarviot.

LIITE 2. RANTAKORTIT JA KARTTA KOEALUEISTA

KORTTI Nro 9

Kunta	Osa-alue	Aluenimi
Vaala	1..4	Vaala K

Väestö	Toim.tilat	Mökit	As.tiheys	Kaavatilanne
463	19	70	1.6	RA: 819 S: 7 saarta LV1 2 LV2 2

Rantatyyppikuvaus:
Rannat ovat pääasiassa rikkonaisia moreeniselänteiden välisiä lahtia ja saarien suojaisia osuuksia. Kumpareiden välisten soiden reunat ulottuvat paikoin vesirajalle, mikä lisää luhtaisuutta. Tuuliala on pohjoisrannalla pieni ja Vaalankurkun länsilaidalla suuri.

Rantakuvaus:

Nimislahden pohjoisosan hiekkaranta on Säräisniemen-Nimislahden kulutus-kerrostumisjätjestelmän pohjoisin reuna. Moreeniniemi on estänyt aineksen kulkeutumisen kauemmaksi pohjoiseen.

Hiekkarannan alla (osittain paljastuneena) on turvepatja. Nimisoja tuo myös ravinteita.

Toimenpiteet:

Pohjoisrannalla tapauskohtaista hoitoa mökkien kohdalla.
Nimislahdella käyttöpaine voi vielä lisääntyä, joten alue tulisi ottaa kokonaissuunnittelun piiriin.

Rantakasvillisuus:

Rantakasvillisuutta on aluella varsin runsaasti. Varsinkin suojainen ja rikkonainen pohjoisranta on otollista kasvittumiselle.

Aikaväli:
Pohjoisrannan kasvillisuus on osittain kehittynyt jo ennen säännöstelyä. Leiviskän kartta (1914) osoittaa luhtia olleen alueella, varsinkin suoreunuksilla.

Syy:

Suojaisuus, moreenista ja turpeesta tulevat ravinteet.

Nimislahden pohjukan kasvipeite on muodostunut alueelle, jonka korkeus lienee muuta rantaviivaa korkeammalla (ansavaikutus). Lisäksi aineksen tulo Säräisniemeltä on loppunut. Alla oleva (osittain paljastunut) suo ja Nimisoja tuovat lisää ravinteita.

LIITE 2. RANTAKORTIT JA KARTTA KOEALUEISTA

KORTTI Nro 10

Kunta	Osa-alue	Aluenimi
Vaala	10	Liminpuro

Väestö	Toim.tilat	Mökit	As.tiheys	Kaavatilanne
100	7	25	1.3	R 813,Kivesniemi RM 801 S 809 LV1805 LV2

Rantatyyppikuvaus:

Rantatyyppi on hyvin rikkonainen ja osittain suojainen (Kekkolanniemen pohjoispuolinen alue). Moreeniaines on kivistä ja muodostumat pääasiassa drumliineja, joten rantojen jyrkkyys on yleensä suuri. Rantavyöhyke on jään työntämien pallekivikoiden luonnehtima. Jaalanganlahden puolella jään lämpölaajeneminen ja Kuostonselän puolella myös ajojään toimintaa. Osittain myös suorantojen reunuksia.

Muutamia taskuhietikoita (Kivesniemi esimerkkinä).

Rantakuvaus:

Jaalanganlahden pohjoisosassa (Lamposen saaren ympäristö) hukkuneita soita ja talvella ilmenevää lähteisyyttä.

Liminpuron suisto ja lomakylän alue ovat suojaisuutensa takia kasvittuneita. Paksuja purosedimenttipatjoja.

Rantakasvillisuus:
Kasvillisuuden kehittyminen on alkanut jo ennen säännöstelyä.

Syynä ilmeisesti suojaisuus ja runsaat huuhtoutuneet ravinteet.

Toimenpiteet:
Alue on suureksi osaksi merkitty rantakaavan varaukseen. Myös Kivesvaaran laskettelukeskus lisännee alueen rantarakentamista.

Alueen kunnostus kohdistunee ennen muuta vanhaan kasvillisuuteen.

LIITE 2. RANTAKORTIT JA KARTTA KOEALUEISTA

KORTTI Nro 11

Kunta	Osa-alue	Aluenimi
VAALA	11	Manamansalo

Väestö	Toim.tilat	Mökit	As.tiheys	Kaavatilanne
202	28	84	0.7	RA 7 aluetta
				S 3 saarta
				LV1 4
				LV2 4
				RM 3
				ah 2
				VR 1

Rantatyyppikuvaus:
Kuostonsaaren ja Manamansalon pääasiassa muodostama alue on rantatyypiltään ennen muuta harjurantaa. Loivien hiekkarantojen luonnehtimat rantaosuudet ovat historian aikana muuttuneet huomattavasti.
Mantereen puoleinen alue on moreeniniemien ja lahtien rikkonaista rantaviivaa.

Rantakuvaus:
Kuosto: Lähes kaikki rannat muutamaa suo- ja moreeniosuutta lukuunottamatta hiekka- tai sorarantoja. Osa pohjoisrannasta edelleen aktiivisia, osa stabiloitunut jo ennen säännöstelyä taskuhiekoiksi. Länsiranta lähes stabiili.

Manamansalo: Rytölahti, Pantio-Kopola edelleen aktiivisia. Paljakka-Soilua osittain aktiivisia. Sisälahdet (Martinlahti ja Kaaresjärvi ovat stabiileja, samoin Kaivannonsalmen pohjoisosa.

Rantakasvillisuus:
Aikaväli: Sisäjärvet, Puronranta, ja Harjunranta ovat kasvittuneet pääsääntöisesti säännöstelyn aikana.

Syy: Prosessien loppuminen tai väheneminen.

Toimenpiteet:
Manamansalossa on tehtävä lähinnä Martinlahden (matala energia) ja Harjunrannan alueella kokeilua. Puronranta ei ole vielä käyttöpaineessa, mutta koetoimintaa ja mittauksia on syytä tehdä vertailuna Harjunrannalle. Kaaresjärvi suunnitteeluun mukaan jos maanosmistajat haluavat. Kuostossa toimenpiteitä ei tarvittane (suojelualue) ongelmien vähäsyydestä johtuen.

Muuta:

Kirjallisuutta on runsaasti (ks. esim. Oulujärven tutkimusaseman bibliografia). Manamansalo on Vaalan kehittämiohjelmissa matkailukohteena. Vuotuinen kävijämäärä kahdella leirintämatkailukohteella ja kalastusalueilla on noin 70 000 ihmistä.

LIITE 2. RANTAKORTIT JA KARTTA KOEALUEISTA

KORTTI Nro 12

Kunta	Osa-alue	Aluenimi
VAALA	12	Säräisniemi

Väestö	Toim.tilat	Mökit	As.tiheys	Kaavatilanne	
202	19	25	3.5	RA	814
				S	811 (Painuanl)
				LV1	
				LV2	2
				ah	803
				RM	1 (2)

Rantatyyppikuvaus:

Säräisniemi on saman tyyppinen rantakokonaisuus kuin Manamansalo. Koko rantavyöhyke on ollut hyvin voimakkaiden ja monimutkaisten prosessien kohteena. Harjun ydinosan läheisyys on niemen pohjoisreunalla vaikuttamassa vesirajan kivisyyteen. Nimislahden ja Painuanlahden alueet ovat sitävastoin kerrostuneiden hiekkojen luonnehtimia.

Rantakuvaus:
Ks. edellä

Rantakasvillisuus:
Rantakasvillisuutta ennen muuta niemen eteläpuolella Painuanlahdella ja myös niemen rantatasanteella. Myös pohjoisrannan eteläosa (kulutus-kerrostumisalueen rajalla) on kasvittumassa.

Aikaväli:
Kavillisuuden muodostuminen on tapahtunut pääosin 1950-60 luvuilla. Leviämisen kiihtymistä havaittavissa 1970-80 luvuilla.

Syy: Törmien kulumisen loppuminen ja sen myötä prosessien laantuminen. Painuanlahdella, joka on hienon aineksen kulkeutumisen päätealue, myös suojaisuus on edistänyt kasvillisuuden muodostumista.

Toimenpiteet:
Niemen eteläranta ja Nimislahden alue ovat toimenpidealueita mm. rantakaavavaraisesta johtuen. Sensijaan Painuanlahden suojelu voi rajoittaa toimenpiteitä.

Muuta:
Säräisniemi on toinen järven länsiosan matkailualue. Lähinnä rantakaavoituksesta riippuu, miten paine kohdistuu pohjois- ja etelärannan kesken. Matkailukohteet ovat nykyisin pohjoisrannan puolella, samoin venesatamat.

Kirjallisuutta ja tutkimusaineistoa on runsaasti (ks. Oulujärven tutkimusaseman bibliografia)

LIITE 2. RANTAKORTIT JA KARTTA KOEALUEISTA

KORTTI Nro 13

Kunta	Osa-alue	Aluenimi
VAALA	13	Enonkylä

Väestö	Toim.tilat	Mökit	As.tiheys	Kaavatilanne
121	11	28	0.7	RA: (815,816) S: (803,saari) LV1: LV2:(805,809) RM:

Rantatyyppikuvaus:

Rantatyyppi on osittain moreenialueille tyypillisesti rikkonainen ja osittain kivinen, toisin paikoin pitkienkin taskuhietikoiden luonnehtima. Suuri tuuliala on aiheuttanut voimakasta huuhtoutumista.

Rantakuvaus:

Ks. edellä.

Rantakasvillisuus:

Koko osuus on varsin voimakkaasti kasvillisuuden valtaama. Vain muutamat pienet ja jyrkät taskuhiekat ovat edelleen aktiivisia.

Aikaväli:
Kasvillisuus on vallannut hiekkarannat pääsääntöisesti 60-luvulla.

Syy:
Prosessien loppuminen tai hidastuminen. Takamaaston voimakkaalla suo-ojituksella voi olla myös merkitystä.

Toimenpiteet:

Koko alue on ainakin suunnittelukohteena. Vedenpinnan laskun ilmeinen syy kasvillisuuden tuloon (pysymiseen) antaa mahdollisuuden myös koetoimintaan ja kunnostustoimenpiteisiin.

Muuta:

Kajaani- Vaala- tien ja Manamansalon läheisyys antavat aihetta olettaa, että rantarakentamisen paineita on tällä alueella.

LIITE 2. RANTAKORTIT JA KARTTA KOEALUEISTA

KORTTI Nro 14

Kunta	Osa-alue	Aluenimi
Vaala	8	Kankari

Väestö	Toim.tilat	Mökit	As.tiheys	Kaavatilanne
199	14	21	2.0	RA: 812 S: Saari(803), Jylhänniemi(801) LV1 LV2 2

Rantatyyppikuvaus:

Rannat ovat pääasiassa rikkonaisia moreeniselänteiden välisiä lahtia ja saarien suojaamia osuuksia. Kumpareiden välisten soiden reunat ulottuvat paikoin vesirajalle, mikä lisää luhtaisuutta.

Tuuliala muodostuu suojaisuudesta johtuen vähäiseksi muualla paitsi niemien kärjissä, lähinnä Neulaniemen itärannalla ja Jylhänniemen kärjessä.

Rantakasvillisuus:

Väätäjänniemen länsiosa on suojainen, lukuisia pohjukoita käsittävä osuus. Luhtaisuutta jo 1914.

Väätäjänniemen itäosalla on rantakasvillisuutta levinnyt 1960- luvulla. Alueella on yksi kasvillisuudesta vapaa hiekkaranta (taskuhiekka).

Kankarinlahden pohjukan itärannalla on luhtaisuutta. Taskuhietikoiden auki pysyminen riippuu lähinnä vedenkorkeudesta ja laadusta.

Toimenpiteet:

Ennen kaikkea rantakaavaan varatun Kankarinlahden toimepiteet tulee selvittää, koska käyttöpaine on suuri. Ongelmana on kasvillisuuden ikä ja ranta-aineksen hienous(kasvualusta on rehevä).

LIITE 2. RANTAKORTIT JA KARTTA KOEALUEISTA

KORTTI Nro 15

Kunta	Osa-alue	Aluenimi
Vaala	9	Jaalanka

Väestö	Toim.tilat	Mökit	As.tiheys	Kaavatilanne
255	21	51	1.9	RA: 813 S: Saaria(803,804) LV1 LV2 1(813)

Rantatyyppikuvaus:

Rannat ovat pääasiassa rikkonaisia moreeniselänteiden välisiä lahtia ja saarien suojaisia osuuksia. Rikkonaisuus ei kuitenkaan ole yhtä suurta kuin lännempänä. Kumpareiden välisten soiden reunat ulottuvat paikoin vesirajalle, mikä lisää luhtaisuutta.

Tuuliala muodostuu suojaisuudesta johtuen vähäiseksi muualla paitsi niemien kärjissä (lähinnä Lassilanniemi ja Kekkolanniemi).

Hiekkarantojen osuus vähäinen, vain muutama taskuhiekka. Yleensä hieta-silttirantoja ja moreeniselänteiden rannat ovat kivikkoja/louhikkoja. Jäiden työntö rantaviivalla on ollut huomattava.

Rantakasvillisuus:

Rantaviivan rikkonaisuudesta ja maaperän ravinteikkuudesta johtuen kasvillisuus on yleensä vanhaa ja sitä esiintyy lähes kaikkien lahtien pohjukoissa.

Toimenpiteet:

Käyttöpaineen mukaan paikallisia kunnostustöitä.

LIITE 2. RANTAKORTIT JA KARTTA KOEALUEISTA

KORTTI Nro 16

Kunta	Osa-alue	Aluenimi
Vuolijoki	1-5	Taajaman ymp.

Väestö	Toim.tilat	Mökit	As.tiheys	Kaavatilanne
107	19	17	2	RA: S: LV1: 901 LV2: 902 RM:

Rantatyyppikuvaus:

Suojainen moreeniranta ja samalla Vuolijoen jokisuisto. Aines on lähinnä silttiä.

Rantakasvillisuus:

Koko rantaosuus on kasvillisuuden peittämä.

Aikaväli:

60-luku.

Syy:

Rannan suojaisuus, ranta-aineksen ravinteikkuus ja Vuolijoen tuomat ravinteet.

Toimenpiteet:

Vuolijoen ja Otanmäen taajamien läheisyyden vuoksi alueelle kohdistuu suuri käyttöpaine. Tarkempien kenttähavaintojen perusteella alueelle voidaan suunnata entisöintitoimenpiteitä.

LIITE 2. RANTAKORTIT JA KARTTA KOEALUEISTA

KORTTI Nro 17

Kunta	Osa-alue	Aluenimi
Vuolijoki	10	Itäranta

Väestö	Toim.tilat	Mökit	As.tiheys	Kaavatilanne
182	11	39	2.6	RA: S: LV1: LV2: RM:

Rantatyyppikuvaus:

Vuottolahden Itäranta on osittain kallioperäruhjeen ja osittain pohjamoreenimuodostumien aiheuttamaa. Kulumista ja kerrostumista ei ole merkittävästi tapahtunut. Vuottolahden pohjukkaan purkautuu Särkioja-Matojoki-Syväjoki.

Rantakasvillisuus:

Alue on kasvillisuuden peittämä, muutamia niemen kärkiosia lukuun ottamatta

Aikaväli:

Pääasiassa 50- ja 60-luku.

Syy:

Vuottolahden suojaisuus ja ravinteikas maaperä.

Toimenpiteet:

Paikallisia toimenpiteitä tarpeen mukaan.

LIITE 2. RANTAKORTIT JA KARTTA KOEALUEISTA

KORTTI Nro 18

Kunta	Osa-alue	Aluenimi
Vuolijoki	11	Ounas

Väestö	Toim.tilat	Mökit	As.tiheys	Kaavatilanne
65	6	37	1.0	RA: 903 RA: S: LV1: LV2: 904 RM:

Rantatyyppikuvaus:

Pohjamoreenialuetta, osittain Vuottolahden murrokseen muodostunut alue. Ärjänselkään rajoittuvalla osalla on runsaasti luode-kaakko- suuntaisten niemien rajoittamia taskuhietikoita. Varsinkin Ärjänselän rantaosuus on lisäksi rantaan rajoittuvien soiden luonnehtimaa.

Rantakasvillisuus:

Vuottolahden puoleinen osa on lähes kokonaan kasvipeitteellinen. Ärjänselän osuudella ovat moreeniniemien nokat kasvipeitteistä vapaita. Lahden pohjukat ovat kasvillisuuden peittämiä.

Aikaväli:

60-luku.

Toimenpiteet:

Lähinnä rantakaava-alueille voidaan ohjata paikallisia toimenpiteitä.

LIITE 2. RANTAKORTIT JA KARTTA KOEALUEISTA

KORTTI Nro 19

Kunta	Osa-alue	Aluenimi
Vuolijoki	2-9	Vuottolahti

Väestö	Toim.tilat	Mökit	As.tiheys	Kaavatilanne
405	13	97	2.2	RA:
				S:
				LV1:
				LV2: 903
				RM: 901
				ET1: 903
				EV: 903

Rantatyyppikuvaus:

Vuottolahden länsiranta on suojainen ruhjelaakso, osittain pohjamoreenin muotoilema. Rantaviivan rikkonaisuus on vähäistä. Vuottolahden pohjaan virtaa Vuottojoki.

Rantakasvillisuus:

Loivemmat rannat ovat kasvillisuuden peittämiä. Karjalanniemen jyrkempi rantaosuus on kasvillisuudesta avoin.

Aikaväli:

50- ja 60 -luku.

Syy:

Ravinteikas maalaji ja Vuottolahden suojaisuus.

Toimenpiteet:

Osittain avoimilla rantaosuuksilla paikalliset toimenpiteet mahdollisia.

LIITE 2. RANTAKORTIT JA KARTTA KOEALUEISTA

KORTTI Nro 20

Kunta	Osa-alue	Aluenimi
Vuolijoki	3	Ojanperä

Väestö	Toim.tilat	Mökit	As.tiheys	Kaavatilanne
173	21	10	3.1	RA: 901 S: LV1: LV2: RM:

Rantatyyppikuvaus:

Alueen maaperä on pääsääntösesti moreenia. Kiviset niemet erottavat erillisä taskuhietikoita.

Rantakasvillisuus:

Ranta- ja vesikasvillisuutta on esiintynyt jo vuosisadan alussa. Nykyisellään muutamat taskuhietikot ovat ainakin osittain vielä kasvipeitteistä vapaita.

Syy:

Maaperän ravinteikkuus ja prosessien väheneminen.

Toimenpiteet:

Lähinnä rantakaavoituksesta johtuen alueella on paikallista painetta rantojen käyttöön. Tapauskohtaisesti rantojen kunnostustoimenpiteitä voidaan selvittää. Koko rantaosuudella ei ole aihetta tehdä selvitystyötä.

Muuta:
Alueelliseen kuuluvaa Enolahti on raportoitu aikaisemmin 60-luvulla Uuno Varjon töissä.

LIITE 2. RANTAKORTIT JA KARTTA KOEALUEISTA

KORTTI Nro 21

Kunta	Osa-alue	Aluenimi
Vuolijoki	4	Käkilahti

Väestö	Toim.tilat	Mökit	As.tiheys	Kaavatilanne
203	23		1.6	RA: 901 902 S: LV1: LV2: RM:

Rantatyyppikuvaus:

Käkisaari on rannaltaan hyvin rikkonainen moreeniselänne. Matalista ja loivista pinnanmuodoista johtuen saari on hyvin voimakkaasti soistunut. Vedenpinnan pitkän aikavälin kohoamisen (transgressio) vuoksi nämä suot rajoittuvat nykyiseen vesirajaan. Käkisaari sinällään ja rantojen rikkonaisuus aiheuttavat sen, että rannat ovat aallokon suhteen hyvin suojaisia.

Rantakasvillisuus:

Varsinkin Käkisaaren eteläpuolinen osa on ranta- ja vesikasvillisuuden peittämä. Sen sijaan aallokon toiminnalle altis itäosa on vielä rantakasvillisuudesta vapaa.

Aikaväli:

Ennen 60-lukua.

Syy:

Ravinteikas maaperä, rannan suojaisuus.

Toimenpiteet:

Rantakaavasta johtuen paikalliset toimenpiteet suotavia.

LIITE 2. RANTAKORTIT JA KARTTA KOEALUEISTA

KORTTI Nro 22

Kunta	Osa-alue	Aluenimi
Vuolijoki	8	Kuusiranta

Väestö	Toim.tilat	Mökit	As.tiheys	Kaavatilanne
104	13	35	2.0	RA:
				S:
				LV1:
				LV2: 901
				RM:
				ET1: 902
				EV: 902

Rantatyyppikuvaus:

Pohjamoreenialuetta, jossa niemet ovat suuntautuneet luode-kaakkosuuntaiseksi. Pienten niemien välissä runsaasti taskuhietikoita.

Rantakasvillisuus:

Osa taskuhietikoista on avoinna. Kaikkein laakeimmat hietikot, varsinkin soihin rajoittuvat, ovat kasvipeitteellisiä.

Aikaväli:
Vuosisadan alku ja 50-60 luku.

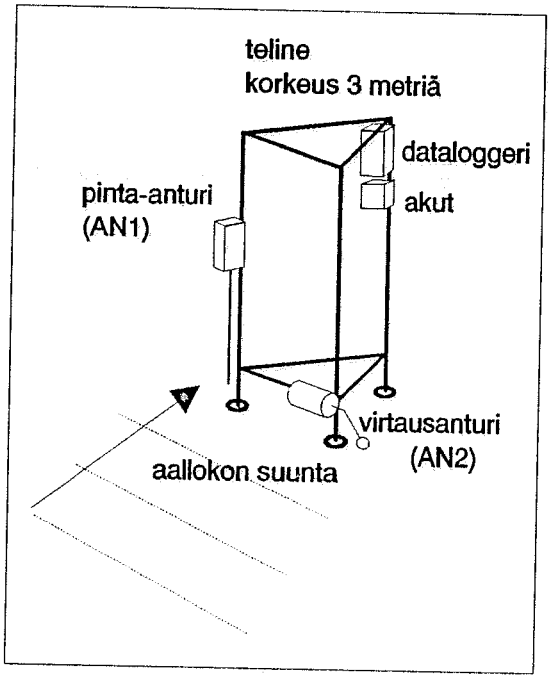
Syy:
Ravinteikas maalaji ja rantaosuuksien suojaisuus.

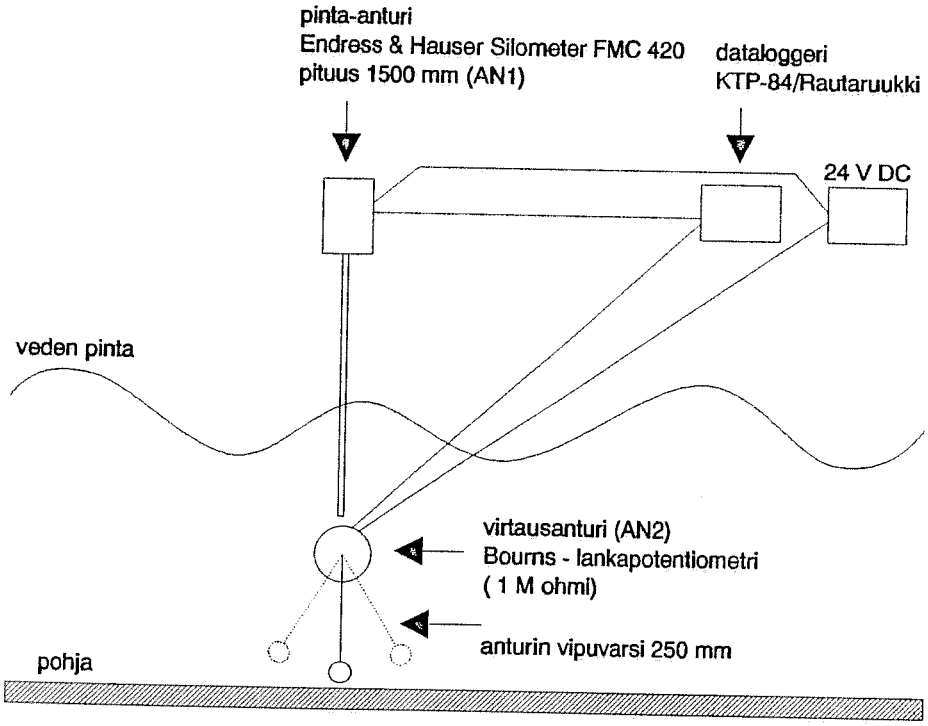
Toimenpiteet:

Paikallisia kunnostustöitä voidaan tehdä.

LIITE 3

LIITE 3. AALTOMITTAUSLAITTEISTO





LIITE 4. AALTOMITTAUSTULOKSET

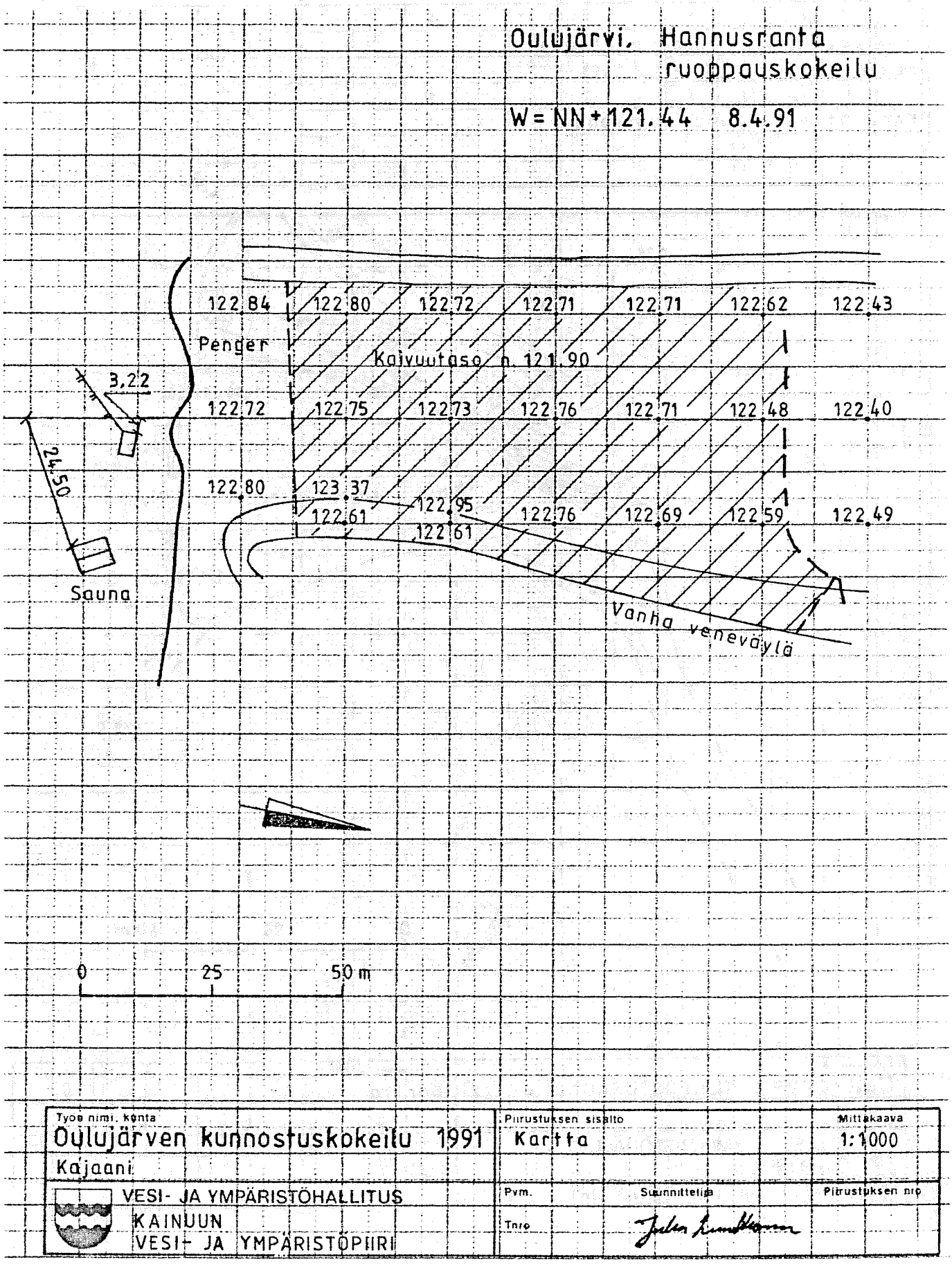
HAVAINTO-		Pvm	Alku	Hs (m)	Aaltoparam. spektrianalyysistä			Z (m)	Umax	Umax	Hs (/JONSWAP):n taustatiedot		
SARJA			(klo)	(Jonswap)	Hs (m)	T (s)	L (m)		(laskettu	(mitattu	Tuulen	F (km)	U (knots)
					(mitattu)				(m/s)		suunta		
TEERI	1	12.8	21:16	0,156	0,295	1,753	2,289	0,5	0,286	0,577	310	13	5,2
TEERI	2		21:22	0,156	0,24	1,759	2,202	0,9	0,066	0,148	310	13	5,2
TEERI	3		21:31	0,156	0,262	1,819	2,264	1,1	0,043	0,326	310	13	5,2
PURO	1	29.7	21:29	0,117	0,027	1,714	1,702	0,75	0,006	0,169	260	6,5	5,5
PURO	2		21:23	0,117	0,077	1,525	2,377	0,4	0,125	0,179	260	6,5	5,5
PURO	3	30.7	11:34	0,092	0,097	1,423	2,015	0,4	0,134	0,166	250	6	4,5
PURO	4		11:04	0,092	0,026	1,058	0,781	0,8	0,000	0,084	250	6	4,5
PURO	5	12.8	19:58	0,130	0,223	1,654	2,045	0,75	0,085	0,336	290	12	4,5
PURO	6		20:04	0,130	0,213	1,584	1,751	0,55	0,120	0,406	290	12	4,5
PURO	7		20:09	0,130	0,141	1,722	2,092	0,85	0,040	0,289	290	12	4,5
PURO	8		20:15	0,130	0,07	1,644	1,393	0,45	0,036	0,238	290	12	4,5
MAHA	1	18.7	14:37	0,129	0,095	1,461	1,729	0,4	0,101	0,229	45	8	5,5
MAHA	2		14:05	0,129	0,127	1,577	1,845	0,8	0,033	0,223	45	8	5,5
MAHA	3		15:03	0,129	0,108	1,531	1,574	1,1	0,005	0,077	45	8	5,5
MAHA	4		15:12	0,129	0,121	1,499	1,607	1,1	0,007	0,103	45	8	5,5
MAHA	5		15:24	0,129	0,14	1,513	1,595	1,6	0,001	0,05	45	8	5,5
MAHA	6	19.7	17:28	0,270	0,164	1,61	2,057	0,4	0,207	0,313	65	8	11,5
MAHA	7		17:35	0,270	0,217	1,928	2,398	0,8	0,088	0,31	65	8	11,5
MAHA	8		17:42	0,270	0,227	1,944	2,412	1	0,055	0,32	65	8	11,5
MAHA	9		17:48	0,270	0,235	2,014	2,505	1	0,060	0,285	65	8	11,5
MAHA	10		18:04	0,270	0,242	1,857	2,187	1,5	0,011	0,248	65	8	11,5
MAHA	11	5.8	16:22	0,166	0,167	1,629	2,124	1	0,034	0,273	180	16	5
MAHA	12		16:17	0,166	0,178	1,659	2,046	1	0,031	0,292	180	16	5
MAHA	13	5.8	17:29	0,156	0,092	1,397	1,699	1	0,010	0,236	180	16	4,7
MAHA	14		17:38	0,156	0,097	1,456	2,118	0,65	0,062	0,173	180	16	4,7
MAHA	15	8.8	18:04	0,174	0,121	1,705	1,922	0,45	0,108	0,32	60	8	7,4
MAHA	16		18:01	0,174	0,167	1,753	2,048	0,8	0,052	0,312	60	8	7,4
MAHA	17		18:21	0,174	0,161	1,75	1,911	1,2	0,011	0,293	60	8	7,4
MAHA	18		18:27	0,174	0,171	1,73	1,989	0,95	0,031	0,317	60	8	7,4
MAHA	19	16.8	14:07	0,162	0,156	1,477	1,516	0,4	0,131	0,352	200	13	5,4
MAHA	20		14:13	0,162	0,181	1,486	1,737	0,7	0,061	0,335	200	13	5,4
MAHA	21		14:24	0,162	0,225	1,657	1,952	1,25	0,015	0,31	200	13	5,4
MAHA	22		14:29	0,162	0,198	1,625	1,894	1	0,028	0,327	200	13	5,4
MAHA	23		14:35	0,162	0,218	1,625	1,898	1,25	0,013	0,29	200	13	5,4
MAHA	24	17.8	13:08	0,260	0,216	1,676	1,786	0,4	0,211	0,441	140	17	7,6
MAHA	25		13:15	0,260	0,2	1,6	1,83	0,6	0,102	0,344	140	17	7,6
MAHA	26		13:02	0,260	0,222	1,741	2,156	0,8	0,079	0,365	140	17	7,6
MAHA	27		13:35	0,260	0,27	1,833	2,294	1,25	0,030	0,356	135	17	7,9
MAHA	28		13:41	0,260	0,298	1,895	2,497	1,25	0,043	0,346	135	17	7,9
MAHA	29	17.8	19:27	0,243	0,207	1,667	1,81	0,4	0,208	0,494	140	17	7,1
MAHA	30		19:34	0,243	0,217	1,682	1,891	0,6	0,112	0,364	140	17	7,1
MAHA	31		19:39	0,243	0,259	1,889	2,59	0,8	0,126	0,371	140	17	7,1
MAHA	32		19:49	0,243	0,35	2,008	2,579	1,25	0,052	0,384	140	17	7,1
MAHA	33		19:57	0,243	0,315	1,875	2,296	1,25	0,035	0,357	140	17	7,1
MAHA	34	17.8	20:05	0,226	0,25	1,713	1,848	0,4	0,252	0,58	135	17	6,6
MAHA	35		20:56	0,226	0,29	1,743	1,864	0,45	0,241	0,455	135	17	6,6
MAHA	36		21:01	0,226	0,259	1,915	2,524	0,8	0,118	0,375	135	17	6,6
MAHA	37		21:11	0,223	0,349	2,025	2,396	1,25	0,041	0,393	130	17	6,5
MAHA	38		21:17	0,223	0,348	2,119	2,689	1,25	0,056	0,494	130	17	6,5

LIITE 4/2

LIITE 4. AALTOMITTAUSTULOKSET

HAVAINTO-		Pvm	Alku	Hs (m)	Aaltoparam. spektrianalyysistä			Z (m)	Umax	Umax	Hs (/JONSWAP):n taustatiedot		
SARJA			(klo)	(Jonswap)	Hs (m)	T (s)	L (m)		(laskettu	(mitattu	Tuulen	F (km)	U (knots)
					(mitattu)				(m/s)		suunta		
LEINO	1	8.8	13:05	0,138	0,084	1,144	1,4	0,95	0,006	0,146	60	3	9,6
LEINO	2		13:55	0,138	0,104	1,146	1,277	0,8	0,011	0,133	60	3	9,6
LEINO	3	19.7	12:14	0,130	0,038	1,58	2,357	0,45	0,050	0,148	75	3	9
LEINO	4		12:22	0,130	0,099	1,552	2,653	0,6	0,103	0,234	75	3	9
LEINO	5		12:03	0,130	0,125	1,442	1,943	0,7	0,057	0,231	75	3	9
LEINO	6		12:37	0,130	0,132	1,343	1,428	0,85	0,015	0,243	75	3	9
LEINO	7	19.7	15:25	0,157	0,027	1,555	1,899	0,4	0,031	0,093	65	3	10,9
LEINO	8		15:03	0,157	0,071	1,317	2,044	0,6	0,055	0,147	65	3	10,9
LEINO	9		15:35	0,157	0,105	1,267	1,723	0,7	0,041	0,159	65	3	10,9
LEINO	10		15:39	0,157	0,114	1,217	1,311	0,8	0,013	0,202	65	3	10,9
LEINO	11	19.7	13:31	0,148	0,029	1,658	2,097	0,4	0,036	0,022	70	3	10,3
LEINO	12		13:39	0,148	0,075	1,526	2,413	0,55	0,078	0,196	70	3	10,3
LEINO	13		13:46	0,148	0,133	1,386	1,957	0,75	0,055	0,236	70	3	10,3
LEINO	14		13:51	0,148	0,152	1,277	1,374	0,75	0,024	0,231	70	3	10,3
PYKO	1	30.7	15:01	0,256	0,128	1,373	1,491	1,3	0,002	0,135	275	20	6,9
PYKO	2		15:21	0,256	0,101	1,241	1,26	0,85	0,007	0,261	275	20	6,9
PYKO	3		15:27	0,256	0,076	1,237	1,516	0,55	0,040	0,208	275	20	6,9
PYKO	4		15:04	0,256	0,038	0,97	0,739	0,45	0,005	0,113	275	20	6,9
SUTE	1	24.7	13:56	0,239	0,172	1,34	1,635	0,8	0,037	0,262	20	10	9,1
SUTE	2		14:03	0,239	0,162	1,365	1,608	0,8	0,033	0,237	20	10	9,1
SUTE	3		14:08	0,239	0,099	1,492	1,924	0,45	0,101	0,257	20	10	9,1
SUTE	4		14:14	0,239	0,097	1,504	1,923	0,6	0,058	0,267	20	10	9,1
SUTE	5	25.7	10:01	0,213	0,177	1,404	1,613	0,85	0,029	0,29	10	10	8,1
SUTE	6		10:09	0,213	0,179	1,468	1,806	0,85	0,040	0,256	10	10	8,1
SUTE	7		10:14	0,213	0,099	1,441	1,749	0,6	0,051	0,249	10	10	8,1
SUTE	8		10:24	0,213	0,036	1,248	0,998	0,45	0,011	0,083	10	10	8,1
SUTE	9		10:19	0,213	0,137	1,417	1,724	0,55	0,083	0,294	10	10	8,1
SUTE	10	13.8	9:33	0,134	0,212	1,532	2,025	1	0,039	0,31	315	6	6,6
SUTE	11		9:04	0,134	0,217	1,582	2,109	0,95	0,051	0,289	315	6	6,6
SUTE	12		9:48	0,134	0,17	1,499	2,029	0,7	0,083	0,294	315	6	6,6
SUTE	13		9:53	0,134	0,153	1,65	2	0,55	0,107	0,321	315	6	6,6
SUTE	14		9:59	0,134	0,055	1,577	1,199	0,6	0,009	0,156	315	6	6,6
TOMMI	1	24.7	11:28	0,175	0,163	1,407	1,621	0,6	0,072	0,298	20	7,5	7,7
TOMMI	2		11:33	0,175	0,187	1,444	1,759	1	0,023	0,262	20	7,5	7,7
TOMMI	3		11:43	0,175	0,143	1,496	1,831	0,4	0,163	0,204	20	7,5	7,7
TOMMI	4		11:05	0,175	0,108	1,374	1,278	1,15	0,002	0,289	20	7,5	7,7
TOMMI	5	25.7	12:03	0,185	0,141	1,342	1,565	1	0,012	0,183	350	7	8,4
TOMMI	6		12:36	0,185	0,149	1,392	1,797	0,7	0,059	0,194	350	7	8,4
TOMMI	7		12:42	0,185	0,134	1,422	1,785	0,35	0,189	0,166	350	7	8,4
TOMMI	8		12:48	0,185	0,111	1,338	1,26	1,1	0,002	0,305	350	7	8,4
TOMMI	9	13.8	7:57	0,146	0,154	1,525	1,782	1,1	0,013	0,282	340	7,5	6,4
TOMMI	10		8:03	0,146	0,14	1,435	1,81	0,8	0,038	0,258	340	7,5	6,4
TOMMI	11		8:01	0,146	0,116	1,334	1,514	1,3	0,002	0,137	340	7,5	6,4
TOMMI	12		8:18	0,146	0,096	1,286	1,261	0,45	0,050	0,293	340	7,5	6,4
TOMMI	13	13.8	20:42	0,205	0,192	1,584	2,014	1,1	0,025	0,294	350	7,5	9
TOMMI	14		20:49	0,205	0,195	1,537	2,015	0,8	0,066	0,292	350	7,5	9
TOMMI	15		20:52	0,205	0,213	1,616	2,273	0,8	0,092	0,295	350	7,5	9
TOMMI	16		21:01	0,205	0,135	1,43	1,645	1,15	0,007	0,243	350	7,5	9
TOMMI	17		21:05	0,205	0,119	1,313	1,277	0,4	0,081	0,374	350	7,5	9
TOMMI	18	14.8	8:06	0,130				1,15		0,359	330	7	5,9
TOMMI	19		8:11	0,130	0,164	1,443	1,722	1,15	0,011	0,233	330	7	5,9
TOMMI	20		8:17	0,130	0,16	1,46	1,806	0,8	0,043	0,275	330	7	6
TOMMI	21		8:28	0,130	0,146	1,482	1,81	1,25	0,008	0,083	330	7	6
TOMMI	22		8:38	0,130	0,109	1,427	1,511	0,35	0,118	0,303	330	7	6

LIITE 5. HANNUSRANTA, RUOPPAUSKOEALUE



LIITE 6

LIITE 6. VUORESLAHTI, RUOPPAUSKOEALUE