

Turvalliset rakentamiskorkeudet Helsingin rannoilla



Helsinki

Kaupunkiympäristön julkaisuja 2019:20

Turvalliset rakentamis- korkeudet Helsingin rannoilla

Projektinjohto: Ilkka Vähäaho

Tekijät: Jan-Victor Björkqvist, Kimmo K. Kahma, Milla Johansson,
Hannu Jokinen, Ulpu Leijala, Jani Särkkä, Kimmo Tikka ja
Laura Tuomi (Ilmatieteen laitos)

Julkaisija | Helsingin kaupunki / kaupunkiympäristön toimiala
Kannen kuva | Kimmo Kahma

ISSN 2489-4230 (verkkojulkaisu)
ISSN 2489-4222 (painettu)
ISBN 978-952-331-654-6 (verkkoversio)
ISBN 978-952-331-653-9 (painettu)

ALKUSANAT

Turvallinen rakentamiskorkeus tarkoittaa N2000-korkeusjärjestelmässä ilmoitettua tasoa, jolle yhtenäinen merivesi voi nousta. Alimpien lattioiden, kapillaaristen katkojen, vesipaine-eristysten ja vastaavien tasojen arvot tulee määrittä siten, ettei meriveden nousu tässä julkaisussa ilmoitetulle tasolle aiheuta vahinkoa tai että otetaan tietoinen riski mahdollisten merivesitulvien aiheuttamista vahingoista.

Tämä projekti käynnistyi syyskuussa vuonna 2011. Huhtikuusta 2016 alkaen on Suomenlinnan edustalla ollut pysyvä aaltopoiju, jonka tuloksia on käytetty sekä turvallisten rakentamiskorkeuksien tarkentamiseen, että 'Helsingin lähivesien sää reaaliajassa' –sivuston aikaansaamiseen. Vuosina 2017 ja 2018 tehtiin täydentäviä aaltomittauksia Länsisatamassa sekä Melkin, Vattuniemen ja Rajasaaren edustoilla. Nyt käsillä olevaan julkaisuun on päivitetty viimeisimmät mittaustulokset, jonka seurauksena Länsi-Helsingin vedenkorkeusarvot ovat hieman pienemmät kuin vuoden 2016 tammikuussa 'Turvalliset rakentamiskorkeudet – Helsingin rannoilla vuosina 2020, 2050 ja 2100' - julkaisussa. Suurin muutos on vuoden 2100 arvio Länsisataman ns. Ahdinaltaan pohjukan suurimmassa vedenkorkeudessa, jossa uusi arvio on +3.81, aiemman +4.53 sijaan (vedenkorkeus + aaltoiluvara N2000-korkeusjärjestelmässä).

Uusinta uutta tässä tutkimuksessa on aallonkorkeus- ja vedenkorkeustietojen yhdistäminen, joka ei tarkoita huippuarvojen yhteenlaskua, vaan taidokkaampaa todennäköisyyslaskentaa.

Tämän julkaisun voi ladata osoitteesta www.bit.ly/turvalliset-rakentamiskorkeudet ja nettisovellukset osoitteesta <http://meri.hel.fi>:

- Helsingin lähivesien sää reaaliajassa
- Turvalliset rakentamiskorkeudet
- Suurin arvioitu merkitsevä aallonkorkeus

Tämä julkaisu on päivitetty versio vuoden 2016 julkaisusta (Kahma ym., 2016). Päivityksen Ilmatieteen laitoksella laati Jan-Victor Björkqvist. Aallokon ja vedenkorkeuden yhdistämisestä vastasi Ulpu Leijala. Käytännön kenttätöissä keskeinen rooli oli Tuomo Roineella. Ohjausryhmässä oli Helsingin kaupungin, Akateemiset konsultit Oy:n, Helsingin Satama Oy:n, Ilmatieteen laitoksen ja Rajavartiolaitoksen edustajia. Meri.hel.fi-sovelluksen on laatinut Aimo Karvinen Helsingin kaupungilta ja data-aineiston sovellukseen on tuottanut Milla Johansson Ilmatieteen laitokselta.

Helsingissä helmikuussa 2020

Ilkka Vähäaho

Helsingin kaupungin maa- ja kallioperäyksikön päällikkö

Turvalliset rakentamiskorkeudet Helsingin rannoilla -projektin ohjausryhmän pj.

1 TIIVISTELMÄ

Ilmatieteen laitos teki Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geoteknisen osaston tilauksesta tutkimuksen aallokosta Helsingin rannikkovesillä. Tämä raportti esittelee vuosina 2012 – 2014 tehtyjä aalto-, tuuli- ja vedenkorkeusmittauksia. Aaltomittauksia poijuilla tehtiin 18 pisteessä, minkä lisäksi hyvin lyhytaikaisia korkeataajuisia aaltomittauksia suoritettiin valikoiduissa kohdissa rannalta käsin. Tuulimittauksia tehtiin Kruunuvuorenselältä ja Vartiokylänlahden sillalta, kun taas vedenkorkeusaineistoa kerättiin Pikku Huopalahdesta ja Vartiokylänlahdesta. Ilmatieteen laitoksen pitkäaikaisia tuulimittauksia Harmajalta ja Kalbådagrundista, sekä pitkäaikaisia aaltomittauksia Suomenlahdelta käytettiin myös laskelmien vertailukohtana.

Helsingin rannikkovesien aaltomittauksia verrattiin Ilmatieteen laitoksen jatkuviin operatiivisiin mittauksiin avomerellä Suomenlahden keskiosassa. Tämän vertailun pohjalta avomeren ja mittauspaikkojen välillä voitiin määritellä likimääräinen siirtofunktio erisuuntaisille ja eripituisille aalloille. Soveltamalla tätä siirtofunktiota avomeren pitkäaikaisiin mittauksiin saatiin arvio rannikon lähellä esiintyvistä suurimmista aallokosta. Siirtofunktiolla saatuja tuloksia täydennettiin laskemalla tuuliaineistoa käyttäen pyyhkäisymatkaan perustuvia arvioita paikalliselle aallokelle, sekä soveltamalla WAM-aaltomallin tuloksia.

Aaltomittaukset vahvistavat aallokkolaskelmien tuloksia, joiden mukaan Hernesaaren aallokko on Helsingin niemen rannoista ankarinta. Mittaukset myös vahvistavat, että Suomenlinnan Kustaanmiekalle pääsevän aallokon korkeus on jo vaimentunut noin puolella avomereen nähden, mikä mahdollistaa aaltolaskelmien huomattavan tarkentamisen esim. Kruunuvuoren selällä.

Vedenkorkeusaineiston lyhytaikaisvaihtelu laskettiin Ilmatieteen laitoksen mareografien minuuttihavainnoista. Ilmastomuutoksesta aiheutuva nousu keskivedessä otettiin huomioon Ilmatieteen laitoksen raportissa (Kahma ym., 2014) laskettujen keskivesiskenaarioiden mukaisesti.

Suurimman aallokon lisäksi tässä raportissa arvioidaan myös vedenkorkeuden ja aallokon yhdistetty vaikutus rannikolla. Vedenkorkeuden ja aallonkorkeuden maksimiarvon suora summaaminen on arviona liian konservatiivinen, tuottaen epäkäytännöllisen suuria arvoja.

Tämän vuoksi veden- ja aallonkorkeuden yhteisvaikutusta pitää arvioida todennäköisyysjakautumien tasolla. Jokaiselle aaltomittauspaikalle muodostettiin arvio siellä esiintyvän aallonkorkeuden todennäköisyyksistä, joka yhdistettiin vedenkorkeuden esiintymistodennäköisyyksien kanssa. Tämä yhdistetty jakautuma antaa arvion siitä, miten korkealle yhtenäinen vihreä vesi pystyy nousemaan jyrkällä rannalla. Mittauspaikoille lasketut arvot on yleistetty muihin paikkoihin käyttämällä mm. WAM-mallin antamia tietoja aaltokentän käyttäytymisestä.

Vuonna 2016 valmistuneen raportin tietoja on päivitetty vuosina 2017 ja 2018 tehtyjen lisämittausten perusteella. Nämä mittaukset on tehty Rajasaaren, Melkin ja Lauttasaaren edustalla. Lisämittauksia on tehty myös Länsisataman edustalla ja Ahdinaltaalla. Näiden mittausten analyysiin on käytetty myös Suomenlinnan edustalle vuonna 2016 ankkuroidun pysyvän aaltopoijun mittaustuloksia.

2 ABSTRAKT

Meteorologiska institutet undersökte havsvågorna vid Helsingfors kust på uppdrag av geotekniska avdelningen vid Helsingfors stads fastighetskontor. Den här rapporten presenterar de våg-, vind- och vattenståndsobserveringar som utförts under åren 2012–2014. Vågobservationer med vågbojar utfördes på 18 ställen, medan ytterligare mycket kortvariga högfrekventa vågobservationer gjordes för hand från stranden vid utvalda platser. Vindobservationer utfördes vid Kronbergsfjärden och vid Botbyvikens bro, medan vattenståndsmätningar utfördes vid Lill-Hoplax och Botbyviken. Meteorologiska institutets långvariga vindobservationer från Gråhara och Kalbådagrund, samt de långvariga vågobservationerna från Finska viken, användes också som referenspunkt för uträkningarna.

Vågobservationerna vid Helsingfors kustvatten jämfördes med Meteorologiska institutets kontinuerliga operativa observationer från Finska viken. På basen av denna jämförelse kunde en ungefärlig överföringsfunktion mellan våghöjden vid öppna havet och observationsplatserna beräknas. Genom att tillämpa denna överföringsfunktion på vågor av olika längd och riktning kunde de långvariga vågobservationerna från öppna havet användas för att uppskatta den högsta våghöjden nära kusten. Resultaten från överföringsfunktionen kompletterades genom att uppskatta våghöjden från vindobservationerna på basen av den s.k. svepsträckan, samt genom att tolka resultaten från vågmodellen WAM.

Vågobservationerna styrker de vågberäkningar som visar att vågklimatet vid Helsingfors kustlinje är som strängast vid Ärtholmen. Observationerna bekräftar även att våghöjden vid Sveaborgs Gustavssvärd har blivit dämpade med ungefär hälften i jämförelse med det öppna havet, vilket öppnar möjligheter att betydligt förbättra vågberäkningar t.ex. vid Kronbergsfjärden.

De kortvariga variationerna i vattenståndet beräknades från minutobservationer tagna från Meteorologiska institutets mareografer. Klimatförändringens inverkan på medelvattnet beaktades enligt de medelvattensskenarier som redan tidigare uppskattats i Meteorologiska institutets rapport av Kahma m.fl. (2014).

Denna rapport presenterar även den uppskattade kombinerade effekten av vattenståndet och havsvågorna vid kusten. Att av försiktighetsskäl summera båda fenomenens extremvärden resulterar i opraktiskt konservativa slutresultat. Den gemensamma effekten bör därför uppskattas som en kombination av två sannolikhetsdistributioner. För varje vågobservationsställe bildades en sannolikhetsdistribution för våghöjden, vilken sedan kombinerades med sannolikhetsdistributionen för vattenståndet. Från denna kombinerade distribution var det möjligt att uppskatta hur högt det enhetliga s.k. gröna vattnet kan stiga vid en brant strand. Resultaten för observationsplatserna generaliserades till andra ställen vid kusten genom att använda information om vågfältets beteende vilken tagits bl.a. från vågmodellen WAM.

Den år 2016 färdigställda rapporten har blivit uppdaterad på basen av observationer som gjordes år 2017 och 2018. Dessa observationer gjordes utanför Råholmen, Melkö och Drumsö. Tillägsmätningar har också gjorts utanför Västra hamnen och i dess hamnbassäng (Ahdinallas). I analysen av de nya mätningarna har också observationer från en ny permanent vågboj använts. Denna vågboj blev installerad utanför Sveborg år 2016.

3 ABSTRACT

A wave research project commissioned by the Geotechnical Division of the City of Helsinki's Real Estate Department was carried out by the Finnish Meteorological Institute (FMI) in the coastal waters off Helsinki. This report presents the wave, wind and sea level observations taken for the project during 2012–2014. The wave observations were made at 18 locations, in addition to which very short duration, high-frequency wave observations were made from the shore at selected points. The wind observations were taken in the waters at Kruunuvuorenselkä and at Vartiokylänlahti bridge, and sea level data was collected at Pikku Huopalahti and at Vartiokylänlahti. The FMI's long-term wind observations at Harmaja and Kalbådagrund and long-term wave observations in the Gulf of Finland were also used for comparison purposes in the calculations.

The wave observations in the coastal waters off Helsinki were compared with continuous, open sea operational observations made by the FMI in the central part of the Gulf of Finland. Based on this comparison, it was possible to determine an approximate transfer function between the open sea and the observation sites for waves of different lengths travelling in various directions. By applying this transfer function to the long-term open sea observations, an estimate of the largest waves appearing near the coastline was obtained. The results obtained with the transfer function were complemented by using wind data to calculate fetch-based estimates for the local wave field and by applying the WAM wave model results.

The wave observations confirm the results of the wave calculations, which found that the wave conditions along the shoreline of Helsinki is most severe at Hernesaari. The observations also confirm that the height of the waves reaching the Kustaanmiekka strait by the island of Suomenlinna has already diminished by about half in comparison with the open sea, which enables a significant adjustment to be made to the earlier wave calculations at, for example, the waters of Kruunuvuorenselkä.

The short-term variation in the sea level data was calculated from the per-minute mareograph observations of the FMI. The rise in the mean sea level due to climate change was taken into account by making use of the mean sea level scenarios presented in an FMI report by Kahma et al. (2014).

Besides estimating the largest wave field, this report also estimates the combined effect of the water level and the wave field on the coastline. Directly adding together the maximum values of water level and wave height gives too restrictive an estimate, producing values that are impractically large.

For this reason, the combined effect of water level and wave height should be estimated at the probability distribution level. For each wave observation site, an estimate was made of the probabilities of the associated wave height and this was combined with the water level probabilities. The combined distribution gives an estimate of how high the main mass of green water can rise on a steep shore. The values calculated for the observation sites have been generalised to other locations by using information about wave field behaviour from for example the WAM model.

The 2016 report has been updated based on new observation that were obtained during 2017 and 2018 outside of Rajasaari, Melkki, and Lauttasaari. New measurements were also made outside of the West Harbour and in the Ahdinallas-basin. The analysis of the new data have made use of wave observations from a new permanent wave buoy. This wave buoy was anchored outside of Suomenlinna in 2016.

Sisällys

Alkusanat	3
1 Tiivistelmä	3
2 Abstrakt	6
3 Abstract	8
4 Johdanto	14
5 Terminologiaa ja taustaa	17
5.1 Terminologiaa	17
<i>Aallokon keskisuunta</i>	17
<i>Aallonvaimennuskammio</i>	17
<i>Aaltospektri, $E(f)$</i>	17
<i>Amplitudivaste, (K)</i>	17
<i>Diffraktio</i>	18
<i>Heijastuminen</i>	18
<i>Jyrkkä ranta</i>	19
<i>Maksimiaallonkorkeus</i>	19
<i>Merkitsevä aallonkorkeus</i>	19
<i>Merkitsevä aallonpituus</i>	19
<i>Modaaliperiodi</i>	19

<i>Pyyhkäisymatka</i>	19
<i>Refraktio</i>	20
<i>Refraktiomalli</i>	20
<i>Siirtofunktio ja amplitudivaste, (K)</i>	20
<i>WAM-malli</i>	20
5.2 Taustaa	21
6 Tuulimittaukset	26
6.1 Neljän viitan kari (Kruunuvuorenselkä)	27
6.2 Vartiokylänlahti	27
7 Vedenkorkeusmittaukset	28
7.1 Vartiokylänlahti	28
7.2 Pikku Huopalahti	29
8 Länsi-Helsingin ja Espoon aaltomittaukset	31
8.1 Pirisaari	31
8.2 Koivusaari	35
8.3 Jätkäsaari	39
8.4 Ruumiskari (Likgrund)	46
8.5 Hernesaari	51
9 Kruunuvuorenselän alueen aaltomittaukset	56
9.1 Länsikari	56
9.2 Kruunuvuorenselkä	60
9.3 Koirasaari	65

9.4	Kruunuvuorenranta	69
9.5	Kipparlahti	73
9.6	Eteläsatama	79
10	Itä-Helsingin aaltomittaukset	83
10.1	Ramsinniemi	83
10.2	Vartiokylänlahti	87
10.3	Vuosaaren satama	90
10.4	Talosaari	94
11	Ulkosaariston aaltomittaukset	97
11.1	Itä-Villinki	97
11.2	Isosaaren eteläpuoli	101
11.3	Isosaaren pohjoispuoli	105
12	Vuoden 2017 ja 2018 lisämittaukset	109
12.1	Suomenlinna	109
12.2	Melkki	110
12.3	Vattuniemi	115
12.4	Rajasaari	120
12.5	Länsisatama ja Ahdinallas	124
13	Vedenkorkeuden ja aallonkorkeuden yhteisvaikutus	126
13.1	Menetelmä	126
13.2	Tulokset mittauspaikoille	130
13.3	Tulosten yleistäminen	133

14	Merkitsevä aallonkorkeus yleistetylle aineistolle	134
15	Helsingin lähivesien sää reaaliajassa	135
16	Johtopäätökset	136
17	Jatkotoimenpiteet	139
18	Kirjallisuusluettelo	141

LIITE 1a	Yhdistetty aallokko ja vedenkorkeustaulukko	143
LIITE 1b	Suurin arvioitu merkitsevä aallonkorkeustaulukko	148
LIITE 2	Turvalliset rakentamiskorkeudet – Ohje sähköisen palvelun käytöstä	153
LIITE 3	Piirustusluettelo	156
Piirustukset		
GEO 6756.001,	Turvalliset rakentamiskorkeudet vuonna 2020	157
GEO 6756.002,	Turvalliset rakentamiskorkeudet vuonna 2050	158
GEO 6756.003,	Turvalliset rakentamiskorkeudet vuonna 2100	159
GEO 6756.004,	Suurin merkitsevä aallonkorkeus	160

4 JOHDANTO

Merellisten alueiden suunnittelussa tarvitaan lähtötiedot aallokosta ja sen vaihtelusta. Tällaisia alueita on tällä hetkellä rakenteilla tai suunnitteilla runsaasti. Riittävän, mutta toisaalta realistisen aaltoiluvaran määrittäminen on turvallisuuteen ja taloudellisuuteen vaikuttava päätös alueiden kaavoituksessa. Aaltoiluvara ja meriveden korkeus ovat rakennuskorkeuden ja meriveden vaikutuksilta suojautumisen kannalta keskeiset tekijät.

Avomerellä, parinkymmenen kilometrin päässä kaakkoon Helsingin keskustasta, paikassa 59°58' N 25°14' E on aaltopoiju, joka mittaa merkitsevää aallonkorkeutta. Siellä olosuhteet eivät kuitenkaan vastaa Helsingin uusien merellisten aluerakennuskohteiden olosuhteita, vaan avomeren aallokko on moninkertainen Helsingin rantojen aallokkoon verrattuna.



Kuva 1. Aallokko jyrkällä rannalla Café Ursulan edustalla 30.11.2015 klo 12:19. Merkitsevä aallonkorkeus avomerellä oli tällöin noin 2.5 m. (kuva: Merryt Santanen)

Tämä näkyy hyvin kuvasta 1, jonka ottamisen aikaan avomerellä mitattiin 2.5 metrin merkitsevä aallonkorkeus. Kuvasta näkyy myös se, kuinka kaupunkialueelle tyypillisessä jyrkässä rannassa jo yhtenäinen, ns. vihreä vesi, nousee paljon vapaassa vedessä näkyvien harjojen yläpuolelle ja kuinka roiskeet nousevat vielä paljon vihreän veden

yläpuolelle. Kuvassa 1 näkyvä aallokko on pääosin paikallisen tuulen kasvattamaa aallokkoa, ja vain pieni osa siitä on tullut avomereltä. Aallokkoa ja sen vaikutusta Helsingin rannoilla ei siten voida saada selville pelkästään avomeren aaltomittausten avulla.

Perinteisesti aallokon vaikutusta on pyritty huomioimaan laskemalla vedenkorkeuden päälle aaltoiluvara. Helsingin rannikko on kuitenkin niin vaihtelevaa, että mitään yksittäistä aaltoiluvaraa ei ole mahdollista käyttää; mikä tahansa vakioarvo paikoitellen aliarvioi ja paikoitellen yliarvioi mihin rakentamiskorkeuteen pitäisi varautua. Molemmissa tapauksissa kyseessä on merkittävä kustannustekijä jota voidaan pienentää vain määrittelemällä aallokon vaikutus paikallisesti.

Aikataulu- ja kustannussyistä kaavoituksessa tarvittavat aallokkotiedot on ennen tätä raporttia pääsääntöisesti laskettu yksinkertaistetuilla laskumenetelmillä. Nämä menetelmät ovat sitä epävarmempia, mitä suojaisemmasta rannikon kohdasta on kysymys. Turvallista aaltoiluvaraa määrättäessä on siten jouduttu jättämään varovaisuusvaraa, joka saattaa aiheuttaa sekä perusteettomia rajoituksia kaavoitukselle, että ylimääräisiä kustannuksia. Varovaisuusvarasta huolimatta menettelyyn sisältyy pieni riski alimitoituksesta, joka ehkä yhden rakennuskohteen tapauksessa voidaan katsoa järkeväksi kattavan aaltoselvityksen kustannuksiin verrattuna, mutta aluerakennuskohteiden mittakaavassa se ei enää sitä ole. Yhden ainoan kohteen rakennuskorkeuden alimitoituksen aiheuttamat vahingot ovat helposti moninkertaiset verrattuina riittävän aaltotutkimuksen kustannuksiin.

Aaltomallin tuloksia on viime vuosina käytetty Hernesaaren kaavoituksessa ja Merenkulkijanrannan aaltoiluvaraselvityksen tueksi. Vaikka aaltomalli on huomattavasti tarkempi kuin yksinkertaistettu laskennallinen menetelmä, jää senkin tuloksiin tarpeettoman paljon epävarmuutta. Näitä epävarmuuksia voidaan pienentää tekemällä aaltomittauksia mallitulosten tueksi.

Kattavia aaltomittauksia on Helsingin alueella ennen tätä tutkimusta tehty ainoastaan Vuosaaren sataman suunnittelua varten. Kattavat aaltomittaukset kestävät useita vuosia ja koskevat vain mittauspaikkaa. Vuosaaren tutkimuksissa käytettiin hyväksi Helsingin edustan aaltopojun mittauksia, joiden avulla yhden syyskauden mittaustuloksien ja Helsingin edustan aaltopojun avulla mitatun Suomenlahden aaltoilmaston avulla voitiin laskea mittauspaikan aaltoilmasto. Tässä tutkimuksessa käytettiin saman tyyppistä menetelmää. Aaltomalleilla laskettiin ensin Helsingin koko rannikon aallokko. Mallitulosten

perusteella valittiin edustavat pisteet, joissa mitattiin kuukauden ajan aallokkoa samanaikaisesti avomerellä olevan poijun kanssa. Poijujen mittauksista laskettiin aallonkorkeuden vaimenemisen siirtofunktion amplitudivaste, jonka avulla aaltomallin antamat suurimman aallokon arvot kalibroitiin. Aaltomallilla puolestaan laskettiin pitkältä ajalta kussakin pisteessä siinä kohdassa esiintyvä suurin aallokko ja näin saatu kartta skaalattiin mittausten avulla. Näin saatiin kustannustehokkaasti kartat Helsingin koko rannikon aallokon korkeudesta.

5 TERMINOLOGIAA JA TAUSTAA

5.1 Terminologiaa

Seuraavassa esittelemme tutkimuksessa esiintyviä aallokkosuureita ja aallokon ominaisuuksia.

Aallokon keskisuunta

Epäsäännöllisessä aallokossa esiintyy moneen suuntaan kulkevia aaltoja samanaikaisesti. Keskisuunta on näiden energialla painotettu keskiarvo. Aallokon suunnalla tarkoitetaan tässä selvityksessä aallokon tulosuuntaa.

Aallonvaimennuskammio

Esimerkiksi laiturin alapuoliseen tilaan rakennettu kammio, jossa on aukkoja joista aaltoileva vesi pääsee sisään ja ulos. Aukkojen pinta-alan ja kammion tilavuuden suhde määrää kuinka korkeita ja pitkiä aaltoja kammio pystyy vaimentamaan. Aallonvaimennuskammion avulla voidaan vähentää heijastumisesta aiheutuvaa aallokon kasvua laiturissa.

Aaltospektri, $E(f)$

Epäsäännöllisessä aallokossa on samanaikaisesti useita eripituisia ja eri suuntaan kulkevia aaltoja, joiden summa meren aallokko on. Aaltospektri ilmoittaa miten paljon energiaa kullakin näistä aaltokomponenteista on ja siitä voidaan laskea kuinka korkea jokin aaltokomponentti on. Avomerellä kasvavassa aallokossa on usein tietty aallonpituus hallitseva, jolloin aaltospektrillä on selkeä huippu. Tätä huippua vastaavaa aallonpituutta kutsutaan merkitseväksi aallonpituudeksi ja sitä vastaavaa periodia modaaliperiodiksi. Jos merellä on maininkia, voi aaltospektrissä olla useampia huippuja. Saaristossa voi aaltospektrissä näkyä avomereltä tulleen saariston vaimentaman aallokon aiheuttama huippu, sekä toinen saaristossa paikallisesti syntyneen aallokon huippu. Helsingin rannikkovesillä on aallokkoa jonka aaltospektrissä ei ole usein ole mitään selkeää huippua.

Amplitudivaste, (K)

Kts. Siirtofunktio.

Diffraktio

Kun aalto menee kapean raon läpi, se ei ainoastaan jatka suoraa kulkuaan, vaan taipuu myös raon reunojen taakse molempiin suuntiin. Ilmiön tieteellinen nimi on diffraktio. Ilmiö on erittäin merkittävä, kun rako on kapeampi kuin aallonpituus. Kapean salmen läpi menevä pitkä aalto pystyy siten diffraktoitumaan salmen takaisella selällä paikkoihin, jotka ovat aaltojen tulosuunnasta katsoen varjossa.

Suomenkielinen termi refraktiolle on taittuminen ja diffraktiolle vastaavasti taipuminen. Termi taittuminen kuvaa refraktio-ilmiötä hyvin silloin, kun valoaalto taittuu lasin ja ilman rajapinnassa, esimerkiksi linssissä. Meren aalloille taittuminen ei ole onnistunut termi, koska meren aallot eivät yleensä refraktoidu selvää kulmaa tehden. Tämä johtuu siitä, että meren pohjassa ei yleensä ole suuria pystysuoria hyppäyksiä, vaan syvyys vaihtelee tasaisemmin. Silloin meren aallot näyttävät refraktion vaikutuksesta "taipuvan", mutta tätä ilmaisua ei voida käyttää ilman sekaannuksen vaaraa, koska aallon taipuminen on suomenkielessä määritelty tarkoittavan aallon diffraktiota. Käytämme siksi molemmista niiden tieteellisiä termejä.

Heijastuminen

Kun aalto osuu rantaan, joka ei ole hyvin loiva, se heijastuu kuten valoaallot peilistä. Heijastumisessa aallon tulokulma rantaan nähden on yhtä suuri kuin heijastuskulma. Jos aalto tulee kohtisuoraan rantaan, se heijastuu suoraan takaisin. Heijastuminen on lähes täydellistä, jos ranta on jyrkempi kuin 1:3. Tällaista rantaa kutsutaan tässä raportissa jyrkäksi rannaksi.



Kuva 2. Jyrkän rannan heijastus kasvattaa aaltojen korkeutta jopa kaksinkertaiseksi (kuva: Kimmo Tikka)

Jyrkkä ranta

Jyrkällä rannalla tarkoitetaan tässä raportissa rantaa jonka jyrkkyys ylittää suhteen 1:3.

Maksimiaallonkorkeus

Suurimman yksittäisen aallon korkeutta esimerkiksi kolmen tunnin kuluessa kutsutaan maksimiaallonkorkeudeksi kyseisessä aallokossa. Jos merkitsevä aallonkorkeus pysyy tarkasteluajan muuttumattomana, maksimiaallonkorkeus kolmen tunnin aikana on noin kaksi kertaa merkitsevä aallonkorkeus.

Merkitsevä aallonkorkeus

Aallonkorkeudella tarkoitetaan aallon pohjan ja huipun välistä korkeuseroa. Meren aallokko on epäsäännöllistä, joten siinä perättäisten aaltojen korkeus ei ole vakio. Korkeuden ilmaisemiseen käytetään merkitsevää aallonkorkeutta H_s , joka likipitään vastaa silmin arvioitua keskikorkeutta. Aaltospektrin avulla määriteltynä merkitsevä aallonkorkeus on neljä kertaa aaltospektrin alle jäävän pinta-alan neliöjuuri.

Merkitsevä aallonpituus

Aallonpituudella tarkoitetaan kahden perättäisen aallonhuipun välistä matkaa. Merkitsevä aallonpituus luonnehtii aallokon hallitsevaa aallonpituutta. Merkitsevä aallonpituus määritellään aaltospektrin huipun aallonpituutena.

Modaaliperiodi

Aallon periodilla tarkoitetaan kahden perättäisen aallonhuipun välistä aikaeroa. Epäsäännöllisen aallokon modaaliperiodi luonnehtii aallokon hallitsevaa periodia. Modaaliperiodi määritellään aaltospektrin huipun periodina.

Pyyhkäisymatka

Etäisyys tuulen yläpuolisesta rannasta jolla tuuli pystyy kasvattamaan aallokkoa. Pyyhkäisymatka on helppo määritellä, kun tuuli puhaltaa kohtisuoraan suoralta rantaviivalta, mutta monimutkaisissa tilanteissa pyyhkäisymatkan käsite ei ole näin yksiselitteinen. Lähellä rantaa paikallisen tuulen kehittämä aallokko on usein hyvin määriteltävissä, mikäli pyyhkäisymatka ja tuulennopeus tiedetään.

Refraktio

Kun aalto tulee paikkaan jossa sen nopeus muuttuu, tapahtuu ilmiö, jota kutsutaan refraktioksi. Veden aaltojen nopeus on matalassa vedessä pienempi kuin syvässä vedessä. Jos aalto ei tule kohtisuoraan syvyyttä kuvaavien tasa-arvokäyrien suhteen, niin aallon suunta kääntyy refraktion vaikutuksesta matalaan veteen päin.

Refraktiomalli

Ilmatieteen laitoksella kehitetty aaltomalli, jolla pystytään mallintamaan avomeren pitkien aaltojen taittumista niiden kulkeuduttua matalaan veteen.

Siirtofunktio ja amplitudivaste, (K)

Jos aallokko tunnetaan, voidaan sen vaikutus esimerkiksi aluksen liikkeisiin kuvata siirtofunktiolla. Samalla tavoin voidaan puhua kahden paikan välisen aallokon likimääräisestä siirtofunktiosta, jonka avulla voidaan laskea yhdessä paikassa tiedetyn aallokon avulla millainen aallokko on toisessa paikassa. Jos paikat merellä ovat vähänkään kauempana toisistaan, voidaan aallokon siirtofunktiosta laskea vain amplitudivaste, toisin sanoen miten aallokon ja sen komponenttien korkeus muuttuu, mutta ei vaihekulmaa, eli sitä milloin aallon harja ja milloin sen laakso on toisessa paikassa.

WAM-malli

Kolmannen sukupolven numeerinen aaltomalli (mm. WAMDIG, 1988; Komen ym., 1994) jossa eri fysikaaliset prosessit kuvataan erillisten nk. lähdetermien avulla. Malli vaatii toimiakseen tuulipakotteen jonka avulla se laskee aallokon kehittymistä numeerisessa hilassa. WAM-malli on operatiivisessa käytössä Ilmatieteen laitoksella sekä koko Itämeren skaalassa (Tuomi, 2008), Saaristomerellä (Tuomi ja Björkqvist, 2014), että Helsingin edustalla (Björkqvist ym., 2018).

5.2 Taustaa

Aallokon ominaisuudet riippuvat useasta tekijästä. Tärkeimmät ovat tuulen nopeus, etäisyys tuulen yläpuolisesta rannasta, eli pyyhkäisymatka, sekä tuulen kesto aika.

Yksinkertaisin tilanne on pienillä järvillä ja sisäsaaristossa, joissa aallokko nousee niin nopeasti, että kestoajalla ei ole käytännössä merkitystä. Silloin aallokon korkeus on kullakin tuulen suunnalla likipitään suoraan verrannollinen tuulen nopeuteen, ja – mikäli tuulen yläpuolinen ranta on riittävän kohtisuoraan tuulta vastaan – lisäksi likipitään verrannollinen pyyhkäisymatkan neliöjuureen. Sen aallonpituus on niin lyhyt, että aallot eivät vuorovaikuta pohjan kanssa, jolloin veden syvyydellä siten käytännössä ole merkitystä. Aallonpituuden lisäksi voidaan laskea myös aallokon jyrkkyys, eli korkeuden ja pituuden suhde. Jyrkkä aallokko murtuu loivaa aallokko todennäköisemmin osuessaan jyrkkään rantaan. Sisäsaaristossa murtuvan aallokon aiheuttamat pärskeet eivät kuitenkaan pienen aallonkorkeuden takia nouse kovin korkealle, vaikka aallokko kovalla tuulella onkin jyrkkää.

Aallokon ominaisuudet ovat tällaisissa oloissa hyvin kuvattavissa kohdassa 5.1 esitettyjen suureiden avulla ja ne on suhteellisen helppoa laskennallisesti määrittää sillä tarkkuudella, millä tuuliolot ovat tiedossa. Tuulitietojen epätarkkuus on monesti tärkein virhelähde, koska tuulennopeus veden yläpuolella on suurempi kuin maan yläpuolella. Toinen virhelähde on rannan muoto. Kumpikin virhelähde voidaan suureksi osaksi poistaa, jos tehdään muutamia samanaikaisia aalto- ja tuulimittauksia. Tällöin voidaan lähimmän meteorologisen havaintopaikan hyviä tuulitilastoja käyttäen saada laskentamenetelmien avulla erittäin luotettava kuva tällaisen rajoitetun vesialueen aallokko-oloista.

Helsingin rannikkovesistä Vanhankaupungin lahti, Töölönlahti ja Laajalahti ovat esimerkkejä tällaisista sisäsaariston vesistä. Kruunuvuorenselkä taas on esimerkki paikasta joka on hankalampi kuvata, koska sen aallokko koostuu useammasta eri aaltokentästä. Myös avomerellä tilanne on hieman mutkikkaampi. Erityisesti Suomenlahdella aallokkoon vaikuttavat edellä mainittujen tekijöiden lisäksi myös lahden kapeus, syvyys, pohjan muoto, sekä tietenkin saaret. Lisäksi tuulen kesto aika ja alueelliset vaihtelut ovat myös tärkeitä tekijöitä. Avomerellä aallokkoa ei välttämättä pysty kuvaamaan tyydyttävästi pelkästään merkitsevän aallonkorkeuden, modaaliperiodin ja aallokon keskisuunnan avulla, mutta kovissa tuuliolosuhteissa ne ovat useimmiten riittävät.

Aallokko-olojen luotettava mittaaminen avomerellä vaatii kuitenkin useita vuosia ja sen kunnollinen mallittaminen on vaativa tehtävä. Merentutkimuslaitos (vuodesta 2009 alkaen Ilmatieteen laitos) on tehnyt aaltomittauksia yli viidentoista vuoden ajan Helsingin edustalla ja sillä on Helsingin edustan aallokon mallittamiseen käytössä kaksi aaltomallia. Siten myös Helsingin edustan aallokko-oloista on käytettävissä erittäin luotettavaa tietoa.

Aallokko-olojen kuvaamisen kannalta hankalin tilanne syntyy, kun kyseessä on merenlahti joka on vahvasti mutta ei aivan täydellisesti suojattu avomeren aallokolta. Suurin osa Helsingin rannikkovesistä kuuluu tähän tyyppiin. Siellä kehittyy paikallista aallokkoa, johon sekoittuu avomereltä vaimentuneena saapuvaa aallokkoa. Aallokon vaikutusten arviointiin tarvittavien ominaisuuksien kuvaaminen ei näissä oloissa pääsääntöisesti onnistu pelkästään merkitsevän aallonkorkeuden, modaaliperiodin ja aallokon keskisuunnan avulla, vaan aallokosta tarvitaan lisätietoja. Nämä tiedot saadaan parhaiten aaltospektriin kutsutusta suureesta. Aikaisemmin on oletettu, että aallokko voitaisiin tyydyttävästi esittää myös aaltojärjestelmien yhdistelmänä, joista jokainen erikseen määritellään merkitsevän aallonkorkeuden, modaaliperiodin ja aallokon keskisuunnan avulla. Helsingin rannikon aaltomittaukset ovat nyt selvästi osoittaneet, että tämä yksinkertaistus ei ole riittävän tarkka käytännön tarpeita varten. Aaltokomponenttien korkeus ja energia on Helsingin osittain suojatussa saaristossa lähes vakio, noin 3 sekunnin periodisesta aallosta noin 6 sekunnin aaltoon. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että aallot ovat sitä loivempia mitä pidempiä ne ovat. Tiedolla, että saariston aallokosta ei voida löytää yhtä selkeästi hallitsevaa periodia voi olla vaikutusta mm. aallokon nousukorkeutta, roiskekorkeutta, tai kuormituksia laskettaessa, sillä nämä laskelmat perustuvat perinteisesti muualla maailmassa yleiseen aaltospektrin muotoon, jossa yksi periodi (modaaliperiodi) on hallitseva.

Osittain suojatun merenlahden aallokon luotettava mallittaminen on erittäin laaja ja vaativa tehtävä ja se on sitä vaikeampi, mitä suurempi avomereltä tulevien aaltojen vaimeneminen on. Aaltolaskelmat tehtiin kahdella erityyppisellä aaltomallilla: refraktiomallilla ja pienihilaisella WAM-aaltomallilla. Kumpikin tarvitsee lähtötiedokseen merenpohjan syvyyden, sekä avomeren lähtöaallokon. Jälkimmäinen saadaan joko aaltomittauksista tai suurihilaisesta koko Itämeren WAM-mallista.

Aallokko vaimenee mm. refraktion ja saarten aiheuttaman varjostuksen takia. Refraktiomalli laskee miten nämä Suomen rannikon oloissa keskeiset ilmiöt muuttavat

avomereltä tulevaa aaltoa saaristossa. Malli pystyy ottamaan huomioon pienetkin saaret ja pohjanmuotojen yksityiskohdat, mikäli ne ovat tiedossa. Refraktiomalli ei pysty ottamaan huomioon saarten suojassa tapahtuvaa aallokon kasvua, eikä myöskään diffraktiota.

Pienihilainen WAM-malli puolestaan pystyy laskemaan myös aallokon kasvun, mutta sen hilakoko on noin 180 m joten se ei pysty ottamaan huomioon pohjan muotojen yksityiskohtia, saaria tai salmia samalla tarkkuudella kuin refraktiomalli. Myöskään WAM-malli ei sisällä diffraktiota.

Laskelmien tueksi tulisi tehdä mittauksia aina kun se ajan ja kustannusten puolesta on mahdollista. Helsingin rannikkovesillä nyt toteutettu hanke on ensimmäinen jossa näin on menetelty. Tehdyt aaltomittaukset osoittavat, että WAM-malli yliarvioi ja refraktiomalli aliarvioi suurimman aallokon saariston suojassa. Kerättyä mittausaineistoa voidaan käyttää tukena Ilmatieteen laitoksella suoritettavassa WAM-mallin jatkokehityksessä, jonka tavoitteena on mallin entistä parempi soveltuvuus Suomen rannikon olosuhteisiin. Kuvassa 3 on esitetty kaikkien suoritettujen mittausten paikat kun kuva 4 taas esittää Kruunuvuorenselän mittaukset.



Kuva 3. Kaikkien suoritettujen mittausten paikat.

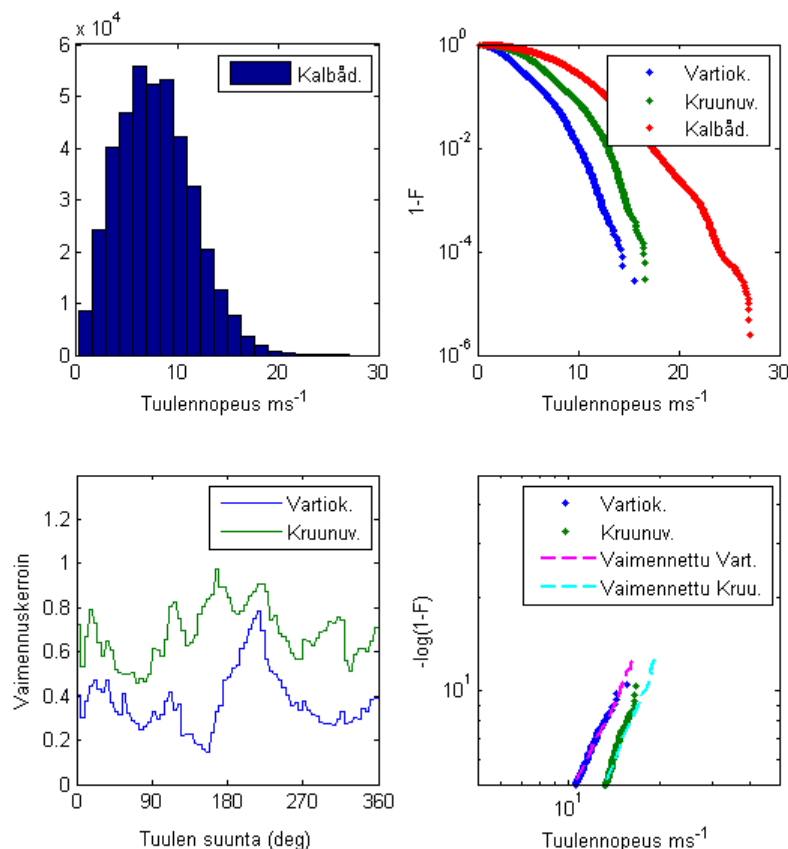


Kuva 4. Kruunuvuorenselällä suoritettut mittaukset.

6 TUULIMITTAUKSET

Pyyhkäisymatkatarkasteluja varten käytössä oli tuuliaineistoa usealta eri mittausasemalta. Pisin mittausaineisto on Kalbådagrundin havaintoasemalta, joka edustaa avomeren tuuliolosuhteita. Tiheää kymmenen minuutin keskiarvoa oli käytettävissä ajalta 1.10.2007 – 17.9.2015. Vaikka aikasarja olisi ideaalitalanteissa pidempi, se havaittiin kuitenkin edustavaksi vertailussa vanhempaan ja harvempaan. Suurin mitattu arvo Kalbådagrundilla oli 27.1 ms^{-1} , joka saavutettiin itäisellä tuulella (kuva 5 **Kuva 5**).

Koska tämän selvityksen lyhytaikaiset tuulimittaukset eivät yksinään riitä tilastojen luomiseen, laskettiin paikallisten tuulennopeuksien suhde Kalbådagrundin avomeren mittauksiin. Tämän jälkeen Kalbådagrundin pitkät aikasarjat saatiin käyttöön laskettujen suuntariippuvaisten vaimennuskertoimien avulla (kuva 5, alavasemmalla).



Kuva 5. Tuulimittaukset ja Kalbådagrundin tuulten vaimentaminen mittauspaikoille.

6.1 Neljän viitan kari (Kruunuvuorenselkä)

Kruunuvuorenselällä suoritettiin tuulimittauksia Neljän viitan karilla 1.10.2014 – 11.9.2015. Mittari oli sijoitettu mastoon pienellä luodolla, joissa havaintoja voidaan tehdä häiriöttä. Suurin arvo Kruunuvuorenselällä oli 16.3 ms^{-1} . Vaimentamalla Kalbådagrundin aikasarjaa saatiin suurimmiksi arvoiksi 19.6 ms^{-1} . Tämä on hyvin linjassa edellisten arvioiden kanssa (Kahma ja Tikka, 2011), joiden mukaan Kruunuvuoren selän kovimmat tuulet ovat noin 20 ms^{-1} .

6.2 Vartiokylänlahti

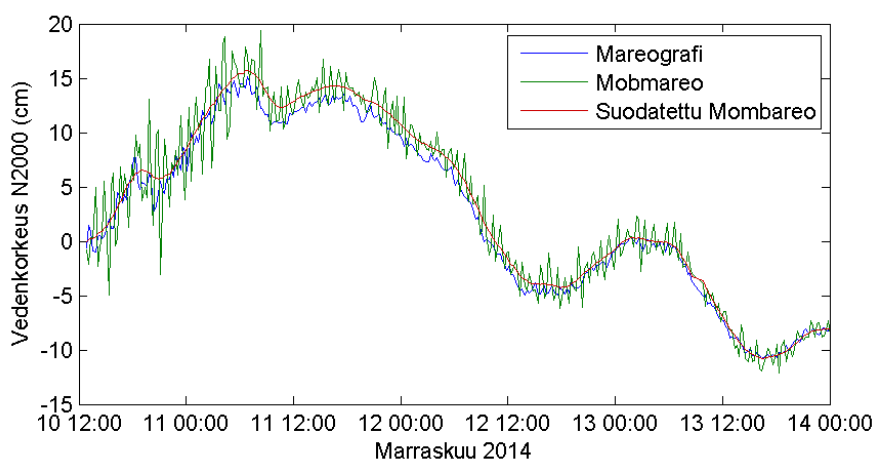
Tätä selvitystä varten tuulimittauksia tehtiin Vartiokylänlahden sillalta 30.10.2014 – 11.9.2015. Vartiokylänlahden mittaukset on tehty 12.1 m korkeudella merenpinnasta ja anturista sillan kanteen on 5.7 m. Mittauksille on suoritettu korjaus jolla pyritään kompensoimaan sillan aiheuttamaa vääristymää, mutta hetkittäisiä korkeita arvoja ei ole pysty luotettavasti kompensoimaan mikäli ne ovat johtuneet esim. ohi ajavista rekoista. Korjausten jälkeen suurimmaksi havaituksi tuulennopeudeksi Vartiokylänlahdella saatiin 15.6 ms^{-1} . Vaimentamalla Kalbådagrundin aikasarjaa saatiin suurimmiksi arvoiksi Vartiokylänlahdelle 16.5 ms^{-1} .

7 VEDENKORKEUSMITTAUKSET

Vedenkorkeusmittauksia tehtiin Vartiokylänlahden pohjukassa 26.9.–25.11.2014 ja Pikku Huopalahdessa 1.-12.11.2013. Vertailumittaukset suoritettiin Kaivopuistossa sijaitsevalla Helsingin mareografilla. Mittausten tarkoituksena oli selvittää, miten paljon kapean lahden pohjukan vedenkorkeus vaihtelee tuulen ansiosta avomeren vedenkorkeuteen. Vertailukohtana käytettiin arvoa, joka saatiin Kaivopuiston ja Haminan mareografien lineaarisella interpoloinnilla Vartiokylänlahden suulle. Huopalahden tapauksessa käytettiin pelkkää Kaivopuiston mareografien arvoa.

7.1 Vartiokylänlahti

Koska vedenkorkeusmittari toimi aurinkopaneeleilla, yhtämittaisia havaintoajaksarjoja ei syksyllä saatu. Aikavälillä 10.11.–25.11.2014 saatiin kuitenkin yhtämittainen ajaksarja ajalta, jolloin Vartiokylänlahdelta saatiin myös tuulihavaintoja. Vartiokylänlahden ja avomeren vedenkorkeus seuraavat toisiaan hyvin läheisesti, mutta lahden pohjukassa on pieniä vaihteluja jotka eivät esiinny Helsingin ja Haminan mareografeilla (kuva 6). Vartiokylänlahden havainnot tehtiin 15 minuutin välein, kun taas mareografien data on harvennettu minuuttihavainnoista. Erotus mainitulla mittausajanjaksolla vaihteli -9 cm ja +7 cm välillä, missä positiivinen arvo tarkoittaa korkeampaa vedenkorkeutta Vartiokylänlahdella.



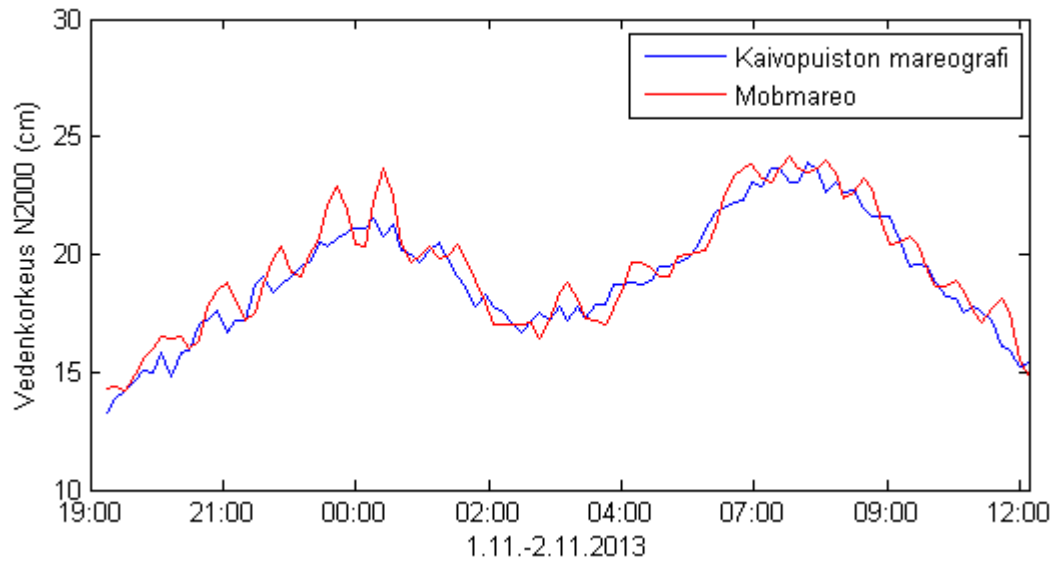
Kuva 6. Vartiokylänlahden (Mobmareo) ja mareografien vedenkorkeuden erotus. Vaaka-akseli kuvaa päiviä vuoden 2014 alusta.

Suurimmat erot Vartiokylänlahden ja avomeren vedenkorkeuden välillä eivät kuitenkaan selity tuulen aiheutumasta kallistumasta. Vartiokylänlahden mittauksissa on näkyvissä hidas ja säännöllinen vedenkorkeusvaihtelu, joka todennäköisesti johtuu veden heilahtelusta lahdessa (kuva 6, vihreä). Kyseessä on siis nk. seiche-aalto. Teoreettisten laskujen mukaan seiche-aallon periodi Vartiokylänlahdella pitäisi olla 20 minuutin luokkaa. Näytteenottotiheys mittalaitteessa pystyy mittaamaan suoraan enintään 30 minuutin periodeja. On kuitenkin laskettavissa, että 20 minuutin heilahtelu tuottaisi mittausaikasarjaan nimenomaan havaitun pituisen ”vale”periodin.

Suodattamalla heilahdukset pois (kuva 6, punainen), nähdään se vedenkorkeusero mikä voisi selittyä tuulen aiheuttamalla kallistumalla. Kovia tuulitilanteita oli mittausjakson aikana vain muutama, mutta noin 9 ms^{-1} tuulennopeus lahden suuntaisesti yhtyi noin kahden senttimetrin vedenkorkeuseroon. Mikäli tätä suhdetta sovelletaan korkeimpiin tuulennopeuksiin, saadaan tuulen aiheuttaman paikalliseksi vedenkorkeuseroksi noin 10 cm. seiche-aallon huippu oli enimmillään noin 7 cm Vartiokylänlahden suodatetun vedenkorkeuden yläpuolella. Koska seiche-aallon syntymekanismi on epäselvä ja näytteenottoaika laitteessa oli liian lyhyt sen suoraan mittaamiseen, sen maksimikorkeutta ei ole mahdollista arvioida luotettavasti nykyisten tietojen perusteella. Vedenkorkeus Vartiokylänlahdella voi näiden mittauksen perusteella nousta enintään 20 cm korkeammalle kuin saariston ulkopuolella oleva merenpinta, mutta ilmiön tarkempi tarkastelu vaatisi sopivia jatkomittauksia.

7.2 Pikku Huopalahti

Pikku Huopalahdella suoritetuissa mittauksissa seiche ei ollut yhtä näkyvä (kuva 7). Tämä voi toisaalta johtua mittauskohdasta, joka olisi mahdollisen seiche-aallon solmupisteessä.



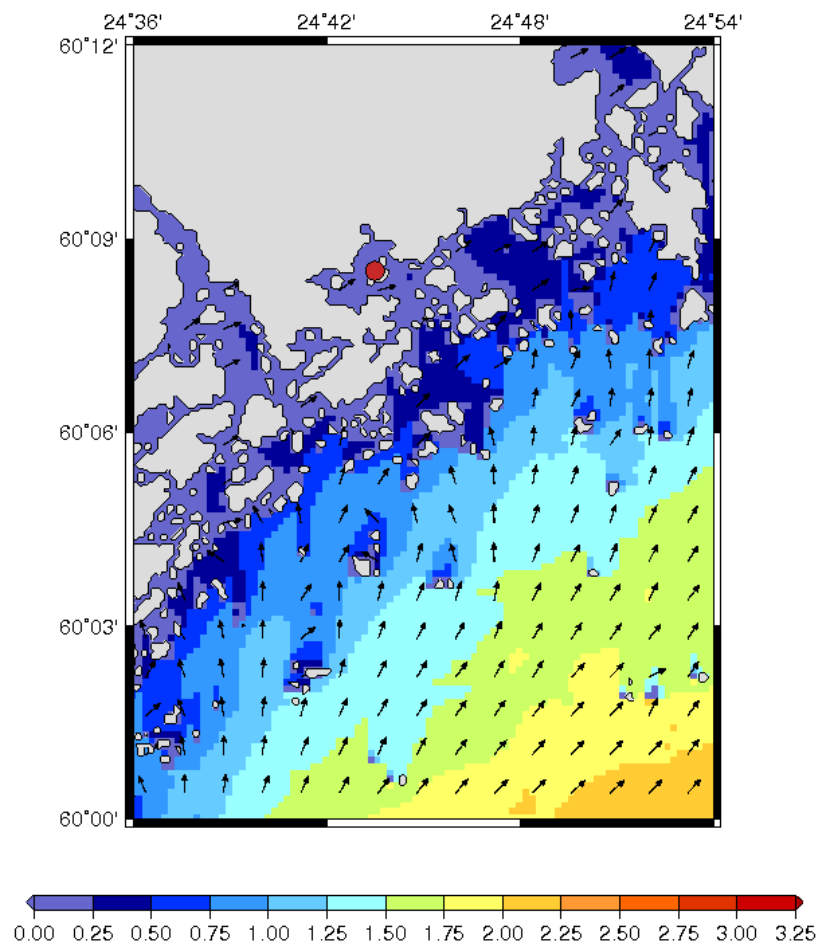
Kuva 7. Pikku Huopalahden (Mobmareo) ja Kaivopuiston mareografin vedenkorkeuden erotus.

Käyttäen Harmajan tuulimittauksia pystyttiin kovimpien tilanteiden perusteella laskemaan likimääräinen yhteys lahden suuntaisen tuulen nopeuden neliön ja vedenkorkeuseron välillä. Suurimmat mitatut erot olivat noin 7 cm. Voidaan laskea tämän eron olevan kovalla tuulella noin 15 cm. Koska mittauspiste on lahden keskellä, on lahden pohjukassa varauduttava 20 cm normaalin vedenkorkeuden ylittävään arvoon.

8 LÄNSI-HELSINGIN JA ESPOON AALTOMITTAUKSET

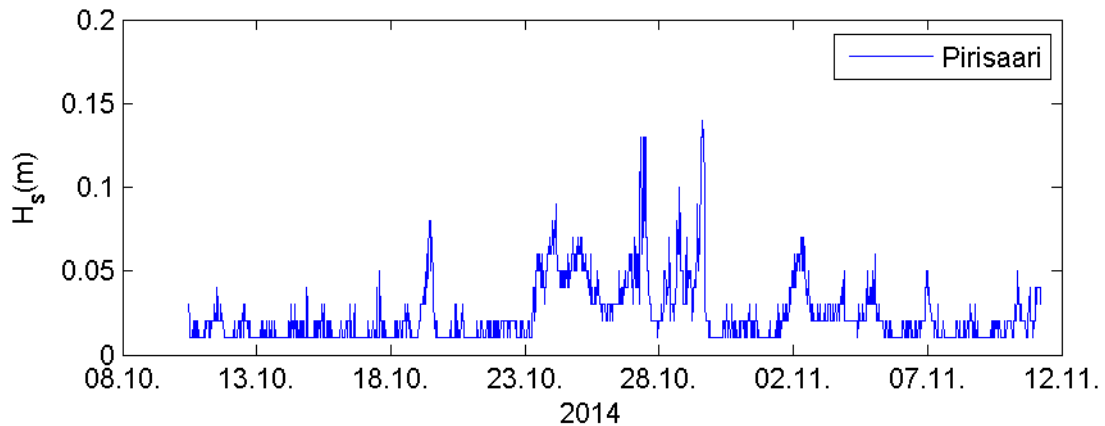
8.1 Pirisaari

Mittaukset Espoon Pirisaarella tehtiin 10.10.2014 kello 11:27 – 11.11.2014 kello 05:25 välisenä aikana paikassa $60^{\circ} 08.5' N$ $24^{\circ} 43.5' E$ (kuva 8).



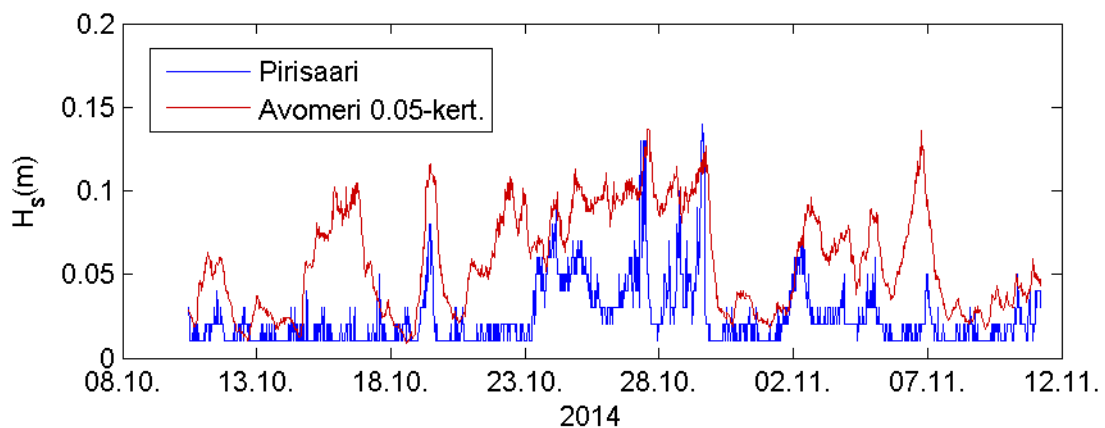
Kuva 8. Aallokko Pirisaarella on hyvin suojattu avomeren aallokolta. WAM-ajo ajalta 7.10.2012 kello 13:00, jolloin avomerellä mitattiin 2.49 m merkitsevä aallonkorkeus suunnasta 247° , hallitsevan periodin ollessa 7.1 s.

Pirisaaren suurin mitattu merkitsevä aallonkorkeus oli 0.14 m, joka mitattiin 29.10. klo 14:55. Merkitsevä aallonkorkeus avomerellä oli tällöin 2.30 m suunnasta 251° .



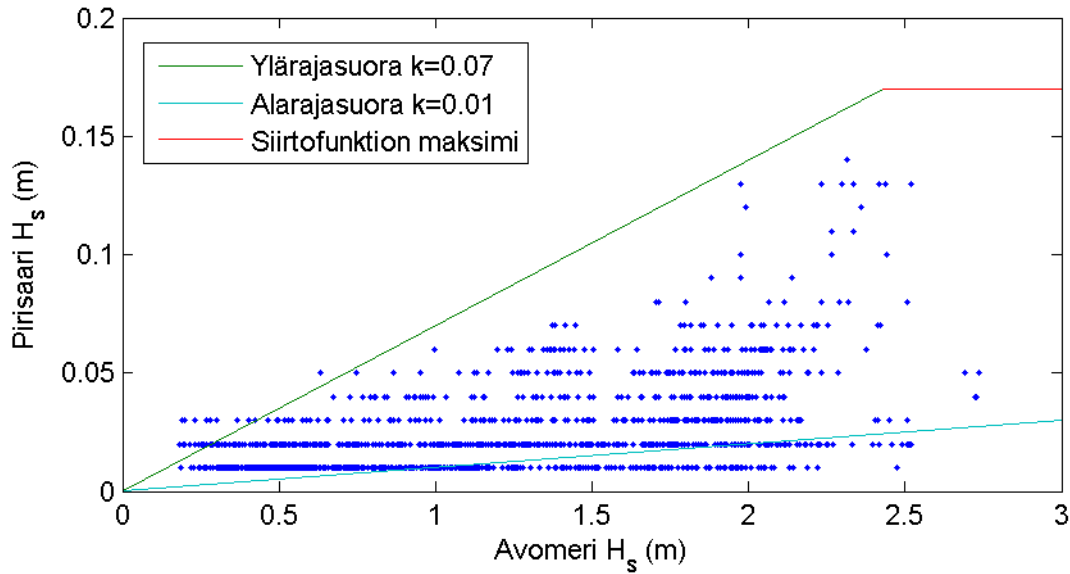
Kuva 9. Merkitsevä aallonkorkeus Pirisaarella koko mittausjakson aikana.

Pirisaarella mitattu aallokko on hyvin pientä johtuen Ryssjeholmenin suojaavasta vaikutuksesta (kuva 9). Paikallinen aallokko voi kasvaa korkeimmaksi lounaisella tuulella, missä on pisin esteetön pyyhkäisymatka.



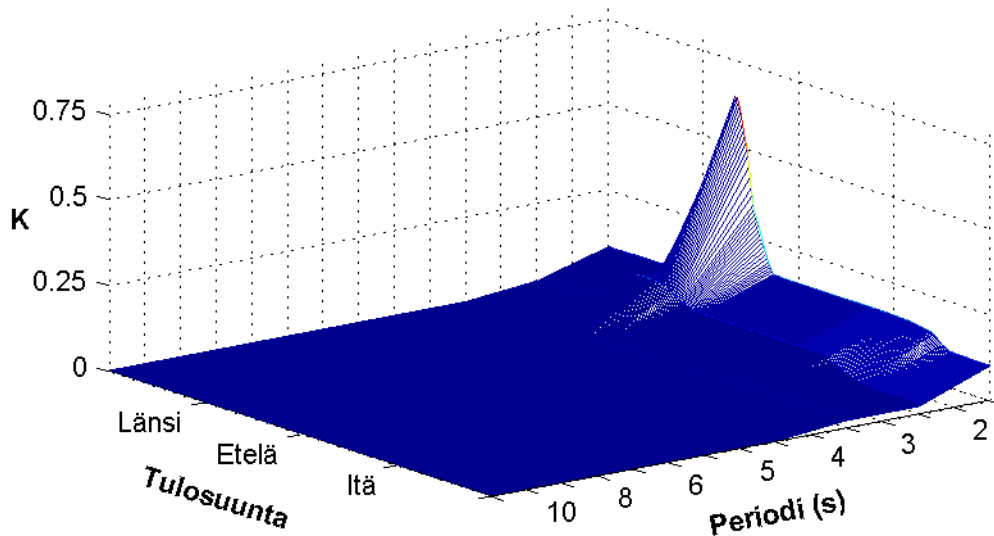
Kuva 10. Merkitsevä aallonkorkeus Pirisaarella oli mittausjakson ajan enimmillään vai noin 0.05-kertainen avomereen verrattuna.

Pirisaaren aallokon vaste avomeren aallokelle on hyvin pieni. Jonkin verran avomeren aaltoja pääsee kuitenkin tunkeutumaan Ryssjeholmenin itäpuolelta. Nämä aallot ovat kuitenkin pituudeltaan vain noin 2.5 s ja hyvin vaimentuneita. Ne ovat kuitenkin liian pitkiä ollakseen paikallisen tuulen kehittämiä.



Kuva 11. Merkitsevä aallonkorkeus Pirsaassa ja avomerellä Helsingin edustalla koko mittausjakson aikana. Ylä- ja alarajasuorat vastaavat avomeren aallokon vaimenemista eri vaimenemiskertoimilla k .

Pirsaaren ja avomeren aallokon välinen yhteys löytyy oikeastaan vain lounasaallokolla, ja silloinkin yhteys kuvaa lähinnä lounaistuulen vaikutusta Pirsaaren paikalliseen aallokkoon. Siirtofunktiota (kuva 12) käyttämällä saamme suurimmaksi merkitseväksi aallonkorkeudeksi 0.17 m.



Kuva 12. Likimääräinen siirtofunktion amplitudivaste (K) Pirsaassa kun lähtöaallokko on mitattu Helsingin edustalla.

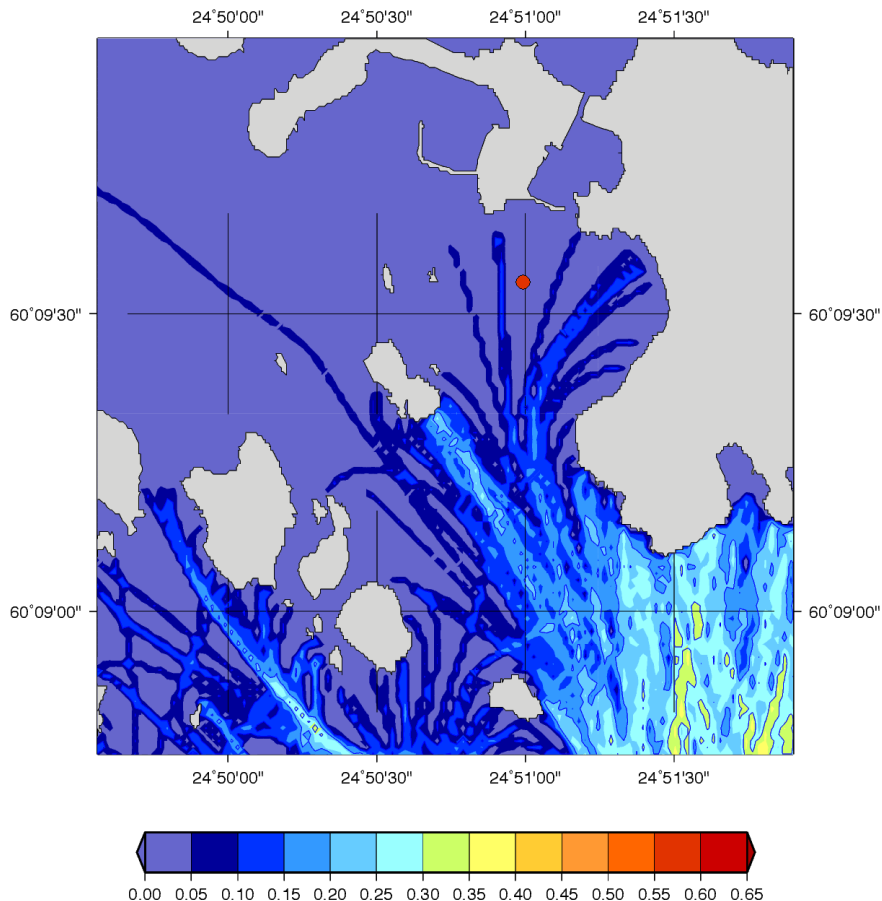
Koska avomeren aallokko on Pirsaassa jo todella vaimentunutta, voidaan maksimiaallokkoa arvioida myös pyyhkäisymatkatrelaatioiden kautta. Ainoat merkittävät

suunnat tässä tarkastelussa ovat lounaasta pohjoiseen. Pirisaareen ei voida rakentaa omaa siirtofunktiota Kalbådagrundilta tuulimittausten puuttumisen takia, mutta Pirisaari ei myöskään suoranaisesti vastaa Kruunuvuorenselkää eikä Vartiokylänlahtea. Vartiokylänlahteen vaimennettujen tuulien avulla voidaan kuitenkin mallintaa merkitsevä aallonkorkeus, joka kuvaa mittausjakson maksimiaallokkoa varsin hyvin. Kruunuvuorenselän vaimennettuja tuulia käyttämällä mittausjakson merkitsevä aallonkorkeus taas yliarvioidaan, joka johtuu todennäköisesti Pirisaaren huomattavasti suojaisemmasta paikasta Kruunuvuorenselkään verrattuna. Vartiokylänlahteen vaimennetun tuuliaineiston perusteella saadaan Pirisaaren suurimmaksi merkitseväksi aallonkorkeudeksi 0.2 m.

Pirisaari	Merkitsevä aallonkorkeus	Periodi ja aallonpituus
Suurin	0.2 m	1.7–2.5 s 5–11 m

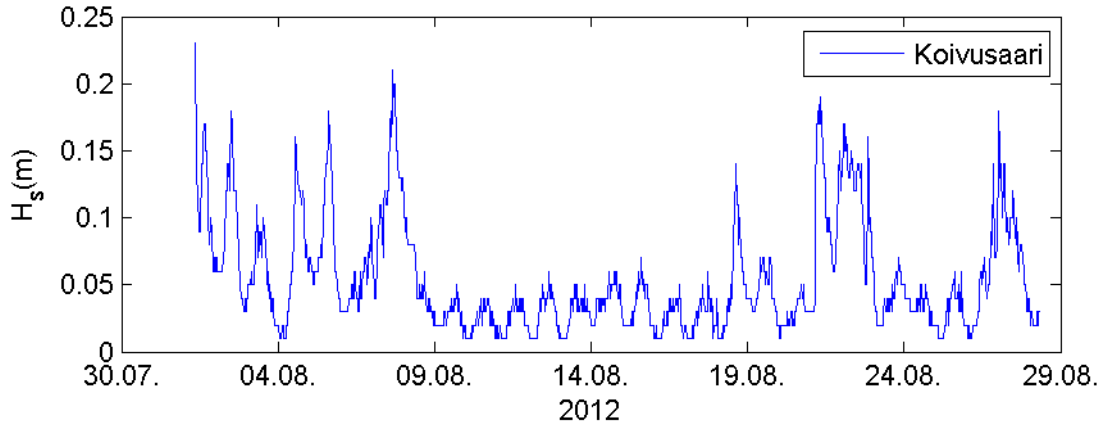
8.2 Koivusaari

Koivusaaren mittaukset tehtiin 1.8.2012 kello 09:01 – 28.8.2012 kello 08:01 välisenä aikana paikassa 60° 09.533' N 24° 50.985' E (kuva 13).

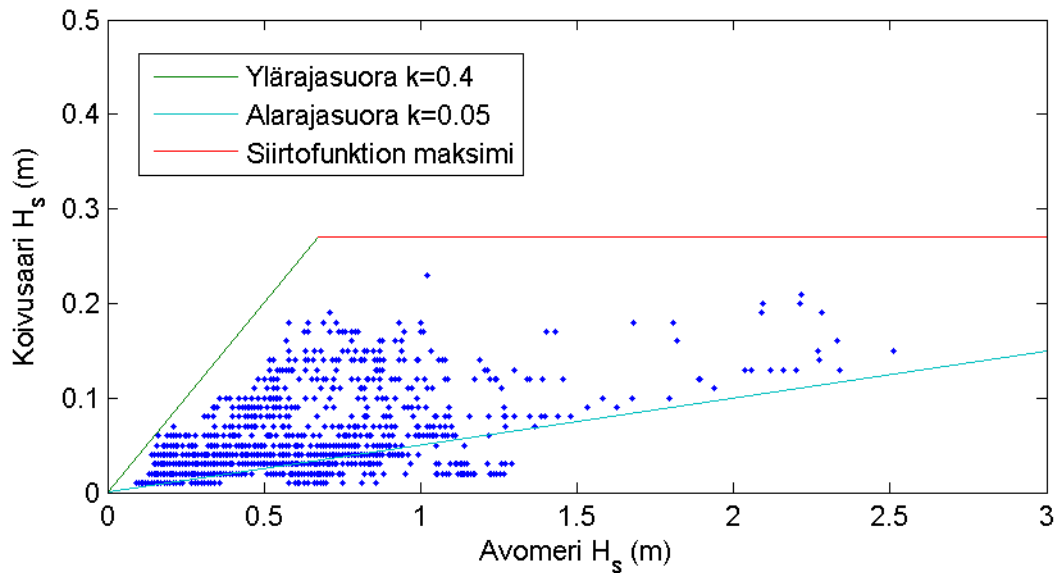


Kuva 13. Koivusaaren mittauspaikka ja refraktiomallilla laskettu avomereltä tullut 1 metrin aallokko, jonka periodi on 5 sekuntia ja tulosuunta avomerellä 150 astetta. Refraktiokuva on oleellisesti samannäköinen Koivusaarella riippumatta siitä, tuliko lähtöaallokko suunnasta 135, 150 vai 240 astetta, koska aallot kiertyvät ja tulevat lopulta samasta aukosta Koivusaareen. Suunnasta 150 astetta aallokkoa pääsee refraktiomallilaskelmien mukaan eniten Koivusaareen.

Kuvasta 14 näkyy, että aallokko Koivusaarella oli pientä koko kuukauden. Suurin merkitsevä aallonkorkeus 0.21 m mitattiin 7.8.2012 kello 16:00. Avomerellä paikassa 59° 57.9' N 25° 14.11' E oleva aaltopoiju mittasi tuolloin merkitseväksi aallonkorkeudeksi 2.2 m. Avomeren aallokko jatkoi nousuaan ja saavutti 2.5 m merkitsevän aallonkorkeuden kello 19. Koivusaarella aallokko oli silloin enää 0.15 m. Avomeren aallokon korkeudella ei ole suurta vaikutusta Koivusaaren aallokkoon, kuten kuvasta 15 näkyy.

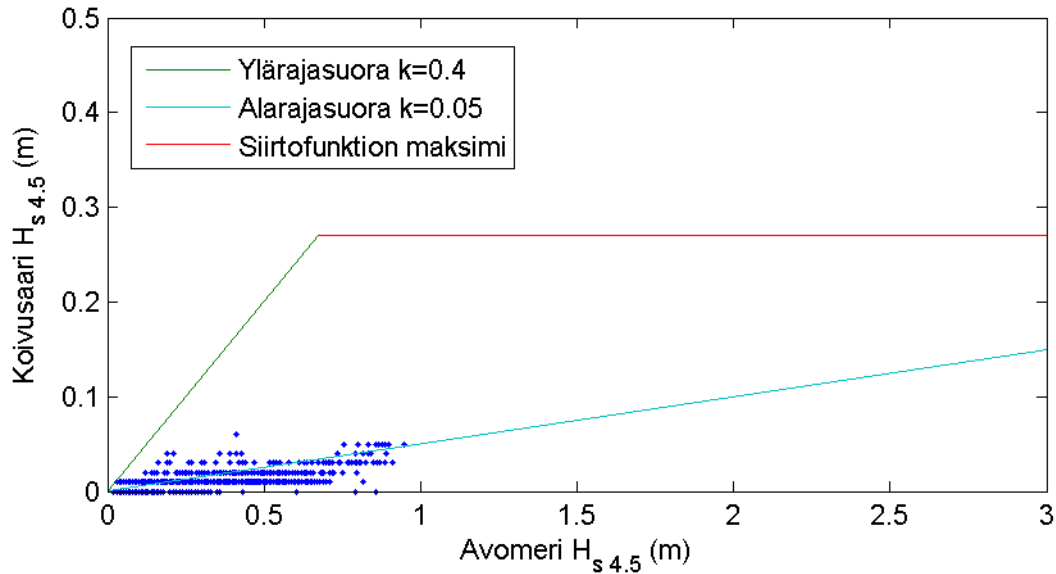


Kuva 14. Merkitsevä aallonkorkeus Koivusaarella koko mittausjakson aikana.



Kuva 15. Merkitsevä aallonkorkeus Koivusaarella ja avomerellä Helsingin edustalla koko mittausjakson aikana. Ylä- ja alarajasuorat vastaavat avomeren aallokon vaimenemista eri vaimenemiskertoimilla k .

Koivusaari ei kuitenkaan ole avomeren aallokolta täysin suojattua, vaan paikallisen tuulen kehittämän aallokon hallitsemää osittain suojattua sisäsaaristoa. Sinne pääsee 25–40 m pitkiä, vaikkakin vain noin 0.10 m korkuisia avomeren aaltoja. Nämä kykenevät liikuttamaan sellaisia ponttonilaitureita tai suuria veneitä, jotka eivät liikkuisi paikallisten aaltojen vaikutuksesta (kuva 16).



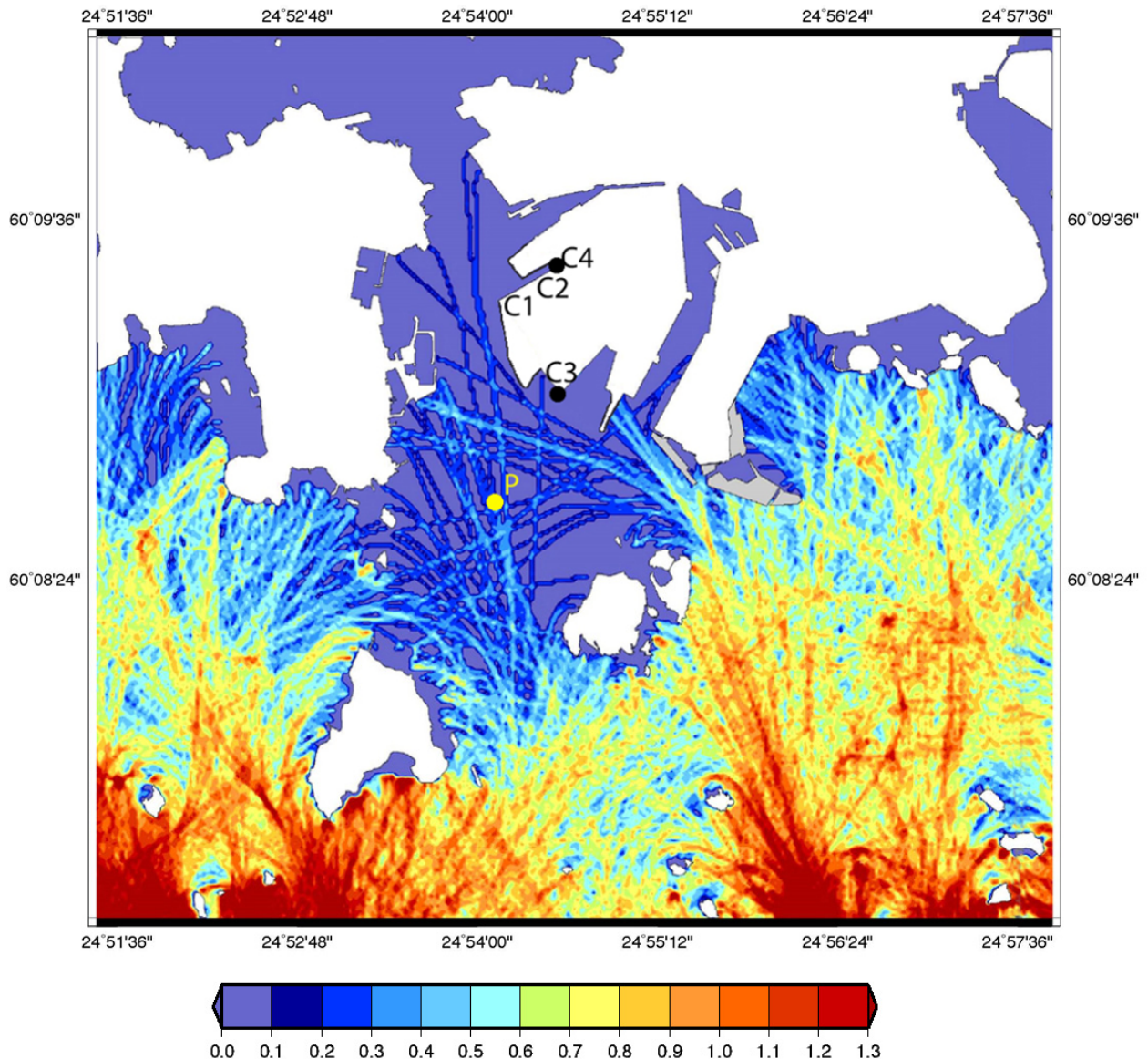
Kuva 16. Merkitsevä aallonkorkeus periodivälillä 4–5 s Koivusaarella ja avomerellä Helsingin edustalla koko mittausjakson aikana. Mallilaskelmissa näkyvät avomereltä mutkitellen ja vaimentuen tulleet aallon (kuva 13) ovat havaittavissa Koivusaarella, jossa paikallisen tuulen vaikutuksesta ei näin pitkiä aaltoja synny lyhyen pyyhkäisymatkan vuoksi. Kuvassa 15 näkyvä aallonkorkeuden alaraja näyttäisi määräytyvän avomereltä tulevasta aallokosta.

Koivusaaren ja Helsingin edustan avomerellä olevan poijun mittauksista laskettiin siirtofunktion likimääräinen amplitudivaste. Sen ja avomeren poijun pitkän mittausaineiston avulla laskettu suurin merkitsevä aallonkorkeus Koivusaarella on 0.27 m. Hyvin samaan tulokseen, 0.26 m, päädytään jos oletetaan, että suurimman avomerellä mitatun merkitsevän aallonkorkeuden vallitessa kuvassa 15 näkyvä vaimennuskerroin 0.05 olisi pätevä. Molemmat ovat pienempiä kuin mikä Koivusaarella laskelmien mukaan voisi syntyä erittäin kovan paikallisen tuulen vaikutuksesta, vaikka suurin esteetön pyyhkäisymatka onkin vain 700 m. Jos paikallisen tuulen nopeus on 20 ms^{-1} laskelmat osoittavat, että Koivusaarella merkitsevä aallonkorkeus voisi nousta reiluun 0.30 metriin. Tämä on puolestaan selvästi pienempi kuin 0.5–0.6 m, minkä WAM-malli antaa suurimmaksi merkitseväksi aallonkorkeudeksi Koivusaarella. Ottaen huomioon, että WAM-malli yliarvioi avomereltä tulevia pitkiä aaltoja, saadaan suurimmaksi merkitseväksi aallonkorkeudeksi Koivusaarella 0.4 m.

Koivusaari	Merkitsevä aallonkorkeus	Periodi ja aallonpituus	
Suurin	0.4 m	1.6–5 s	6–25 m
Pitkät aallot	0.1 m	5 s	25–40 m

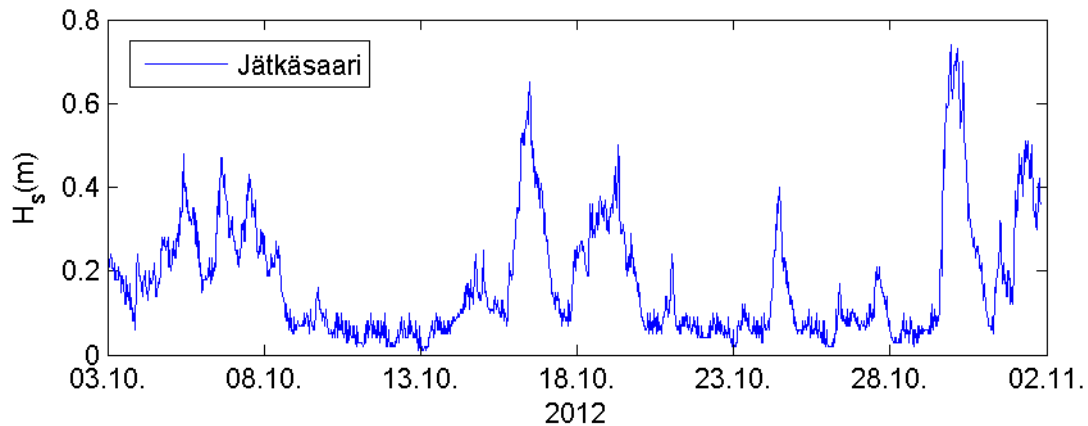
8.3 Jätkäsaari

Jätkäsaaren mittaukset tehtiin aaltopoijulla 2.10.2012 kello 12:52 – 1.11.2012 kello 19:22 välisenä aikana paikassa $60^{\circ} 08.64' N$ $24^{\circ} 54.12' E$ (kuva 17). Lisäksi tehtiin 30.10.2012 kello 12:00–14:00 kapasitiivisella lankamittarilla mittauksia rannalta. Pisteistä C1 ja C2 on vain valokuvia, koska kapasitiivisen mittarin dataloggeri jäähdyi alle toimintalämpötilan.



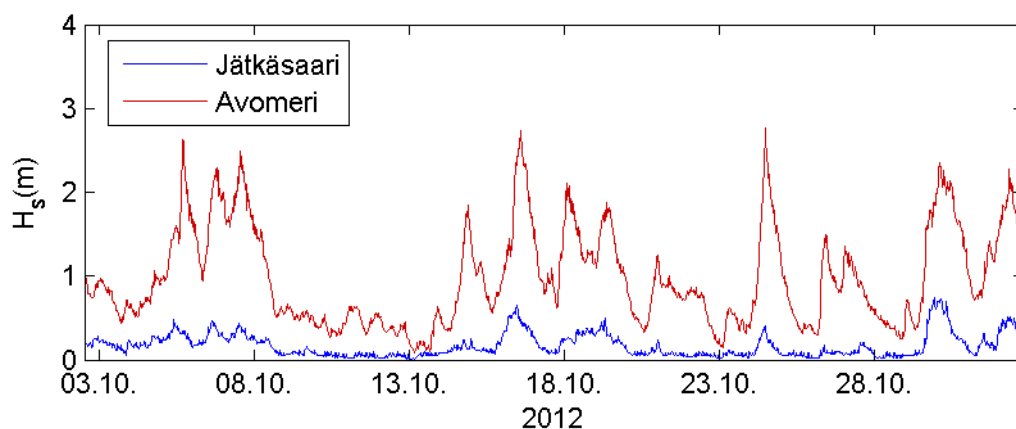
Kuva 17. Jätkäsaaren mittauspaikat ja refraktiomallilla laskettu avomereltä tullut aallokko, jonka merkitsevä aallonkorkeus on 2.91 m, periodi on 6 sekuntia ja tulosuunta avomerellä 140 astetta. P on aaltopoiju, C3 ja C4 ovat pisteitä joissa tehtiin kapasitiivisella lankamittarilla mittauksia rannalta. Kuvassa 28 näkyy miten suunnasta 180 astetta aallot pääsevät Jätkäsaaren ja Lauttasaaren väliin suurempina kuin suunnasta 140 astetta.

Jätkäsaarella suurin merkitsevä aallonkorkeus mittausjakson aikana oli 0.78 m 29.10.2012 kello 20:30 (kuva 18). Avomerellä mitattiin samaan aikaan 1.8 m keskisuunnasta 192 astetta.



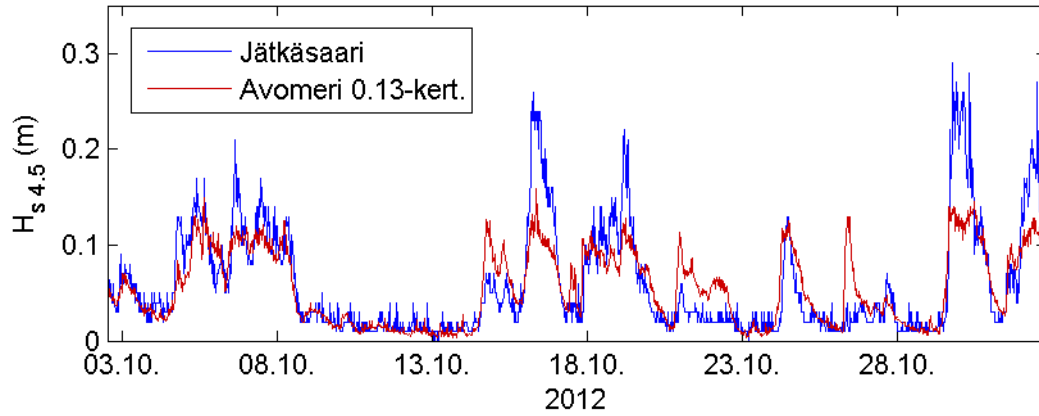
Kuva 18. Merkitsevä aallonkorkeus Jätkäsaarella koko mittausjakson aikana.

Aallonkorkeus Jätkäsaarella seuraa vaimentuneena varsin hyvin avomerellä Helsingin edustalla mitattua aallonkorkeutta. Suurimman aallonkorkeuden aikana avomereltä tullut aallokko on hallitseva.

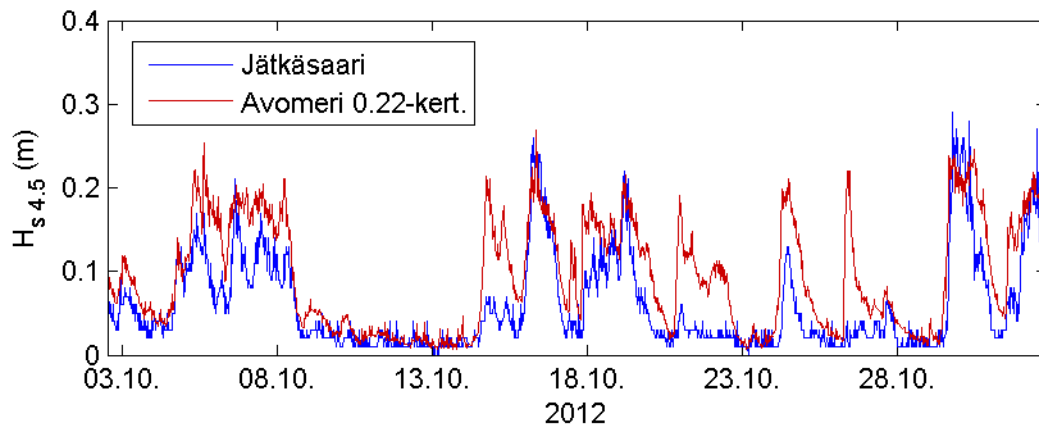


Kuva 19. Merkitsevä aallonkorkeus Jätkäsaaren poijulla ja Helsingin avomeren poijulla.

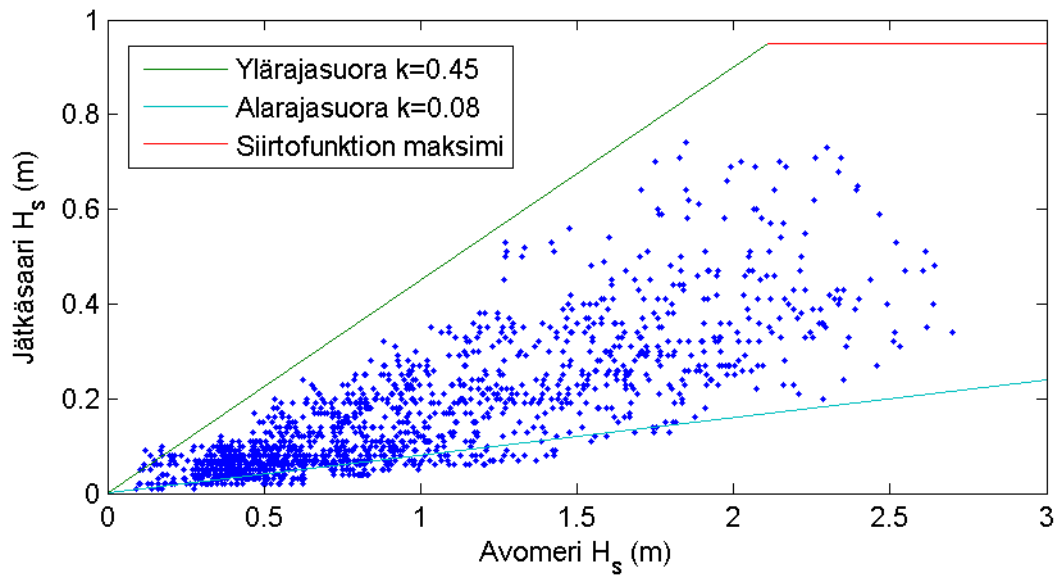
Kuvasta 21 näkyy, että periodivälillä 4–5 s merkitsevä aallonkorkeus Jätkäsaarella on enintään 0.22-kertainen verrattuna avomeren vastaavaan arvoon. Jos oletetaan että tämä pätee myös maksimiaallokon tapauksessa saadaan maksimiaallokoksi $5.2 \text{ m} \cdot 0.22 = 1.15 \text{ m}$. Tämä on yläraja-arvio, siirtofunktion perustuvalla tarkemmalla laskulla saadaan suurimmaksi merkitseväksi aallonkorkeudeksi 0.95 m.



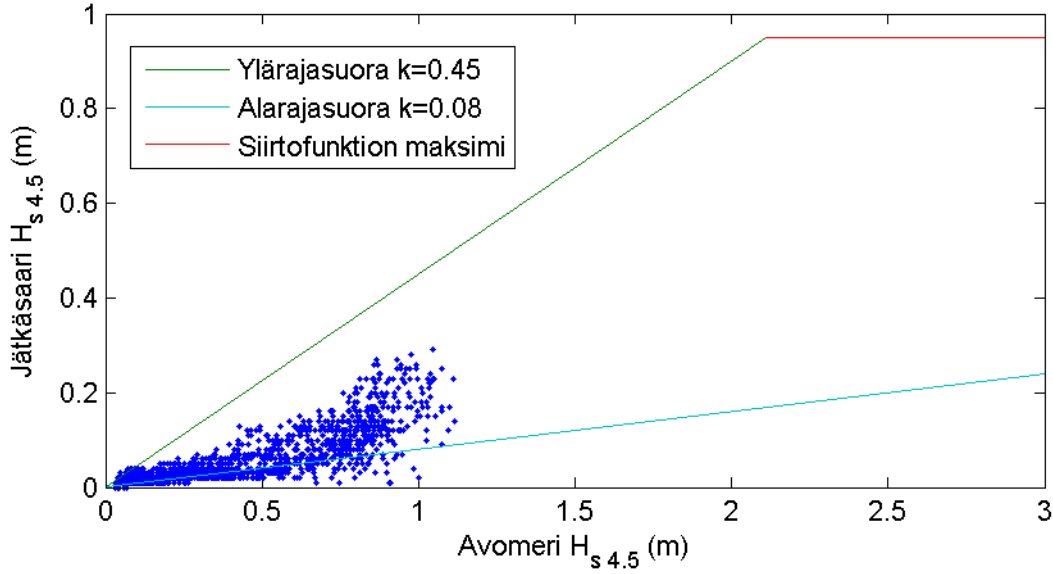
Kuva 20. Merkitsevä aallonkorkeus periodivälillä 4–5 s mittausjakson aikana.



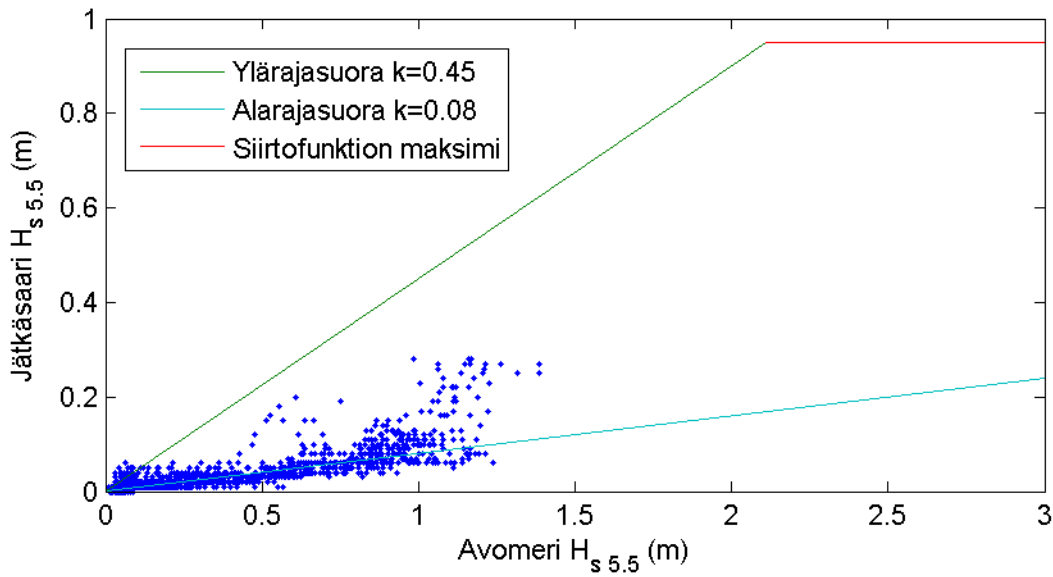
Kuva 21. Merkitsevä aallonkorkeus periodivälillä 4–5 s mittausjakson aikana.



Kuva 22. Merkitsevä aallonkorkeus Jätkäsaarella ja avomerellä Helsingin edustalla. Ylä- ja alarajasuorat vastaavat avomerén aallokon vaimenemista eri vaimenemiskertoimilla k .

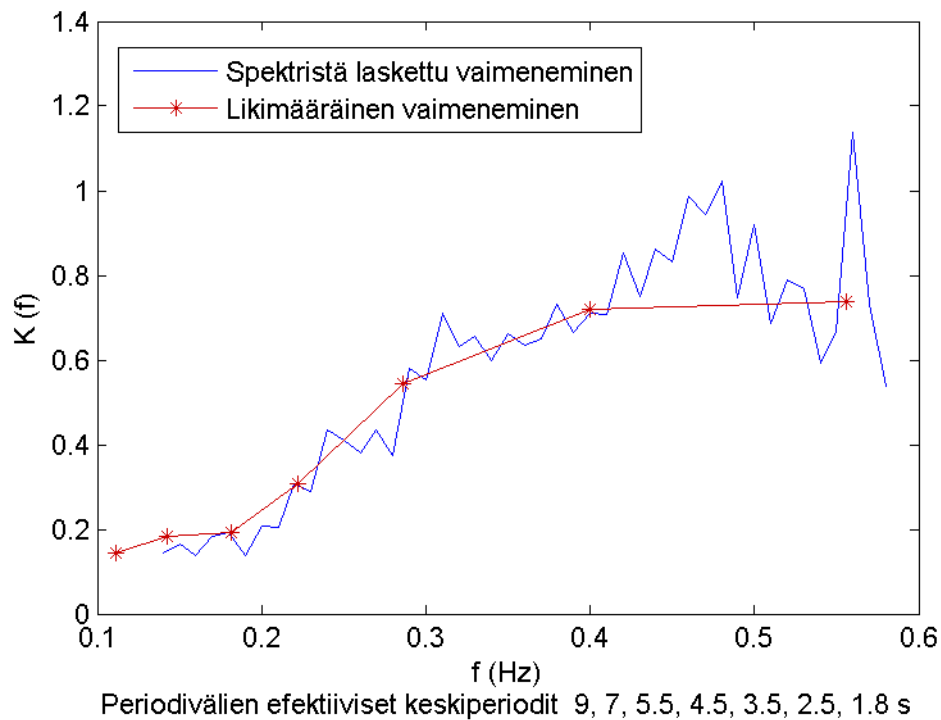


Kuva 23. Merkitsevä aallonkorkeus periodivälillä 4–5 s Jätkäsaarella ja avomerellä Helsingin edustalla.

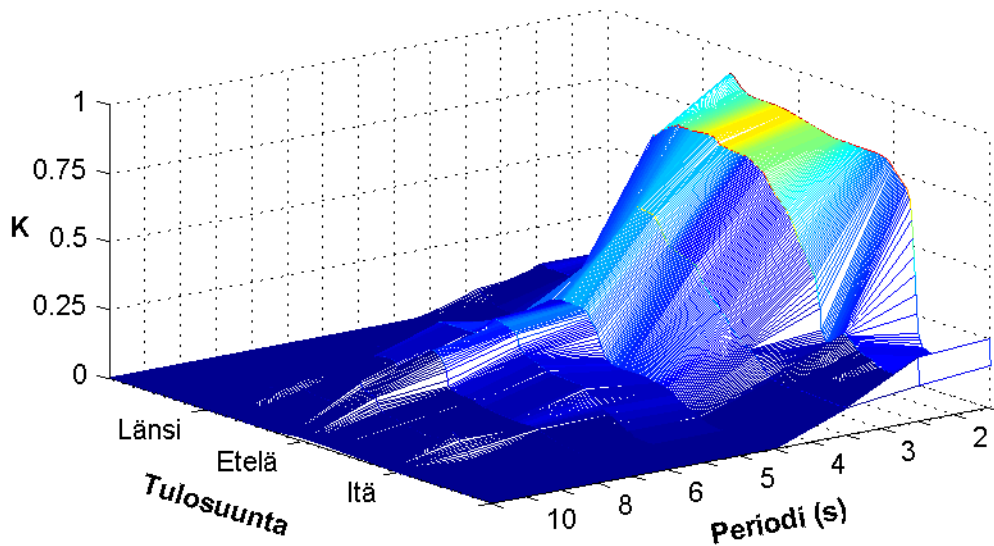


Kuva 24. Merkitsevä aallonkorkeus periodivälillä 5–6 s Jätkäsaarella ja avomerellä Helsingin edustalla.

Jätkäsaaren ja Helsingin edustan avomerellä olevan poijun mittauksista laskettiin siirtofunktion likimääräinen amplitudivaste. Kuvassa 25 on esimerkki yhdessä tilanteessa lasketusta siirtofunktiosta. Kuvassa 26 on koko kuukauden aineistosta laskettu siirtofunktio aallokon tulosuunnan ja periodiluokan funktiona.



Kuva 25. Likimääräinen siirtofunktion amplitudivaste (K) 30.10.2012 kello 02:30. Tuulen suunta on 180 astetta ja aaltojen tulosuunta avomerellä 194 astetta.

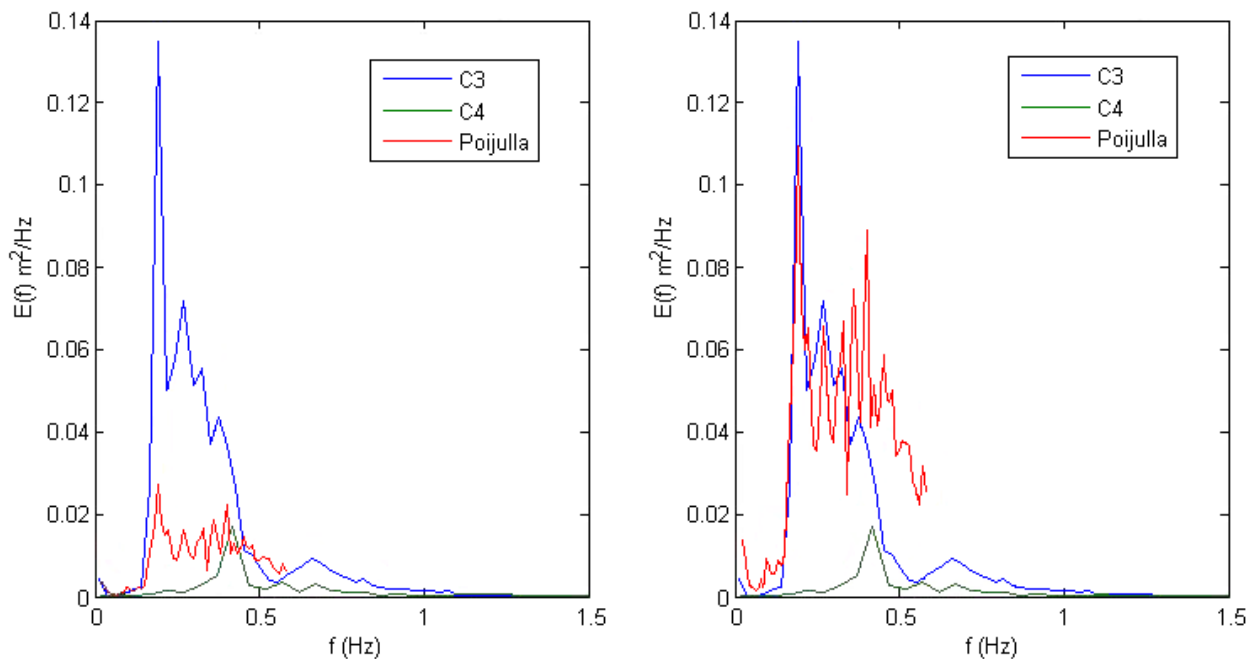


Kuva 26. Likimääräinen siirtofunktion amplitudivaste Jätkäsaarella kun lähtöaallokko on Helsingin edustalla mitattu. Suunta on Helsingin edustalla mitattu aallokon keskusuenta, joka Suomenlahden muodon vuoksi keskittyy suuntiin 240 astetta ja 90 astetta. Jätkäsaareen pääsee kuitenkin aallokkoa merkittävästi myös suunnasta 180 astetta.

Avomeren poijun pitkän mittausaineiston ja siirtofunktion avulla laskettu suurin merkitsevä aallonkorkeus Jätkäsaarella on 0.95 m. Se saavutettiin marraskuussa 2008.

Marraskuussa 2001 avomerellä mitatun suurimman merkitsevän aallonkorkeuden (5.2 m) aikana siirtofunktiolla tehtyjen laskujen mukaan Jätkäsaassa merkitsevä aallonkorkeus oli 0.67 m

Jätkäsaaren laiturin vierestä lankamittarilla tehdyt aaltomittaukset (kuva 27) osoittavat, että Jätkäsaaren edustalla oleva poiju on edustavassa paikassa, ja sen perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä rannalle tulevista aalloista. Mittauksista näkyy myös, että laituri heijastaa aallot kaksinkertaisiksi, lukuun ottamatta 3–10 m pituisia aaltoja, jotka laiturin alapuolella oleva aallonvaimennuskammio vaimentaa lähes täysin. Mittaukset osoittavat, että vaimennuskammio ei ole mitoitukseltaan riittävä vaimentamaan avomereltä pääseviä pitkiä aaltoja.



Kuva 27. Aaltospektri aikaväliltä 12–14 . Oikealla poijun aikasarja on kerrottu luvulla 2, joka vastaa heijastumista laiturista. Tästä näkyy, että poijulla mitattu aaltospektri yhtyy laiturin pisteessä C3 mitattuun aaltospektriin josta päätellään, että laiturin vieressä pitkät aallot ovat heijastuneet taajuuteen 0.4 Hz asti. Taajuutta 0.4 vastaa 2.5 s periodi ja 10 m aallonpituus. Sitä lyhyemmät aallot eivät ole heijastuneet, vaan pisteessä C3 aallokko on vaimentunut siitä mikä se on Jätkäsaaren poijulla. Tämä johtuu todennäköisesti laiturin alla olevista aallonvaimennuskammioista.

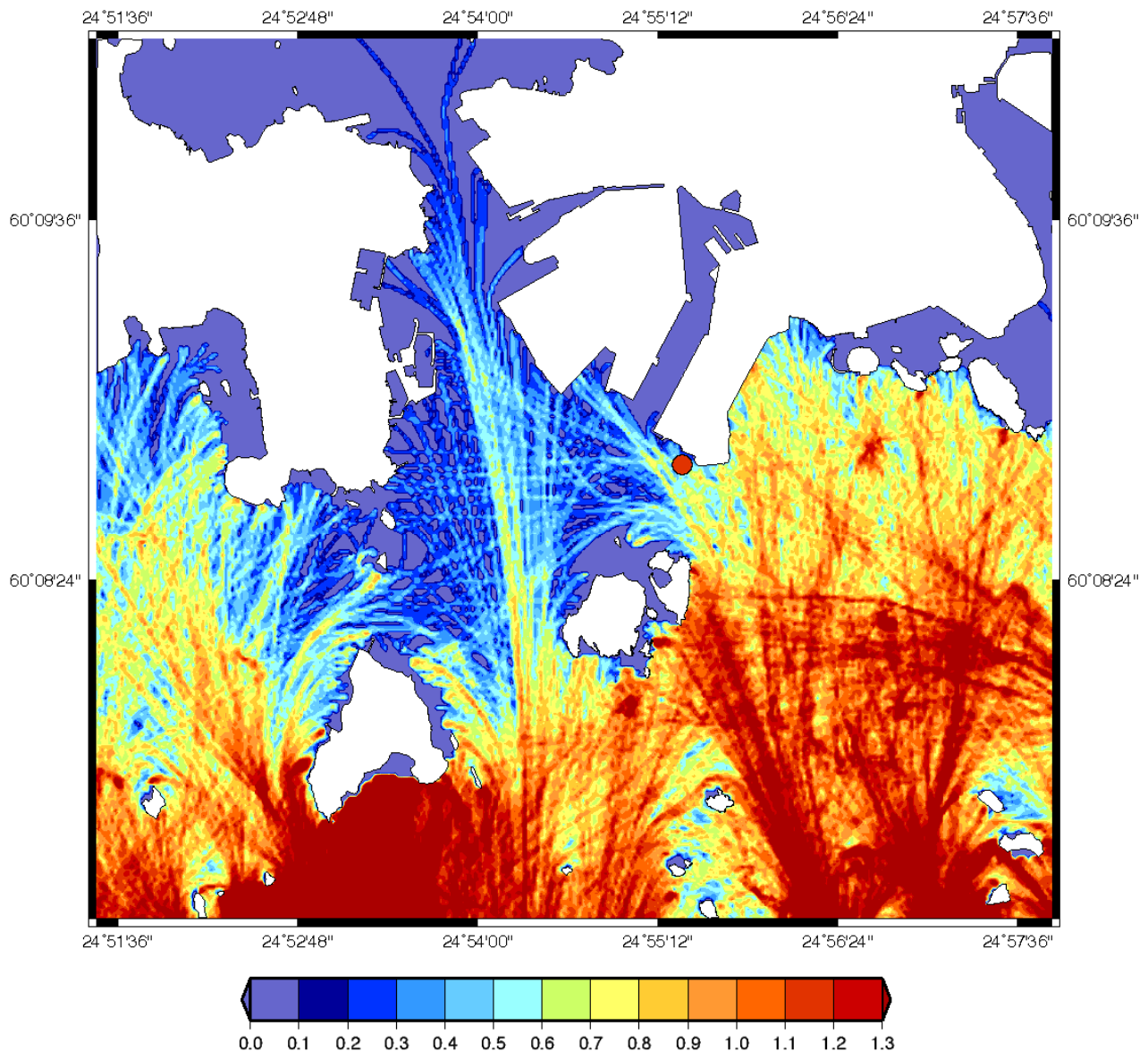
Jätkäsaaren mittausaineiston ja karkean siirtofunktion avulla laskettu suurin merkitsevä aallonkorkeus ilman heijastumista pisteessä C4 on 0.17 m. Tämä on pienempi kuin mikä Jätkäsaassa pisteessä C4 laskelmien mukaan syntyy erittäin kovan paikallisen tuulen vaikutuksesta. Jos paikallisen tuulen nopeus olisi 20 m/s laskelmat osoittavat, että Jätkäsaaren pisteessä C4 merkitsevä aallonkorkeus voisi nousta runsaaseen 0.35 metriin.

Tässä ei ole mukana heijastumisen vaikutusta, joka nostaa aallonkorkeuden kaksinkertaiseksi rantaportailta ja pystysuorilla seinillä.

Jätkäsaari	Merkitsevä aallonkorkeus	Periodi ja aallonpituus (pisimmät, hyvin loivat suluissa)
Suurin poijulla	1.0 m	2–5 s (9 s) 2–40m (100 m)
Suurin pisteessä C4 ilman heijastumista	0.4 m	1.8–2.5 s (5 s) 5–10 m (40 m)

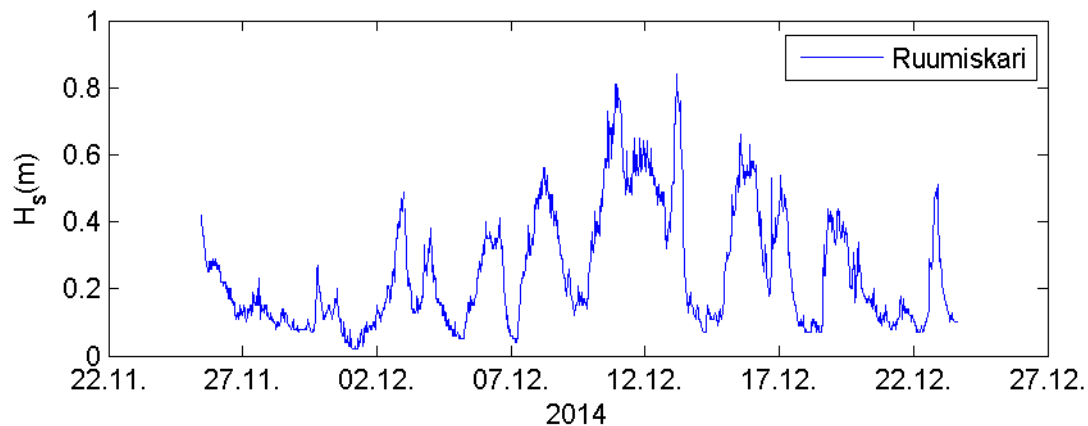
8.4 Ruumiskari (Likgrund)

Mittaukset Ruumiskarilla tehtiin 25.11.2014 kello 11:30 – 23.12.2014 kello 15:00 välisenä aikana paikassa $60^{\circ} 08.807' N$ $24^{\circ} 55.327' E$ (kuva 28). Lisäksi mittauksia tehtiin 12.11.2012 kello 15:45 – 16:05 kapasitiivisella lankamittarilla rannalta paikassa $60^{\circ} 08.829' N$ $24^{\circ} 55.369' E$.



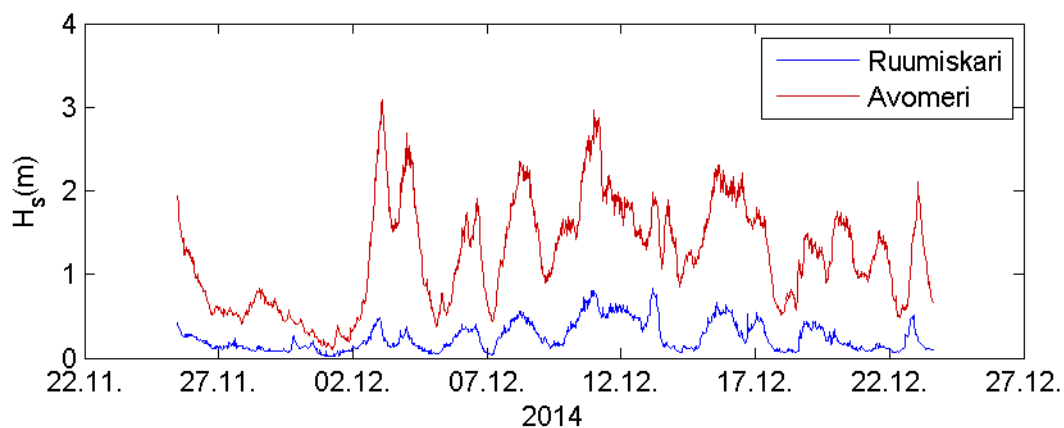
Kuva 28. Ruumiskarin mittauspaikka (punainen mustalla reunustettu ympyrä) sekä refraktiomallilla laskettu avomereltä tullut aallokko, jonka merkittävä aallonkorkeus avomerellä on 2.91 m, periodi avomerellä on 6 sekuntia ja tulosuunta avomerellä 180 astetta.

Suurin mitattu merkitsevä aallonkorkeus, 0.84 m, mitattiin Ruumiskarilla 13.12.2014 klo 04:00 (kuva 29). Mittauksia avomereltä ei ole saatavissa juuri siltä hetkeltä, mutta puoli tuntia myöhemmin avomeren poiju mittasi 1.99 m merkitsevää aallonkorkeutta suunnasta 123°.



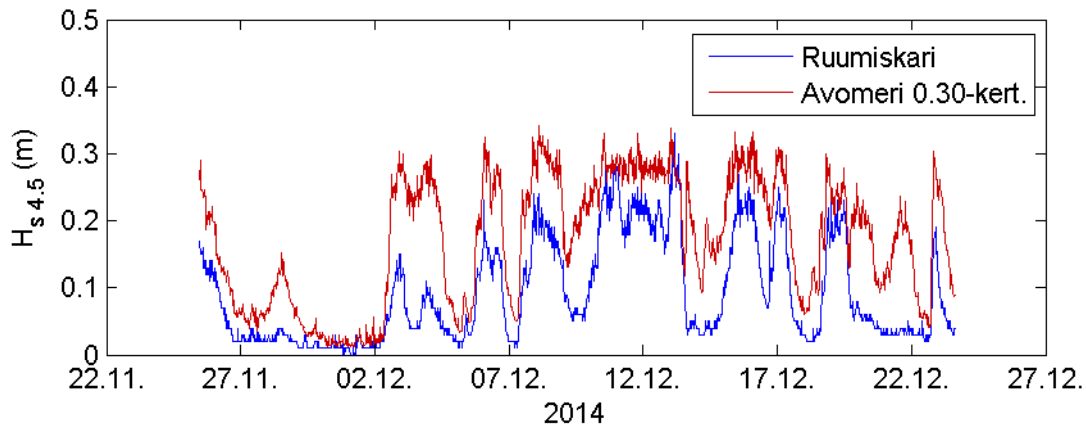
Kuva 29. Merkitsevä aallonkorkeus Ruumiskarilla koko mittausjakson aikana.

Mittausjakson aikana aallokko Ruumiskarilla näytti kasvavan korkeimmilleen etelästä tai idästä tulevalla aallokolla (kuva 29, esim. 11.12. ja 13.12.). Tällöin Ruumiskarin ja avomeren poijun aallokon suhde oli myös korkein (kuva 30). Pisimmät poijulla mitatut aallot mittausjakson aikana olivat noin 7 s.



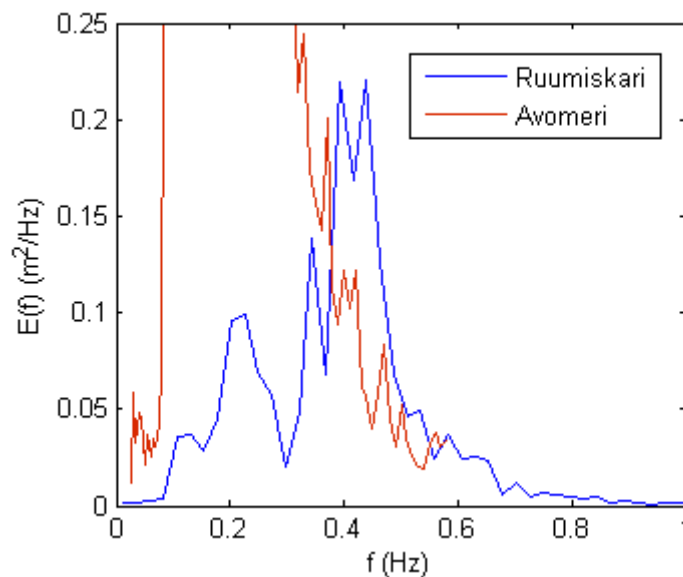
Kuva 30. Merkitsevä aallonkorkeus Ruumiskarilla ja avomerellä Helsingin edustalla.

Siirtofunktion käyttö monen vuoden eri mittausaineistoon tuotti samantapaisia tuloksia. Suurin siirtofunktiolla saatu arvo saatiin vuoden 2011 aineiston perusteella (0.90 m).



Kuva 31. Merkitsevä aallonkorkeus periodivälillä 4–5 s on mittausjakson aikana Ruumiskarin pojilla enintään 0.3-kertainen.

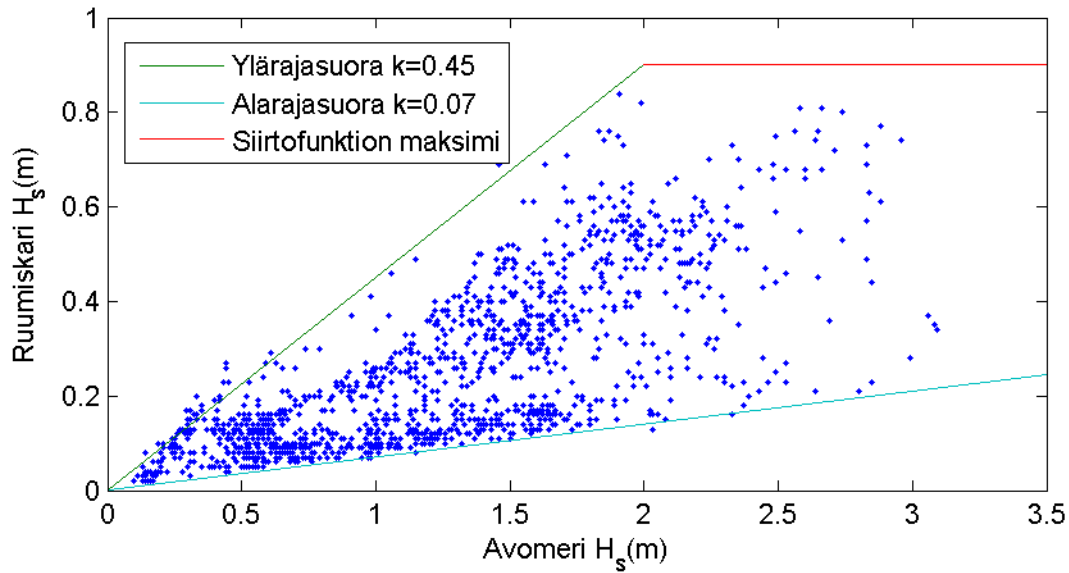
Tarkastelemalla lankamittarilla vuonna 2012 tehtyjä mittauksia ilmenee, että Ruumiskarille pääsee jopa 9 s pituisia aaltoja. Vertailu samanaikaiseen avomerien aaltospektriin kertoo kuitenkin, että ne ovat hyvin vaimentuneita (kuva 32).



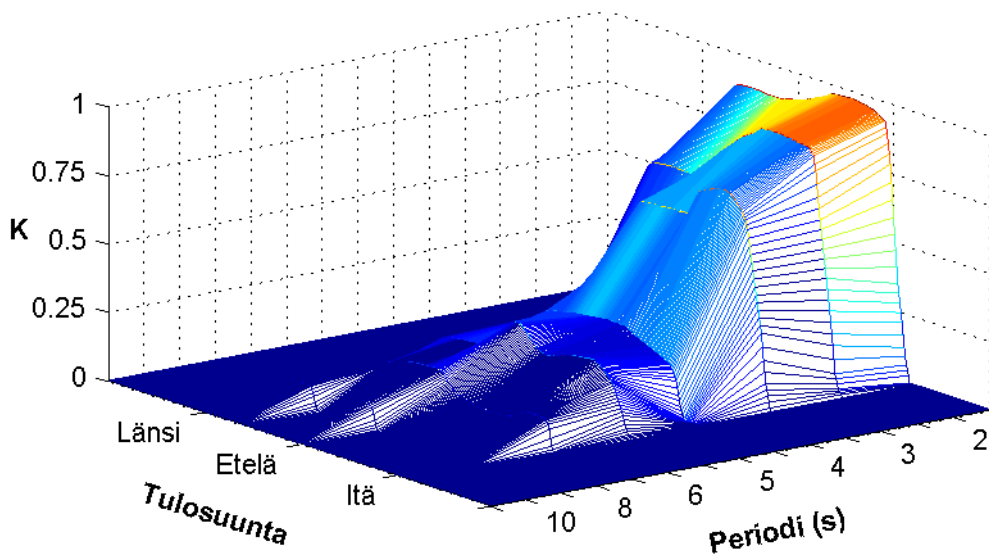
Kuva 32. Lankamittarilla mitattu Ruumiskarin aaltospektri (sininen) ja pojilla mitattu avomerien aaltospektri (punainen). Kuvasta näkyy, että noin 0.4 Hz aallot ovat heijastuneita, joskaan ei aivan täydellisesti. Merkitsevä aallonkorkeus Ruumiskarilla oli 0.84 m ja avomerellä 3.07 m suunnasta 251°.

Kuvasta 32 näkyy myös, että noin 0.4–0.5 Hz aallot ovat Ruumiskarilla heijastuneet. Heijastus ei näytä olevan aivan täydellistä, mikä johtuu todennäköisesti aallokon tulokulmasta suhteessa rantaan. Heijastuskerroin aaltospektrissä on noin 3, mikä tarkoittaa aallonkorkeudessa kerrointa 1.7. Tätä pidemmät aallot ovat todennäköisesti myös heijastuneita samalla kertoimella, mikä tarkoittaa poijun mittaavaan melkein

kokonaisuudessaan heijastunutta aaltospektriä. Aaltojen vino tulokulma tekee heijastuskertoimen määrittämisen poijun kohdalle hankalaksi, mutta sen voi olettaa olevan noin 1.3.



Kuva 33. Merkitsevä aallonkorkeus Ruumiskarilla ja avomerellä Helsingin edustalla koko mittausjakson aikana. Ylä- ja alarajasuorat vastaavat avomerren aallokon vaimenemista eri vaimenemiskertoimilla k .

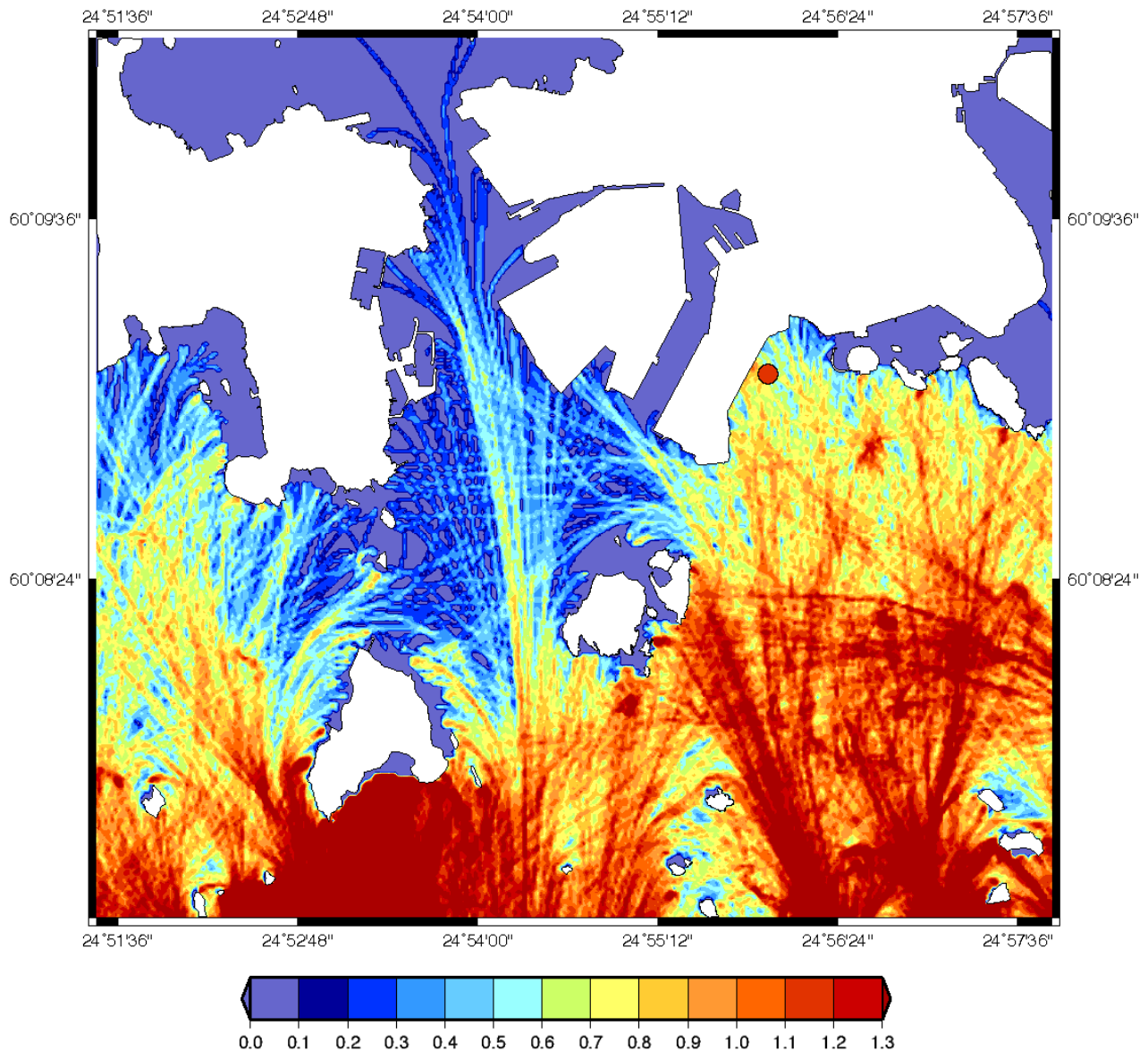


Kuva 34. Likimääräinen siirtofunktion amplitudivaste Ruumiskarilla kun lähtöaallokko on mitattu Helsingin edustalla.

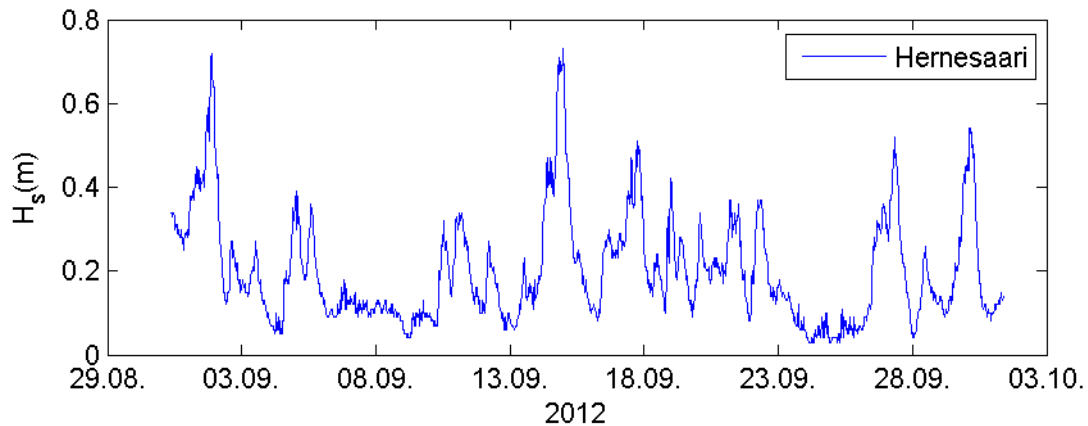
Ruumiskari	Merkitsevä aallonkorkeus	Periodi ja aallonpituus
Suurin	0.9 m	2–9 s 6–90 m

8.5 Hernesaari

Hernesaaren mittaukset tehtiin 31.8.2012 kello 08:38 – 1.10.2012 kello 09:38 välisenä aikana paikassa 60° 09.09' N 24° 55.89' E (kuva 35).



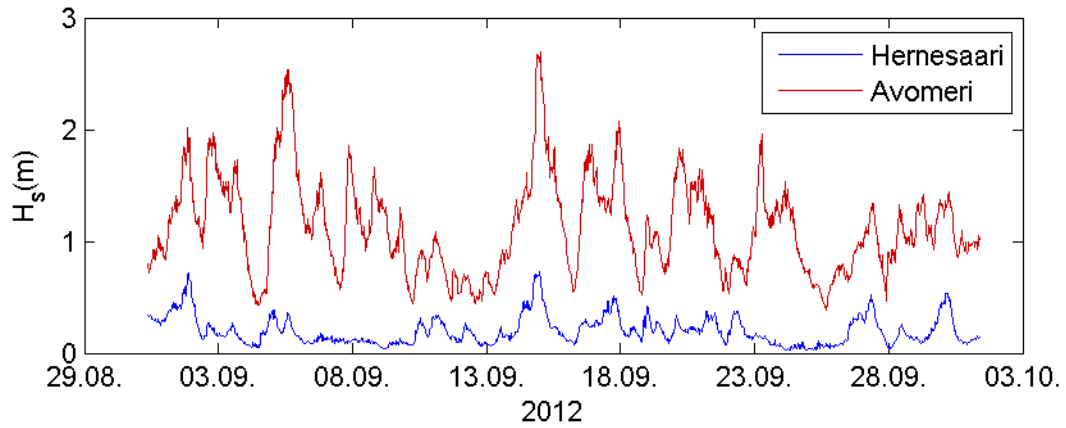
Kuva 35. Hernesaaren mittauspaikka (keltainen mustalla reunustettu ympyrä) sekä refraktiomallilla laskettu avomereltä tullut aallokko, jonka merkittävä aallonkorkeus on 2.91 m, periodi on 6 sekuntia ja tulosuunta avomerellä 180 astetta.



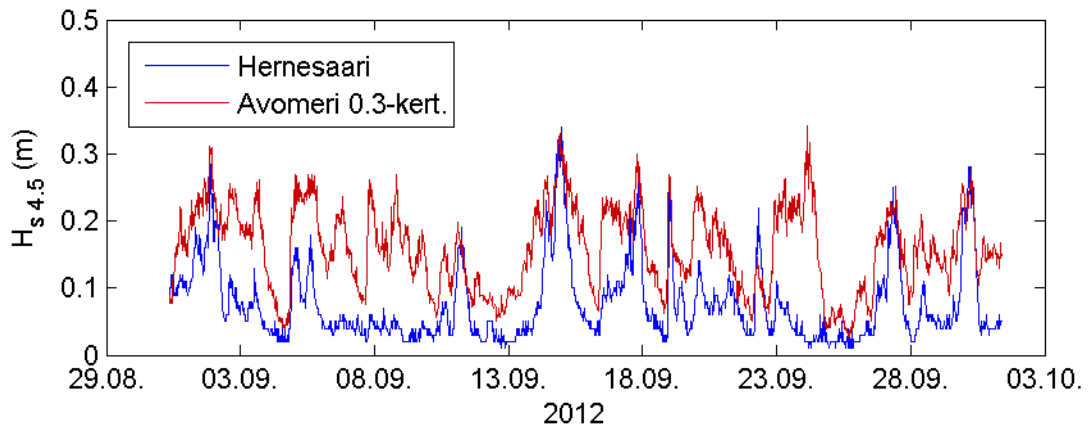
Kuva 36. Merkitsevä aallonkorkeus Hernesaarella koko mittausjakson aikana.

Hernesaarella mittausjakson suurin merkitsevä aallonkorkeus, 0.73 m, saavutettiin 14.9.2012 kello 22 (kuva 36). Samaan aikaan avomerellä merkitsevä aallonkorkeus oli 2.7 m suunnasta 246°. Kello 17:00 ja 22:30 välisenä aikana merkitsevä aallonkorkeus Hernesaarella oli koko ajan yli 0.65 m. Samalla aikavälillä merkitsevä aallonkorkeus avomerellä nousi 1.7 metristä 2.7 metriin, keskisunnan oleellisesti muuttumatta. Avomeren ja Hernesaaren aallokon suhde vaihtelee siten huomattavasti.

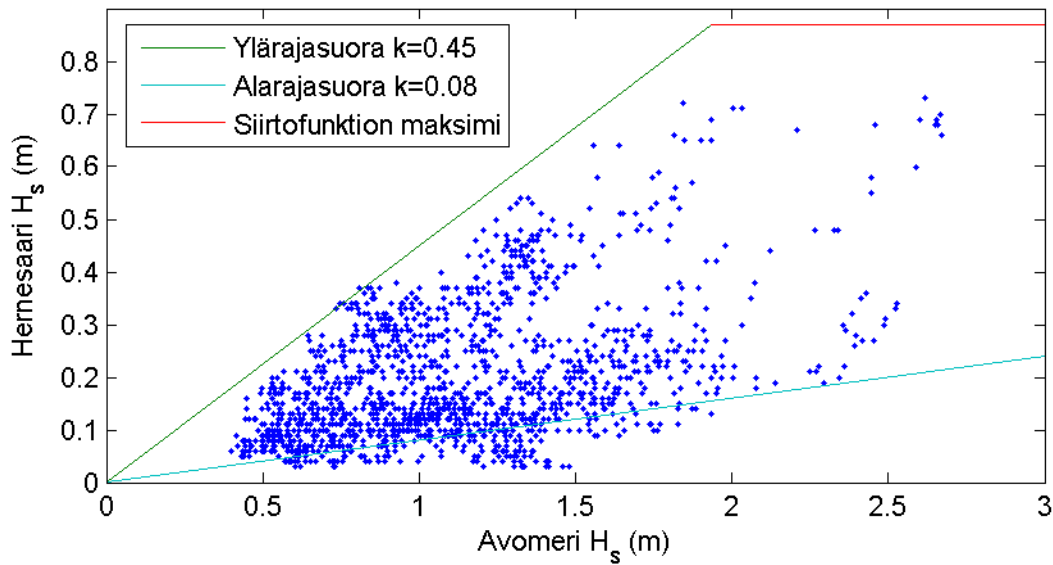
Toinen esimerkki mitattiin 1.9.2012 kello 19:30, Aallokko Hernesaarella oli yhtä korkea, 0.72 m, mutta silloin avomerellä aallokko tuli suunnasta 99 astetta ja merkitsevä aallonkorkeus avomerellä oli huomattavasti vähemmän, 1.7 m. Tuntia myöhemmin aallokko oli avomerellä 2 m, mutta Hernesaarella aallokko oli jo laskenut 0.66 metriin ja seuraavana päivänä, 2.9., merkitsevä aallonkorkeus avomerellä nousi lähes kahteen metriin. Samanaikaisesti merkitsevä aallonkorkeus Hernesaarella laski tasolle 0.2 m (kuva 37 ja 38), koska aallokon tulosuunta avomerellä kääntyi suunnasta 100° suuntaan 240°.



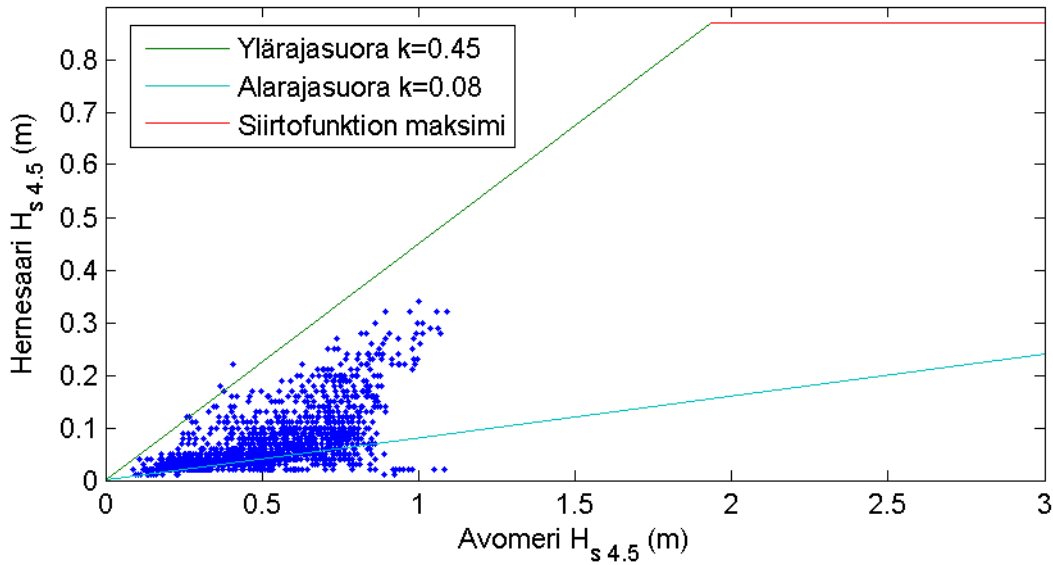
Kuva 37. Merkitsevä aallonkorkeus Hernesaassa ja avomerellä Helsingin edustalla. Aikasarjasta näkyy miten täsmälleen samankorkuinen aallokko avomerellä tuottaa hyvin erilaisen aallokon Hernesaassa.



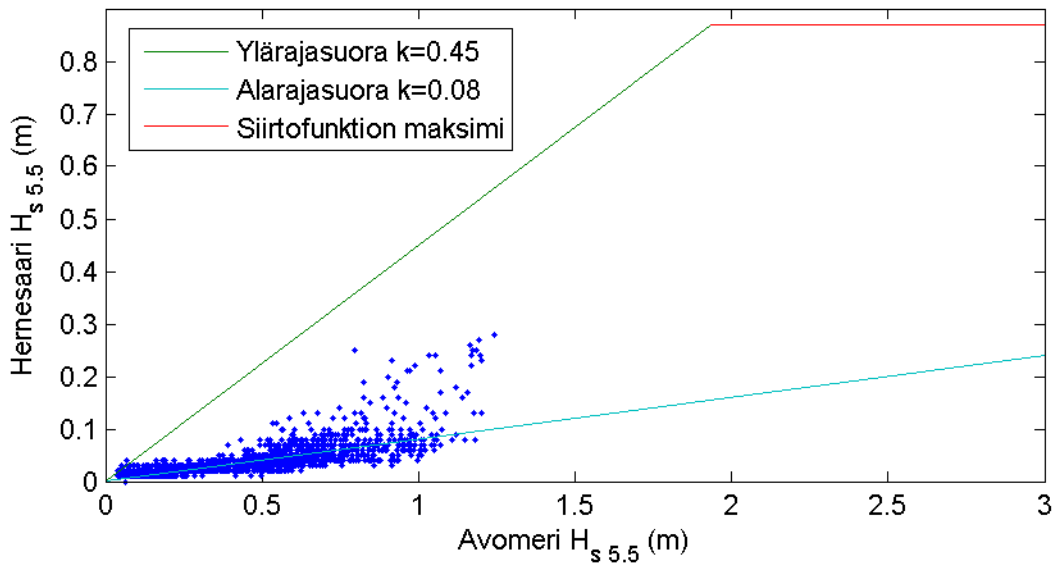
Kuva 38. Merkitsevä aallonkorkeus periodivälillä 4–5 s on mittausjakson aikana Hernesaaren poijulla enintään 0.3-kertainen Helsingin avomeren poijuun verrattuna.



Kuva 39. Merkitsevä aallonkorkeus Hernesaassa ja avomerellä Helsingin edustalla. Ylä- ja alarajasuorat vastaavat avomeren aallokon vaimenemista eri vaimenemiskertoimilla k .

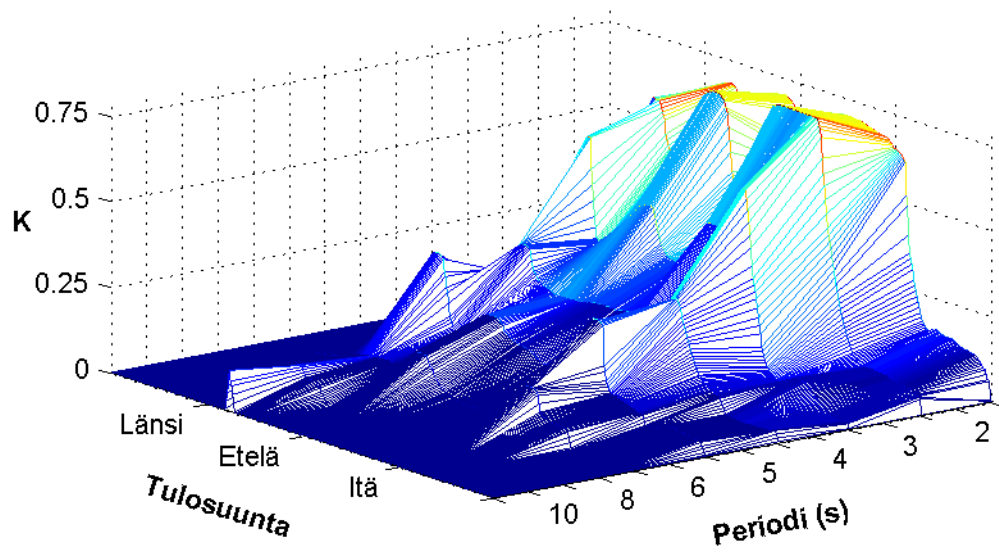


Kuva 40. Merkitsevä aallonkorkeus periodivälillä 4–5 s Hernesaaressa ja avomerellä Helsingin edustalla. Tällä periodivälillä avomeren aallot pääsevät usein Hernesaareen varsin korkeina.



Kuva 41. Merkitsevä aallonkorkeus periodivälillä 5–6 s Hernesaaressa ja avomerellä Helsingin edustalla. Tällä periodivälillä avomeren aallot ovat jo vaimentuneet voimakkaasti.

Hernesaaren ja Helsingin edustan avomerellä olevan poijun mittauksista laskettiin siirtofunktion likimääräinen amplitudivaste (kuva 42). Avomeren poijun pitkän mittausaineiston ja siirtofunktion avulla laskettu suurin merkitsevä aallonkorkeus Hernesaaressa on 0.87 m. Laskujen mukaan se saavutettiin samaan aikaan kun suurin merkitsevä aallonkorkeus 5.2 m esiintyi avomerellä marraskuussa 2012.



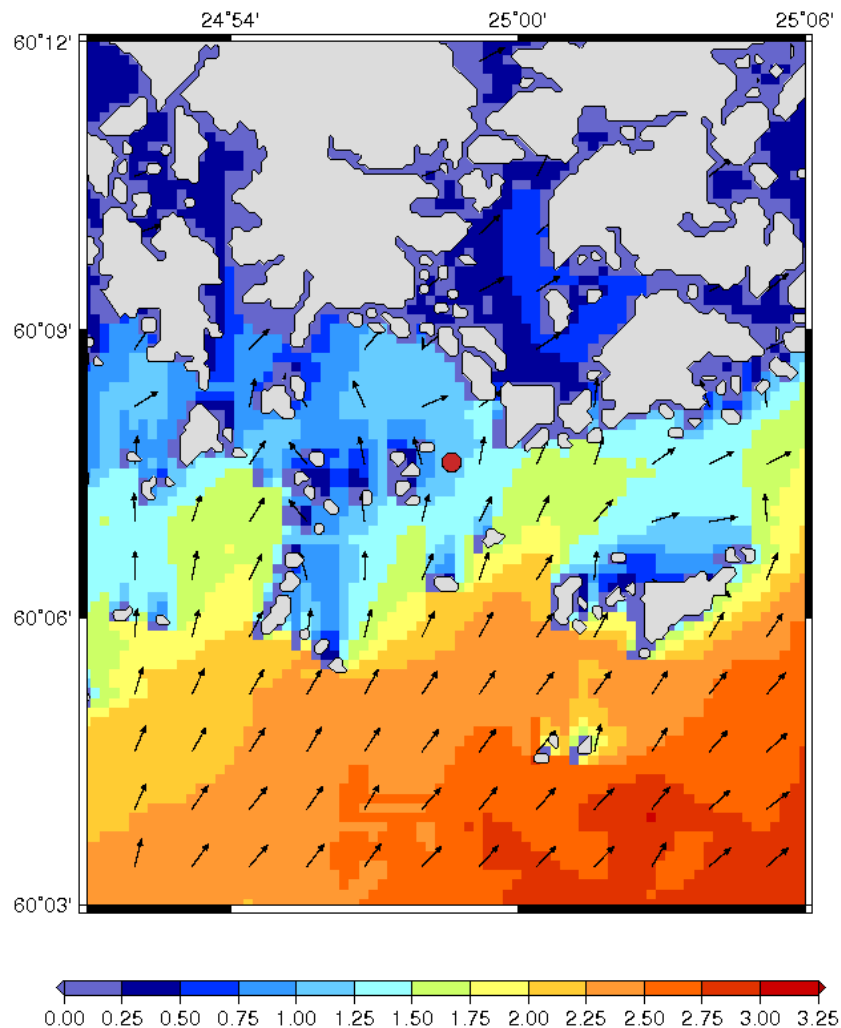
Kuva 42. Likimääräinen siirtofunktion amplitudivaste Hernesaarella kun lähtöaallokko on mitattu Helsingin edustalla. Suunta on Helsingin edustalla mitattu aallokon keskisuunta, joka Suomenlahden muodon vuoksi keskittyy suuntiin 240° ja 90° .

Hernesaari	Merkitsevä aallonkorkeus	Periodi ja aallonpituus	
Suurin	0.9 m	4–9s	25–80 m

9 KRUUNUVUORENSELÄN ALUEEN AALTOMITTAUKSET

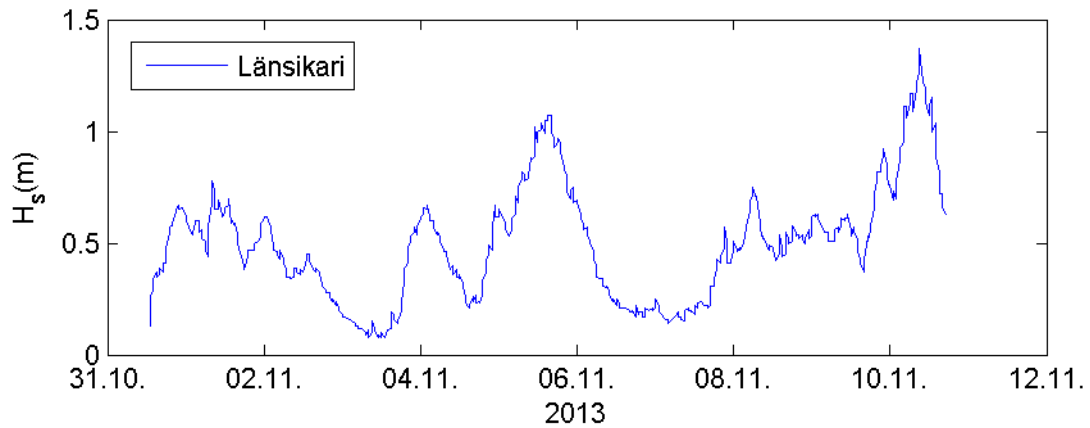
9.1 Länsikari

Länsikarin mittaukset tehtiin 31.10.2013 kello 12:27 – 10.11.2013 kello 15:27 välisenä aikana paikassa $60^{\circ} 07.635' \text{ N } 24^{\circ} 58.644' \text{ E}$ (kuva 43).



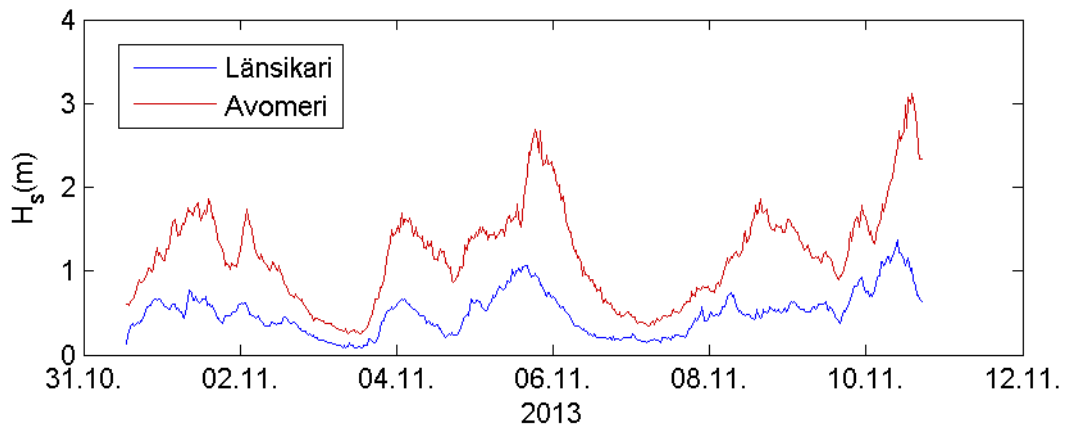
Kuva 43. Avomeren aallokon vaimeneminen Länsikarilla. WAM-ajo ajalta 12.11.2012 kello 08:30, jolloin avomerellä mitattiin 2.49 m merkitsevä aallonkorkeus suunnasta 247° , hallitsevan periodin ollessa 7.2 s.

Länsikarin mitattu merkitsevä aallonkorkeus näkyy kuvassa 44. Suurin arvo, 1.37 m, saavutettiin mittausaikasarjan lopussa 10.11.2013 kello 09:31. Samaan aikaan avomerellä mitattiin merkitsevä aallonkorkeus 2.49 m suunnasta 239° . Aallokon hallitseva periodi avomerellä oli tällöin 6.8 s, kun se Länsikarilla oli hiukan pienempi 6.2 s.



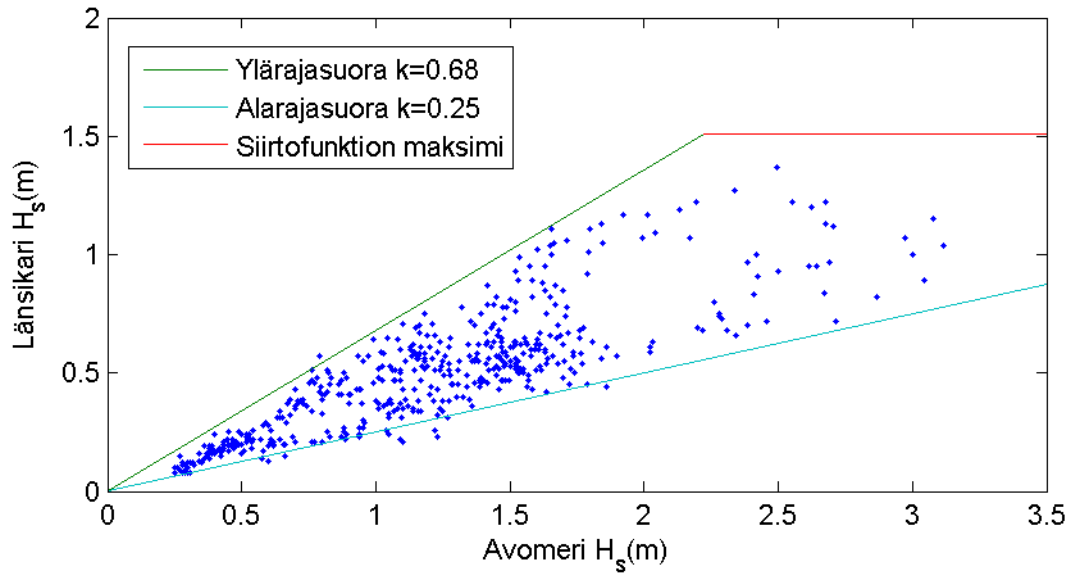
Kuva 44. Merkitsevä aallonkorkeus Länsikarilla koko mittausjakson aikana.

Pääsääntöisesti muutokset avomerellä heijastuvat voimakkaasti myös Länsikarilla (kuvat 45 ja 46). Karkea arvio Länsikarin aallonkorkeudesta saadaan kun Helsingin poijun lukema kerrotaan kertoimella 0.45 (kuva 47).



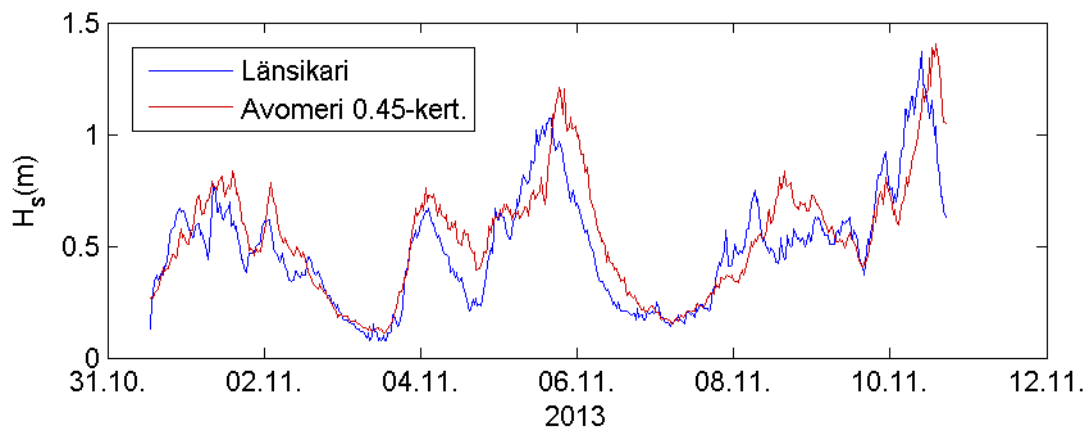
Kuva 45. Merkitsevä aallonkorkeus Länsikarilla ja avomerellä Helsingin edustalla.

Siirtofunktion avulla laskettu maksimiaallonkorkeus Länsikarille vuoden 2013 aineistosta on 1.46 m. Vuoden 2012 aineistoon käytettynä siirtofunktio tuottaa suurimmaksi arvoksi 1.33 m, jolloin merkitsevä aallonkorkeus avomerellä oli 2.98 m suunnasta 241°. Suurimmat aallonkorkeudet Länsikarilla saavutetaan lounaisaallokolla, jolloin itäisillä tuulilla saavutettu avomeren aaltoennätys 2012 ei ole Länsikarin maksimiaallokon määrittämisen kannalta ratkaiseva.



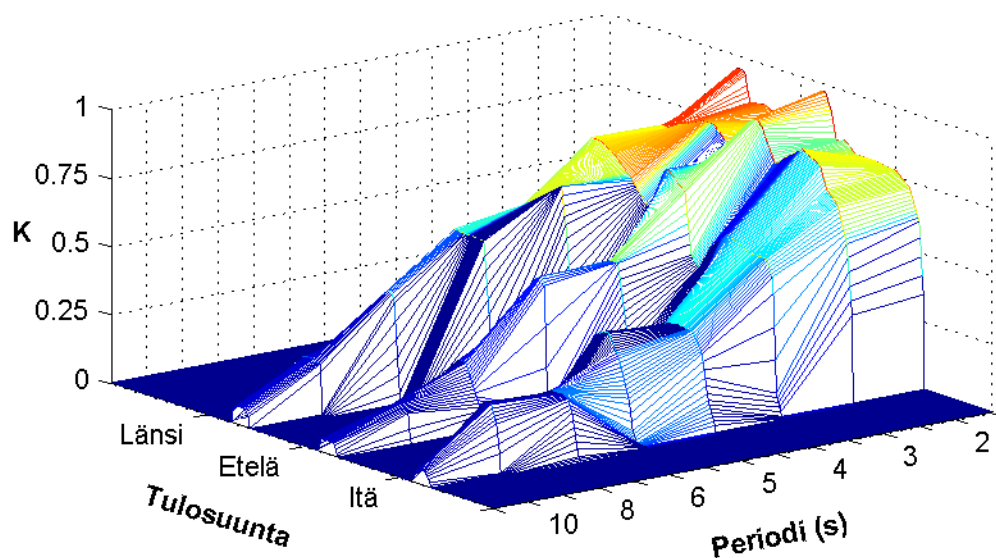
Kuva 46. Länsikarin merkitsevän aallonkorkeuden verrattuna Helsingin avomeren poijuun. Ylä- ja alarajasuorat vastaavat avomeren aallokon vaimenemista eri vaimenemiskertoimilla k .

Koska maksimiarvoa ei välttämättä saavuteta luotettavasti ilman että siirtofunktiota (kuva 48) käytetään aineistoon joka sisältää kovaa lounaista aallokkoa, analyysi tehtiin myös avomeren poijun vuoden 2001 ja 2011 mittauksille. Vuosi 2001 sisältää lounaisen aallokkoennätyksen, joka on 5.20 m. Vuonna 2011 merkitsevä aallonkorkeus lounaistuulilla saavutti 4.83 m. Vuoden 2001 aineiston perusteella laskettiin siirtofunktiolla Länsikarin maksimiaallonkorkeudeksi 1.48 m, kun taas vuoden 2011 datan perusteella suurin arvo oli 1.51 m. Länsikarin maksimiarvot saavutetaan lähes samaan aikaan kuin avomeren suurimmat arvot sekä vuosina 2001 että 2011.



Kuva 47. Länsikari ja Helsingin avomeren poiju 0.45-kertaisena.

Suurimmaksi merkitseväksi aallonkorkeudeksi Länsikarilla saadaan siis 1.51 m. Näin suurilla lounaisilla aallonkorkeuksilla kuvan 47 karkea approksimaatio, 0.45 kertaa Helsingin poijun arvo, tuottaa selkeästi liian isoja tuloksia.

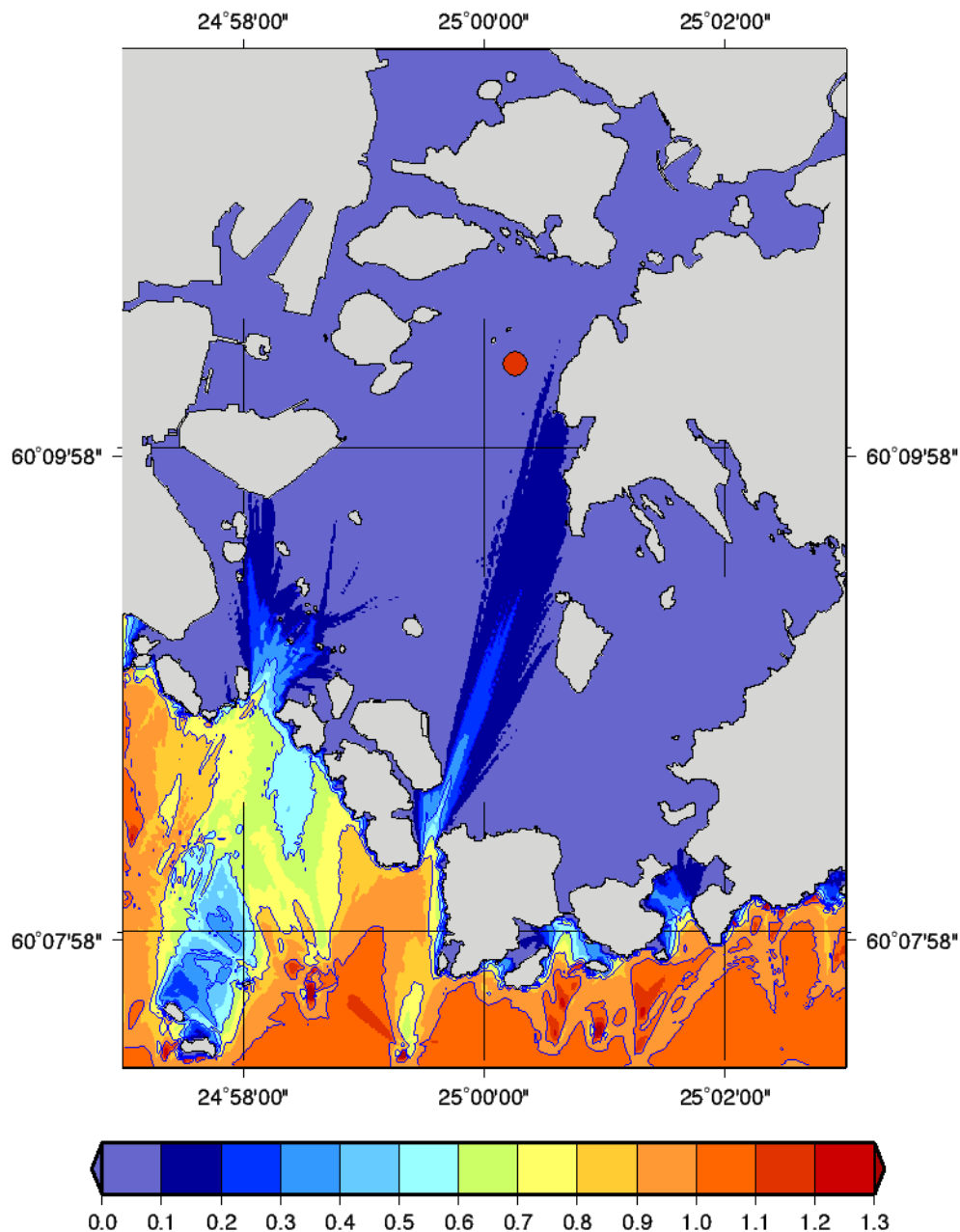


Kuva 48. Likimääräinen siirtofunktion amplitudivaste Länsikarilla kun lähtöaallokko on mitattu Helsingin edustalla.

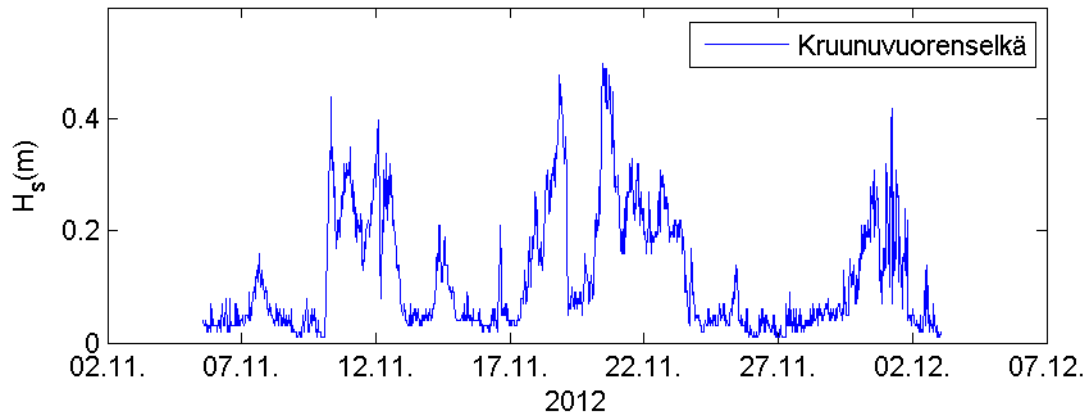
Länsikari	Merkitsevä aallonkorkeus	Periodi ja aallonpituus	
Suurin	1.5 m	3–7 s	14–60 m

9.2 Kruunuvuorenselkä

Kruunuvuorenselän mittaukset tehtiin 5.11.2012 kello 13:55 – 3.12.2012 kello 01:39 välisenä aikana paikassa 60° 10.336' N 25° 00.232' E (kuva 49).

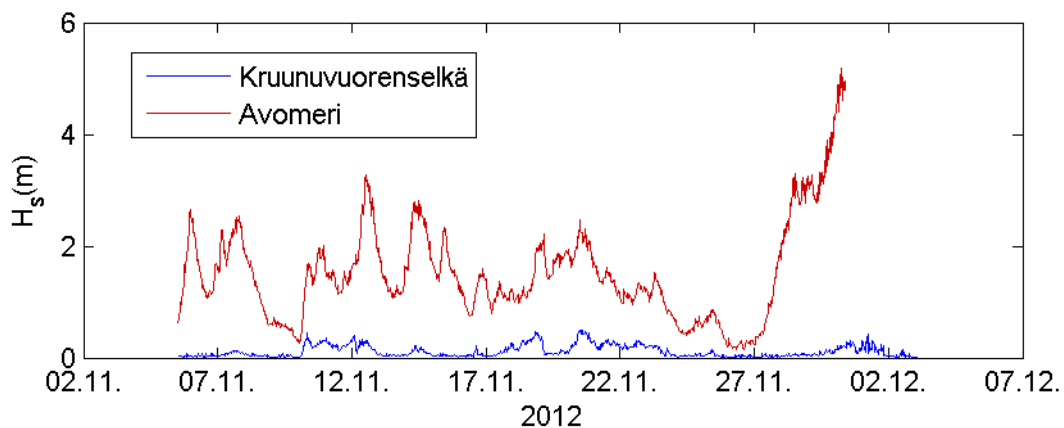


Kuva 49. Avomeren aallokon vaimeneminen Kruunuvuorenselällä. Merkitsevä aallonkorkeus Kustaanmiekan edustalla 1 m, periodi 4 s, keskisuunta 190 astetta.



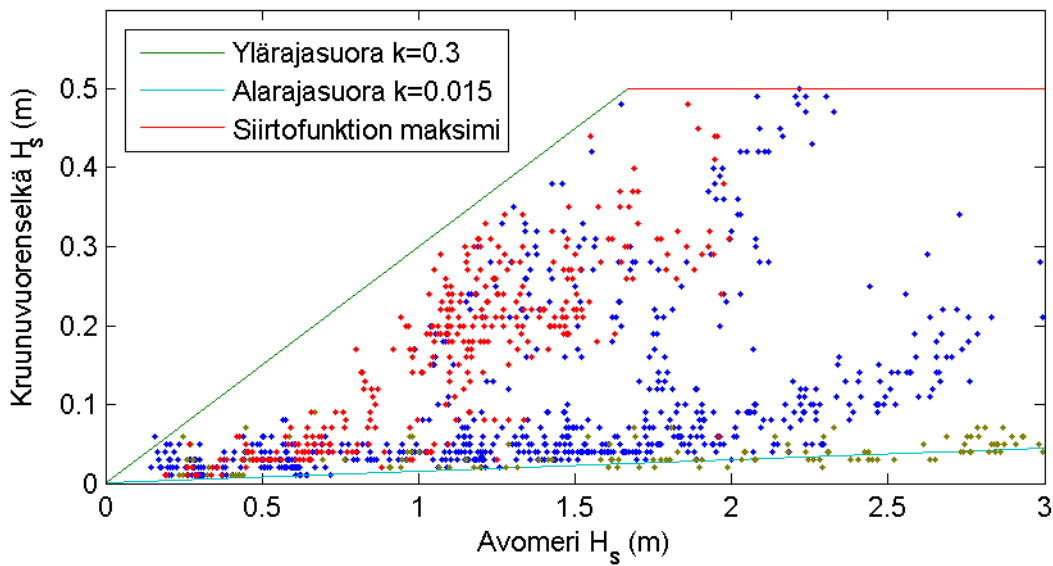
Kuva 50. Merkitsevä aallonkorkeus Kruunuvuorenselällä koko mittausjakson aikana.

Kruunuvuorenselän mittausjakson suurin merkitsevä aallonkorkeus oli 0.50 m (kuva 50). Tämä arvo mitattiin 20.11.2012 kello 10:25, jolloin merkitsevä aallonkorkeus avomerellä oli 2.23 m suunnasta 249°.



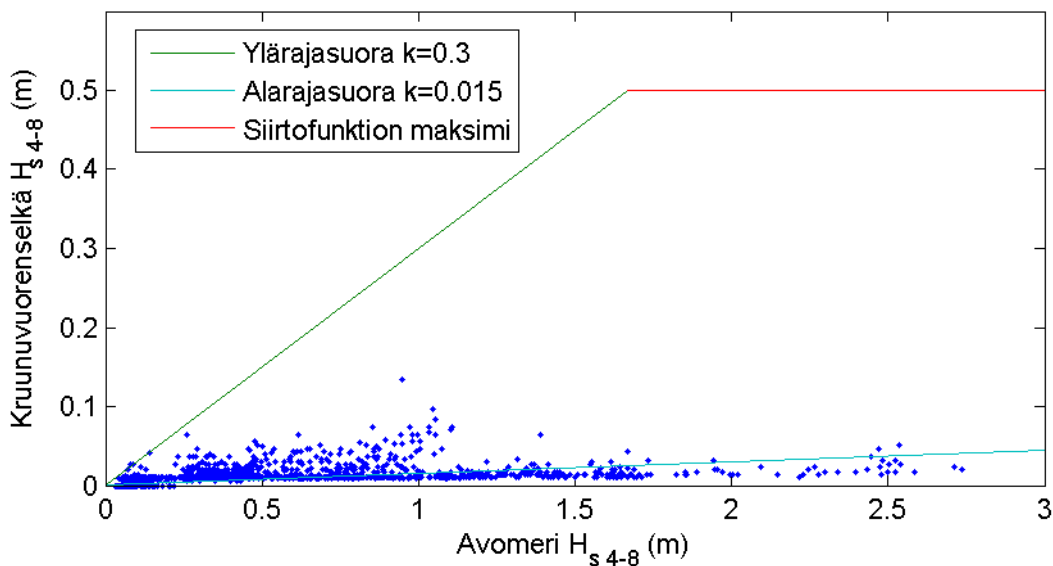
Kuva 51. Merkitsevä aallonkorkeus Kruunuvuorenselällä (vihreä) ja avomerellä Helsingin edustalla (sininen). Aikasarjasta näkyy miten mitattu aallokko Kruunuvuorenselällä reagoi hyvin eri tavalla aallonkorkeuden vaihteluihin avomerellä.

Kuten kuvasta 51 näkyy, suurempi aallonkorkeus avomerellä ei välttämättä tuota suurempaa aallokkoa Kruunuvuorenselällä. Avomeren aaltoennätyksen ajankohtana 30.11.2012 kello 05:30 Kruunuvuorenselän aaltopoiju mittasi vaatimattoman 0.17 m lukeman merkitsevälle aallonkorkeudelle. Suurin syy on tuulen suunta, sillä mittauspaikan pyyhkäisymatka itään on hyvin lyhyt.



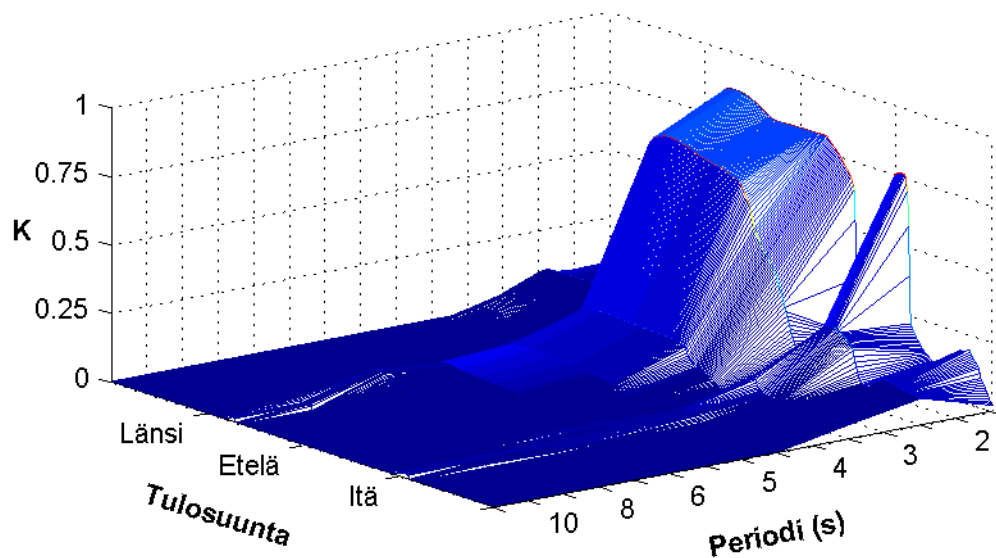
Kuva 52. Merkitsevä aallonkorkeus Kruunuvuorenselällä ja avomerellä Helsingin edustalla koko mittausjakson aikana. Kruunuvuorenselän ja avomeren aallokon suhde vaihtelee vahvasti avomeren aallokon suunnan mukaan: $90^\circ \pm 30^\circ$ (vihreä), $180^\circ \pm 60^\circ$ (punainen) ja muut (sininen). Ylä- ja alarajasuorat vastaavat avomeren aallokon vaimenemista eri vaimenemiskertoimilla k .

Kruunuvuorenselällä paikallinen aallokko, jonka periodi on 2–3 s, on hyvin hallitseva. Aallon korkeutta rajoittavat vaihtelevat pyyhkäisymatkat, mistä johtuen tuulen suunta vaikuttaa merkittävästi avomeren ja Kruunuvuorenselän suhteeseen (kuva 52). Kruunuvuorenselälle pääsee kuitenkin tunkeutumaan jonkin verran pitkiä aaltoja (4–7 s) (kuva 53).

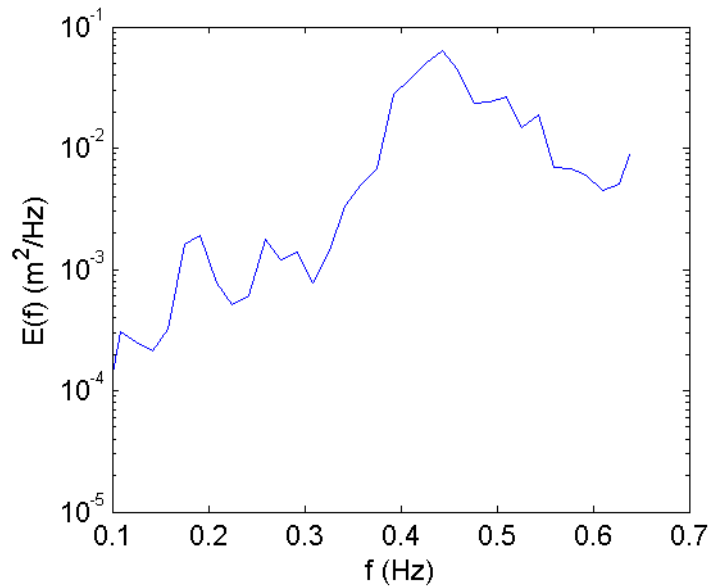


Kuva 53. Merkitsevä aallonkorkeus periodivälillä 4–8 s Kruunuvuorenselällä ja avomerellä Helsingin edustalla. Kaikki yli 4 sekunnin aallot ovat Kruunuvuorenselällä jo hyvin vaimentuneita.

Siirtofunktiota tarkastelemalla nähdään, että pitkät aallot pääsevät läpi parhaiten suunnista 250° ja 90° . Nämä aallot ovat kuitenkin vaimentuneet huomattavasti jo matkalla ulkomereltä Kustaanmiekalle ja niiden korkeus jää Kruunuvuorenselällä huomattavan pieneksi (kuva 54). Pisimpien 7 s aaltojen merkitsevä aallonkorkeus on Kruunuvuorenselällä enintään 0.12 m. Esimerkki aaltospektristä missä näkyy paikallisen ja ulkoa tulevan aallokon suhde löytyy kuvasta 55. Käyttämällä siirtofunktiota koko vuoden 2012 avomeren dataan, saadaan korkeimmaksi merkitseväksi aallonkorkeudeksi Kruunuvuorenselälle 0.5 m.



Kuva 54. Likimääräinen siirtofunktion amplitudivaste Kruunuvuorenselällä kun lähtöaallokko on mitattu Helsingin edustalla.



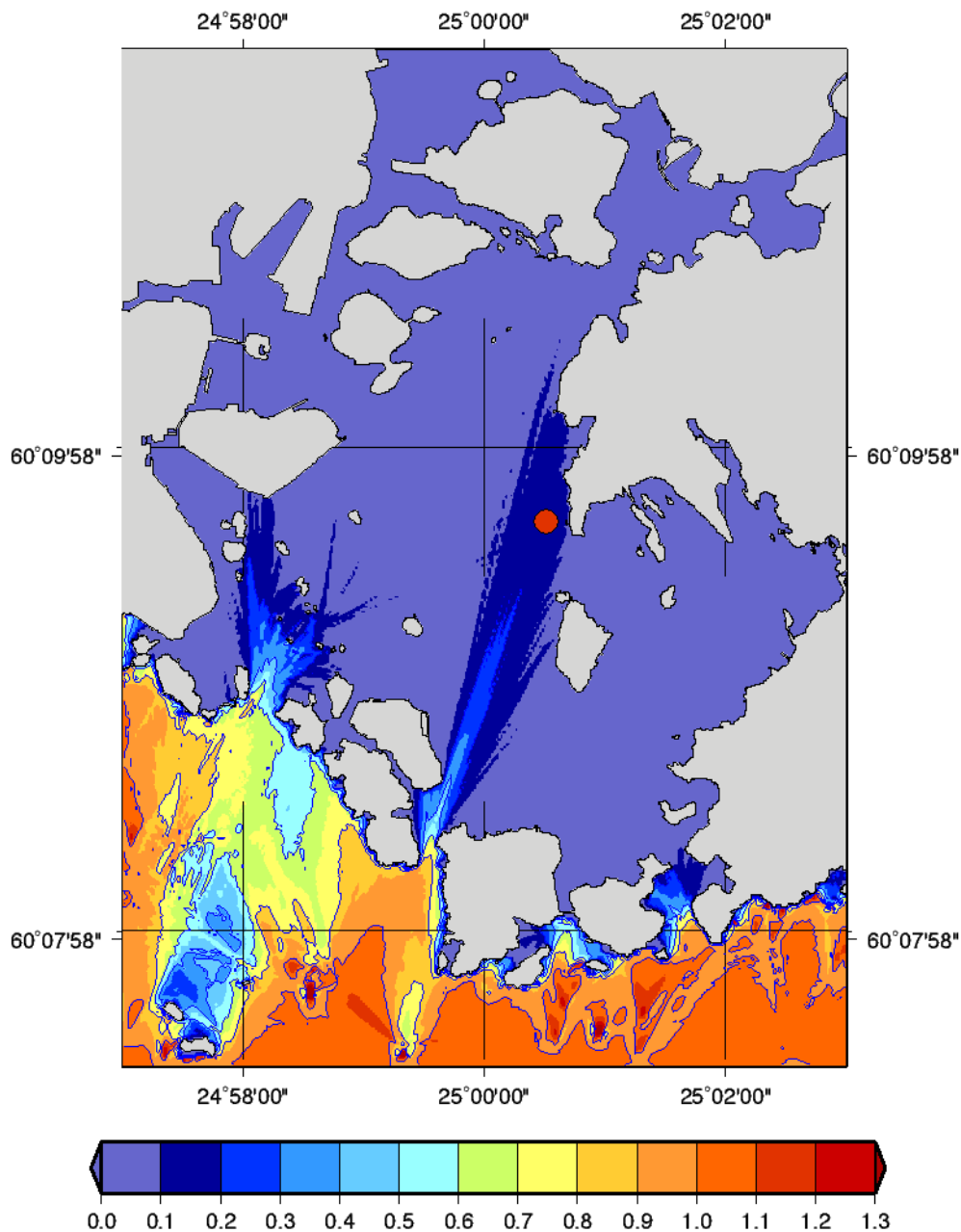
Kuva 55. Aaltospektri mistä näkyy paikallisen aallokon ja ulkoa tulevien eripituisten aaltosysteemien suhde logaritmisessa skaalassa. Merkitsevä aallonkorkeus on ajalta 10.11.2012 kello 19.55 jolloin merkitsevä aallonkorkeus oli 0.32 m.

Koska paikallinen tuulen kehittämä aallokko on Kruunuvuorenselällä hyvin hallitseva, ei voida turvautua pelkästään siirtofunktion arvoihin. 20.11.2012 kello 15:57 mitattiin Harmajalla tuulen nopeudeksi 13.2 ms^{-1} suunnasta 210° . Sekä suunta että nopeus oli tällöin pysynyt suhteellisen vakiona suurimman osan päivästä. Merkitsevä aallonkorkeus Kruunuvuorenselällä oli tällöin 0.42 m ja vastaava luku yli 3 sekunnin aalloille oli 0.38 m. Aaltospektristä arvioitu tuulen hetkellinen nopeus oli 13 ms^{-1} . Laskelmat 2.5 km pyyhkäisymatkalla tuottaisivat paikallisen aallokon jonka merkitsevä aallonkorkeus on 0.37 m. Paikallinen aallokko voi kuitenkin kasvaa noin 0.5 metriin, sillä tuulihavaintojen perusteella tuulennopeus voi yltää melkein 20 ms^{-1} , joskaan ei pitkien pyyhkäisymatkojen suunnassa. Pitkäaikaiset tuulimittaukset Kruunuvuorenselällä ovat keskeisessä osassa aallokkoa arvioitaessa.

Kruunuvuorenselkä	Merkitsevä aallonkorkeus	Periodi ja aallonpituus	
Suurin	0.5 m	1.7–3 s	4.5–14 m
Pitkät aallot	0.1 m	7 s	60 m

9.3 Koirasaari

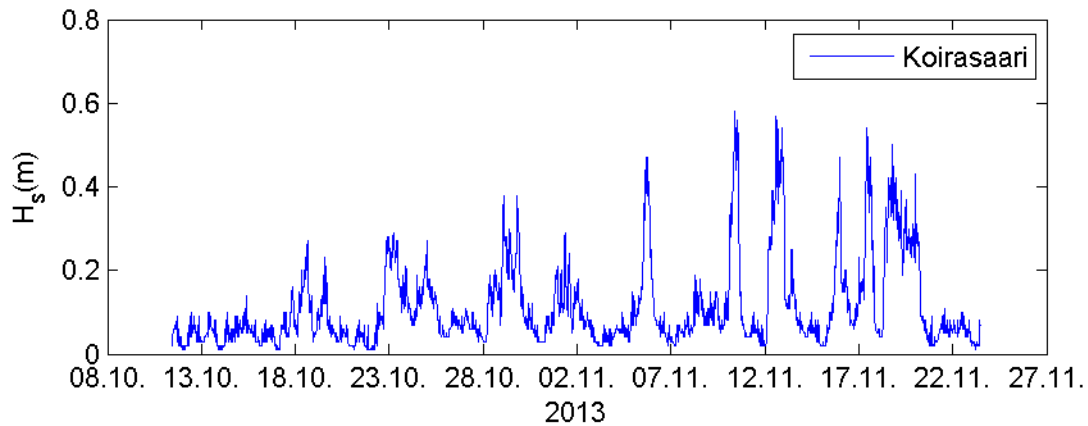
Koirasaaren mittaukset tehtiin 11.10.2013 kello 09:56 – 23.11.2013 kello 09:25 välisenä aikana paikassa 60° 09.70' N 25° 00.53' E (kuva 56).



Kuva 56. Avomeren aallokon vaimeneminen Koirasaarella. Merkitsevä aallonkorkeus Kustaanmiekan edustalla 1 m, periodi 4 s, keskisuuunta 190 astetta.

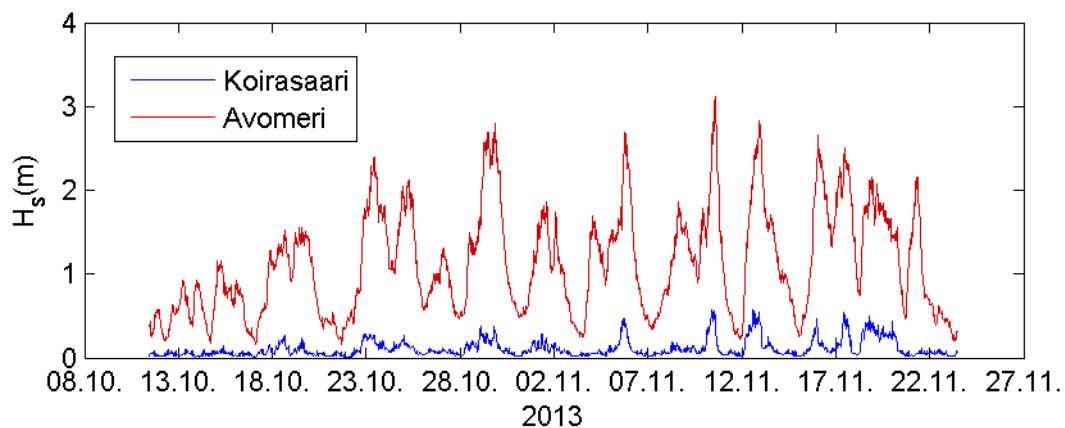
Kuva 57 näyttää Koirasaaren edustalla mitattua merkitsevää aallonkorkeutta. 10.11.2013 kello 09:30 Koirasaarella mitattiin 0.58 metrin merkitsevä aallonkorkeus. Samaan aikaan

Länsikarillakin saavutettiin suurin mitattu arvo (1.37 m). Avomerellä merkitsevä aallonkorkeus oli tällöin 2.49 m suunnasta 239°.



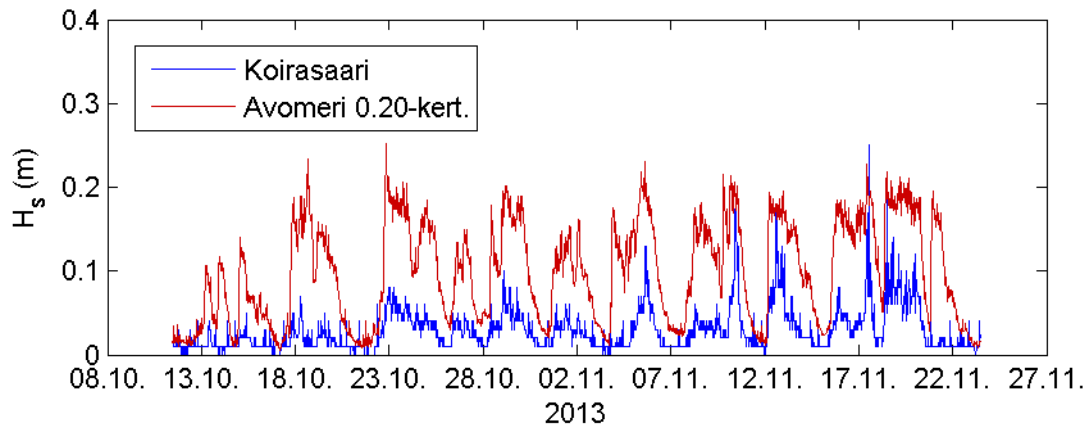
Kuva 57. Koirasaaren merkitsevä aallonkorkeus koko mittausjakson aikana.

Verrattuna vuonna 2012 tehtyihin mittauksiin Kruunuvuorenselällä, Koirasaaren mittaukset ovat pääsääntöisesti lounaista aallokkoa. Tällä suunnalla aallokko reagoi melko hyvin muutoksiin avomerellä, kuten kuvasta 58 näkyy. Suuruusluokka-arvio Koirasaaren aallokalle mittausjakson aikana saadaan kertomalla avomeren aallokko kertoimella 0.20 (kuva 59).



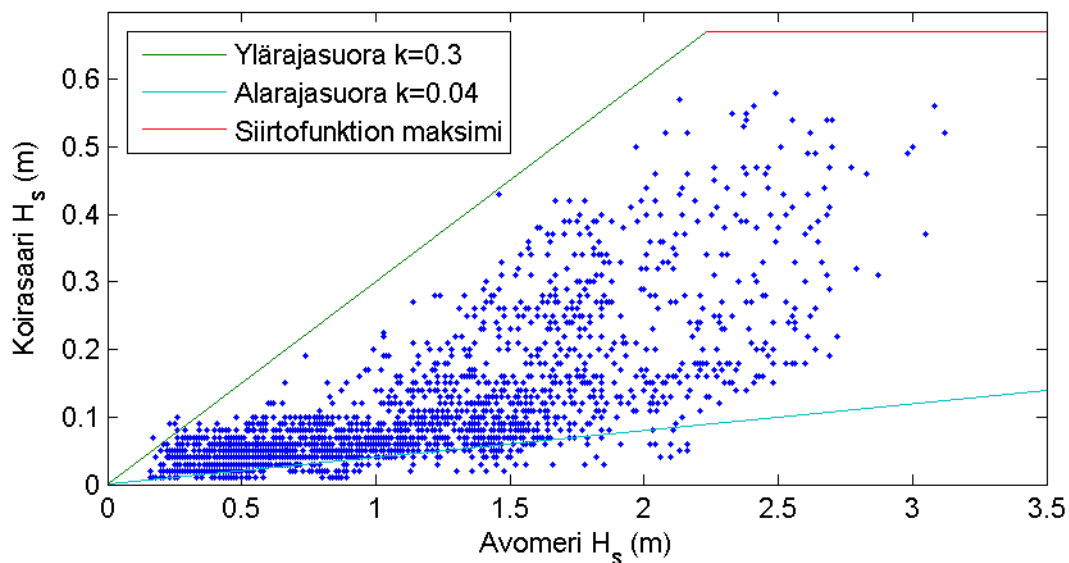
Kuva 58. Merkitsevä aallonkorkeus Koirasaarella ja avomerellä Helsingin edustalla.

Koska aallokko on pääosin yhdestä suunnasta, Koirasaaren ja avomeren aallokon suhde (kuva 60) ei ole samalla tavalla jakautunut kuten vuoden 2012 mittauksissa (kuva 52).



Kuva 59. Koirasaari ja Helsingin avomeren poiju 0.20-kertaisena.

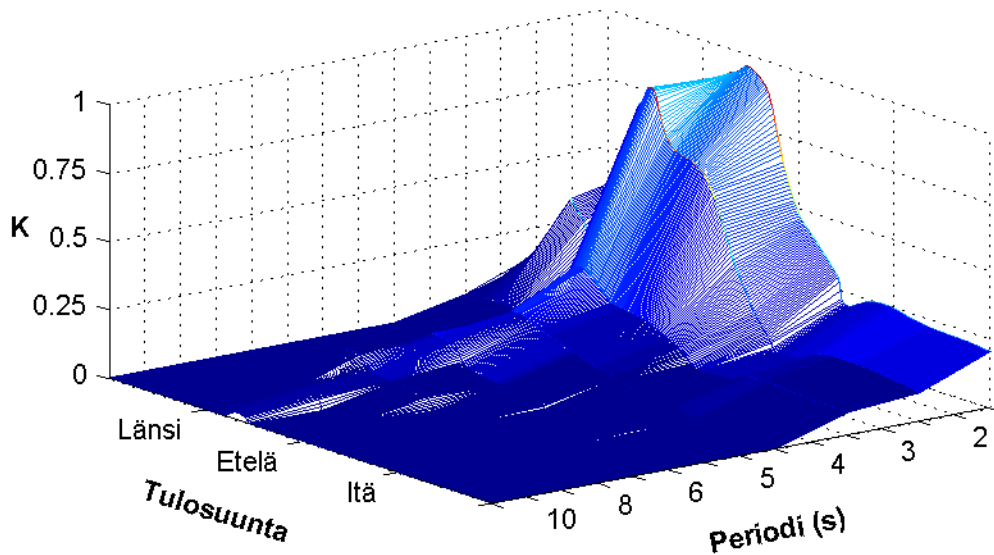
Mittausajanjakson aikana avomerellä ei juuri esiintynyt itäistä aallokkoa, joten siirtofunktiota niille suunnille ei pystytty muodostamaan luotettavasti (kuva 61). Aallokko Kruunuvuorenselällä reagoi kuitenkin huonosti idästä tulevaan ulkomeren aallokkoon. Maksimiaallonkorkeuden kannalta merkitsevä on lounaisaallokko, joten siirtofunktion käyttäminen on siten edelleen hyvin perustelua.



Kuva 60. Merkitsevä aallonkorkeus Koirasaarella ja avomerellä Helsingin edustalla koko mittausjakson aikana. Ylä- ja alarajasuorat vastaavat avomeren aallokon vaimenemista eri vaimenemiskertoimilla k .

Siirtofunktiota käytettiin vuosien 2001, 2011, 2012 ja 2013 avomeren mittauksiin. Kaikki neljä vuotta tuottivat hyvin samanlaisia tuloksia (0.62–0.67 m). Suurin tulos saavutettiin vuoden 2001 aineiston perusteella hetkellä, jolloin Helsingin poijulla mitattiin 4.39 metrin merkitsevä aallonkorkeus suunnasta 249°, vain 1.5 tuntia ennen Helsingin vuoden 2001

aaltoennätystä. Siirtofunktiolla Koirasaareen lasketun ja Helsingin poijulla mitatun aallonkorkeuden suhde vaihteli 0.15 ja 0.23 välillä siten, että suurempi avomerellä mitattu aallokko tuotti pienemmän suhteen.



Kuva 61. Likimääräinen siirtofunktion amplitudivaste Koirasaareessa kun lähtöaallokko on mitattu Helsingin edustalla.

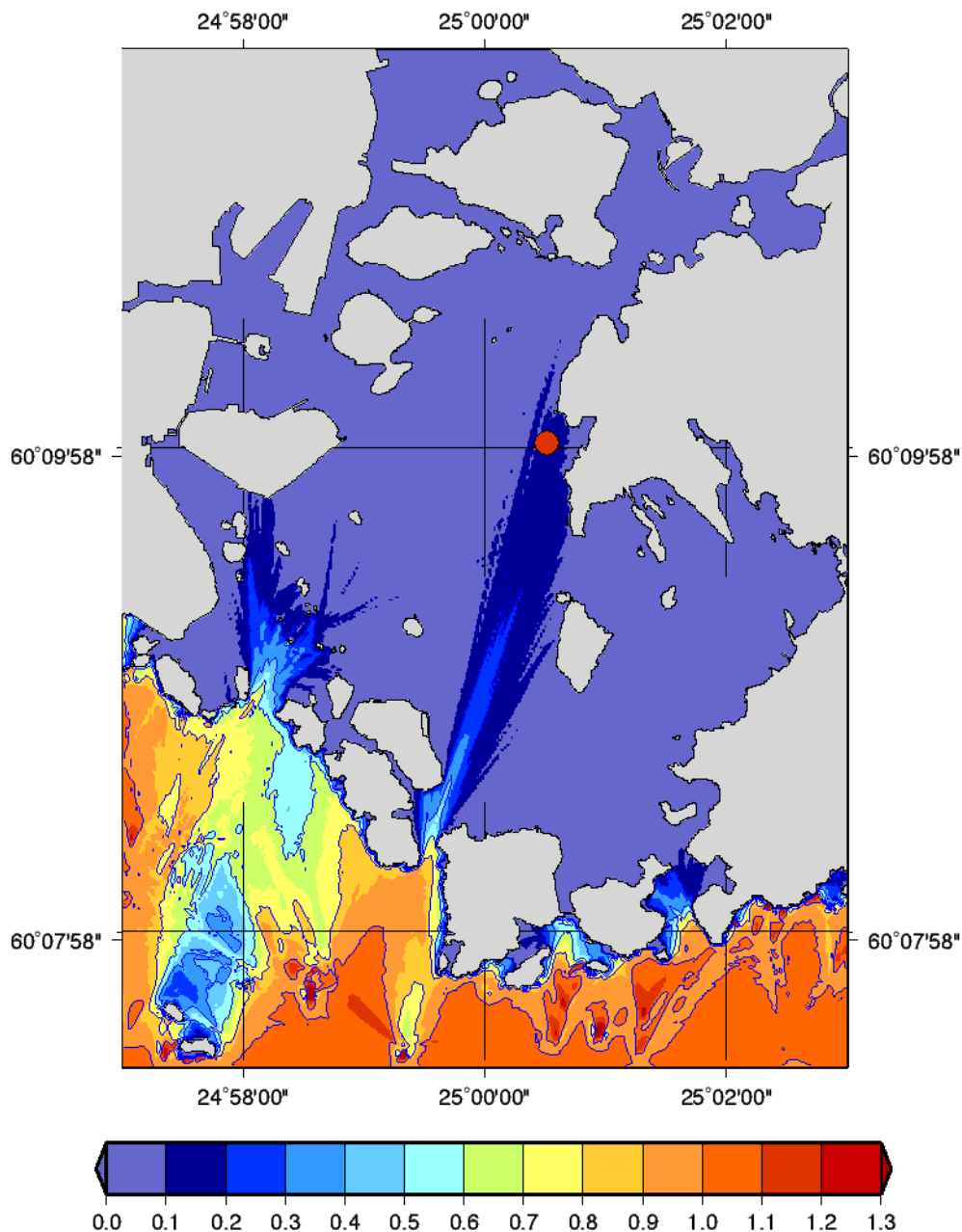
Yli 3 sekunnin aaltojen merkitsevä aallonkorkeus oli niin ikään hyvin samankaltaisia (0.50–0.53 m). Tuulihavaintojen perusteella aallokko voisi nousta yli 0.5 metriin. Tämä sopii hyvin yhteen siirtofunktion arvojen kanssa, varsinkin kun huomioidaan, että aallokko Koirasaareessa voi olla osin heijastunutta.

Koirasaareen tunkeutuu pitkiä aaltoja, mutta ne ovat hyvin vaimentuneita. Pisimmät mitatut aallot ovat 7 sekuntia pitkiä, ja niiden aallonkorkeus on enimmillään 0.1 metriä.

Koirasaari	Merkitsevä aallonkorkeus	Periodi ja aallonpituus	
Suurin	0.7 m	1.7–3 s	4.5–14 m
Pitkät aallot	0.1 m	7 s	65 m

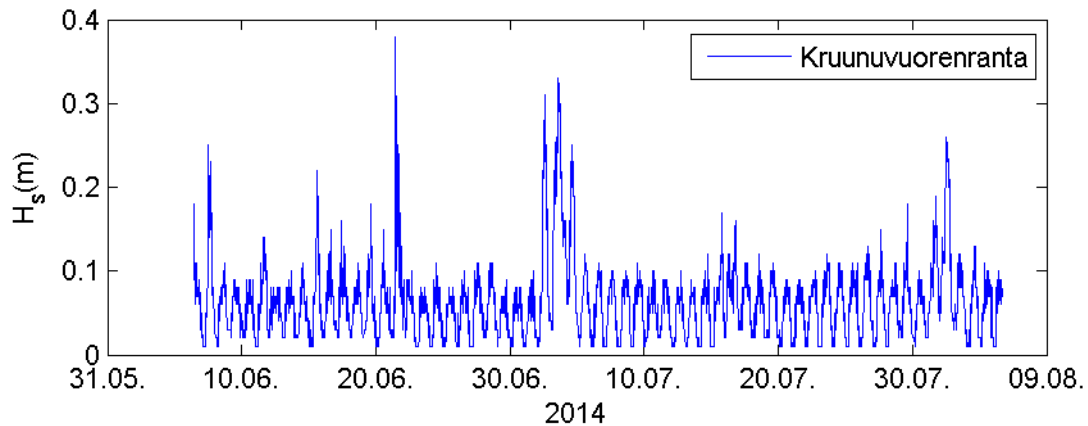
9.4 Kruunuvuorenranta

Mittaukset Kruunuvuorenrannalla tehtiin 06.06.2014 kello 10:52 – 5.8.2014 kello 16:21 välisenä aikana paikassa 60° 10.062' N 25° 00.558' E (kuva 62).



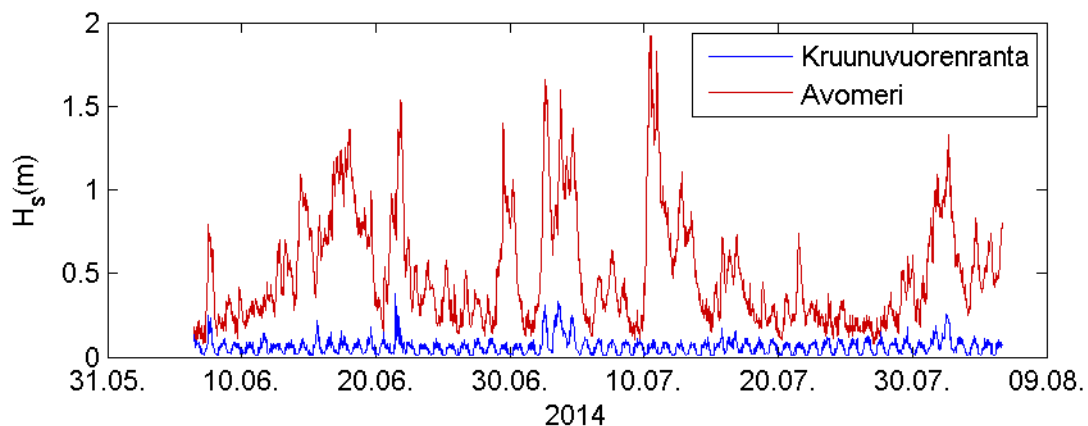
Kuva 62. Avomerén aallokon vaimeneminen Kruunuvuorenrantaan. Merkitsevä aallonkorkeus Kustaanmiekan edustalla 1 m, periodi 4 s, keskisunta 190 astetta.

Suurin merkitsevä aallonkorkeus Kruunuvuorenrannalla, 0.38 m, mitattiin 21.6.2014 klo 11:21 (kuva 63). Merkitsevä aallonkorkeus avomerellä oli tällöin 0.98 m suunnasta 256°.



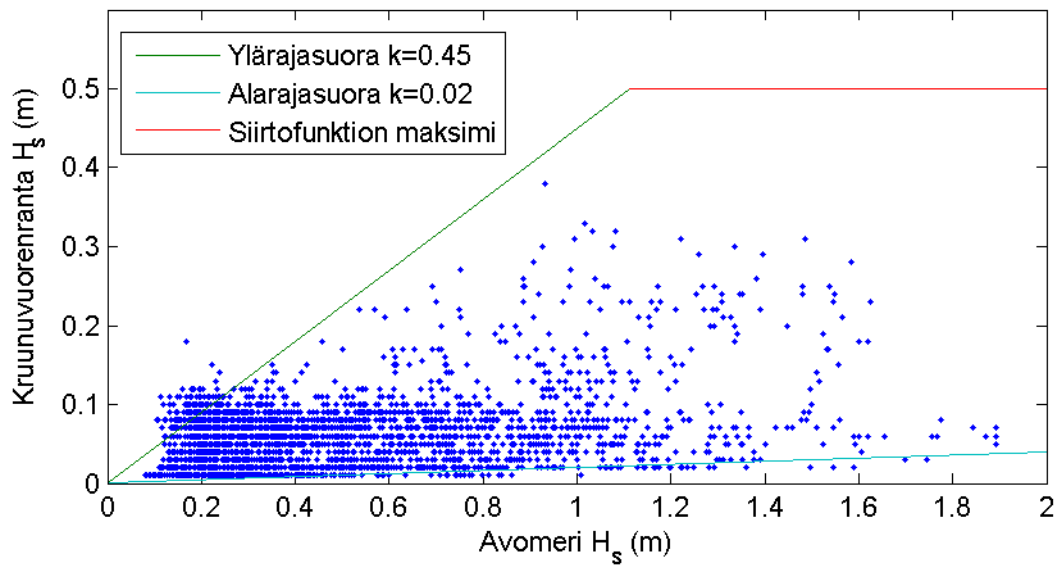
Kuva 63. Merkitsevä aallonkorkeus Kruunuvuorenrannalla koko mittausjakson aikana.

Mittausaikasarjaan ei mahdu paljonkaan kovia aaltotilanteita, mikä on kesäkuukausille tyypillistä. Dominoivana on rantaan suuntautuvan tuulen vuorokausisykli (kuva 63). Kruunuvuorenrannalla kesällä mitatut aallot olivat 2–3 s pitkiä, mutta mittauksissa esiintyi myös jopa 5 s avomeren aaltoja, joskin hyvin vaimentuneina.



Kuva 64. Merkitsevä aallonkorkeus Kruunuvuorenrannalla ja avomerellä Helsingin edustalla.

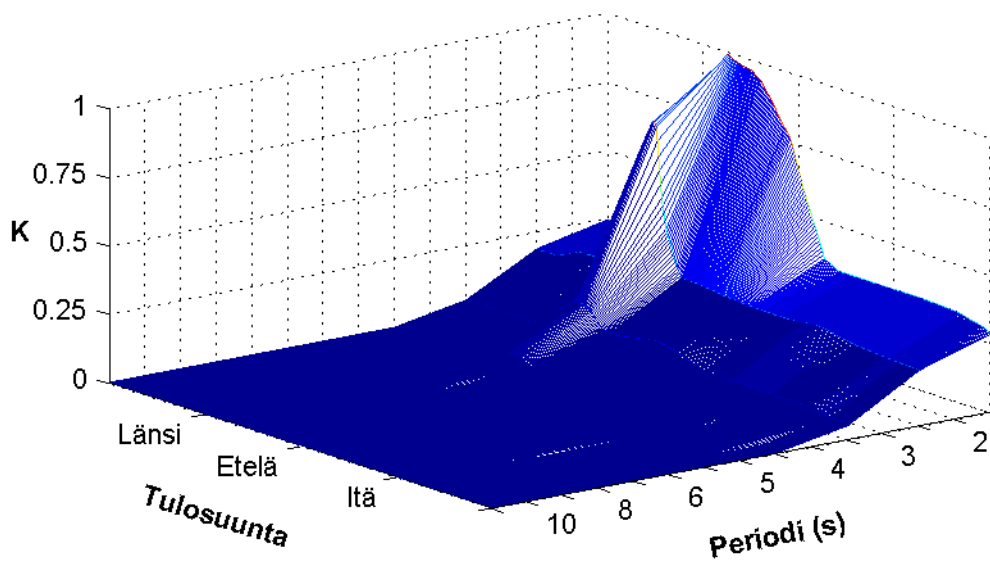
Avomerelläkin merkitsevä aallonkorkeus on koko mittausjakson aikana alle 2 m. Kruunuvuorenrannan aallokolla on selkeä vaste avomeren lounaisaallokolle (kuva 64, esim. 3.–5.7.), kun taas itäisen aallokon kasvulla avomerellä ei ole mitään vaikutusta Kruunuvuorenrannan aallokkoon (kuva 64, esim. 11.–14.7.). Tämä johtuu sekä suojaisesta paikasta, mutta ennen kaikkea lyhyestä pyyhkäisymatkasta itään.



Kuva 65. Merkitsevä aallonkorkeus Kruunuvuorenrannalla ja avomerellä Helsingin edustalla koko mittausjakson aikana. Ylä- ja alarajasuorat vastaavat avomerien aallokon vaimenemista eri vaimenemiskertoimilla k .

Koska Kruunuvuorenrannan ja avomerien aallokon välillä kuitenkin on tietty vaste (kuva 65), voidaan suurinta mahdollista aallokkoa arvioida siirtofunktion avulla (kuva 66). Viiden eri vuoden aineistoa käyttämällä päästään hyvin samankaltaisiin tuloksiin; kaikki vuodet tuottavat suurimmaksi merkitseväksi aallonkorkeudeksi 0.5 m.

Tuulihavaintoaineistoa käyttämällä päästään myös 0.5 m maksimiaallonkorkeuteen.



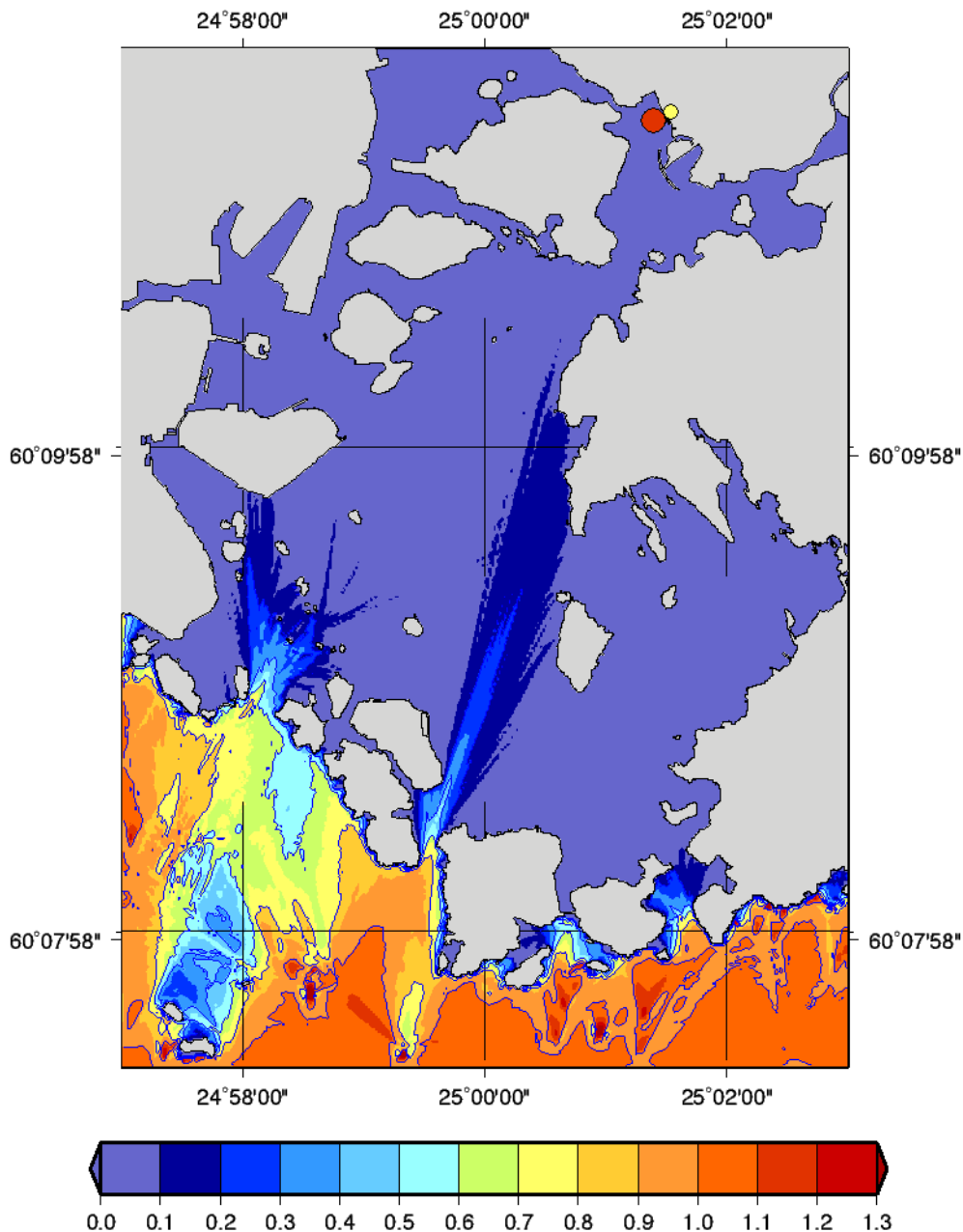
Kuva 66. Likimääräinen siirtofunktion amplitudivaste Kruunuvuorenrannalla kun lähtöaallokko on mitattu Helsingin edustalla.

On huomioitavaa, että kesän aineiston perusteella tehty siirtofunktio ei ole kaikkein luotettavin johtuen kovimpien tilanteiden puuttumisesta. Kesällä tehdyistä mittauksista on hyvin haastavaa vetää pitkälle meneviä johtopäätöksiä. Tuulaineisto on tässä tapauksessa keskeisessä osassa, mutta se ei pysty huomioimaan rannan lähellä tapahtuvaa mahdollista heijastumista, jonka takia se ei kaikissa tapauksissa ole täysin yhteensopiva mitattujen arvojen eikä siirtofunktion tuottamien arvojen kanssa.

Kruunuvuorenranta	Merkitsevä aallonkorkeus	Periodi ja aallonpituus	
Suurin	0.5 m	1.7–3 s	5–14 m
Pitkät aallot	0.1 m	5 s	40 m

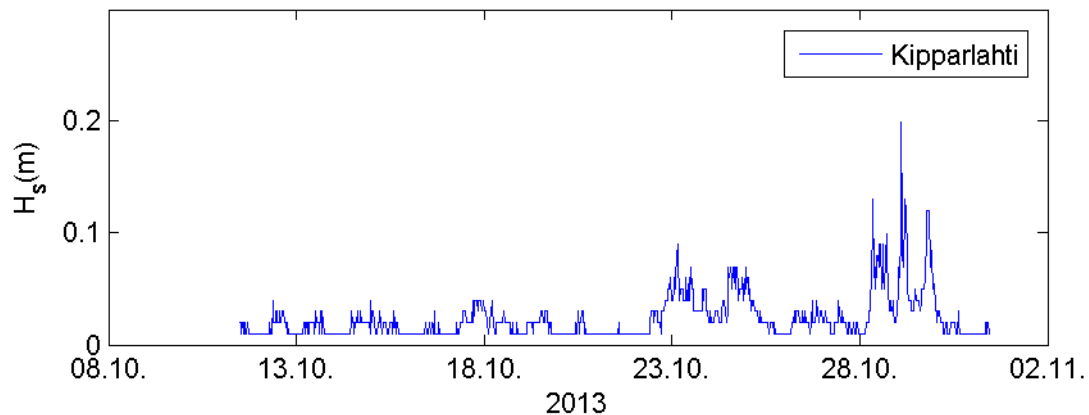
9.5 Kipparlahti

Kipparlahden mittaukset tehtiin 11.10.2013 kello 11:30 – 31.10.2013 kello 10:30 välisenä aikana paikassa $60^{\circ} 11.346' N$ $25^{\circ} 01.398' E$ (kuva 67). Lisäksi mittauksia tehtiin 12.11.2012 kello 13:45 – 14:05 kapasitiivisella lankamittarilla rannalta paikassa $60^{\circ} 11.361' N$ $25^{\circ} 01.481' E$.



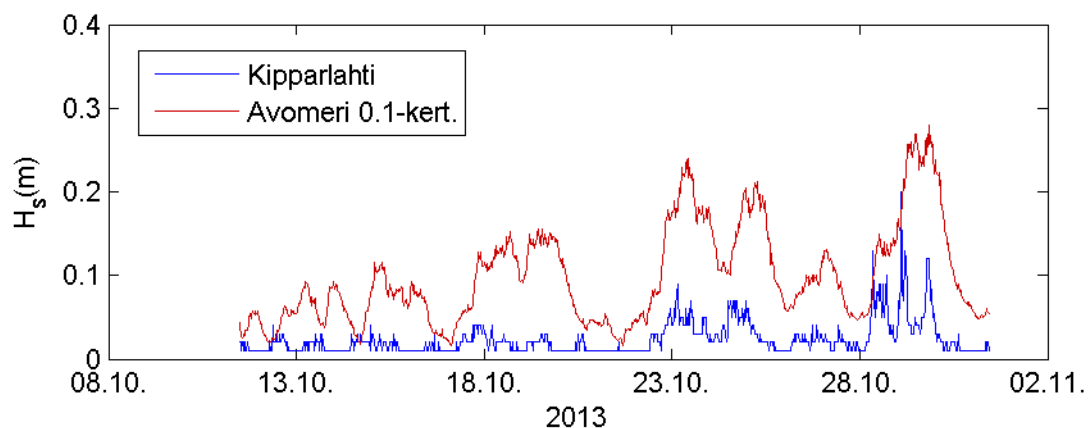
Kuva 67. Avomeren aallokon vaimeneminen Kipparlahdella. Merkitsevä aallonkorkeus Kustaanmiekkan edustalla 1 m, periodi 4 s, keskisuinta 190° astetta. Punainen ympyrä näyttää poijun sijainnin ja keltainen ympyrä näyttää paikan mistä mittauksia tehtiin kapasitiivisella langalla rannasta.

Suurin mitattu aallonkorkeus Kipparlahdella oli 0.20 m 29.10.2013 kello 02.30 (kuva 68). Tällöin aallonkorkeus Helsingin poijulla oli 1.6 m suunnasta 205°. Kuten kuvasta 69 näkyy, Kipparlahdella mitatut korkeimmat aallonkorkeudet eivät osu yhteen kovimpiin tilanteisiin avomerellä.



Kuva 68. Kipparlahden merkitsevä aallonkorkeus koko mittausjakson aikana.

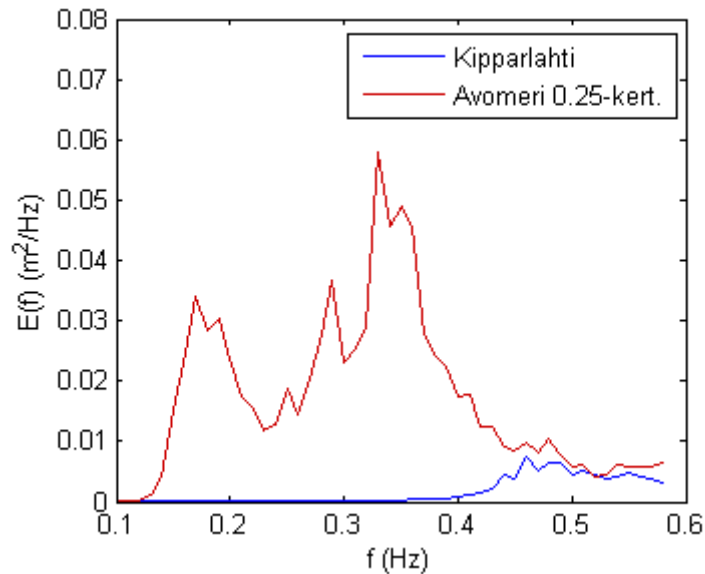
Kipparlahdelle ei pääse lainkaan pidempiä aaltoja avomereltä, vaan Kruunuvuorenselällä näkyvät pienet mutta pitkät aallot vaimenevat täysin ennen Kipparlahtea. Kuvassa 70 näkyy Kipparlahden aaltospektri verrattuna Helsingin poijun 0.25-kertaiseen aaltospektriin. Kipparlahdella ei näy ollenkaan 2.5 s (0.4 Hz) pidempiä aaltoja, vaikka niitä on Helsingin poijun kohdalla runsaasti. Pisimmät Kipparlahdelle pääsevät aallot ovat noin 3 s.



Kuva 69. Merkitsevä aallonkorkeus Kipparlahdella ja avomerellä Helsingin edustalla (0.1-kertaisena).

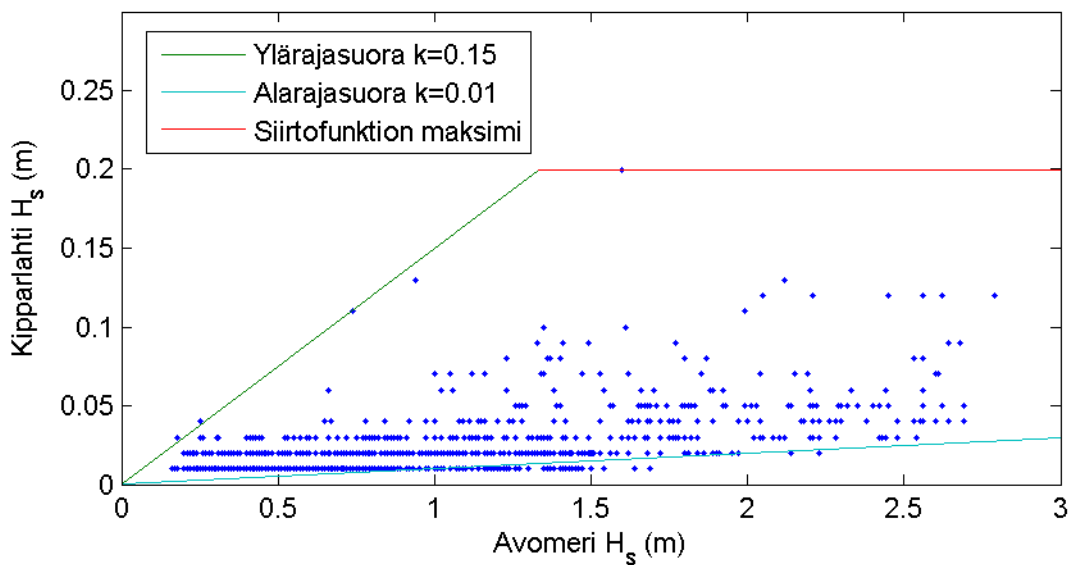
Kuva 71 havainnollistaa Kipparlahden ja avomeren aallonkorkeuden suhdetta. Kipparlahden korkein mitattu arvo on selkeästi korkeammalla tasolla kuin muut pisteet,

mikä johtuu todennäköisesti kovasta paikallisesta tuulesta. Kolmea sekuntia pidempiä aaltoja Kipparlahden ei päässyt myöskään tässä tilanteessa.



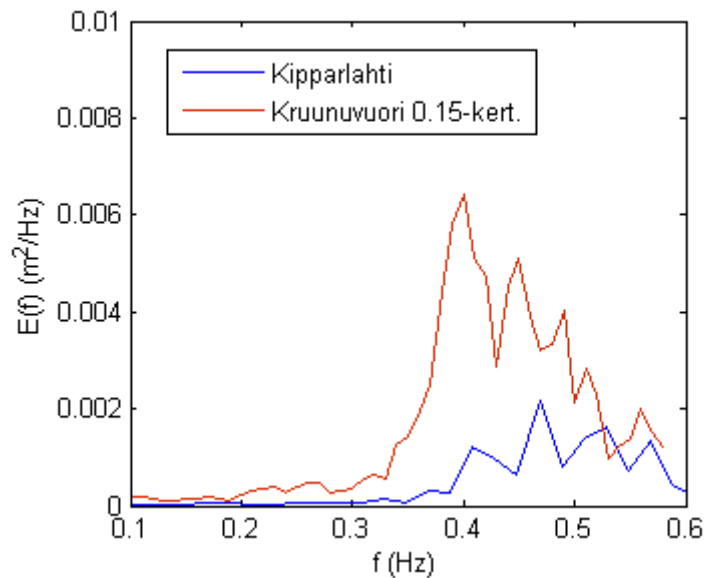
Kuva 70. 28.10.2013 kello 08:00 mitatut aaltospektrit mistä näkyvät Kipparlahden paikallinen aallokko (sininen) ja Helsingin poijulla mitattu aaltospektri 0.25-kertaisena (punainen). Merkitsevä aallonkorkeus oli Kipparlahdella 0.11 m ja Helsingin poijulla 0.74 m.

Lankamittarilla tehtiin Kipparlahdella lyhyt puolen tunnin mittaus. Tästä mittauksesta saatua aaltospektriä verrattiin Kruunuvuorenselän poijulla samanaikaisesti mitattuun aaltospektriin (kuva 72).



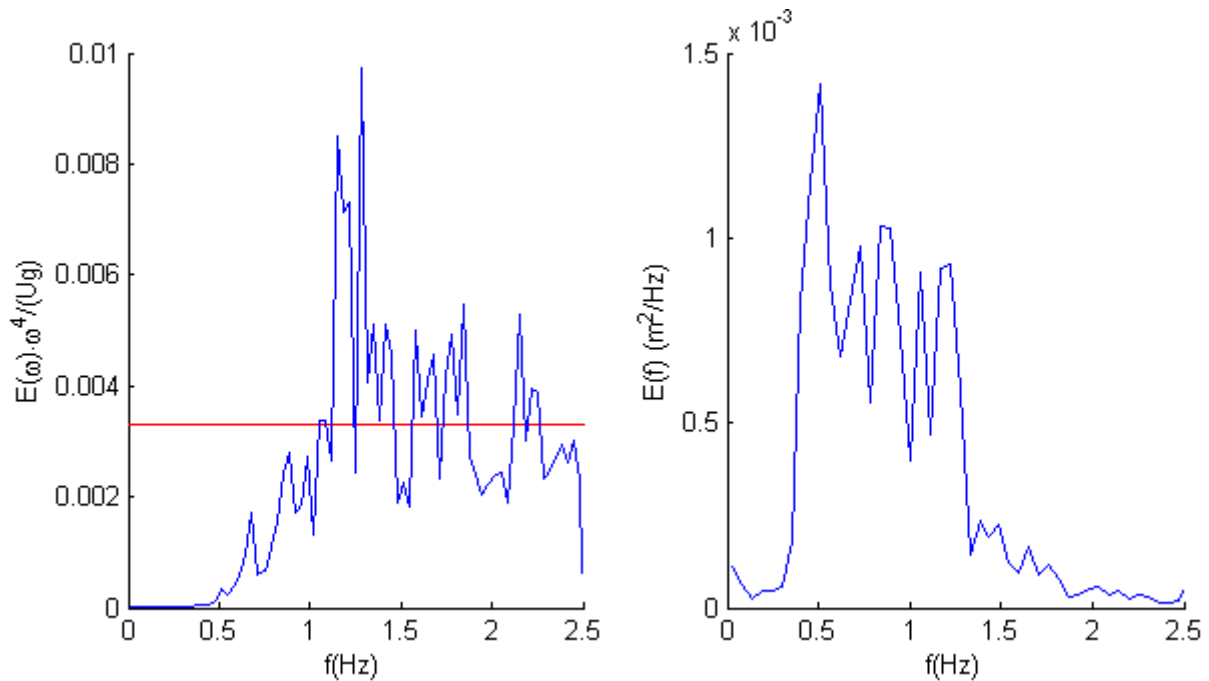
Kuva 71. Merkitsevä aallonkorkeus Kipparlahdella ja avomerellä Helsingin edustalla koko mittausjakson aikana. Ylä- ja alarajasuorat vastaavat avomerien aallokon vaimenemista eri vaimenemiskertoimilla k .

Kipparlahden mittauksissa näkyvät yli 2 sekunnin (alle 0.5 Hz) aallot eivät ole paikallisen tuulen kasvattamia, vaan Kruunuvuorenselältä kulkeutuneita vaimentuneita aaltoja. Tästäkin vertailusta kuitenkin näkyy, että Kruunuvuorenselällä näkyvät yli 3 sekuntia pitkät aallot eivät kantaudu Kipparlahteen.



Kuva 72. Lankamittarilla mitattu Kipparlahden aaltospektri (sininen) ja poijulla mitattu Kruunuvuorenselän aaltospektri 0.15-kertaisena (punainen). Kruunuvuorenselällä näkyvät 3 sekuntia pidemmät aallot eivät pääse tunkeutumaan Kipparlahdelle saakka. Merkitsevä aallonkorkeus Kipparlahdella oli 0.11 m ja Kruunuvuorenselällä 0.21 m.

Lankamittauksista saatu tieto aaltospektrin korkeataajuisesta osasta mahdollistaa arvion Harmajan ja Kipparlahden tuulennopeuksien suhteesta (kuva 73, vasen). Korkeataajuisesta osasta nähdään myös, että noin 1.3 Hz pidemmät aallot ovat lankamittarin kohdalla melkein täysin heijastuneita (kuva 73, oikea). Käytännössä tämä tarkoittaa, että koko aaltopojun mittaama aaltospektri on heijastunut. Koska aaltospektrin arvot ovat suhteessa aallonkorkeuden neliöön, nelinkertainen arvo aaltospektrissä tarkoittaa aallonkorkeuden tuplaamista. Tämä täysi heijastus pätee kuitenkin vain hyvin lähellä jyrkkää seinämää. Kauempana seinämästä, esim. poijun kohdalla, heijastuksen laskemisessa on käytettävä kerrointa 1.4. Mikäli oletetaan poijun mittaamaan aallokon olevan 1.4 kertaa heijastunut, saadaan jyrkän rannan maksimiaallonkorkeus kertomalla poijun arvo kertoimella 1.4.



Kuva 73. Lankamittarilla mitattu Kipparlahden aaltospektri skaalattuna tuulen nopeudella 6 ms^{-1} (vasen). Lankamittarilla mitattu aaltospektri paljastaa myös aaltojen heijastuksen (oikea): Noin 1.3 Hz pidemmät aallot näkyvät aaltospektrissä noin neljä kertaa vahvempina, mikä tarkoittaa aaltojen korkeudessa kerrointa kaksi.

Pitkien aaltojen puuttuminen tarkoittaa, että Kipparlahden aallokko on kahden aaltosysteemin summa. Yhtenä komponenttina on paikallisen tuulen kasvattama, sekä pyyhkäisymatkan rajoittamaa aallokko. Toisena komponenttina on Kruunuvuorenselän paikallinen aallokko, joka pääsee vaimentuneena Kipparlahdelle. Kipparlahden pisin pyyhkäisymatka on melkein suoraan etelään, jolloin tuuli pääsee kasvattamaan aallokkoa häiriöttä noin 1.1 km . Kipparlahden kovimman aaltotilanteen aikana tuuli Harmajalla oli 11.8 ms^{-1} suunnasta 207° . Valistunut arvaus tuulennopeudelle Kipparlahdella olisi tällöin noin 6 m/s . Näin kova tuuli tuottaa 1.1 km pyyhkäisymatkalla 0.11 m merkitsevän aallonkorkeuden. Yhdistettynä Kruunuvuorenselän vaimennettuun aallokkoon saadaan kokonaisuallonkorkeudelle arvo 0.16 m , mikäli $2\text{--}4$ sekuntia pitkien aaltojen vaimennussuhteen oletetaan olevan 0.4 (Kahma ja Tikka, 2011). Mikäli lisäksi laskemme pyyhkäisymatkan rajoittamalle aallokalle 1.4 -kertaisen heijastuksen, saamme yhdistetyksi aallonkorkeudeksi 0.20 m , mikä on sama kun poijulla mitattu arvo.

Tuuliaineistoon pohjautuen paikallisen aallokon merkitsevä aallonkorkeus voisi kasvaa 0.36 metriin . Kruunuvuorenselältä tulevan vaimennetun aallokon arvo on laskettu Ilmatieteen laitoksen vuonna 2011 tekemässä raportissa, ja sen maksimikorkeudeksi saatiin 0.28 m . Koska mittauksilla todettiin, että avomeren pitkät aallot eivät pääse

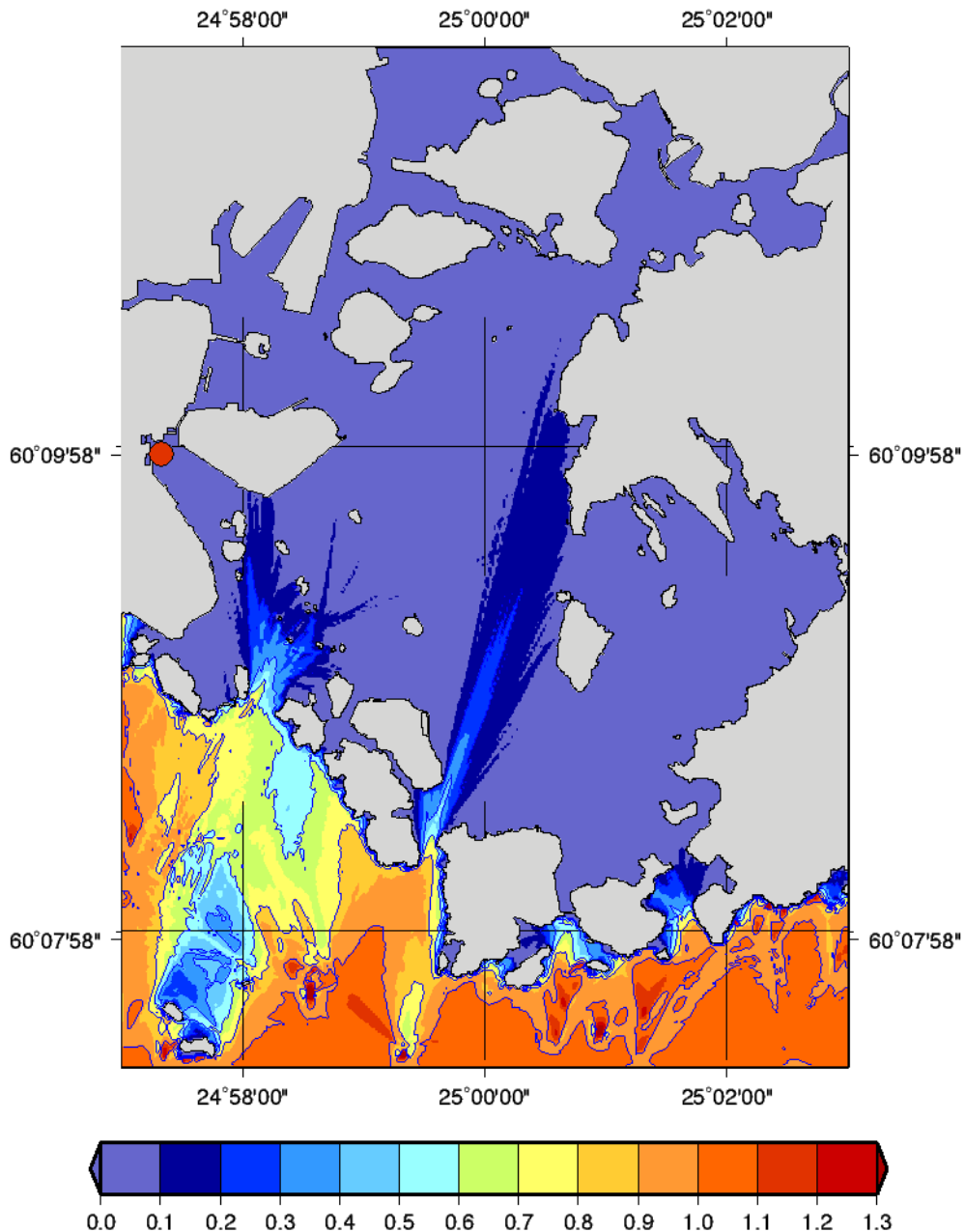
tunkeutumaan Kipparlahdelle, saadaan yhdistetyksi maksimiarvoksi merkitsevälle aallonkorkeudelle 0.5 m.

Tässä määritelty maksimiarvo aallonkorkeudelle on alhaisempi kuin Kahman ja Tikan (2011) saadut tulokset. Tämä johtuu suurimmaksi osaksi nyt käytössä olleista mittauksista Kustaanmiekan edustalla. Kahmalla ja Tikalla (2011) ei ollut mitattua tietoa Länsikarin kohdalla olevasta aallokosta, joten laskelmat suoritettiin varovaisuussyistä sillä oletuksella, että avomeren aallokko pääsee Kustaanmiekan edustalle vaimentamattomana. Nyt tehtyjen mittausten perusteella nähdään kuitenkin, että merkitsevä aallonkorkeus Länsikarilla on alle puolet avomeren vastaavasta arvosta (kuva 47), kovimmissa tapauksissa jopa vielä vähemmän. Kruunuvuorenselälle pääsevä avomeren aallokko on siis jo hyvin vaimentunutta, ja Kruunuvuorenselältä Kipparlahteen tultaessa ne ovat kokonaan kuolleet pois. Suoritetut mittaukset aaltopoijulla sekä lankamittarilla antavat vahvaa tukea johtopäätökselle pitkien avomeren aaltojen puuttumisesta kokonaan.

Kipparlahti	Merkitsevä aallonkorkeus	Periodi ja aallonpituus	
Suurin	0.5 m	1.7–3 s	5–14 m
Heijastunut (jyrkkä ranta)	0.8 m	1.7–3 s	5–14 m
Paikallinen aallokko	0.4 m	alle 2 s	5 m
Kruunuvuorenselältä tunkeutuneet	0.3 m	1.7–3 s	5–14 m

9.6 Eteläsatama

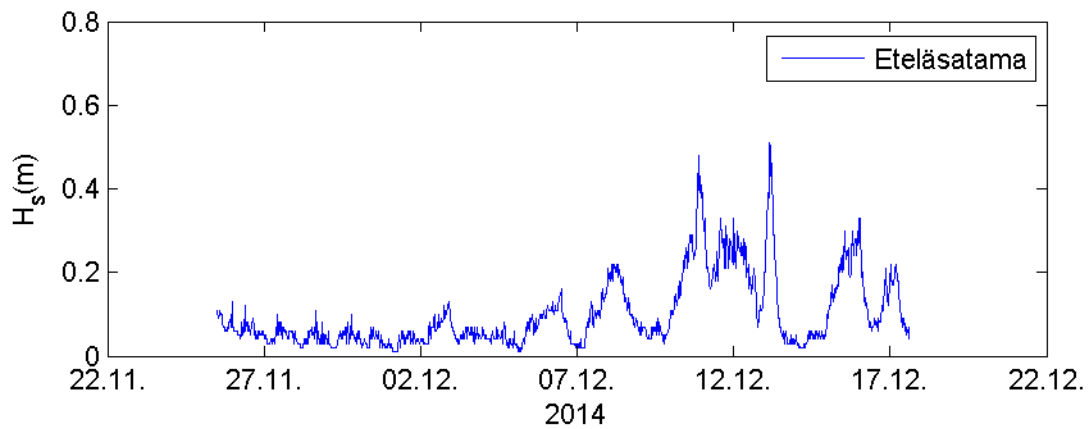
Mittaukset Eteläsatamassa tehtiin 25.11.2014 kello 11:45 – 17.12.2014 kello 14:45 välisenä aikana paikassa 60° 09.980' N 24° 57.306' E (kuva 74).



Kuva 74. Avomeren aallokon vaimeneminen Kruunuvuorenselällä. Merkitsevä aallonkorkeus Kustaanmiekan edustalla 1 m, periodi 4 s, keskisuinta 190 astetta. Eteläsataman mittauspiste on merkitty punaisella ympyrällä.

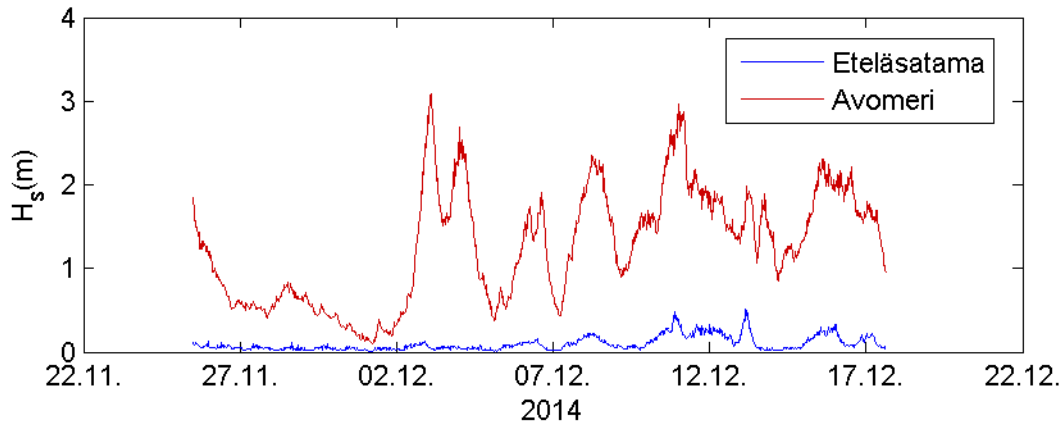
Eteläsatamassa suurin mitattu merkitsevä aallonkorkeus oli 0.51 m, ja se mitattiin 13.12.2014 klo 03:45 (kuva 75), eli samaan aikaan Ruumiskarin aaltoennätyksen kanssa.

Mittauksia avomereltä ei ole saatavissa juuri siltä hetkeltä, mutta puoli tuntia myöhemmin avomeren poiju mittasi 1.99 m merkitsevää aallonkorkeutta suunnasta 123°.



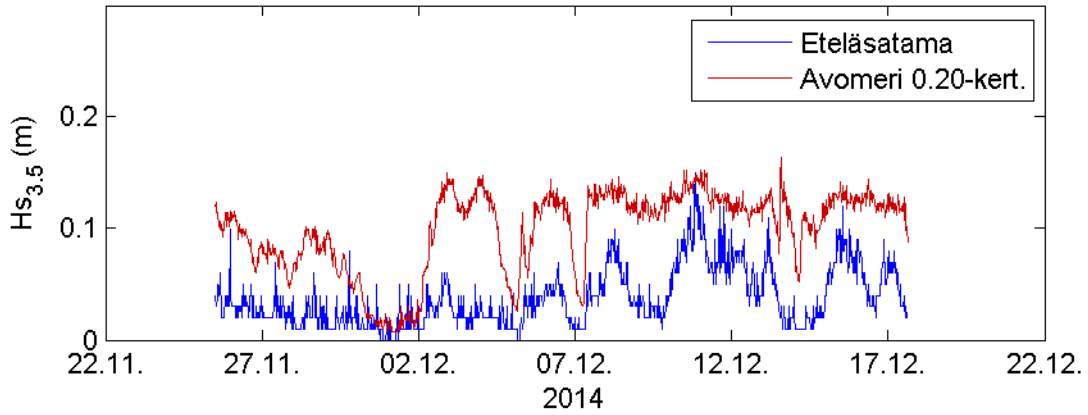
Kuva 75. Merkitsevä aallonkorkeus Eteläsatamassa koko mittausjakson aikana.

Eteläsatama näyttää olevan suhteellisen hyvin suojattu lounaiselta aallokolta (kuva 76, 2.–6.12.). Suurimpien mitattujen aallonkorkeuksien aikana avomerellä oli eteläistä tai itäistä aallokkoa.



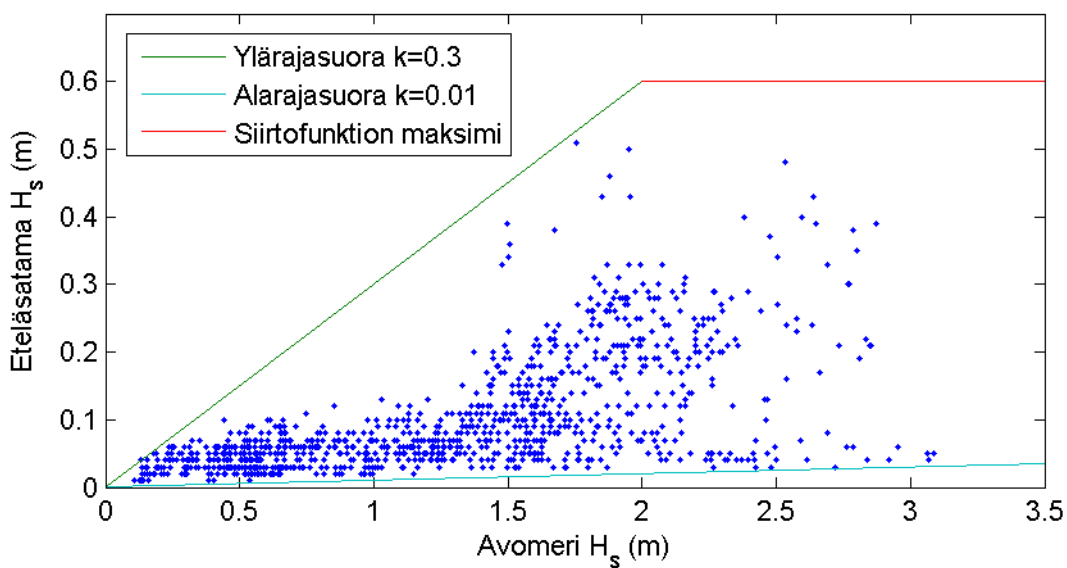
Kuva 76. Merkitsevä aallonkorkeus Eteläsatamassa ja avomerellä Helsingin edustalla.

Vaikka Eteläsatama on hyvin suojattu avomeren aallokolta, voidaan siirtofunktiota kuitenkin käyttää maksimiaallokon arvioimiseen, sillä itäisen ja eteläisen aallokon vallitessa näillä on suurimmaksi osaksi tuuliolosuhteista johtuva yhteys. Siirtofunktiolla saavutettiin suurin arvo 1.4.2012 kello 09:20, jolloin avomerellä aallonkorkeus oli 2.32 m suunnasta 151°. Siirtofunktio tuotti tällöin Eteläsataman merkitseväksi aallonkorkeudeksi 0.60 m.



Kuva 77. Merkitsevä aallonkorkeus periodivälillä 3–4 s on mittausjakson aikana Eteläsatamassa poijulla enintään 0.2-kertainen avomeri aallokkoon verrattuna.

Eteläsataman maksimiaalokkoa voidaan arvioida myös pyyhkäisymatkarelaatioiden perusteella. Koska mittauksissa ei havaittu lainkaan avomeri pitkiä aaltoja, voidaan Eteläsataman aallokko laskea Kruunuvuorenselällä syntyneen aallokon ja paikallisen satamassa syntyneen aallokon yhdistelmänä. Tätä laskentatapaa tukevat myös pisimmät mitatut periodit, jotka ovat poijulla vajaat 2.5 s. Tämän pituisia aaltoja voi pyyhkäisymatkarelaatioiden kehittyä kaakosta Kruunuvuorenselällä.



Kuva 78. Merkitsevä aallonkorkeus Eteläsatamassa ja avomerellä Helsingin edustalla koko mittausjakson aikana. Ylä- ja alarajasuorat vastaavat avomeri aallokon vaimenemista eri vaimenemiskertoimilla k .

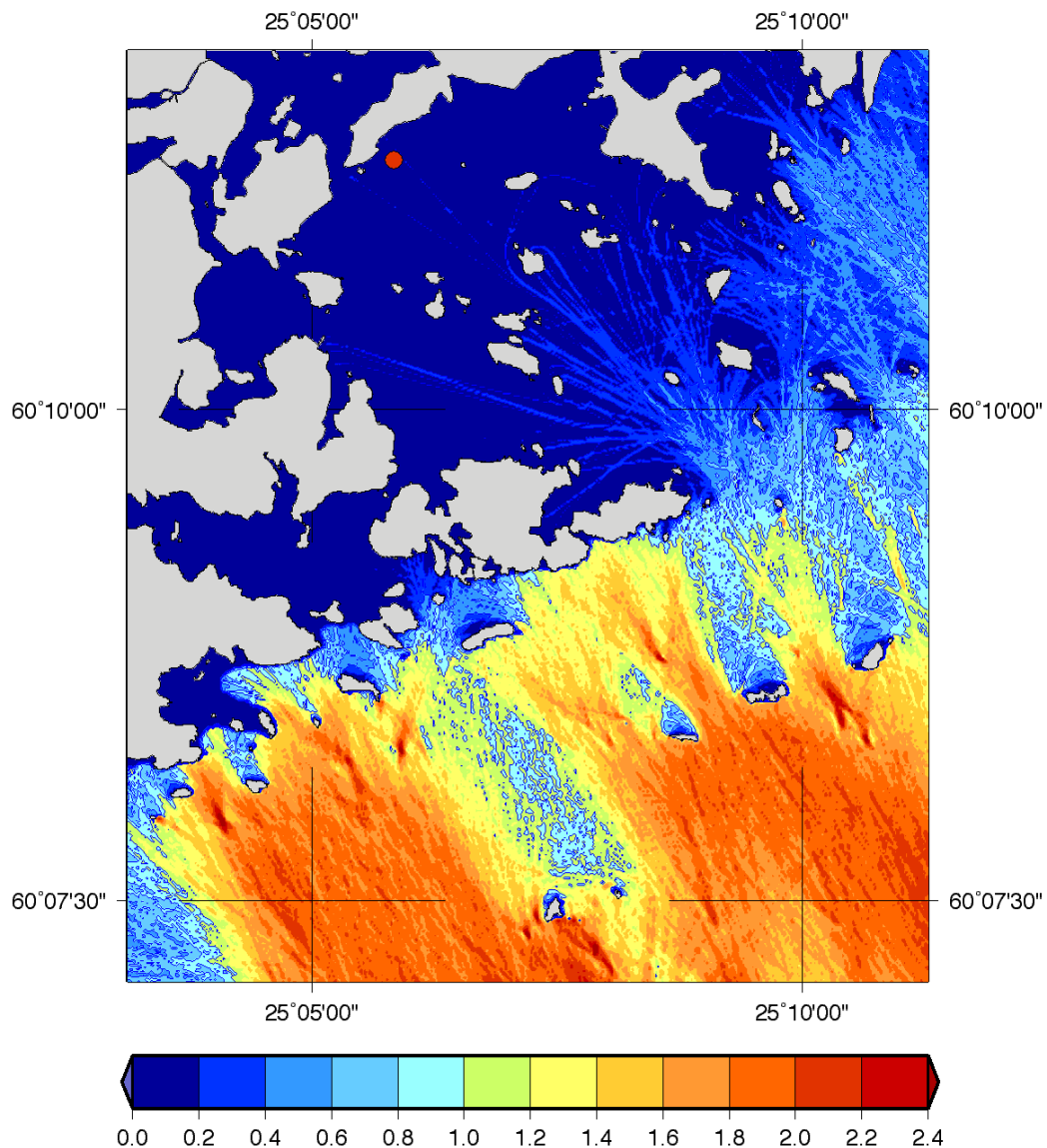
Paikallinen satamassa syntynyt aallokko voi nousta 20 ms^{-1} tuulennopeudella enintään noin 0.23 m suuruiseksi. Kruunuvuorenselällä syntynyt aallokko taas vaimenee saarien vaikutuksesta noin kertoimella 0.6 ennen pääsyä Eteläsatamaan. Koska kovin aallokko Kruunuvuorenselällä syntyy lounaistuulilla, mutta merkitseviä Eteläsataman kannalta ovat kaakkoistuulet, voidaan relevantin aallokon arvioida olevan noin 0.6 m, joka on arvioitua Kruunuvuorenselän maksimia hiukan pienempi. Mikäli otetaan huomioon myös heijastus kertoimella 1.4, saadaan poijun kohdalle lasketuksi maksimiaallokoksi noin 0.6 m, joka sopii yhteen siirtofunktioarvion kanssa.

Eteläsatama	Merkitsevä aallonkorkeus	Periodi ja aallonpituus
Suurin	0.6 m	2–3 s 6–14 m

10 ITÄ-HELSINGIN AALTOMITTAUKSET

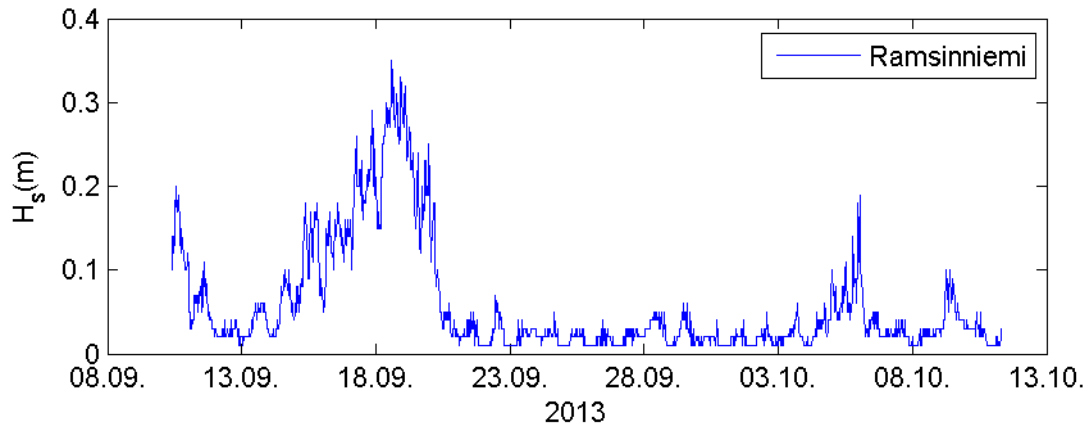
10.1 Ramsinniemi

Ramsinniemen mittaukset tehtiin 10.9.2013 kello 07:46 – 11.10.2013 kello 06:46 välisenä aikana paikassa 60° 11.259' N 25° 05.789' E (kuva 79).



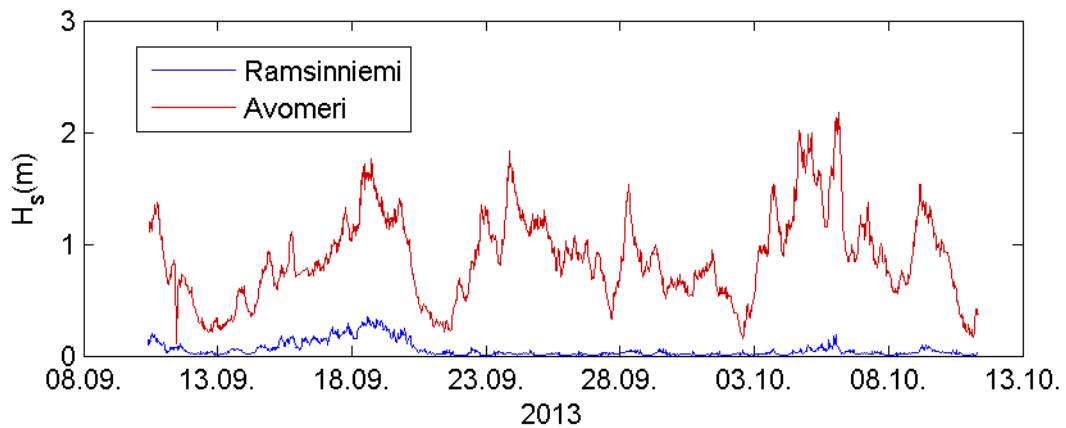
Kuva 79. Avomerén aallokon vaimeneminen Ramsinniemessä. Merkitsevä aallonkorkeus avomerellä 2 m, periodi 5 s, keskisuunta 150 astetta.

Merkitsevä aallonkorkeus Ramsinniemessä saavutti enimmäisarvonsa 18.9.2013 kello 13:50, jolloin poiju mittasi arvon 0.35 m (kuva 80). Avomerellä merkitsevä aallonkorkeus oli tällöin 1.64 m suunnasta 81°.



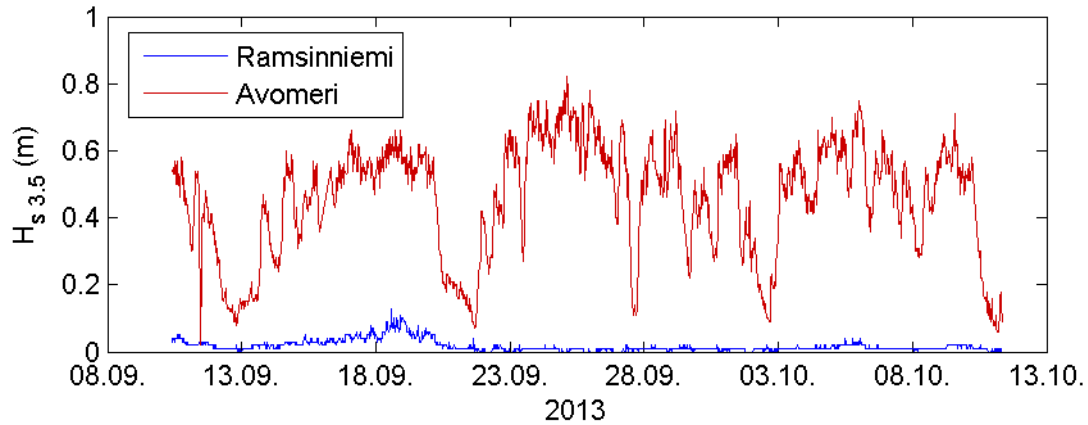
Kuva 80. Ramsinniemen merkitsevä aallonkorkeus koko mittausjakson aikana.

Mittausjakson kovin aaltotilanne avomerellä oli 6.10.2013 kello 03:00, mutta tämä 2.18 metrin lounainen (250°) merkitsevä aallonkorkeus tuotti vain 0.09 m arvon Ramsinniemen poijulla. Kuvasta 81 näkyy, miten avomeren aallokkoa pääsee tunkeutumaan Ramsinniemeen itäisellä aallokolla (16.–20.09.), mutta se on toisaalta käytännössä täysin suojattu avomeren pitkiltä ja korkeilta aalloilta kun aallokko kulkeutuu Helsinkiin lounaasta (3.–8.10.).



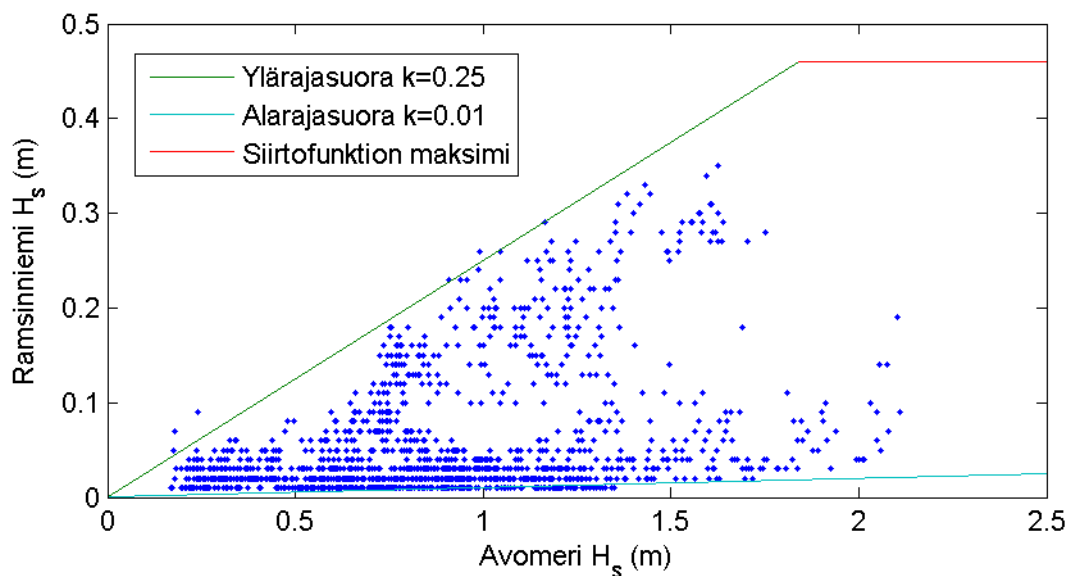
Kuva 81. Merkitsevä aallonkorkeus Ramsinniemessä ja avomerellä Helsingin edustalla.

Valtaosa Ramsinniemen aallokon energiasta sisältyy aaltoihin, joiden periodi on 2–3 s, mutta myös 3–4 sekunnin aallot pääsevät tunkeutumaan Ramsinniemelle kun aallokko tulee idästä (kuva 82).



Kuva 82. Merkitsevä aallonkorkeus 3–4 sekunnin aalloille Ramsinniemessä ja avomerellä Helsingin edustalla.

Kuvasta 83 Kuva 83 näkyy, että Ramsinniemessä on selkeä vaste avomeren aallokkoon, jolloin siirtofunktion käyttö on hyvin perustelua, varsinkin koska vuoden 2012 aineisto sisältää kovaa itäistä aallokkoa.



Kuva 83. Merkitsevä aallonkorkeus Ramsinniemessä ja avomerellä Helsingin edustalla koko mittausjakson aikana. Ylä- ja alarajasuorat vastaavat avomeren aallokon vaimenemista eri vaimenemiskertoimilla k .

Mittausjakson ajalle osuvaan aineistoon käytettynä siirtofunktio tuottaa suurimmaksi merkitseväksi aallonkorkeudeksi 0.40 m. Tätä ei kuitenkaan voida pitää luotettavana arvona, sillä se tulee kääntyvän suunnan tilanteessa, jolloin merkitsevä aallonkorkeus Ramsinniemessä oikeasti oli pientä. Siirtofunktio toimii hyvin ajalle, jolloin Ramsinniemessä mitattiin suurin merkitsevä aallonkorkeus. Tälle ajalle se tuottaa suurimmaksi merkitseväksi aallonkorkeudeksi lukeman 0.36 m. Käyttämällä siirtofunktiota

vuoden 2012 aineistoon saadaan suurimmaksi arvoksi 0.46 m. Tämä tilanne ei yhdy Helsingin poijun mitatun aaltoennätyksen kanssa, mutta ennätyksen lähellä suurin siirtofunktiolla saatu merkitsevä aallonkorkeus on 0.45 m.

Ramsinniemi	Merkitsevä aallonkorkeus	Periodi ja aallonpituus
Suurin	0.5 m	2–3 s 6–14 m

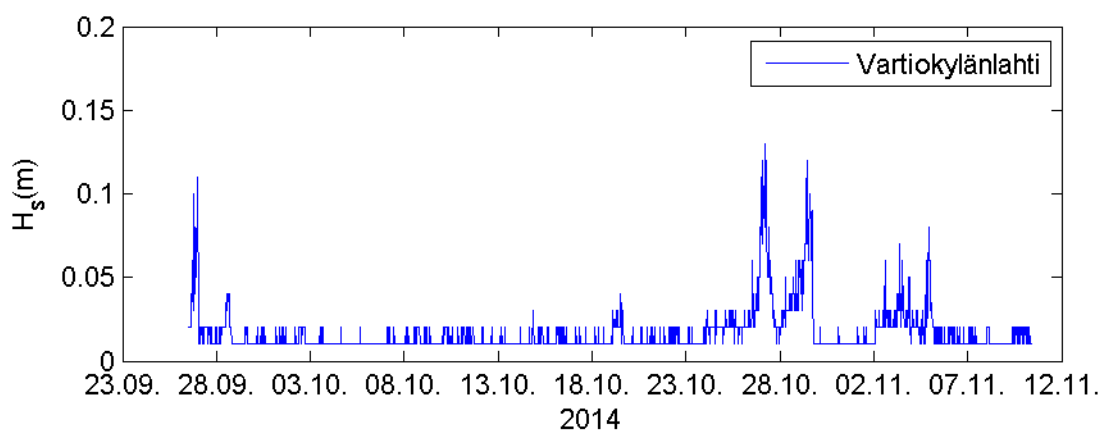
10.2 Vartiokylänlahti

Aaltomittaukset Vartiokylänlahdella tehtiin 26.09.2014 kello 12:30 – 10.11.2014 kello 11:00 välisenä aikana paikassa $60^{\circ} 12.837' N$ $25^{\circ} 07.160' E$ (kuva 84).



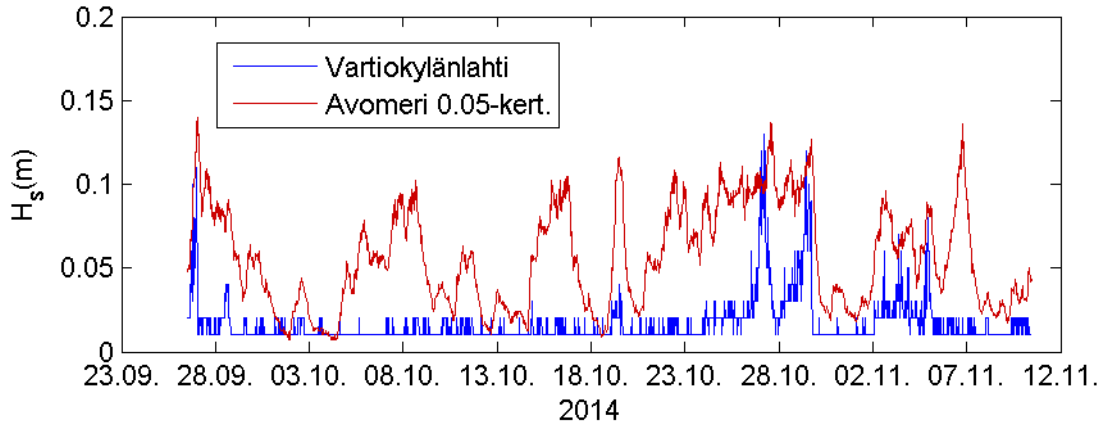
Kuva 84. Mittausasemat ja mittausajat Vartiokylänlahdella. Ylimpänä vedenkorkeusmittarin paikka, alimpana tuulimittarin paikka, sekä keskellä lahtea aaltopoijun paikka.

Vartiokylänlahden suurin mitattu merkitsevä aallonkorkeus oli 0.13 m, joka mitattiin 27.10.2014 klo 05:00 (kuva 85). Merkitsevä aallonkorkeus avomerellä oli tällöin 1.89 m suunnasta 250° .



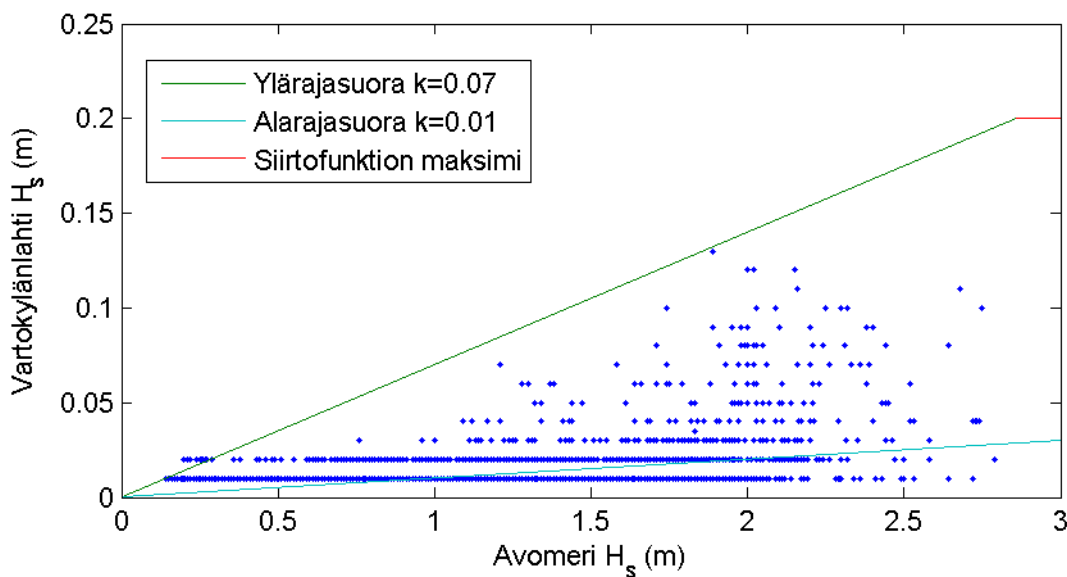
Kuva 85. Merkitsevä aallonkorkeus Vartiokylänlahdella koko mittausjakson aikana.

Vartiokylänlahden aallokko on pelkästään paikallista. Vaikka lahti on pitkä, rajoittaa lahden kapeus kuitenkin tehokkaasti aallokon kasvua. Merkitsevä aallonkorkeus jääkin tyypillisesti pieneksi (kuva 85).



Kuva 86. Merkitsevä aallonkorkeus Vartiokylänlahdella ja avomerellä Helsingin edustalla.

Yhteys avomeren ja Vartiokylänlahden aallokon välillä on pientä. Suurimmat mitatut aallonkorkeudet Vartiokylänlahdella sattuvat yhteen avomeren yli 1.5 metrisen lounaisaallokon kanssa (kuva 86).



Kuva 87. Merkitsevä aallonkorkeus Vartiokylänlahdella ja avomerellä Helsingin edustalla koko mittausjakson aikana. Ylä- ja alarajasuorat vastaavat avomeren aallokon vaimenemista eri vaimenemiskertoimilla k .

Vartiokylänlahteen ei tunkeudu pidempiä aaltoja avomereltä eikä Ramsinniemieltä. Mitattu aallokko on alle 2 s pitkä, mutta kovimmilla tuulilla hallitseva periodi voisi pyyhkäisymatkarelaation perusteella kasvaa noin 2.5 sekuntiin.

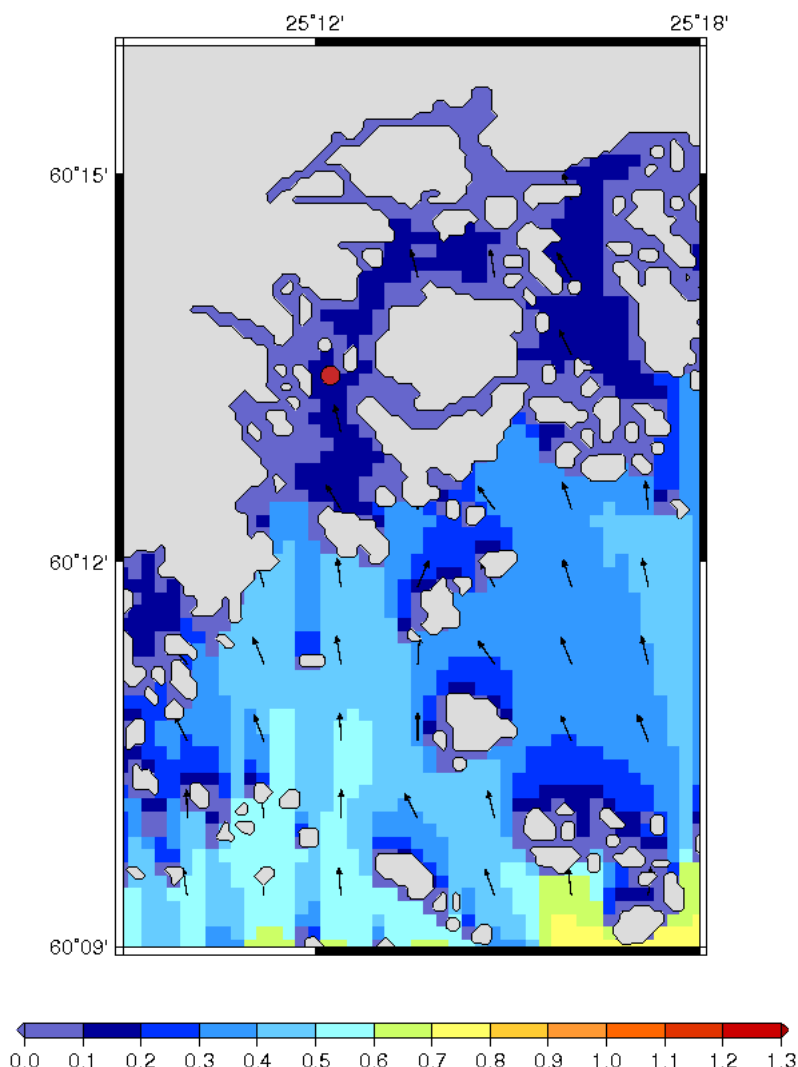
Siirtofunktio toimii tässä tapauksessa tuulitilanteiden siirtofunktiona. Koska tietty yhteys lounaisaallokolla kuitenkin on, voidaan siirtofunktiota käyttää haarukoimaan lounastuulella tulevaa maksimia. Siirtofunktio tuottaa hyvin samankaltaisia tuloksia (0.14 – 0.16 m) riippumatta käytetystä vuodesta. Tämä on hyvin ymmärrettävissä, sillä siirtofunktio on nolla lukuun ottamatta avomeren aaltospektrin korkeataajuisia osaa. Koska aaltospektrin korkeataajuinen osa saturoituu, ja avomeren ennätystilanteiden suurin energia on pitkissä aalloissa, saturoituu myös siirtofunktion avulla vaimennettu avomeren korkeataajuinen osa.

Tuuliaineiston avulla korkeimmaksi mahdolliseksi merkitseväksi aallonkorkeudeksi saadaan noin 0.16 m.

Vartiokylänlahti	Merkitsevä aallonkorkeus	Periodi ja aallonpituus
Suurin	0.2 m	1.7 – 2.5 s 4 – 9 m

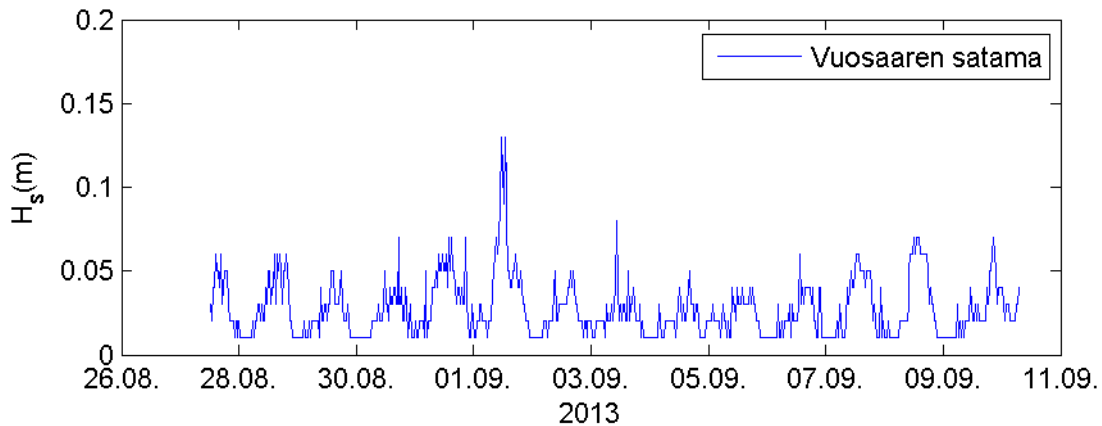
10.3 Vuosaaren satama

Vuosaaren sataman itäpuolen mittaukset tehtiin 27.8.2013 kello 12:40 – 10.9.2013 kello 07:40 välisenä aikana paikassa $60^{\circ} 13.468' N$ $25^{\circ} 12.239' E$ (kuva 88).



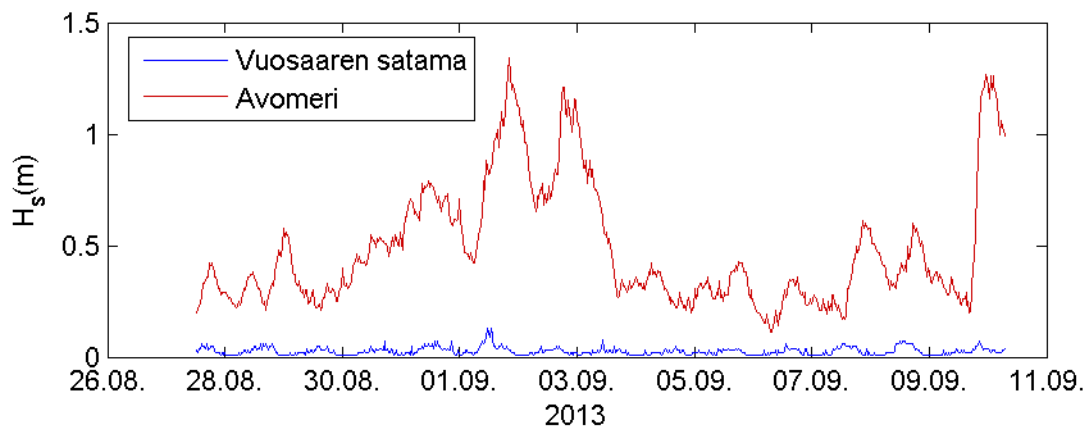
Kuva 88. Avomeren aallokon vaimeneminen Vuosaaren satamassa. WAM-ajo ajalta 4.10.2012 kello 23:30, jolloin Helsingin pojilla mitattiin merkitsevä aallonkorkeus 0.90 m suunnasta 180° , hallitsevan periodin ollessa 4.0 s.

Vuosaaren sataman suurin aallokko mitattiin 1.9.2013 kello 11:10, jolloin merkitsevä aallonkorkeus oli 0.13 m (kuva 89). Samaan aikaan avomerellä mitattiin 0.88 metrin merkitsevä aallonkorkeus suunnasta 178° . Kuten kuvasta 90 näkyy, on vaikea havaita silmämääräisesti mitään varsinaista yhteyttä avomeren aallokon ja Vuosaaren satamassa mitatun aallokon välillä, vaikka mittausajanjaksoon osuu sekä itäistä että läntistä aallokkoa Suomenlahdella.



Kuva 89. Vuosaaren sataman merkitsevä aallonkorkeus koko mittausjakson aikana.

Kuva 91 vahvistaa että avomeren aallokko voi vaihdella suuresti sen vaikuttamatta Vuosaaren satamassa mitattuun aallokkoon. Koska paikallinen aallokko on Vuosaaren satamassa melkein täysin hallitsevaa, sitä ei kannata yrittää kuvata vaimentuneena avomeren aallokkona.

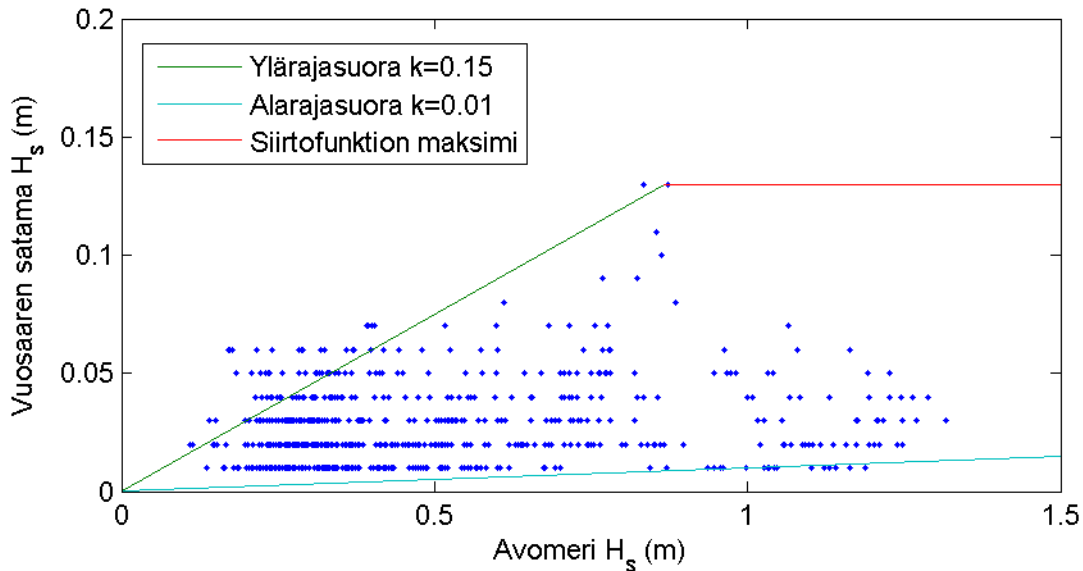


Kuva 90. Merkitsevä aallonkorkeus Vuosaaren satamassa ja avomerellä Helsingin edustalla.

Ainoat kolmea sekuntia pidemmät mitatut aallot Vuosaaren satamassa ovat veneiden aiheuttamia aaltoja. Korkeimpien mitattujen laiva-aaltojen merkitsevä aallonkorkeus oli 0.05 m, mutta ne olivat luonteensa vuoksi lyhytkestoisia. Pisin mitattu laivan aiheuttama aalto oli 5 s, ja sen merkitsevä aallonkorkeus oli 0.02 m.

On huomattava, että aika pitkien aaltojen mittaamiselle ei ollut otollisin, sillä avomeren suurin merkitsevä aallonkorkeus mittausjakson aikana oli melko pieni (1.32 m). 6–8 sekunnin aaltojen merkitsevä aallonkorkeus avomerellä nousi kuitenkin enimmillään 0.64

metriin (suunta 247°), jona aikana Vuosaaren sataman poijun kohdalla ei näkynyt laisinkaan näin pitkiä aaltoja.



Kuva 91. Merkitsevä aallonkorkeus Vuosaaren satamassa ja avomerellä Helsingin edustalla koko mittausjakson aikana. Ylä- ja alarajasuorat vastaavat avomeren aallokon vaimenemista eri vaimenemiskertoimilla k . Vuosaaren sataman aallokon riippuvuus avomeren tilante

Koska Vuosaaren sataman aallokko on melkein pelkästään paikallista, enimmäisaallonkorkeutta ei voida arvioida käyttämällä siirtofunktiota. On käytettävä pyyhkäisymatkaan perustuvia tekniikoita, jotka vaativat jonkun arvion tuulen nopeudesta ja suunnasta. Pisin häiriötön pyyhkäisymatka Vuosaaren satamassa on 0.5 km. Käyttämällä tietoa Vartiokylänlahdelle ja Kruunuvuorenselälle vaimennetuista Kalbådagrundin tuulista voidaan suurimmaksi merkitseväksi aallonkorkeudeksi arvioida olevan noin 0.3 metriä.

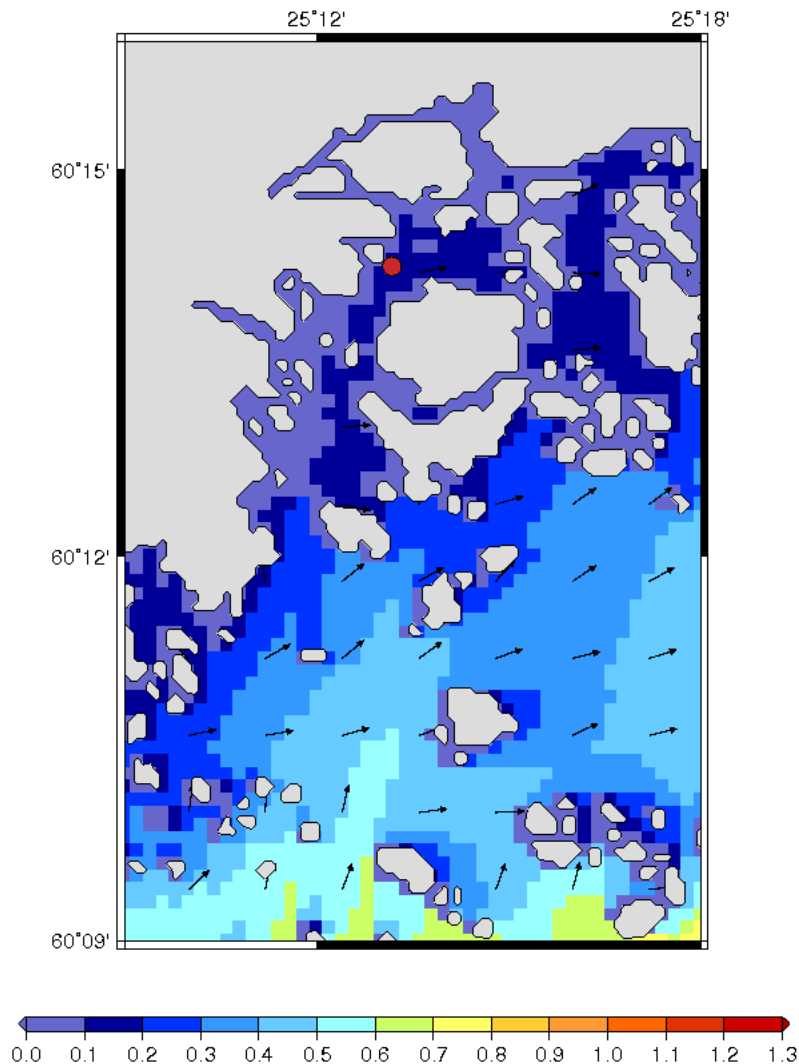
Korkein mitattu aallokko välillä 2–3 sekuntia oli 0.09 metriä, joten sen kontribuutio maksimiaallonkorkeuteen vain sentin luokkaa. Mikäli oletetaan että sama vaimennussuhde Vuosaaren sataman ja avomeren välillä tämän pituisille aalloille pätesi myös kovimmissa tilanteissa, saadaan vuoden 2012 aineiston perusteella maksimi-arvo 0.14 m 2–3 sekunnin aalloille, mikä korottaisi kokonaisuallonkorkeutta 0.03 m. Muut mahdolliset epävarmuudet huomioiden, voidaan maksimiaallonkorkeus määritellä paikallisen tuulen kehittämän aallokon kautta.

Tämän pisteen mittaukset eivät edusta itse Vuosaaren satama-aluetta. On odotettavaa, että satama-alue on altistuneempi varsinkin pitkille aalloille.

Vuosaaren satama	Merkitsevä aallonkorkeus	Periodi ja aallonpituus	
Suurin	0.3 m	1.7 – 3 s	5 – 13 m

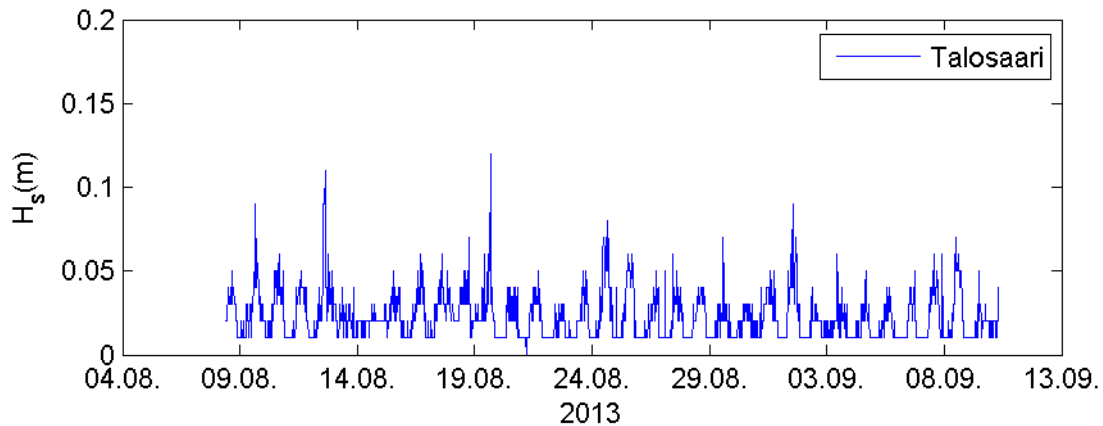
10.4 Talosaari

Talosaaren mittaukset tehtiin 8.8.2013 kello 08:26 – 10.9.2013 kello 05:56 välisenä aikana paikassa $60^{\circ} 14.251' \text{ N } 25^{\circ} 13.184' \text{ E}$ (kuva 92).



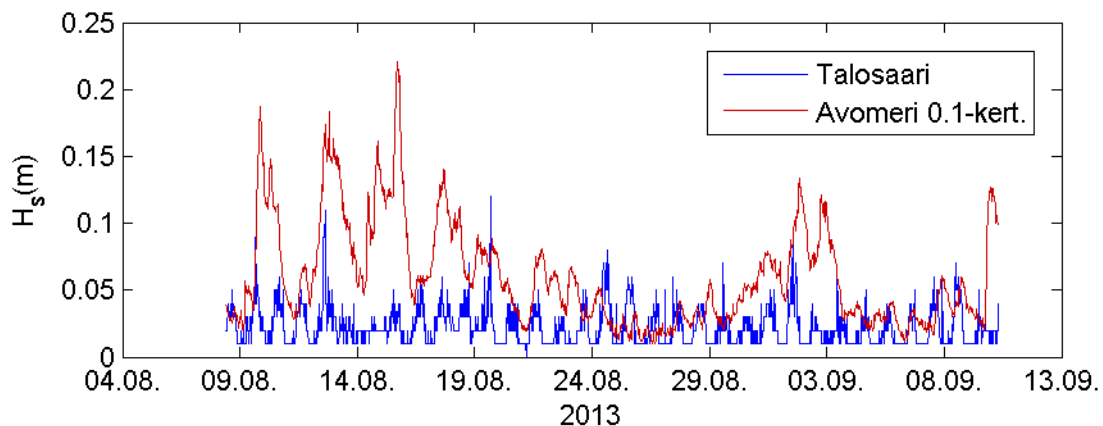
Kuva 92. Avomeren aallokon vaimeneminen Talosaarella. WAM-ajo ajalta 3.9.2012 kello 16:30, jolloin Helsingin pojulla mitattiin merkitsevä aallonkorkeus 1.73 m suunnasta 243° , hallitsevan periodin ollessa 5.7 s .

Suurin merkitsevä aallonkorkeus Talosaarella saavutettiin 12.8.2013 kello 15:00, jolloin poiju mittasi 0.11 m aallokkoa (kuva 93). Avomerellä merkitsevä aallonkorkeus oli tällöin 1.74 m suunnasta 241° , mutta tämä arvo ei käytännössä vaikuta lainkaan sisäsaariston aalto-olosuhteisiin (kuva 94). Suurimman avomerellä mitatun merkitsevän aallonkorkeuden (2.20 m suunnasta 243°) aikana vastaava arvo Talosaarella oli 0.03 m .



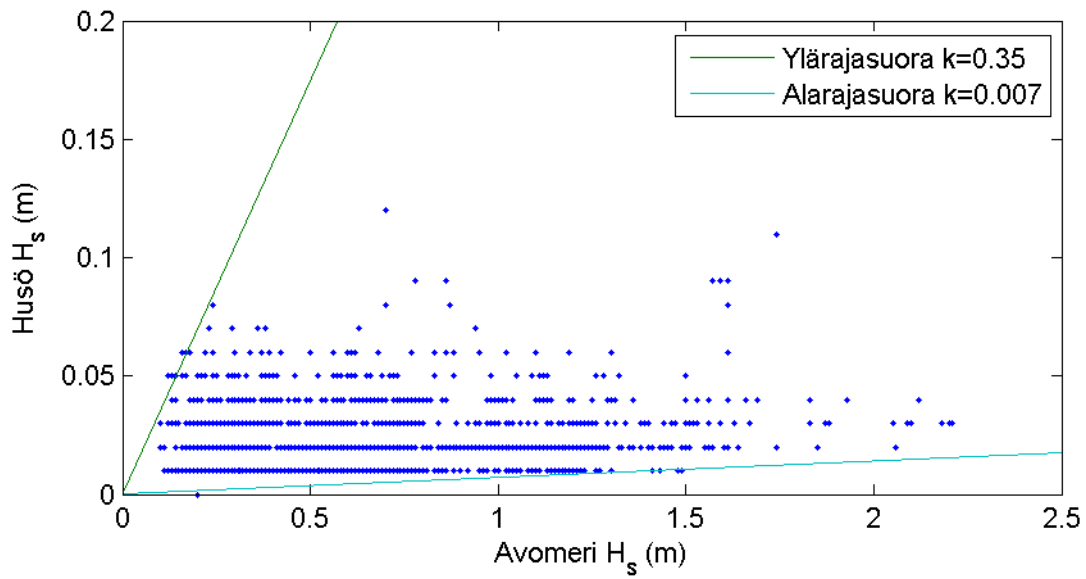
Kuva 93. Talosaaren merkitsevä aallonkorkeus koko mittausjakson aikana.

Kuva 95 havainnollistaa avomeren ja Talosaaren tilanteiden olematonta yhteyttä. Tästä syystä siirtofunktioon perustuvaa menetelmää ei voida käyttää arvioidessa Talosaaren enimmäisaallonkorkeutta, vaan on käytettävä arviota paikallisesta tuulesta sekä tietoa pyyhkäisymatkasta.



Kuva 94. Merkitsevä aallonkorkeus Talosaassa ja avomerellä Helsingin edustalla (0.1-kertaisena).

Pisimmän tehokkaan pyyhkäisymatkan perusteella Talosaaren korkeimmaksi merkitseväksi aallonkorkeudeksi saadaan 0.3 metriä käytettävissä olevien tuulitietojen perusteella. Kahta sekuntia pidempiä avomeren aaltoja Talosaassa ei havaittu lainkaan, vaan aallokko näyttää olevan täysin paikallisen tuulen kasvattamaa.



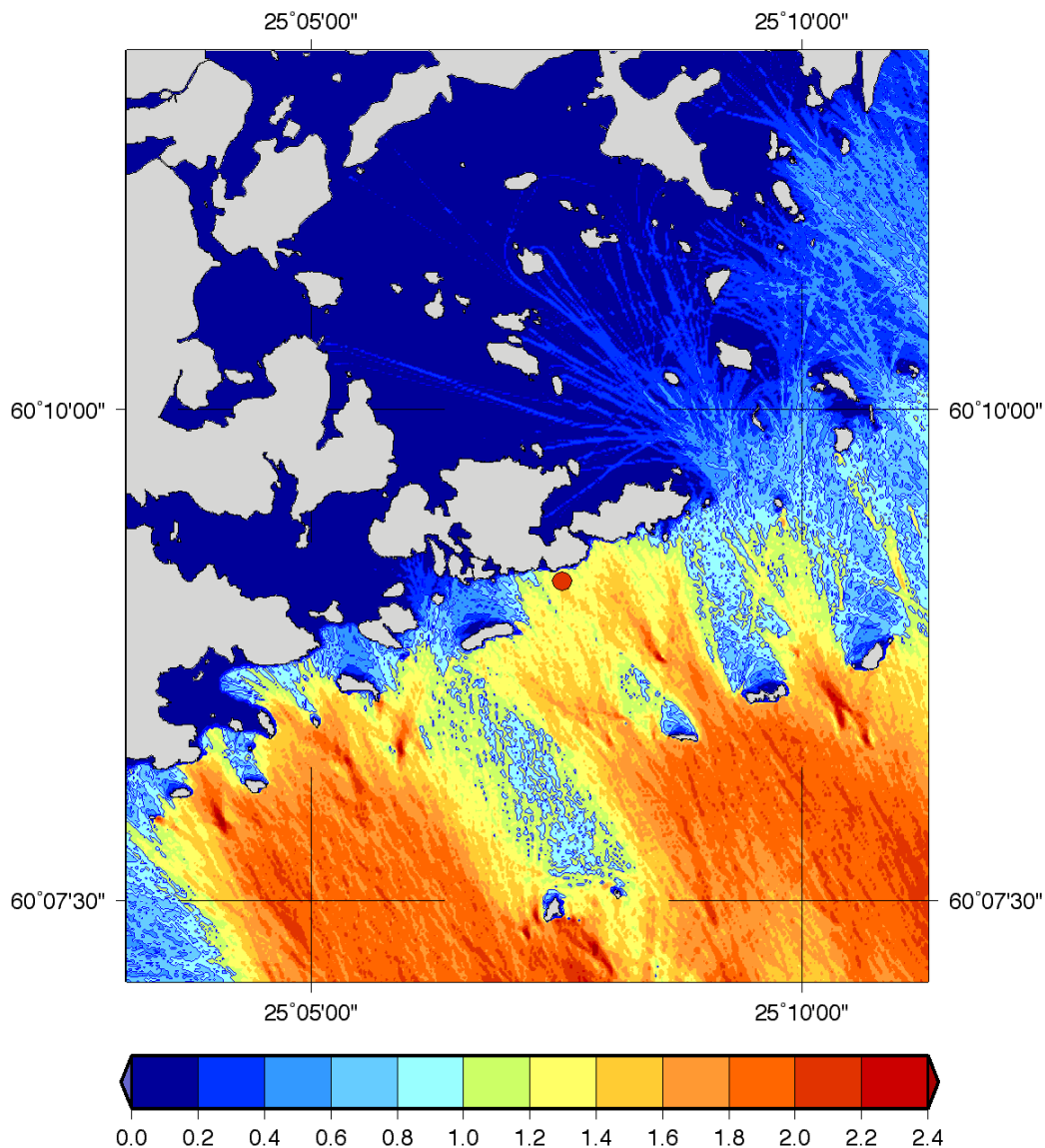
Kuva 95. Merkitsevä aallonkorkeus Talosaaressa ja avomerellä Helsingin edustalla koko mittausjakson aikana. Ylä- ja alarajasuorat vastaavat avomerien aallokon vaimenemista eri vaimenemiskertoimilla k .

Talosaari	Merkitsevä aallonkorkeus	Periodi ja aallonpituus	
Suurin	0.3 m	alle 3 s	alle 6 m

11 ULKOSAARISTON AALTOMITTAUKSET

11.1 Itä-Villinki

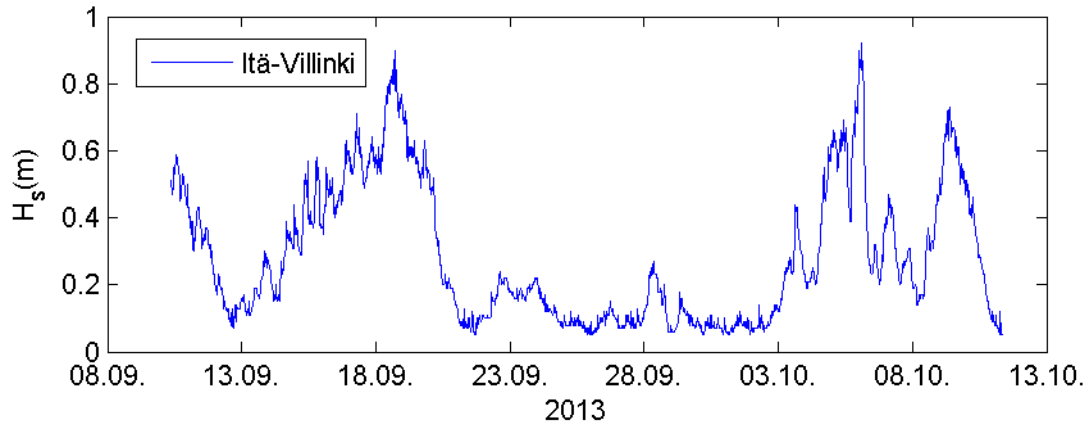
Itä-Villingin mittaukset tehtiin 10.9.2013 kello 09:10 – 11.10.2013 kello 08:40 välisenä aikana paikassa 60° 09.131' N 25° 07.451' E (kuva 96).



Kuva 96. Avomeren aallokon vaimeneminen Itä-Villingillä. Merkitsevä aallonkorkeus avomerellä 2 m, periodi 5 s, keskisunta 150 astetta.

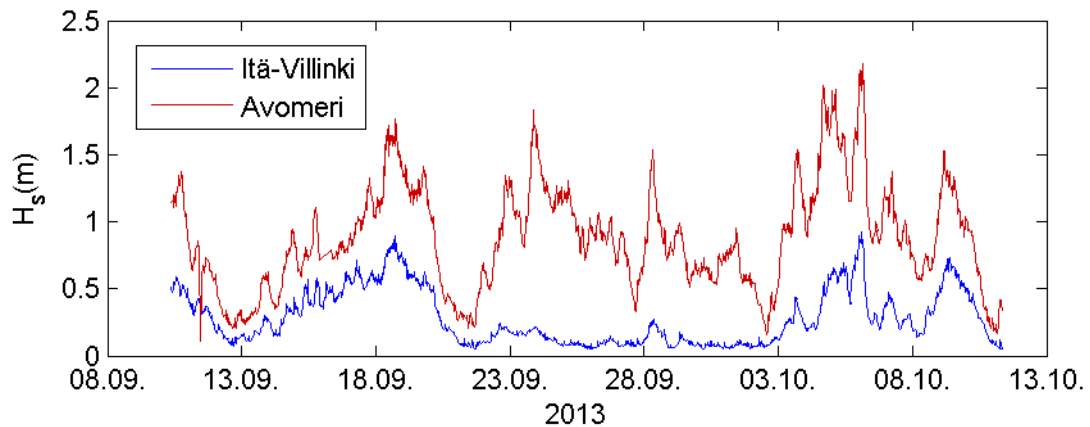
Itä-Villingin mittausjakson suurin merkitsevä aallonkorkeus, 0.92 m, saavutettiin 6.10.2013 kello 02:40 (kuva 97). Tänä aikana Helsingin avomeren poijulla mitattiin 2.08 metrin merkitsevä aallonkorkeus suunnasta 246°, hallitsevan periodin ollessa 5.9 s. Itä-Villingillä

hallitseva periodi oli vain hiukan pienempi, 5.5 s. Kovin aaltotilanne avomerellä mitattiin vain puoli tuntia myöhemmin jolloin merkitsevä aallonkorkeus oli 2.18 m, ja vastaava arvo Itä-Villingissä 0.82 m.



Kuva 97. Merkitsevä aallonkorkeus Itä-Villingillä koko mittausjakson aikana.

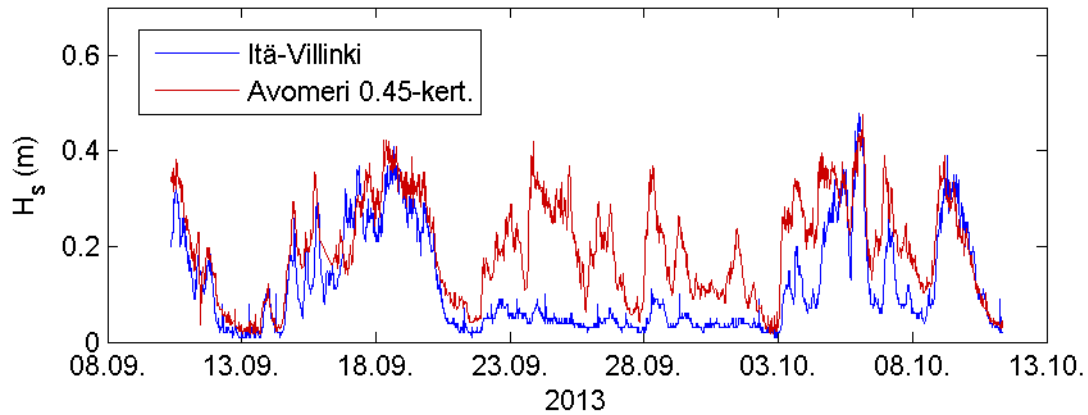
Lähes yhtä kovaa aallokkoa Itä-Villingillä mitattiin 18.9.2013 kello 17:00, jolloin merkitsevä aallonkorkeus oli 0.90 m (kuva 97). Avomerellä aallonkorkeus oli tällöin vain 1.57 m suunnasta 94°, mikä antaa viitteitä siitä, että suurimmat arvot Itä-Villingissä saatetaan saavuttaa itäisellä aallokolla.



Kuva 98. Merkitsevä aallonkorkeus Itä-Villingissä ja avomerellä Helsingin edustalla.

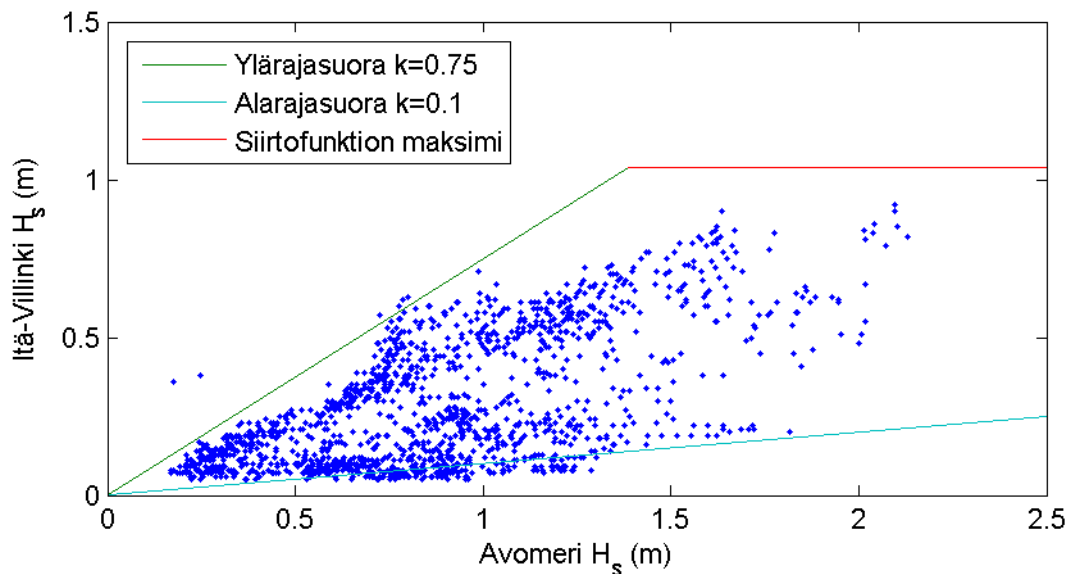
Kuten kuvista 98 ja 99 huomataan, Itä-Villingin aaltotilanteita ei voida kuvata vaimennuskertoimella Helsingin poijulta. Varsinkin mittaus 22.–28.9. pitää sisällään pohjoista aallokkoa, sekä vaihtuvia tilanteita (kuva 99). Näissä tilanteissa avomeren aallokko kuvaa Itä-Villingin aaltokenttää hyvin huonosti. Itä-Villingin aallokko reagoi

kuitenkin avomerellä tapahtuviin muutoksiin merkittävässä osassa tapauksissa (kuvat 98 – 100).



Kuva 99. Merkitsevä aallonkorkeus periodivälillä 4–5 s on mittausjakson aikana Itä-Villingin poijulla enintään 0.45-kertainen.

Käyttämällä siirtofunktiota vuoden koko vuoden 2013 avomeren mittausaineistoon, saadaan merkitsevän aallonkorkeuden korkeimmaksi arvoksi Itä-Villingillä 1.04 m. Vuoden 2012 avomeren aineiston perusteella – joka sisältää kovempia aaltotilanteita – suurimmaksi arvoksi saadaan 1.24 m. Tämä arvo saavutettiin itäisellä aallokolla 30.11.2012 kello 09:00, kolme ja puoli tuntia Helsingin poijulla mitatun ennätyslukeman jälkeen.



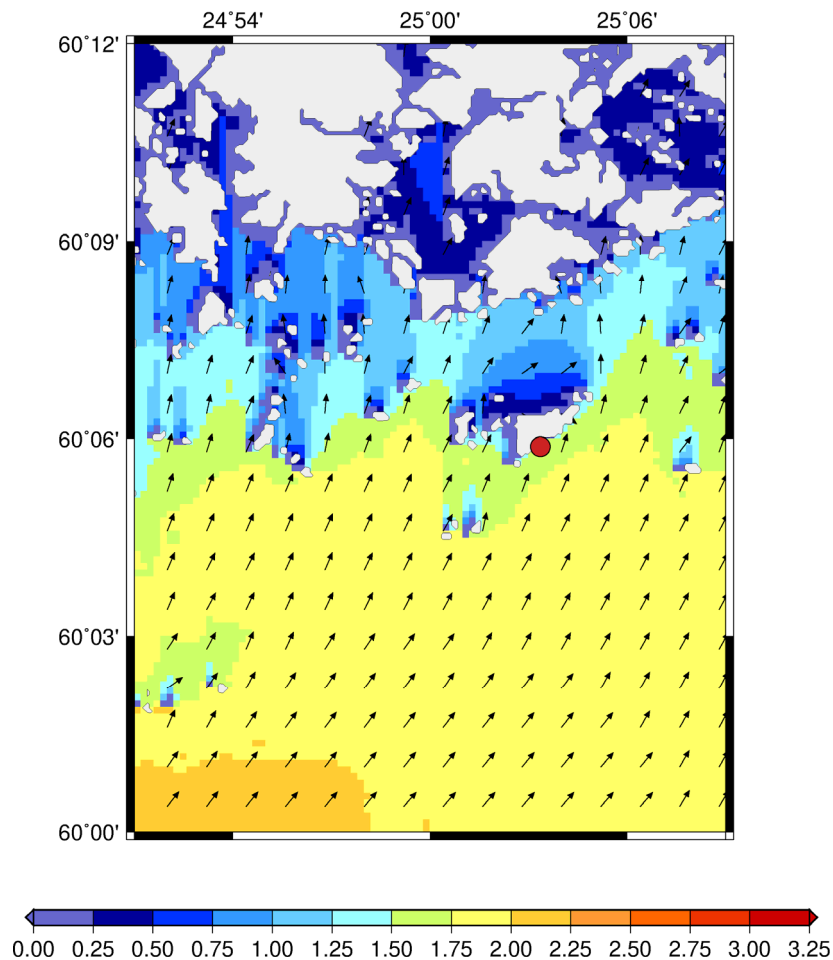
Kuva 100. Merkitsevä aallonkorkeus Itä-Villingillä ja avomerellä Helsingin edustalla koko mittausjakson aikana. Ylä- ja alarajasuorat vastaavat avomeren aallokon vaimenemista eri vaimenemiskertoimilla k .

Pääosa Itä-Villingin aallokon energiasta tulee alle 7 s pituisista aalloista. Pidempiäkin aaltoja esiintyy, sillä paikka on suhteellisen suojaton, mutta 7 sekuntia pidemmät aallot eivät ole merkitseviä kokonaisaallonkorkeuden määrittelemisen kannalta.

Itä-Villinki	Merkitsevä aallonkorkeus	Periodi ja aallonpituus
Suurin	1.3 m	2–7 s 6–50 m

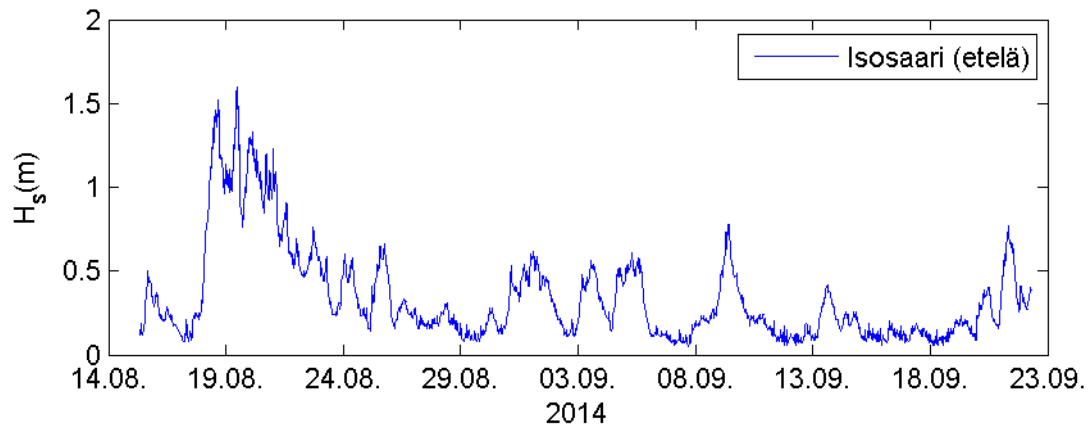
11.2 Isosaaren eteläpuoli

Mittaukset Isosaaren eteläpuolella tehtiin 15.08.2014 kello 08:21 – 22.09.2014 kello 07:21 välisenä aikana paikassa 60° 05.880' N 25° 03.384' E (kuva 101).



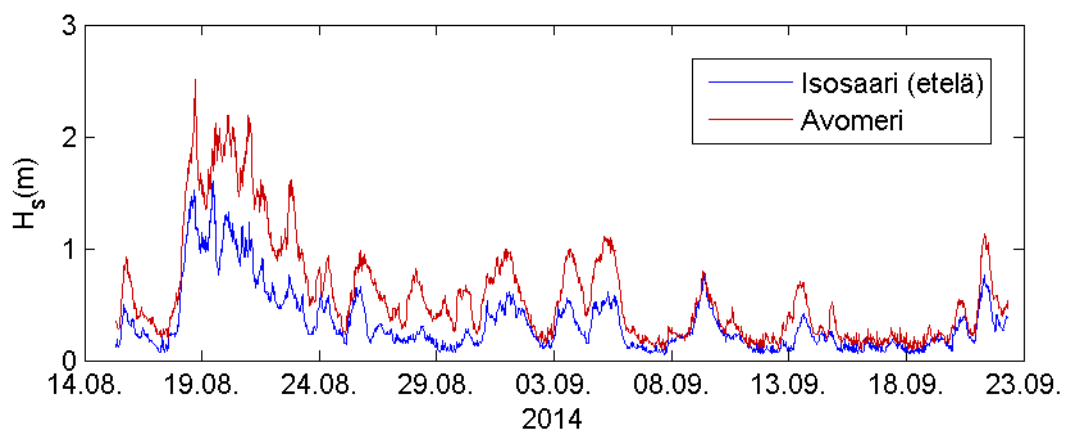
Kuva 101. Avomeren aallokon kulkeutuminen Isosaareen. WAM-ajo ajalta 16.10.2012 kello 08:30, jolloin avomerellä mitattiin 1.51 m merkitsevä aallonkorkeus suunnasta 185°, hallitsevan periodin ollessa 4.7 s.

Isosaaren eteläpuolella mitattiin suurimmillaan 1.6 m merkitsevä aallonkorkeus. Tämä arvo mitattiin 19.8.2014 kello 11:21 (kuva 102), jolloin merkitsevä aallonkorkeus avomeren poijulla oli 1.69 m suunnasta 191°. Hallitseva periodi Isosaaren eteläpuolella oli 5.5 s kun se oli avomerellä 5.3 s.



Kuva 102. Merkitsevä aallonkorkeus Isosaaren eteläpuolella koko mittausjakson aikana.

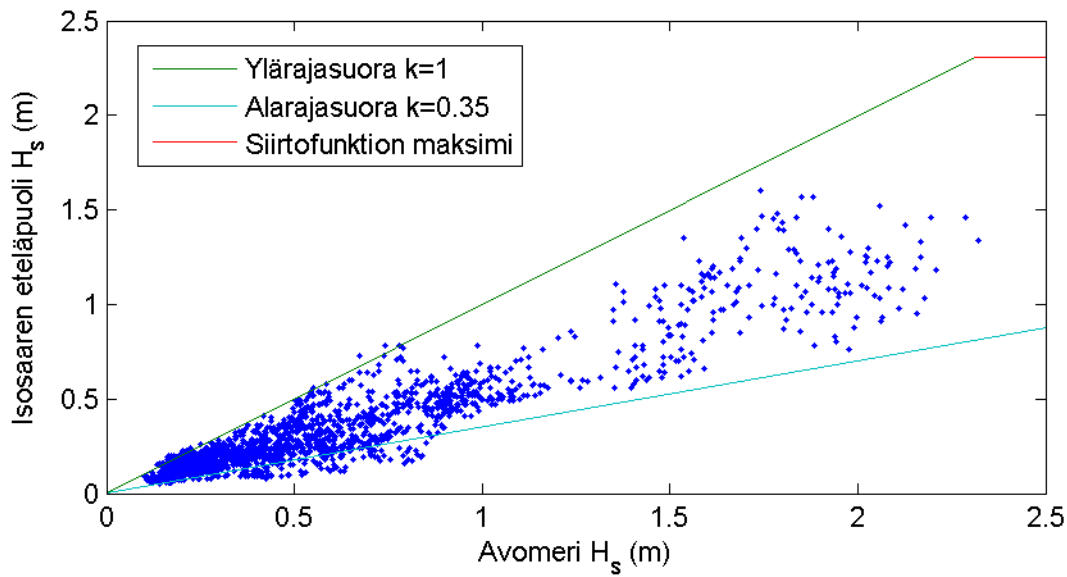
Isosaaren eteläpuolen aallokko seuraa hyvin vahvasti avomeren aallokko-olosuhteita (kuva 103). Aallokko voi Isosaaren eteläpuolella kasvaa korkeaksi sekä lounais-, että itätuulilla ja aaltospektrin muoto voi olla jopa lähes identtinen kun avomerellä esiintyy itäistä aallokkoa. Isosaaren eteläpuolella mitattiin myös pitkiä 8–10 s aaltoja useasti, ja niiden merkitsevä aallonkorkeus saattoi kasvaa yli 20 cm.



Kuva 103. Merkitsevä aallonkorkeus Isosaaren eteläpuolella ja avomerellä Helsingin edustalla.

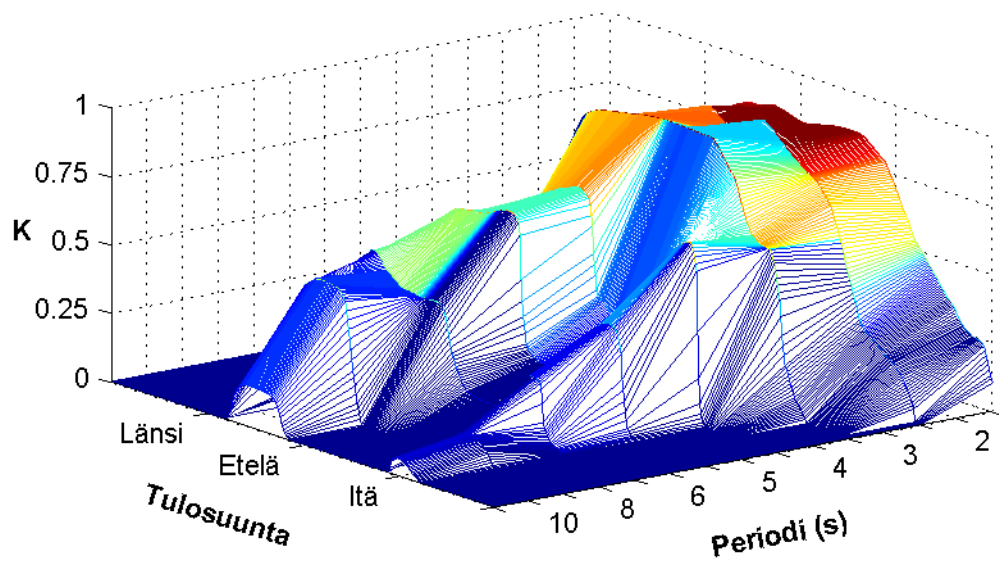
Siirtofunktion avulla laskettu maksimiaallonkorkeus vuoden 2014 aineistosta tuottaa enimmillään 1.63 m merkitsevän aallonkorkeuden Isosaaren eteläpuolelle. Tällöin merkitsevä aallonkorkeus avomerellä oli 2.51 m suunnasta 241°. Vuoden 2001 aineisto tuottaa suurimmaksi arvoksi 2.31 m, joka osuu yhteen sen vuoden aaltoennätyksen

kanssa.



Kuva 104. Merkitsevä aallonkorkeus Isosaaren eteläpuolella ja avomerellä Helsingin edustalla koko mittausjakson aikana. Ylä- ja alarajasuorat vastaavat avomerén aallokon vaimenemista eri vaimenemiskertoimilla k .

Vuoden 2012 itäinen aaltoennätys ei siirtofunktiota käyttämällä tuottanut merkittävän korkeaa aallokkoa Isosaaren eteläpuolelle. Tämä johtuu varmasti osaksi siitä syystä, että mittausajanjaksolla oli vain vähän itäistä aallokkoa, jolloin siirtofunktion luotettava määrittäminen on vaikeaa. Ei kuitenkaan ole mitään syytä olettaa, että Isosaaren eteläosa olisi mitenkään suojattu itäiseltä aallokolta.

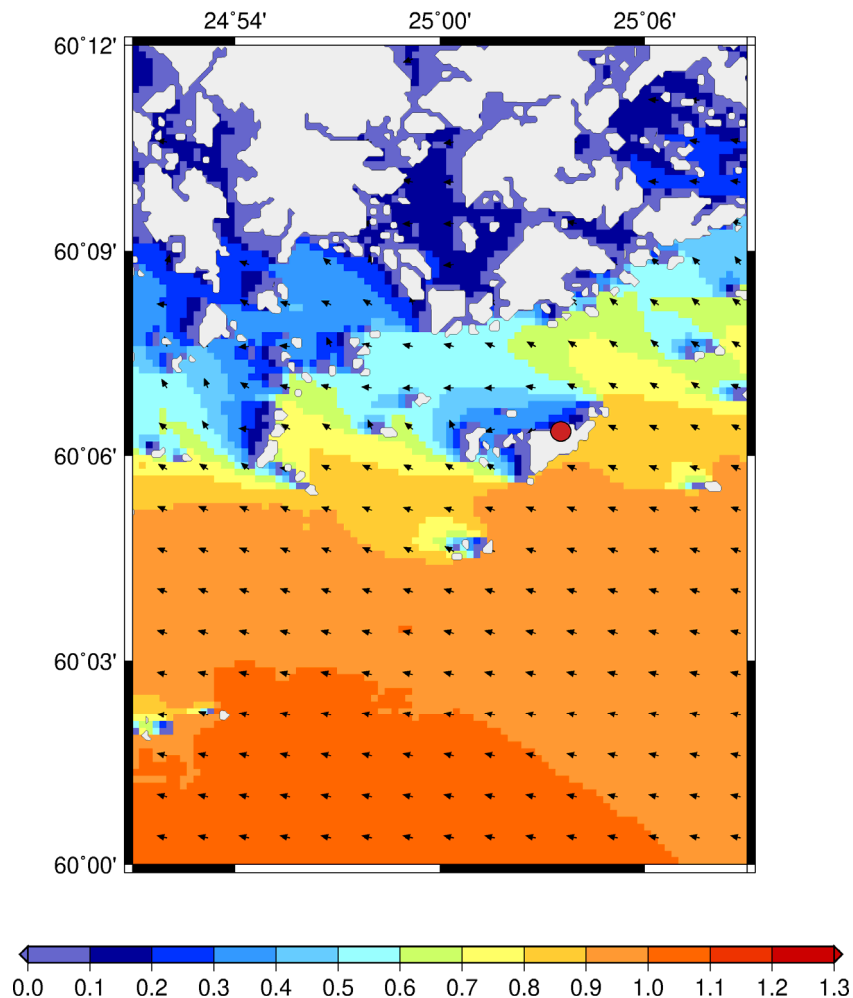


Kuva 105. Likimääräinen siirtofunktion amplitudivaste Isosaaren eteläpuolella kun lähtöaallokko on mitattu Helsingin edustalla.

Isosaaren eteläpuoli	Merkitsevä aallonkorkeus	Periodi ja aallonpituus	
Suurin	2.3 m	2–10 s	6–110 m

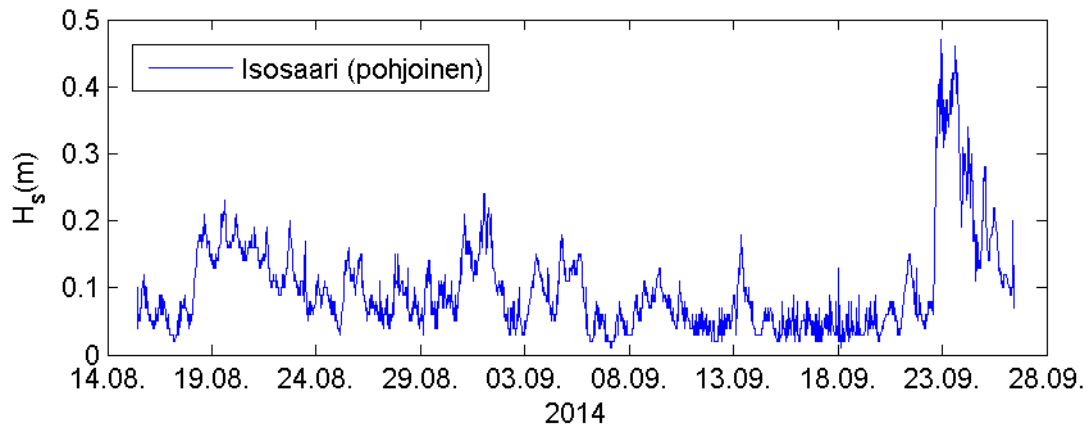
11.3 Isosaaren pohjoispuoli

Mittaukset Isosaaren eteläpuolella tehtiin 15.08.2014 kello 10:26 – 26.09.2014 kello 09:56 välisenä aikana paikassa 60° 06.360' N 25° 03.570' E (kuva 106).



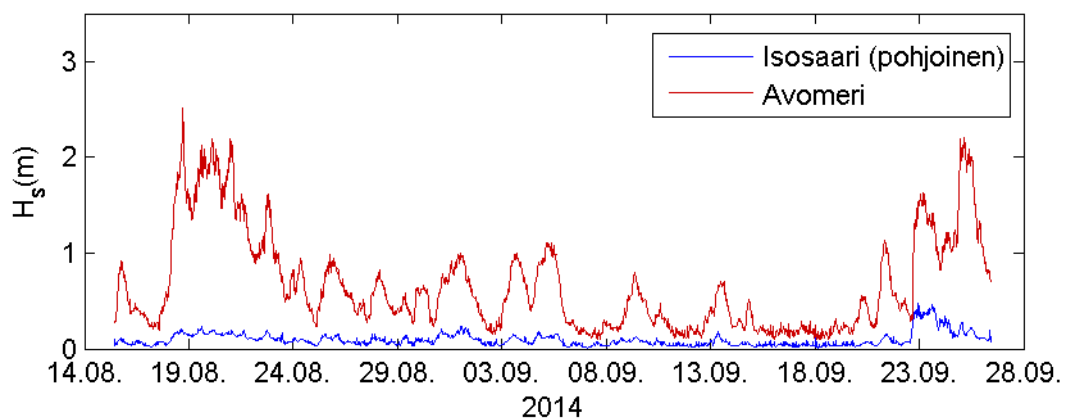
Kuva 106. Aaltomallilla simuloitu aaltokenttä Isosaaren ympärillä. WAM-ajo ajalta 14.10.2012 kello 19:00, jolloin avomerellä mitattiin 1.55 m merkitsevä aallonkorkeus suunnasta 109°, hallitsevan periodin ollessa 5.2 s.

Isosaaren pohjoispuolella mitattiin suurimmillaan 0.47 m merkitsevä aallonkorkeus. Tämä arvo mitattiin 22.9.2014 kello 22:56 (kuva 107), jolloin merkitsevä aallonkorkeus avomeren poijulla oli 1.54 m suunnasta 52°.



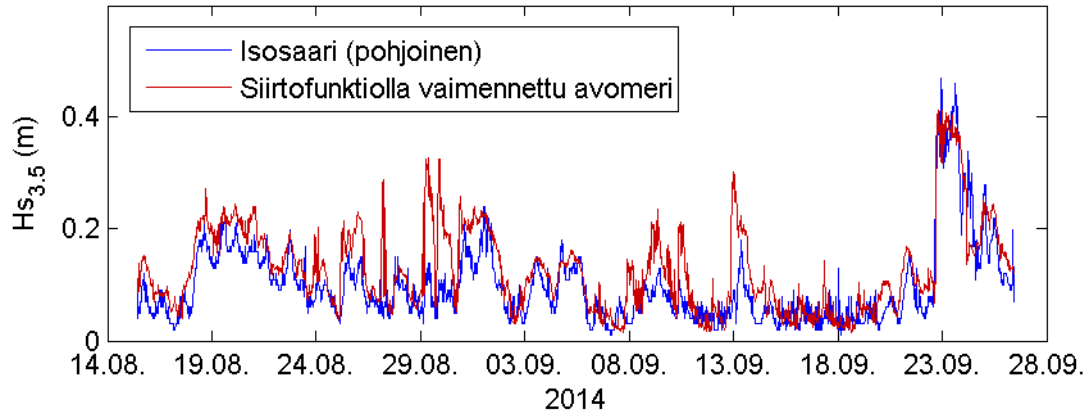
Kuva 107. Merkitsevä aallonkorkeus Isosaaren pohjoispuolella koko mittausjakson aikana.

Isosaaren pohjoispuoli on melko hyvin suojattu avomeren aallokolta (kuva 108). Pitkiä 6–8 sekunnin aaltoja pääsee kuitenkin avomereltä sekä itäisellä että lounaisella aallokolla. Näiden pitkien aaltojen suurin mitattu merkitsevä aallonkorkeus oli 0.16 m.



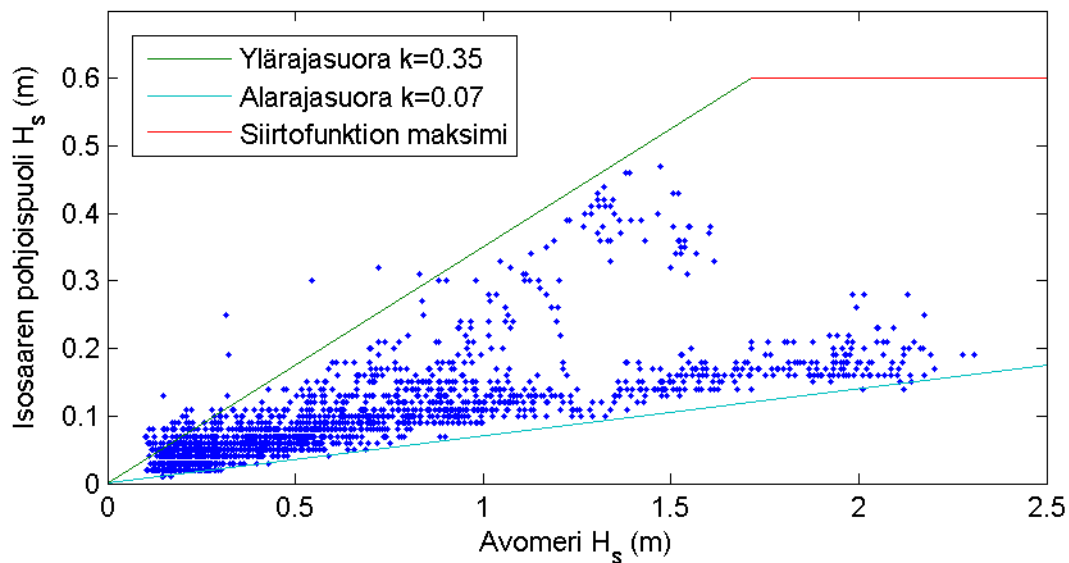
Kuva 108. Merkitsevä aallonkorkeus Isosaaren pohjoispuolella ja avomerellä Helsingin edustalla.

Mitattu maksimiarvo sattui kääntyvän aallokon tilanteeseen, jotka ovat siirtofunktiolla hankalia mallintaa täsmällisesti. Siirtofunktion käyttö on kuitenkin perusteltua, sillä kuvasta 109 näkee kuinka sillä pystytään kuitenkin melko hyvin kuvaamaan stabiilimpia tilanteita.



Kuva 109. Isosaaren pohjoispuoli ja siirtofunktiolla vaimennettu Helsingin poiju.

Siirtofunktiolla saatiin suurimmaksi merkitseväksi aallonkorkeudeksi 0.41 m vuoden 2014 aineistolla. Vuoden 2001 aineistoa käyttämällä suurimmaksi arvoksi saatiin 0.48 m, jolloin avomerellä mitattiin 1.94 m merkitsevä aallonkorkeus suunnasta 25°. Nämä tiedot osuvat melko hyvin yhteen suurimman mitatun aallonkorkeuden olosuhteiden kanssa.



Kuva 110. Merkitsevä aallonkorkeus Isosaaren pohjoispuolella ja avomerellä Helsingin edustalla koko mittausjakson aikana. Ylä- ja alarajasuorat vastaavat avomeren aallokon vaimenemista eri vaimenemiskertoimilla k .

Pyyhkäisymatka mittauspaikalle on pisimmillään koillistuulilla. Suurimman mitatun tilanteen aikana tuulennopeus Harmajalla oli 11.9 ms^{-1} ja Kruunuvuorenselällä 10.4 ms^{-1} . Tuulen suunta oli noin 15° . Tuulennopeus 10 ms^{-1} antaisi 5 km pyyhkäisymatkalla merkitseväksi

aallonkorkeudeksi 0.40 m. Tämä on hyvin sopusoinnussa mittausten kanssa, sillä yli 3 s aaltojen mitattu merkitsevä aallonkorkeus oli tuolloin 0.42 m.

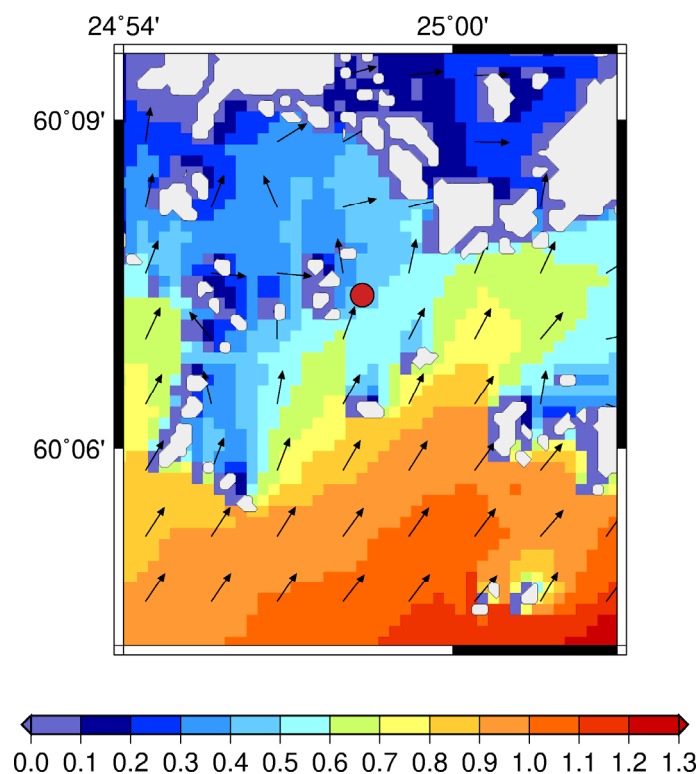
Näyttää siltä, että aallokko voisi nousta korkeammaksi kuin mitä siirtofunktioanalyysi tuottaa. Kovimmat pohjois- ja koillistuulet Kruunuvuorenselällä ovat noin 15 ms^{-1} , mutta Kalbådagrundin vaimennetut tuulet tuottavat jopa suurempiakin arvoja, mikä mahdollistaisi Isosaaren pohjoispuolelle jopa 0.80 m merkitsevän aallonkorkeuden. Vaikka tuulen suunta ei välttämättä ole ulkosaaristossa sama kuin avomerellä, näitä kovimpia tilanteita ei käytettävissä olevan aineiston perusteella voida sulkea pois.

Isosaaren pohjoispuoli	Merkitsevä aallonkorkeus	Periodi ja aallonpituus
Suurin	0.8 m	2–8 s 6–53 m

12 VUODEN 2017 JA 2018 LISÄMITTAUKSET

12.1 Suomenlinna

Huhtikuussa 2016 Suomenlinnan edustalle ankkuroitiin uusi pysyvä aaltopoiju paikkaan 60° 07.400' N 24° 58.350' E (kuva 111), joka on hyvin lähellä sitä pistettä, missä suoritettiin vuonna 2013 Länsikarin mittaukset. Poiju on mitannut aallokkoa joka vuosi, joskin se on poistettu jääkaudeksi. Vuosina 2017 ja 2018 tehdyt lyhyet mittausaikaasarjat pystyttiin siten vertaamaan myös näihin uusiin saaristomittauksiin.

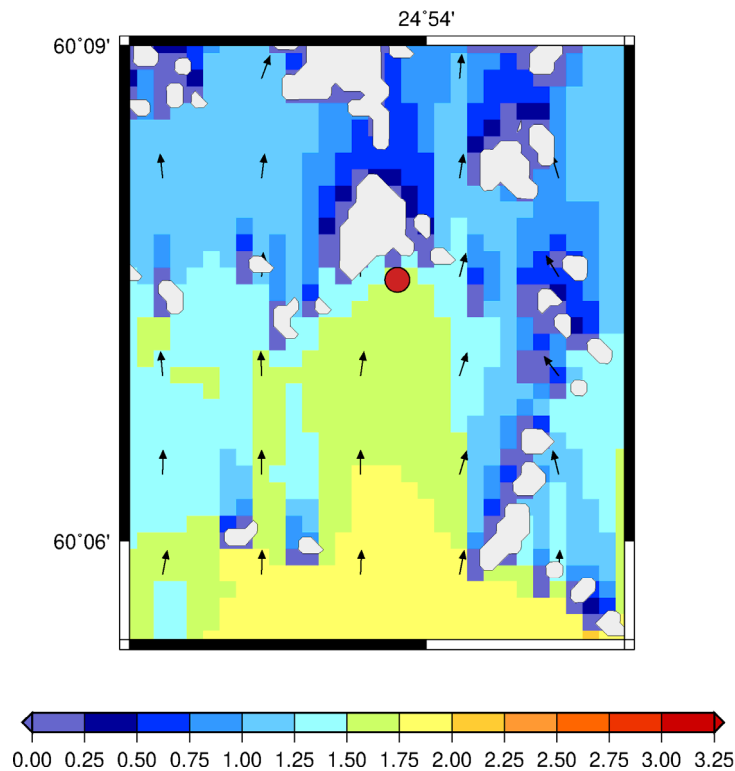


Kuva 111. Avomeren aallokon vaimeneminen Suomenlinnan edustalla. WAM-ajo ajalta 03.09.2012 kello 16:30, jolloin Helsingin poijualla mitattiin merkitsevä aallonkorkeus 1.73 m suunnasta 243°, hallitsevan periodin ollessa 5.6 s.

Suomenlinnan poijun mittaukset on dokumentoitu projektin vuosiraporteissa (esim. Björkqvist ja Johansson, 2017), eikä niitä siksi eritellä tarkemmin. Mittaukset jatkuvat edelleen.

12.2 Melkki

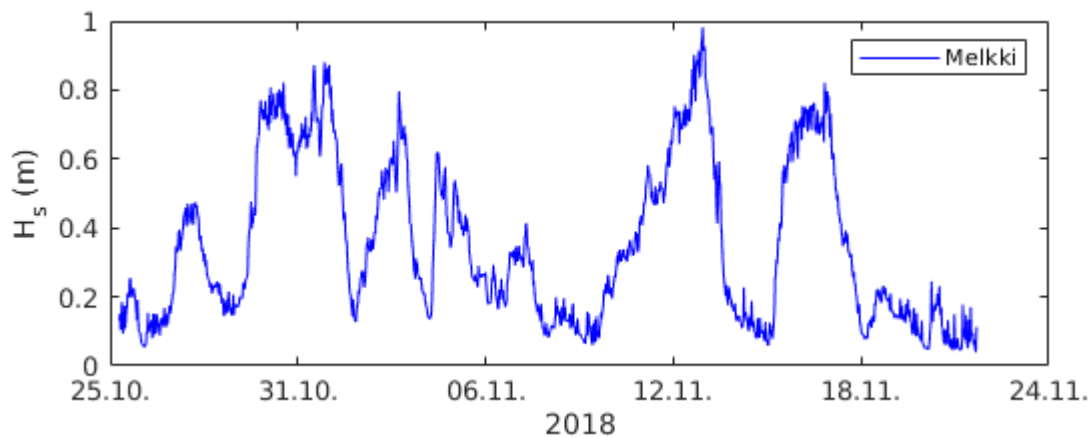
Melkin mittaukset tehtiin 25.10.2018 kello 08:31 – 21.11.2018 kello 18:31 välisenä aikana paikassa 60° 07.580' N 24° 53.645' E (kuva 112).



Kuva 112. Avomerén aallokon vaimeneminen Melkin edustalla. WAM-ajo ajalta 30.10.2012 kello 00:30, jolloin Helsingin pojulla mitattiin merkitsevä aallonkorkeus 1.98 m suunnasta 195°, hallitsevan periodin ollessa 5.2 s.

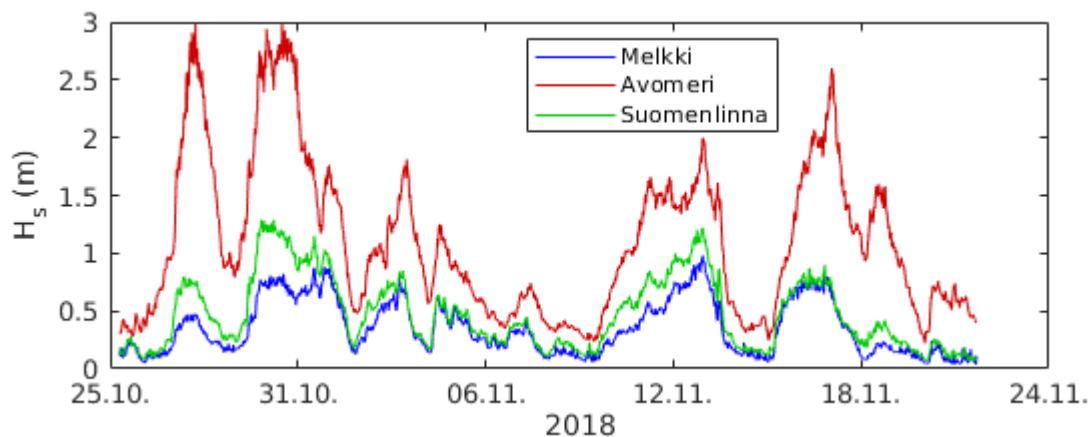
Suurin merkitsevä aallonkorkeus (0.98 m) saavutettiin 13.11. klo 00:31 (kuva 113). Avomerellä merkitsevä aallonkorkeus oli tuolloin 2.00 m suunnasta 195°. Suomenlinnan edustalla merkitsevä aallonkorkeus oli tuolloin 1.22 m suunnasta 185°.

Melkin edustan aallokko on huomattavasti pienempää kuin avomerén aallokko (kuva 114), mutta seurasi melko hyvin Suomenlinnan edustan aallokkoa, ollen koko ajan vähintään hieman pienempää.



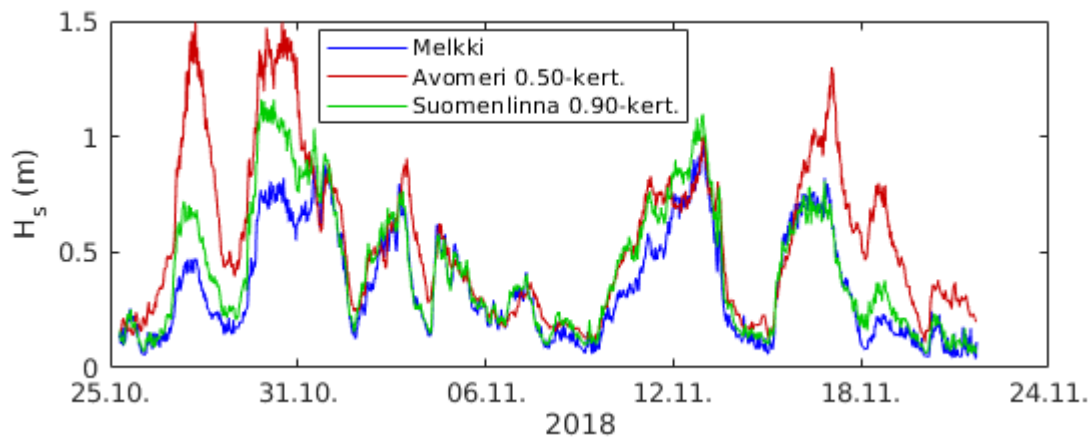
Kuva 113. Merkitsevä aallonkorkeus Melkin poijulla koko mittausjakson ajan.

Melkki on huomattavasti Suomenlinnan edustaa suojaisempi aallokon tullessa kaakosta (esim. lokakuun loppu, kuva 114) eikä näiden kahden paikan suhdetta pystytä luotettavasti kuvaamaan kiinteällä kertoimella (kuva 115).



Kuva 114. Merkitsevä aallonkorkeus Melkin poijulla, Suomenlinnan poijulla ja Helsingin avomeren poijulla.

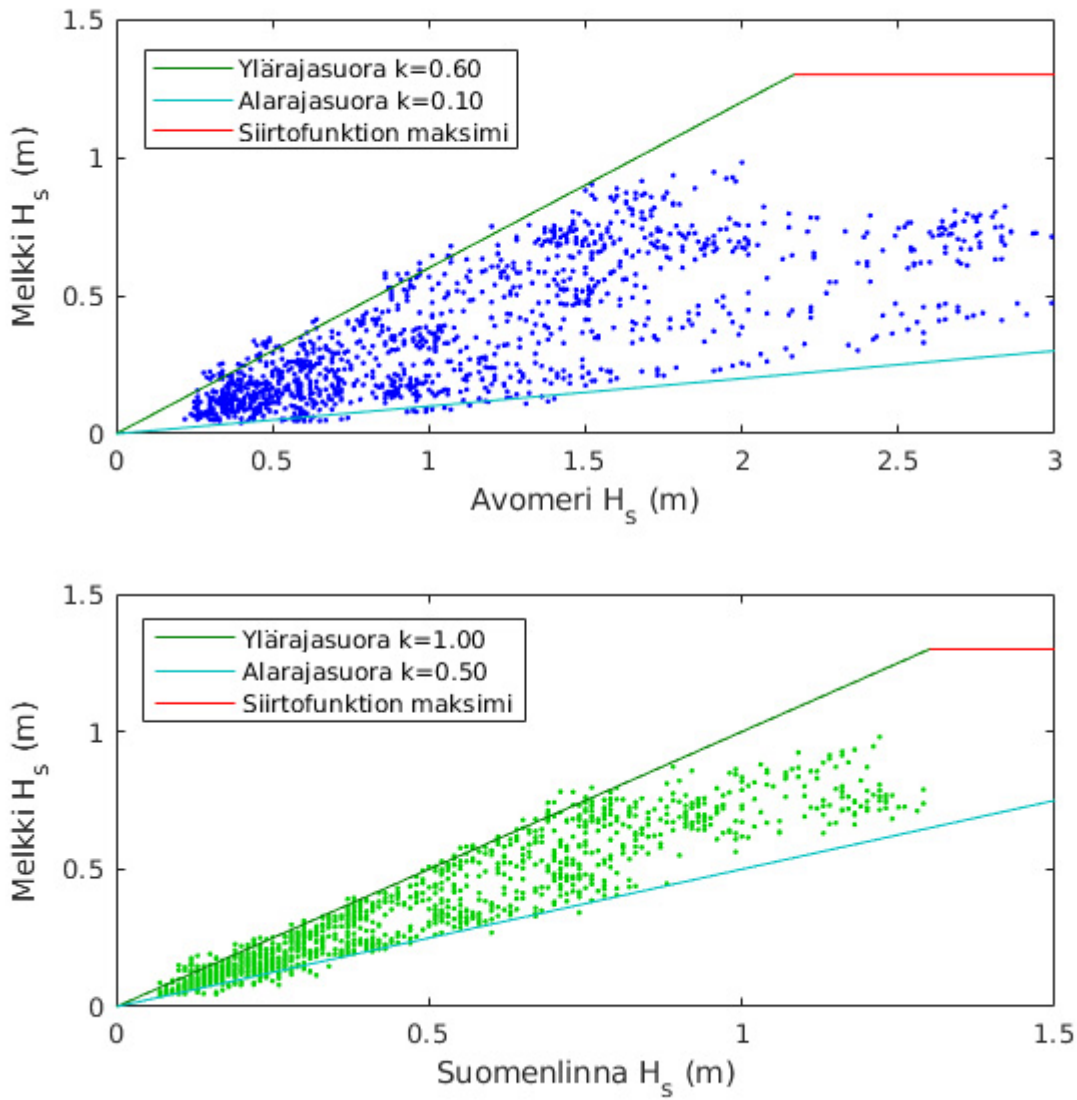
Melkin ja pysyvien poijujen aallonkorkeuksien suhde on esitetty myös kuvassa kuva 116, mistä ilmenee, että Melkin merkitsevä aallonkorkeus oli ajoittain vain noin puolet Suomenlinnan vastaavasta, eikä ylittänyt 60% avomeren poijulla mitatusta aallonkorkeudesta. Vaikka aallokko Melkin poijulla oli ajoittain yhtä suurta kuin Suomenlinnan edustalla, oli Melkin aallokko kuitenkin pienempää kun tarkastella korkeimpia mitattuja aallonkorkeuksia.



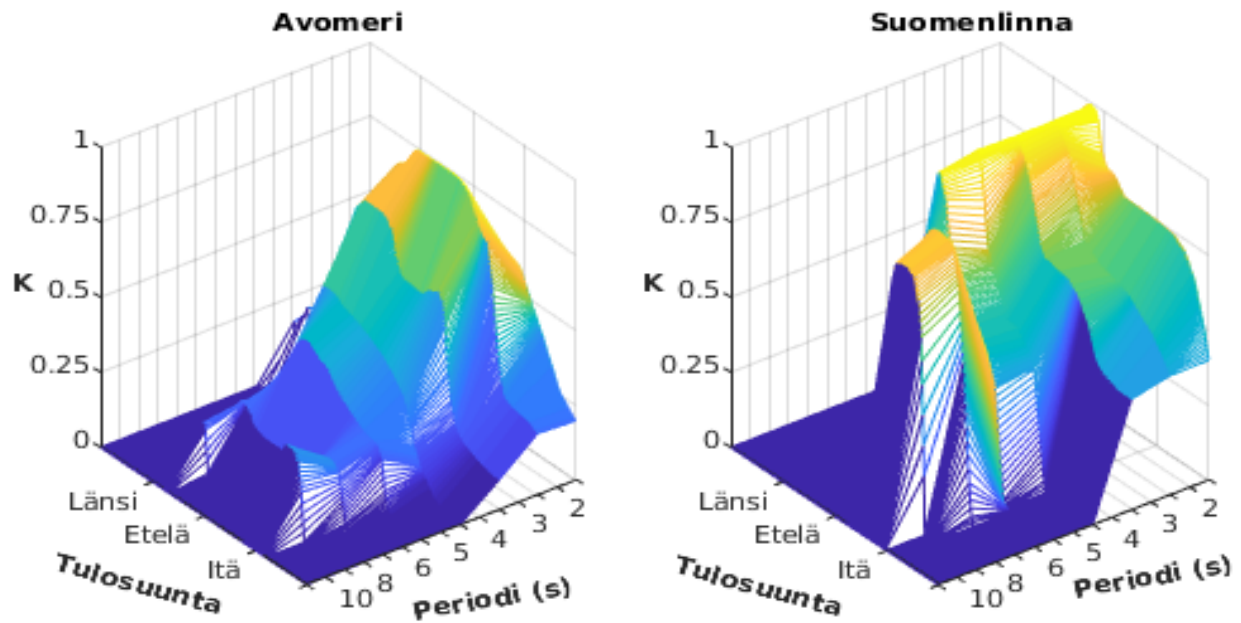
Kuva 115. Merkitsevä aallonkorkeus Melkin pojilla, Suomenlinnan pojilla (0.9-kertaisena) ja Helsingin avomeren pojilla (0.5-kertaisena).

Melkin poijun kohdalle määrättiin sekä avomeren että Suomenlinnan mittausten perusteella likimääräinen amplitudivaste (kuva 117). Läheisen sijaintinsa takia Suomenlinnan mittauksista muodostettu siirtofunktio on luotettavampi, mutta mittausaikasarja on tällä hetkellä vain kolme vuotta. Avomeren siirtofunktiossa on enemmän epävarmuuksia, mutta mittausaineistoa on moninkertaisesti enemmän. Molemmat siirtofunktiot tuottivat kuitenkin maksimiaallonkorkeudeksi 1.3 m.

Koska Suomenlinna sijaitsee lähellä Melkkiä, määrättiin näiden kahden paikan välille myös kokonaisuallonkorkeuden siirtofunktio. Kuten aiemmista kuvista näkyi, vaihtelee vaimennuskerroin huomattavasti suunnan mukaan. Vaimennuskertoimet määrättiin siksi tuulen suunnan funktiona. Siirtofunktion kertoimet vaihtelivat 0.6 ja 0.9 välillä, ollen korkeimmat (pienin vaimennus) lounaistuulilla. Tämä siirtofunktio tuotti Suomenlinnan kolmen vuoden aineistolla melkein identtiset tulokset perinteisen siirtofunktion kanssa. On huomioitavaa, että tämän tyyppinen siirtofunktio toimii todennäköisesti parhaiten kun paikat ovat lähellä toisiaan, eikä sen käyttöä pelkällä avomeren aineistolla välttämättä ole järkevää.



Kuva 116. Merkitsevä aallonkorkeus Melkissä ja avomerellä Helsingin edustalla (yllä) sekä Suomenlinnan edustalla (alla) koko mittausjakson aikana. Ylä- ja alarajasuorat vastaavan ulompana olevien pisteiden vaimenemista eri vaimennuskertoimilla k .

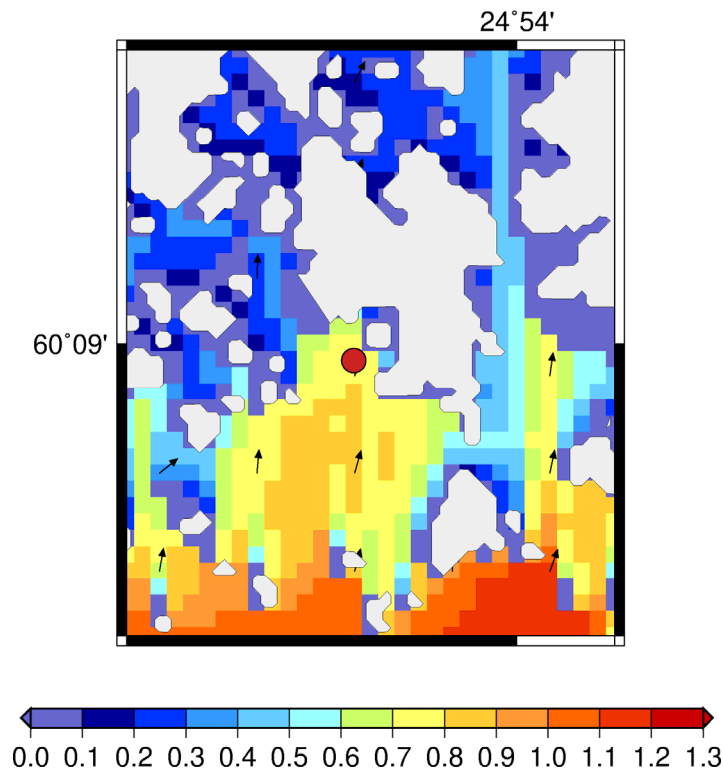


Kuva 117. Likimääräinen siirtofunktion amplitudivaste Melkissä kun lähtöaallokko on mitattu Helsingin edustalla (vasen) tai Suomenlinnan edustalla (oikea).

Melkki	Merkitsevä aallonkorkeus	Periodi ja aallonpituus	
Suurin	1.3 m	3–8 s	14–67 m

12.3 Vattuniemi

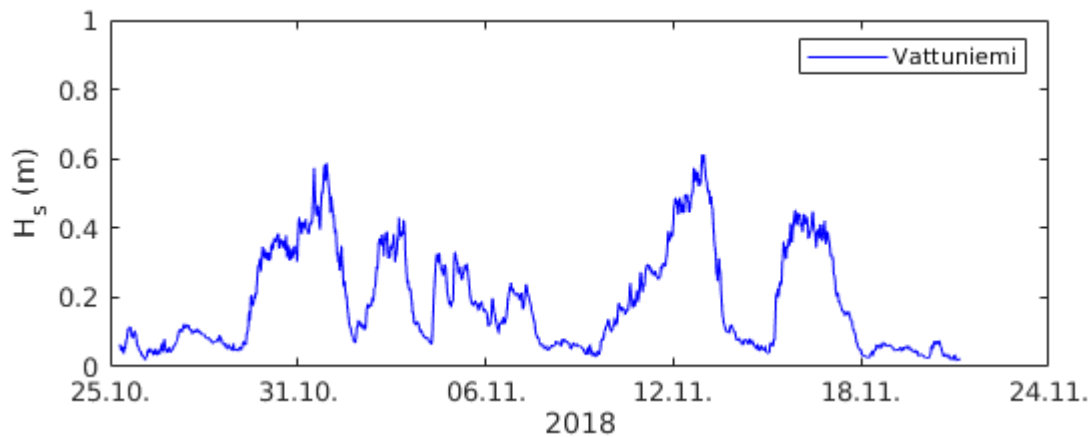
Vattuniemen mittaukset tehtiin 25.10.2018 kello 09:01 – 21.11.2018 kello 04:01 välisenä aikana paikassa 60° 08.896' N 24° 51.992' E (kuva 118).



Kuva 118. Avomeren aallokon vaimeneminen Vattuniemessä. WAM-ajo ajalta 18.11.2012 kello 22:30, jolloin Helsingin pojulla mitattiin merkitsevä aallonkorkeus 1.95 m suunnasta 209°, hallitsevan periodin ollessa 5.0 s.

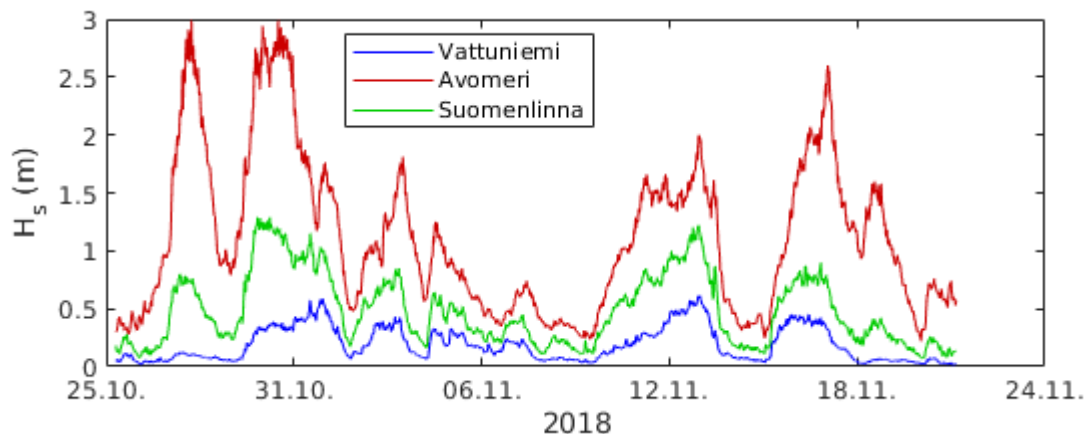
Suurin merkitsevä aallonkorkeus (0.61 m) saavutettiin 13.11. klo 00:01 (kuva 119), eli puoli tuntia ennen Melkin pojun mitattua maksimia. Avomerellä merkitsevä aallonkorkeus oli tuolloin 1.91 m suunnasta 200°. Suomenlinnan edustalla merkitsevä aallonkorkeus oli 1.21 m suunnasta 186°.

Vattuniemen aallokko seuraa Melkin aallokkoa melko hyvin, ollen kuitenkin huomattavasti pienempää (vrt. kuvia 114 ja 120). Vattuniemen aallokkoa ei pystytä kuvaamaan hyvin vaimennuskertoimella avomeren aallokosta, mutta Suomenlinnaan verrattuna merkitsevä aallokko on vaimentunut noin puolella (kuva 121). Merkittävin eroavaisuus Suomenlinnaan on itäisillä tuulilla, jolloin Vattuniemi on hyvin Lauttasaaren suojassa.



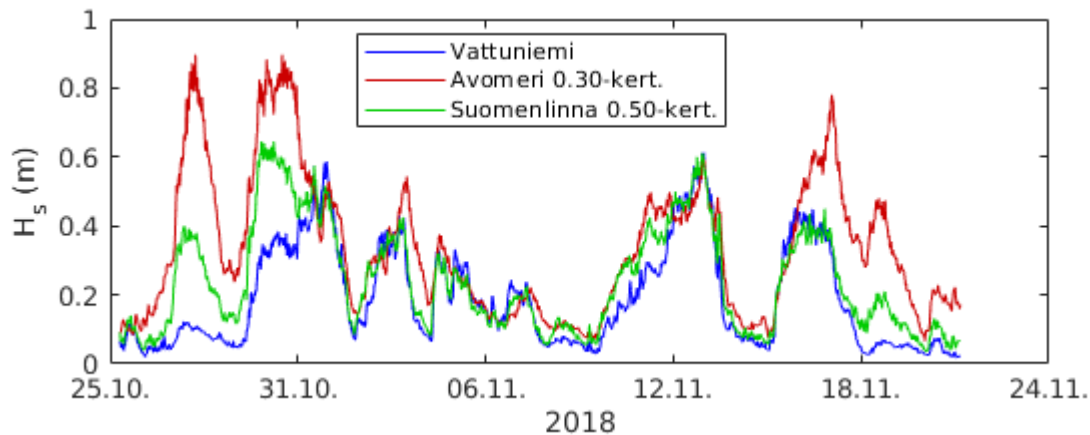
Kuva 119. Merkitsevä aallonkorkeus Vattuniemessä koko mittausjakson aikana.

Myös kuvasta 122 näkyy, että Suomenlinnan ja Vattuniemen merkitsevän aallonkorkeuden välillä on hajontaa. Karkea ylärajasuora on 0.65, kun taas itäisellä aallokolla suhde kuvautuu kertoimella 0.1 (alarajasuora). Hajonta ei kuitenkaan ole yhtä suurta kuin vertailu avomeren poijuun, eli Suomenlinnan mittaukset tuovat selvää lisäarvoa.



Kuva 120. Merkitsevä aallonkorkeus Vattuniemen poijulla, Suomenlinnan poijulla ja Helsingin avomeren poijulla.

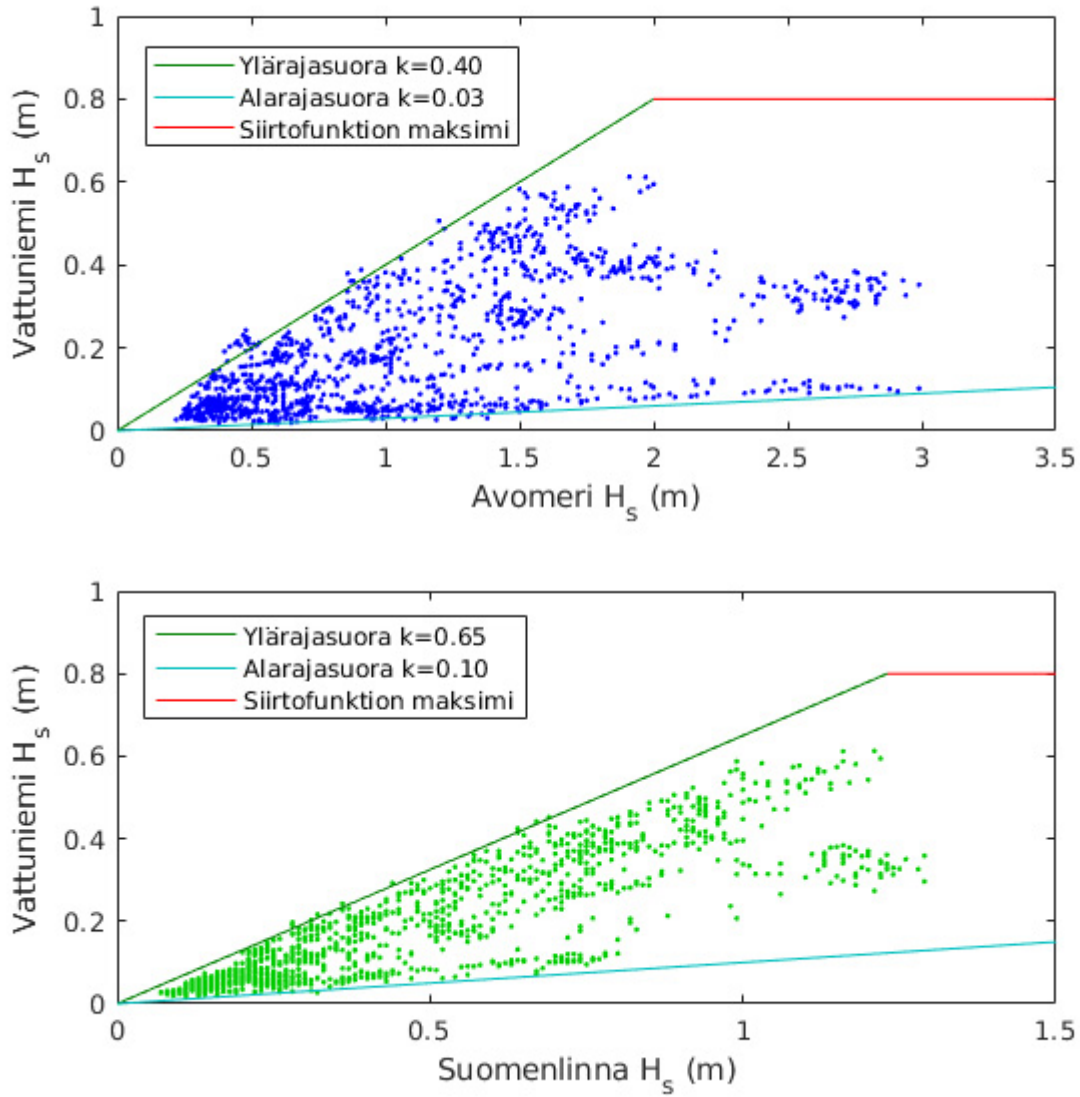
Vattuniemen poijun kohdalle määrättiin sekä avomeren että Suomenlinnan mittausten perusteella likimääräinen amplitudivaste (kuva 123). Kuten Melkin tapauksessa, myös Vattuniemelle muodostetuissa siirtofunktiossa on Suomenlinnan siirtofunktiolla parempi ennustearvo. Avomeren siirtofunktion käyttäminen on kuitenkin myös perusteltua, sillä avomereltä on olemassa pidemmät mittausaikasarjat.



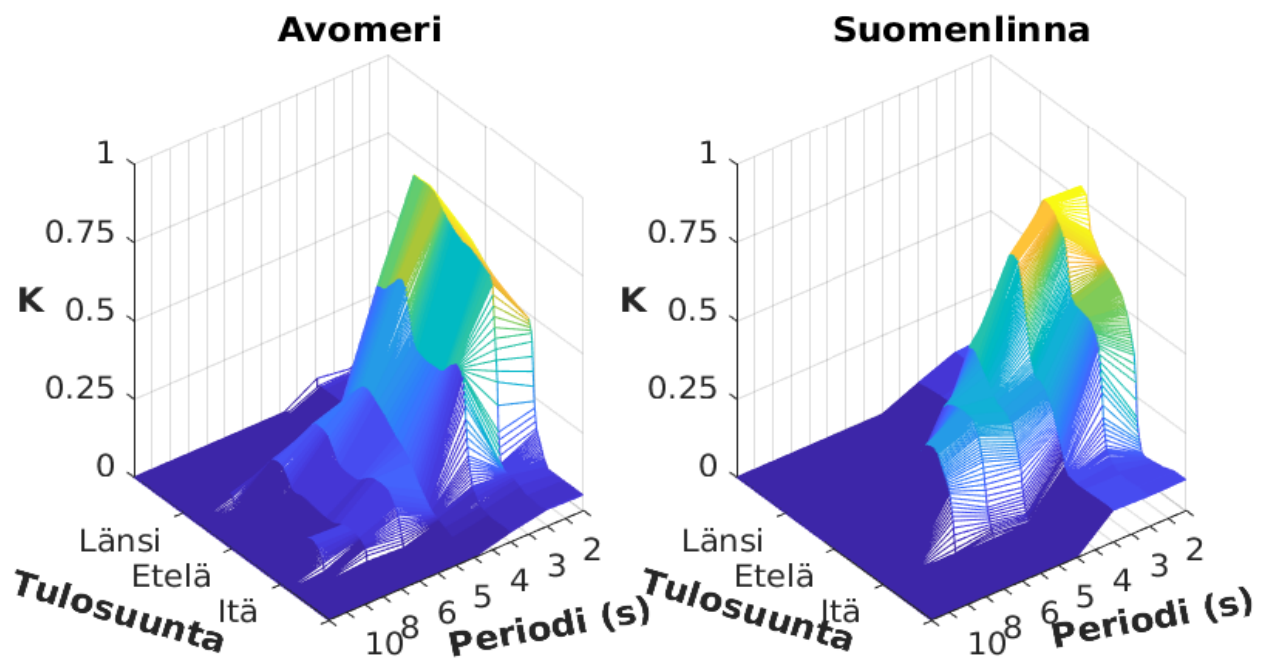
Kuva 121. Merkitsevä aallonkorkeus Vattuniemen poijulla, Suomenlinnan poijulla (0.5-kertaisena) ja Helsingin avomeren poijulla (0.3-kertaisena).

Avomeren siirtofunktio tuotti suurimmaksi merkitseväksi aallonkorkeudeksi 0.8 m, kun Suomenlinnan siirtofunktiolla vastaava arvo oli 0.7 m. Suomenlinnan mittausten perusteella tehtiin myös kokonaisuallonkorkeuden siirtofunktio tuulen suunnan mukaan. Tämän siirtofunktion vaimennuskertoimet vaihtelivat 0.2 ja 0.5 välillä. Kuten Melkissä, oli suurimmat arvot (pienimmät vaimennukset) lounaistuulilla (tuulen suunta noin 200°). Melkkiin verrattuna siirtofunktion kertoimet putosivat kuitenkin huomattavasti kun tuuli kääntyi suuntaan 250° – 270° , johtuen Vattuniemen lyhyestä paikallisesta pyyhkäisymatkasta länteen. Tällä kokonaisuallonkorkeuden siirtofunktiolla Suomenlinnan aineiston perusteellakin suurin merkitsevä aallonkorkeus Vattuniemessä olisi 0.8 m.

Karkea vertailu Melkin ja Vattuniemen välillä tuotti regressiosuoralle kulmakertoimen 0.61 (määrätty efektiivisen varianssin menetelmällä). Melkin korkein merkitsevä aallonkorkeus (1.3 m) kerrottuna tällä karkealla kokonaiskertoimella on täydellisen yhteensopiva siirtofunktioiden antaman 0.8 metrin kanssa.



Kuva 122. Merkitsevä aallonkorkeus Vattuniemessä ja avomerellä Helsingin edustalla (yllä) sekä Suomenlinnan edustalla (alla) koko mittausjakson aikana. Ylä- ja alarajasuorat vastaavan ulompana olevien pisteiden vaimenemista eri vaimennuskertoimilla k .

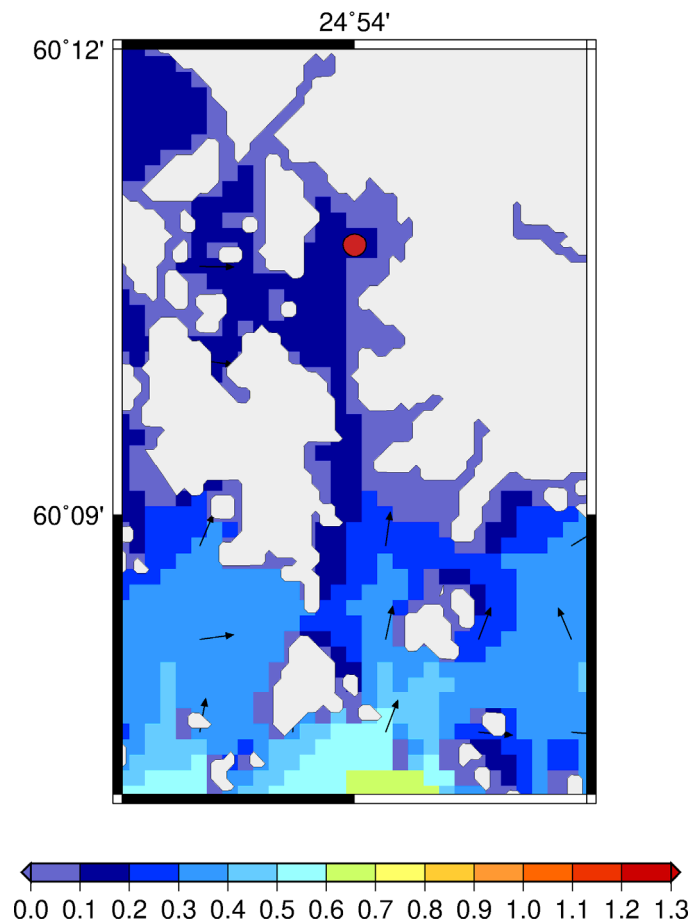


Kuva 123. Likimääräinen siirtofunktion amplitudivaste Vattuniemessä kun lähtöaallokko on mitattu Helsingin edustalla (vasen) tai Suomenlinnan edustalla (oikea).

Vattuniemi	Merkitsevä aallonkorkeus	Periodi ja aallonpituus	
Suurin	0.8 m	2–5 s	6–32 m
Pitkät aallot	0.1 m	8 s	57 m

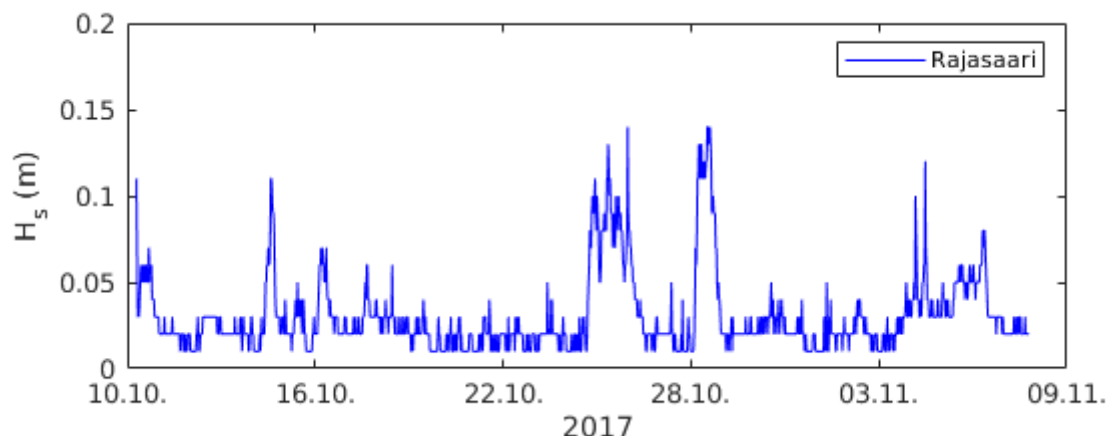
12.4 Rajasaari

Rajasaaren mittaukset tehtiin 10.10.2017 kello 10:02 – 11.7.2017 kello 19:32 välisenä aikana paikassa $60^{\circ} 10.740' N$ $24^{\circ} 54.000' E$ (kuva 124).



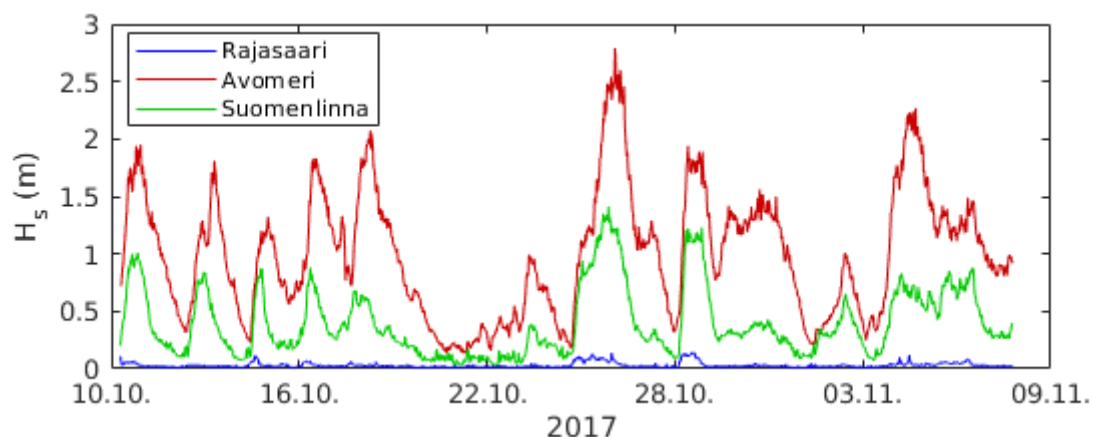
Kuva 124. Avomerien aallokon vaimeneminen Seurasaarenselällä. WAM-ajo ajalta 03.09.2012 kello 14:30, jolloin Helsingin poijulla mitattiin merkitsevä aallonkorkeus 1.73 m suunnasta 243° , hallitsevan periodin ollessa 5.6 s.

Kuvasta 125 näkyy, että aallokko Rajasaarella oli pientä. Suurin merkitsevä aallonkorkeus (0.14 m) saavutettiin kolme kertaa 28.10. klo 14:30 ja 16:30 välisenä aikana. Avomerellä olevan poijun tuona aika mittaama merkitsevä aallonkorkeus oli 1.8 m, kun taas Suomenlinnan edustalla merkitsevä aallonkorkeus oli 1.1–1.2 m.



Kuva 125. Merkitsevä aallonkorkeus Rajasaarella koko mittausjakson aikana.

Rajasaaren aallokko ei täysin seuraa ulompana olevien poijujen mittaamia arvoja (kuva 126), mutta suuruusluokka-arvio saadaan kertomalla Suomenlinnan poijun merkitsevä aallonkorkeus kertoimella 0.1 (kuva 127). Kuvasta 128 näkyy Rajasaaren merkitsevä aallonkorkeus verrattuna avomerimittauksiin ja Suomenlinnan mittauksiin. Vaikka vertailussa Suomenlinnaan on hieman vähemmän hajontaa, ei mitään yksinkertaista vaimennuskerrointa kuitenkaan ole määriteltävissä.



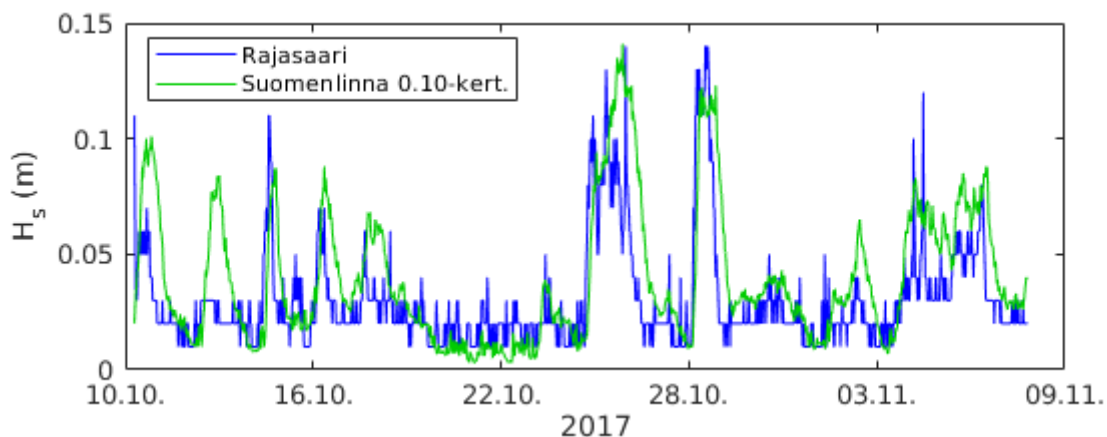
Kuva 126. Merkitsevä aallonkorkeus Rajasaaren poijulla, Suomenlinnan poijulla ja Helsingin avomeren poijulla.

Rajasaaren poijun kohdalle määriteltiin sekä avomeren että Suomenlinnan perusteella likimääräinen amplitudivaste. Tämän siirtofunktion käyttäminen olemassa olevaan aineistoon avomereltä ja Suomenlinnasta tuottivat noin 0.2 m maksimiarvon merkitsevälle aallonkorkeudelle. Tätä ei voida pitää luotettavana, sillä Suomenlinnan aallokko – avomeren aallokosta puhumattakaan – ei ole suorassa yhteydessä suojattuun rajasaareen.

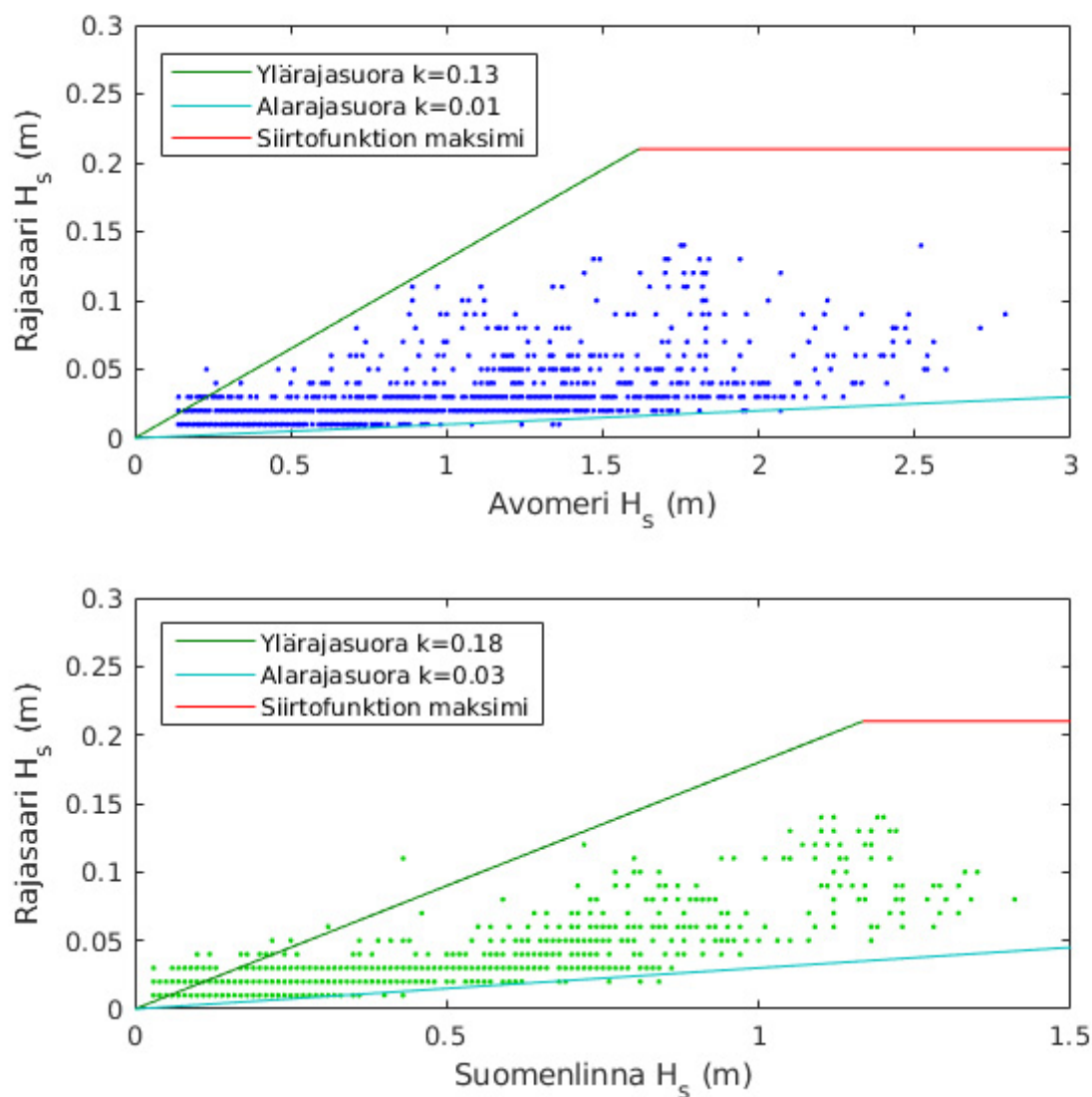
Aaltomittauksia voitiin verrata myös Lapinlahden sillan tiesääasemaan, jonka edustavuus tätä tarkoitusta varten ei kuitenkaan ollut optimaalinen. Vaimennuskertoimien laskeminen Lapinlahden ja Kalbådagrundin tuulien välillä tuottaa aaltosiirtofunktiota suuremmat arviot aallokosta. Mitattua Rajasaaren aallokkoa verrattiin pyyhkäisymatkarelaatioista saatuihin aaltoarvioihin käyttäen sekä Lapinlahden tuulimittauksia että vaimennettua tuuliaineistoa. Näiden pohjalta voitiin todeta, että kovilla tuulilla Rajasaaren merkitsevä aallonkorkeus saattaa nousta 0.4 metriin.

Mittausten perusteella saavutettu arvio on alempi kuin pelkkään pyyhkäisymatkoihin perustuva arvio vuodelta 2015 (0.6 m). Seurasaaren ja Hietalahden välinen kapea kohta näyttää rajoittavan aallokon kasvua tehokkaasti. Tällä välillä löytyy myös useampi matalikko, jonka vaikutus näin lyhyisiin aaltoihin on oletetusti kuitenkin rajoitettu.

Varsinaista huipun periodia Rajasaaren epäsäännölliselle aallokelle on vaikea määrittää, mutta energia sisältyy pääosin periodeihin 1.6-4 s (vastaa aallonpituuksia 5-20 m). Näistä yli kahden sekunnin aallot ovat avomereltä hyvin vaimentuneina rajasaarelle kulkeutuvia aaltoja. Rajasaareen pääsee myös tunkeutumaan hyvin pieni määrä aaltoenergiaa jonka periodi on noin 5 s. Näiden aaltojen merkitsevä aallonkorkeus jää kuitenkin alle 0.05 metrin.



Kuva 127. Merkitsevä aallonkorkeus Rajasaaren poijulla ja Suomenlinnan poijulla (0.1-kertaisena).



Kuva 128. Merkitsevä aallonkorkeus Rajasaarella ja avomerellä Helsingin edustalla (yllä) sekä Suomenlinnan edustalla (alla) koko mittausjakson aikana. Ylä- ja alarajasuorat vastaavat ulompänä olevien pisteiden aallokon vaimenemista eri vaimenemiskertoimilla k .

Rajasaari	Merkitsevä aallonkorkeus	Periodi ja aallonpituus
Suurin	0.4 m	1.6–4 s 5–20 m

12.5 Länsisatama ja Ahdinallas

Ahdinaltaan rakennustöiden tarpeita varten tehtiin Länsisataman edustalla mittauksia aaltopojjulla 23.10.2018 kello 10:13 – 11.12.2018 kello 12:53 välisenä aikana paikassa $60^{\circ} 08.60' \text{ N } 24^{\circ} 53.89' \text{ E}$. Sopivien sääolosuhteiden vallitessa Ahdinaltaalla suoritettiin mittauksia kapasitiivisella langalla viidestä eri paikasta 29.11.2018 (kuva 129).



Kuva 129 Länsisataman aaltopojjun (tähti) ja Ahdinaltaan lankamittausten paikat (ympyrät).

Merkitsevät aallonkorkeudet Länsisataman poijulla olivat lankamittausten ajan 0.4-0.5 m, ja Harmajalla mitattu tuulennopeus oli 14-17 m/s. Ahdinaltaalla mitattu suurin merkitsevä aallonkorkeus oli 0.8 m pisteessä 3. Heijastuskertoimet aaltopojjumittauksiin nähden olivat suurimmat pisteessä 3 (jopa 1.8), kun taas pisteen 6 mittauksessa heijastuskerroin oli vain 1.3.

Alkuperäisessä raportissa arvioitu täydellinen heijastuminen ja suppilovaikutus eivät siis toteudu täysimääräisenä Ahdinaltaalla. Tämä johtuu aallonvaimennuskammioiden vaimennuksesta, hieman alhaisemmasta tuulennopeudesta, sekä todennäköisesti aaltojen taipumisesta Ahdinaltaan suuaukon ohi. Lisäksi altaan itäpuolelle rakennettu uloke heijastaa huomattavasti aaltoenergiaa takaisin merelle päin.

Heijastusmittaukset ovat hyvin linjassa Rambollin numeeristen mallinnustulosten kanssa (Ramboll, 2016). Heijastukset vaihtelevat kuitenkin altaan sisällä hyvinkin paljon lyhyen matkan sisällä, mistä syystä yhden mittauspisteen arvoja ei voida yleistää koskemaan koko allasta. Ahdinaltaan mittauksesta on tästä syystä laadittu erillinen tarkempi raportti (Björkqvist, 2019).

13 VEDENKORKEUDEN JA AALLONKORKEUDEN YHTEISVAIKUTUS

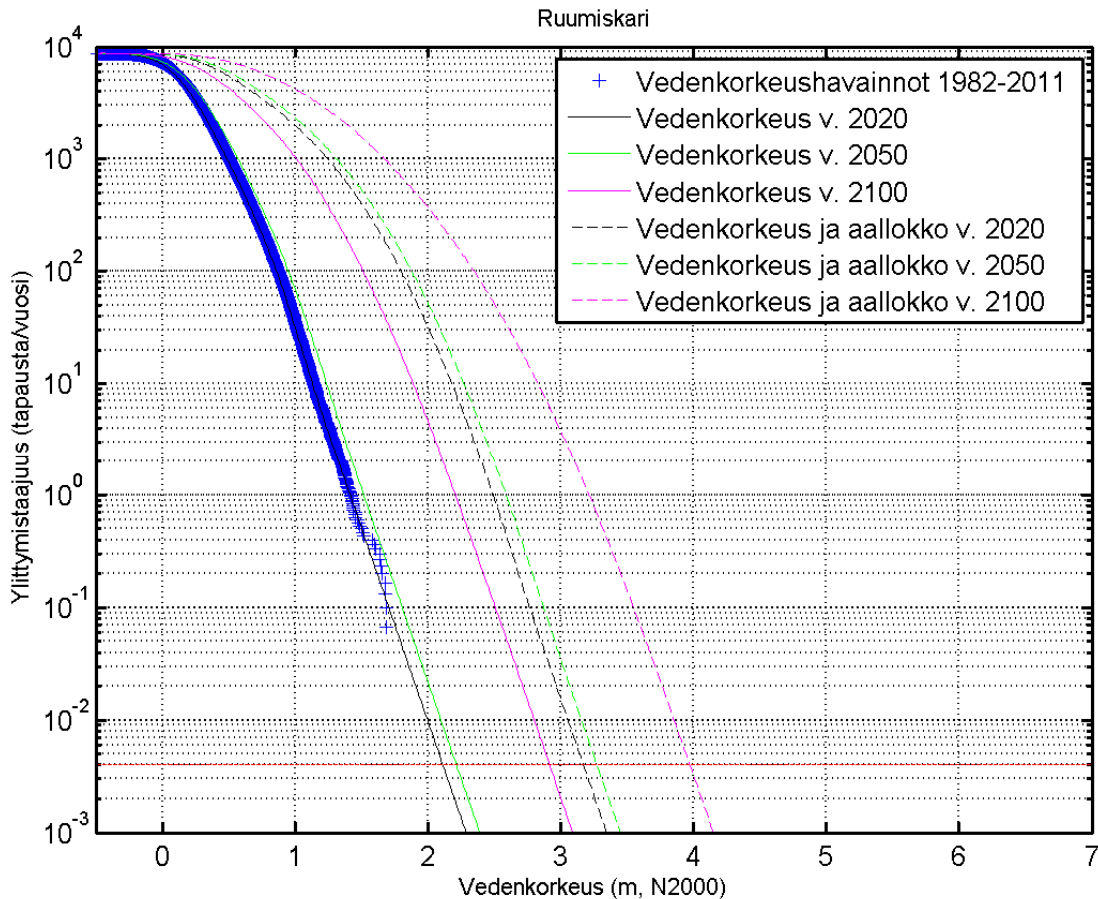
13.1 Menetelmä

Samanaikaisesti tapahtuva korkea vedenkorkeus ja korkea aallokko on harvinainen ilmiö, jota on tutkittu toistaiseksi vähän. Perinteisesti paikallinen aallokko on otettu huomioon meritulvakorkeuksien määrittämisessä lisäämällä vallitsevaan vedenkorkeuteen erillisesti paikkakohtainen aaltoiluvara. Aaltoiluvaralla tarkoitetaan sitä korkeutta, jonne yhtenäinen vesi nousee suurimpien aaltojen vaikutuksesta, kun vertailutasona on hetkellisestä vedenkorkeudesta muutamien minuuttien aikana laskettu keskiarvo. Tässä selvityksessä määritetään aallokon ja vedenkorkeuden yhteisvaikutus uudella tavalla käyttäen molempien tekijöiden todennäköisyysjakaumia.

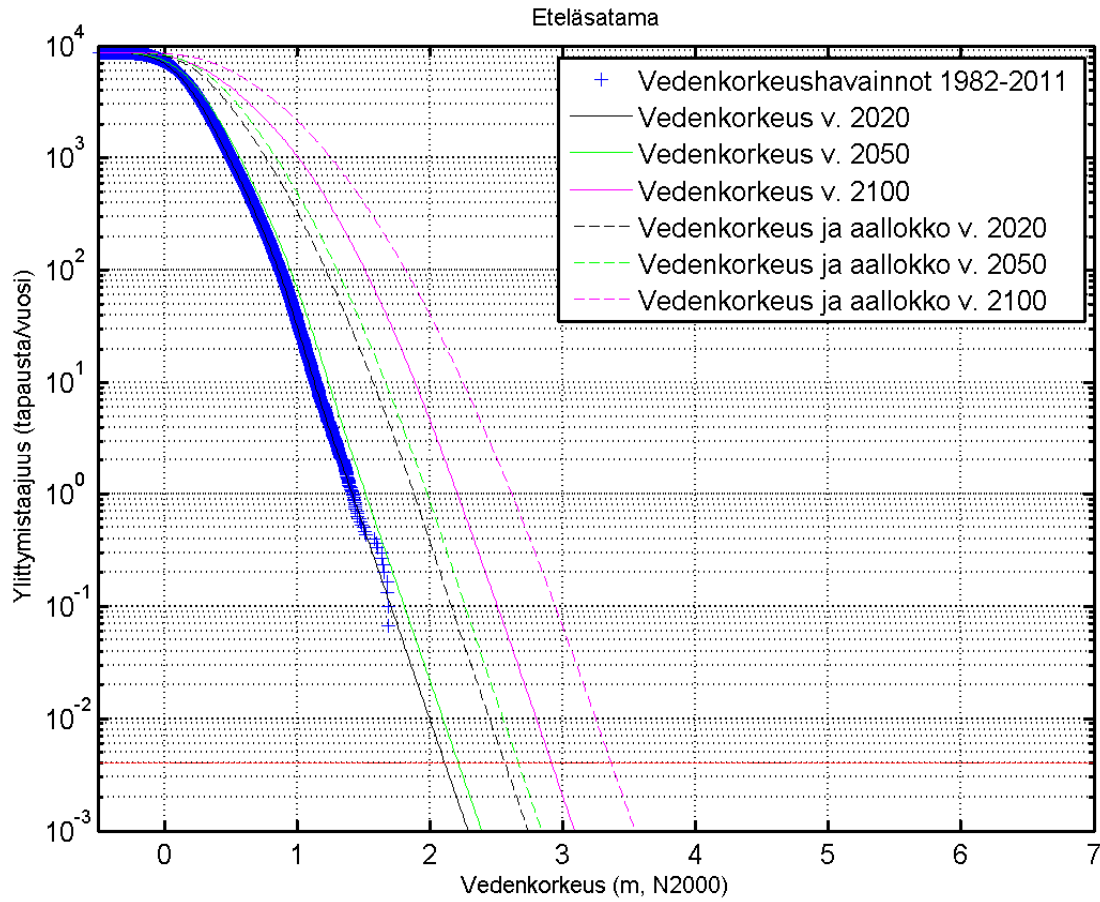
Tutkimuksessa käytettävät vedenkorkeusjakaumat ottavat huomioon sekä vedenkorkeuden lyhyt- että pitkäaikaisvaihtelut. Vedenkorkeuden lyhytaikaisvaihtelut tarkoittavat pääosin sääilmiöihin (mm. tuuli ja ilmanpaine) perustuvia vedenkorkeusvaihteluita, mutta lopulliseen vedenpinnan korkeuteen vaikutta myös esim. Itämeren kokonaisvesimäärä. Lyhytaikaisvaihteluja kuvaavat jakautumat pohjautuvat viimeisten 30 vuoden (1982–2011) havaintoaineistoon Helsingin mareografilta eli vedenkorkeuden mittausasemalta. Vedenkorkeuden pitkäaikaisvaihtelut tarkoittavat puolestaan globaalin merenpinnan nousuun perustuvia keskivesiskenaarioita, jotka ovat mukautettu Suomen rannikolle (Kahma ym., 2014). Tutkimuksen aallonkorkeusjakaumat pohjautuvat Helsingin edustalla eri paikoilla vuosina 2012–2014 tehtyihin aallonkorkeuden mittausjaksoihin, sekä Ilmatieteenlaitoksen pitkäaikaisiin operatiivisiin aallokko- ja tuulimittauksiin.

Yhdistämistä varten aallokkotiedot muutetaan tuntihavainnoiksi. Merkitsevän aallonkorkeuden jakautuma eri pisteille lasketaan käyttämällä kaikkia edellisessä luvussa esitettyjä työkaluja, niin mittauksia, siirtofunktion arvoja kuin tuulirelaatioitakin. Koska suurin osa Helsingin rantaviivasta on jyrkkää, joudutaan olettamaan, että aallokko on kokonaan heijastunutta, jolloin saadut arvot kerrotaan kahdella ennen yhdistämistä vedenkorkeuden kanssa. Kerroin kaksi huomioi aallokon heijastumisen jyrkän rannan takia, mutta ei ota huomioon murtuvan aallon aiheuttamia roiskeita, jotka voivat ulottua huomattavan korkeammalle kuin yhtenäinen vihreä vesi.

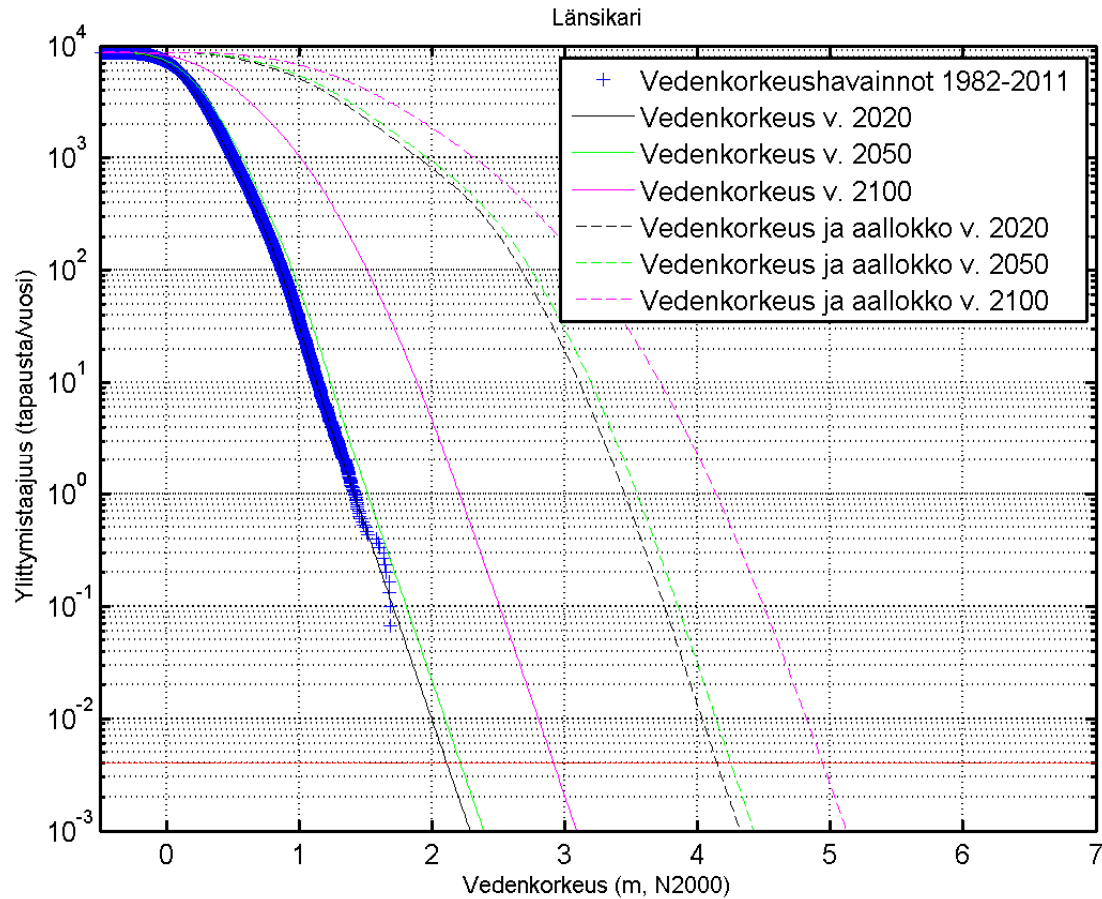
Yhdistämällä vedenkorkeus ja aallonkorkeus saadaan yhdistetty jakautuma jota voidaan käyttää eri toistuvuusajoille. Esimerkkeinä kuvissa 130–132 ovat Ruumiskarin, Eteläsataman ja Länsikarin vedenkorkeuden ja aallonkorkeuden yhteisvaikutukset. Mahdolliset tuulen aiheutumat kallistukset (kts. Kappale 7) lisättiin suoraan saatuun vedenkorkeusjakautumaan.



Kuva 130. Tuntihavaintoihin pohjautuva vedenkorkeuden ja aallonkorkeuden yhteisvaikutuksen arvioiminen Ruumiskarilla vuosille 2020, 2050 ja 2100. Pelkkä vedenkorkeusarvo on yksikössä tuntihavaintoja vuodessa, mutta kun tähän arvoon lisätään aallokko, on on lopputulos tapausta vuodessa. Punainen vaakaviiva on tässä raportissa käytetty todennäköisyystaso 1/250 tapausta vuodessa.



Kuva 131. Tuntihavaintoihin pohjautuva vedenkorkeuden ja aallonkorkeuden yhteisvaikutuksen arvioiminen Eteläsatamaan vuosille 2020, 2050 ja 2100. Pelkkä vedenkorkeusarvo on yksikössä tuntihavaintoja vuodessa, mutta kun tähän arvoon lisätään aallokko, on lopputulos tapausta vuodessa. Punainen vaakaviiva on tässä raportissa käytetty todennäköisyystaso 1/250 tapausta vuodessa.



Kuva 132. Tuntihavaintoihin pohjautuva vedenkorkeuden ja aallonkorkeuden yhteisvaikutuksen arvioiminen Länsikarille vuosille 2020, 2050 ja 2100. Pelkkä vedenkorkeusarvo on yksikössä tuntihavaintoja vuodessa, mutta kun tähän arvoon lisätään aallokko, on lopputulos tapausta vuodessa. Punainen vaakaviiva on tässä raportissa käytetty todennäköisyystaso 1/250 tapausta vuodessa.

13.2 Tulokset mittauspaikoille

Arvot, jotka otetaan suositusten pohjaksi, on laskettu riskitasolla joka vastaa yhtä tapahtumaa 250 vuodessa. Koska on odotettavaa, että keskivesi nousee ilmaston lämpenemisen johdosta, tätä ei tule tulkita arvona joka todennäköisesti ylittyy kerran seuraavan 250 vuoden aikana, vaan annettu suositus vastaa sitä korkeutta johon vihreä vesi yltää kerran vuoden aikana todennäköisyydellä 0.4%. Tämä on sama todennäköisyys kuin Suomen ympäristökeskuksen Ympäristöoppaassa 2014.

Arvot jokaiselle mittauspaikalle on laskettu keskivesiskenaarioihin pohjautuen vuodelle 2020, 2050 ja 2100, jossa vuosi 2020 on otettava vastaamaan nykyhetkeä (Taulukko 1). Arvot on annettu muodossa +3.20, joka tarkoittaa 3.20 metriä N2000 järjestelmän nollatason yläpuolella. Päädyimme tähän merkintätapaan, koska arvot teoreettisen keskiveden suhteen on perinteisesti annettu senttimetrissä. Sekaannusten välttämiseksi olisi suotavaa jatkossa eritellä tulokset eri korkeusjärjestelmissä käyttämällä myös eri merkintöjä¹.

Edellä mainittua riskitasoa vastaavat arvot on laskettu todennäköisyysjakautumista. Vihreä vesi voi yltää suosituksissa annettuun tasoon korkealla vedenkorkeudella ja matalalla aallokolla, tai maksimiaallokolla ja matalammalla vedenkorkeudella. Tämä tarkoittaa, että pelkän vedenkorkeuden ja yhdistetyn aallokko- ja vedenkorkeuden arvojen erotus ei suoraan ole tulkittavissa aaltoiluvarana, eikä näiden erottaminen ole mielekäästä kuin laskennallisesti tuloksia yleistettäessä (kts. kappale 13.3).

Eteläsataman arvo on laskettu jyrkälle rannalle, vaikka se korkealla vedenkorkeudella ylittää Kauppatorin reunan ja ranta muuttuu loivaksi. Jyrkän rannan arvojen pohjalla on oletus, että kyseiseen paikkaan tuodaan esteitä, kuten hiekkasäkkejä. Loivalla rannalla on tehty laskelmia Presidentin linnalle ja Kaupungintalolle. Nämä arvot taas ovat päteviä mikäli veden pinta pääsee nousemaan Kauppatorin reunan yli. Koska loivan rannan laskut

¹ Suomen ympäristökeskuksen Ympäristöoppaassa 2014 arvot ovat kuitenkin korkeusjärjestelmässä N2000, vaikka ne onkin annettu senttimetreissä.

ovat riippuvaisia rannan muodosta, niitä ei samalla tavalla pysty yleistämään, vaan ovat päteviä vain näille pisteelle.

Koska jokainen rakennettava kohde muodostaa oman kustannuseränsä, riskitaso on määritelty jokaiselle kohteelle erikseen. Riskitaso 0.4% yhdelle tapahtumalle vuoden aikana ei siten koske Helsingin rannikkoa kokonaisuutena, vaan jokaista yksittäistä kohdetta erikseen. Varsinkin suojaisissa ja suljetuissa paikoissa lyhytaikainenkin tuuli voi kasvattaa pyyhkäisymatkan rajoittaman maksimiaallokon. Koska kovimpien myrskyjen aikana tuulen suunta vaihtelee todennäköisesti vahvasti, on varovaisuussyistä tällaisissa paikoissa käytettävä kovan paikallisen tuulen kasvattamaa maksimiaallokkoa vedenkorkeuden päälle. Esimerkkejä tällaisista paikoista ovat Pirisaari ja Vuosaaren satama.

Taulukko 1. Vedenkorkeuden ja aallokon yhteisvaikutus. Alimmat turvalliset rakentamiskorkeudet on määritetty yhteiskuntasuunnittelun tarvetta ajatellen. Tämän takia suositusten perustaksi on otettu vedenkorkeus, jonka ylittymisen todennäköisyys vuoden aikana on 1/250 (0.4 %). Tämä on sama todennäköisyys kuin Suomen ympäristökeskuksen Ympäristöoppaassa 2014.

	Ylittymistäajuus, 1/250 tapausta/vuosi		
	v. 2020	v. 2050	v. 2100
Paikka	Yhteisvaikutus (m, N2000)		
Pirisaari	+2.46	+2.57	+3.27
Koivusaari	+2.79	+2.90	+3.60
Jätkäsaari	+3.01	+3.11	+3.81
Ruumiskari	+3.17	+3.27	+3.97
Hernesaari	+2.97	+3.07	+3.77
Länsikari	+4.15	+4.25	+4.94
Kruunuvuorenselkä	+2.70	+2.80	+3.50
Koirasaari	+2.79	+2.89	+3.59
Kruunuvuorenranta	+2.68	+2.78	+3.48
Kipparlahti	+2.57	+2.68	+3.38
Eteläsatama ²	+2.57	+2.67	+3.37
Presidentin linna (muuri) ³	+2.39	+2.50	+3.37
Kaupungintalo ⁴	+2.40	+2.53	+3.17
Ramsinniemi	+2.91	+3.02	+3.72
Vartiokylänlahti	+2.63	+2.74	+3.44
Vuosaaren satama	+2.67	+2.78	+3.48
Talosaari	+2.73	+2.84	+3.54
Itä-Villinki	+3.59	+3.69	+4.37
Isosaaren eteläpuoli	+5.42	+5.50	+6.05
Isosaaren pohjoispuoli	+2.71	+2.82	+3.52
Rajasaari ⁵	+2.83	+2.94	+3.64
Melkki ⁵	+3.72	+3.83	+4.52
Vattuniemi ⁵	+2.89	+3.00	+3.71

² Mikäli rannalle kasataan esim. hiekkasäkkejä, jolloin ranta pysyy jyrkkänä

³ Mikäli esteitä ei rakenneta, jolloin ranta on korkeilla vedenkorkeuksilla loiva

⁴ Mikäli esteitä ei rakenneta, jolloin ranta on korkeilla vedenkorkeuksilla loiva

⁵ Lisätty listaan 26.8.2019 vuosina 2017 ja 2018 tehtyjen lisämittausten perusteella

13.3 Tulosten yleistäminen

Mittauspisteille saadut yhdistetyt veden- ja aallonkorkeusarvot yleistettiin käyttämällä refraktio- ja WAM-mallista saatuja tuloksia aallokon käyttäytymisestä mittauspisteiden ympärillä. Koska kaikissa mittauspisteissä käytettiin lähes samaa vedenkorkeusjakautumaa, johtuvat eri paikoissa olevat erot melkein kokonaan aaltokenttien eroista. Paikoille missä malleilla ei ollut mahdollista saada luotettavia tuloksia olivat tyypillisesti melko suojattuja. Näihin paikkoihin tehtiin pyyhkäisymatkoihin perustuva arvioita paikallisesta maksimiaallokosta. Tässä työssä hyödynnettiin myös jo aikaisemmin tehtyjä selvityksiä, mm. Merentutkimuslaitoksen raporttia vuodelta 1992.

Vähentämällä pelkän vedenkorkeuden osuus lopullisista tuloksista, voitiin aallokon kontribuutio kvantifioida. Tämä arvoa skaalattiin lähellä olevien paikkojen maksimiaallokolla ja arvio aallokon ja vedenkorkeuden yhteisvaikutuksesta paikkoihin lähellä mittauspaikkaa saatiin yhdistämällä saatu arvo vedenkorkeusarvon kanssa. Tämä menetelmä olettaa, että aaltajakautumaa pystytään skaalaamaan käyttämällä tietoa maksimiaallokosta. Vaikka tämä ei yleisesti päde, on se kohtuullinen oletus mittauspaikan välittömässä läheisyydessä. Yleistettyjen tulosten luotettavuus ei ole yhtä suuri kuin mittauspaikkoihin lasketut arvot, varsinkaan jos mittauspaikasta ollaan suhteellisen kaukana. Näitä yleistettyjä tuloksia on kuitenkin mahdollista tarpeen mukaan parantaa lisämittauksilla.

Yleistetyissä arvoissa on jyrkän rannan oletuksesta poikettu kahdessa paikassa: Vuosaaren Aurinkolahden uimarannalla ja Lauttasaaren pohjoisosassa (Annansaaren kohdalla). Näissä kahdessa paikassa loiva ranta on kuitenkin otettu huomioon vain olettamalla aallokon heijastuksen olemattomaksi. Muita loivan rannan ilmiöitä, kuten murtuvan aallokon aiheuttama vedenkorkeuden nousu, on laskettu vain Presidentin linnalle ja Kaupungintalolle.

Yleistetyt tulokset on saatavissa karttamuotoisena Helsingin kaupungin verkkosivustolta (kts. Liitteet 2 ja 3). Pisteiden välillä ei suoriteta interpolaatiota, vaan tarkoitus on käyttää lähimmän pisteen arvoa. Alueille, joihin tuloksia ei kartan mukaan ole lainkaan yleistetty niitä ei voida soveltaa.

14 MERKITSEVÄ AALLONKORKEUS YLEISTETYLLE AINEISTOLLE

Luvun 13.3 yleistetylle aineistolle laskettiin myös arvioidut enimmäisarvot merkitsevälle aallonkorkeudelle. Yhdistetyistä aallokko- ja vedenkorkeusarvoista ei suoraan pysty päättämään samaa riskitasoa vastaavaa aallonkorkeusarviota. Suurin merkitsevä aallonkorkeus yleistetylle pisteelle arvioitiin käyttämällä sekä luvuissa 8–12 mittauspaikalle arvioituja enimmäisaallonkorkeuksia että luvun 13.3 yhdistettyjä arvoja.

Käytännössä yhdistetyille arvoille verrattiin pelkän vedenkorkeusarvon ylittävä osa, mittauspisteen vastaavaan arvoon. Tämä suhdetta käytettiin mittauspisteen enimmäisaallonkorkeuden skaalaamiseen. Menetelmä olettaa, että merkitsevän aallonkorkeuden jakautuma on molemmille pisteelle suhteellisen samanlainen. Tämä on hyvä oletus, jos pisteet ovat suhteellisen lähellä toisiaan, tai edustavat muuten vastaavanlaisia aalto-olosuhteita. Oletus vastaa luvun 13.3 WAM-arvojen käytössä tehtyä oletusta, ja tämä oli mahdollista tehdä aineiston hyvän spatiaalisen kattavuuden takia.

Yleistetyt aallonkorkeusarvot löytyvät karttamuotoisena osoitteesta <https://www.hel.fi/static/kv/Geo/Vesi/Kartta.html>, ja taulukkomuodossa Liitteestä 1b. Näihin arvoihin ei ole lisätty mitään laskennallista heijastusta. Heijastus on kuitenkin mukana Ahdinaltaan pohjukan pisteellä, sillä altaan seinän vieressä tehdyt mittaukset mittasivat heijastunutta aallokkoa.

15 HELSINGIN LÄHIVESIEN SÄÄ REAALIAJASSA

Projektin toisessa vaiheessa jatkettiin mm. Kruunuvuorenselän tuulimittauksia. Tärkeänä lisäyksenä on myös Suomenlinnan edustalle ankkuroitu aaltopoiju (kts Luku 12.1). Poiju on ankkuroitu syvyydelle 22 metriä, ja mittaa aallon korkeutta, periodia ja suuntaa samassa paikassa joka vuosi. Jääpeitteen takia laite joudutaan kuitenkin poistamaan talveksi. Tyypillinen mittauskausi on noin kahdeksan kuukautta huhti-toukokuun vaihteesta marras-joulukuun vaihteeseen.

Kaikki reaaliajassa saatava Helsingin edustan havaintoaineisto on kerätty yhteen paikkaan osoitteeseen <http://meri.hel.fi> tai <http://marinehelsinki.fi>. Suomenlahden avomeren poijun ja Suomenlinnan saaristopoijun kohdalle on saatavilla myös kahden ja puolen vuorokauden aaltoennuste, joka tuotetaan Helsingin edustalle erikseen ajettavalla hienohilaisella aaltomallilla.

Yhteenvetosivustolla kootaan myös muuta tarpeellista tietoa, kuten aallokkoon liittyvää termistöä. Sivua päivitetään jatkuvasti käyttäjäpalautteen perusteella.

16 JOHTOPÄÄTÖKSET

Mittaukset ovat osoittaneet, että aallokko Helsingin rannikolla on hyvin vaihtelevaa. Alttiimmat paikat löytyvät ulkosaaristosta, mutta jo Länsikarin kohdalla on aallonkorkeus vaimentunut tyypillisesti noin puoleen avomeren vastaavasta arvosta, ääriarvojen vaimentumisen ollessa vielä suurempi. Tietoja avomeren aallokon vaimenemisesta ennen saapumista Suomenlinnaan ei ole aikaisemmin ollut. Tämä uusi tulos auttaa merkittävästi tarkentamaan sekä nykyisiä, että tulevia aallokkolaskelmia.

Hyvin suojaiset paikat, kuten Talosaari, voivat olla käytännössä kokonaan suojattuja avomeren aallokolta, jolloin sen aalto-olosuhteet määräytyvät pelkästään paikallisen tuulen perusteella. Kruunuvuorenselällä kokonaisaallonkorkeus määräytyy pitkälti paikallisen tuulen perusteella, mutta sinne pääsee kuitenkin tunkeutumaan avomeren vaimentuneita pitkiä aaltoja. Nämä pitkät aallot nostavat hieman kokonaisaallonkorkeutta, mutta erityisesti ne pystyvät liikuttamaan kelluvia rakennelmia tavalla, mikä ei ole mahdollista lyhyemmälle paikalliselle aallokelle. Pitkät aallot ovat myös vaikeimmin vaimennettavissa aallonmurtajilla. Vaikka kelluvien aallonmurtajien tehoa pystytään hieman parantamaan tiettyjen teknisten ratkaisujen avulla, voidaan pääsääntönä pitää, että kelluvat aallonmurtajat pystyvät tehokkaasti vaimentamaan aaltoja joiden pituus on korkeintaan samaa suurusluokkaa kuin aallonmurtajan syvyys. Syvyydellä tarkoitetaan tässä rakennelman mittaa vedenpintaa pitkin aallokon tulosuunnassa.

Pitkien aaltojen olemassaoloa ei voida sulkea pois pelkkien teoreettisten laskelmien pohjalta. Tästä syystä Kahma ja Tikka (2011) suosittelivat mittauksien suorittamista Kipparlahdella kustannustehokkaana vaihtoehtona aallonmurtajien rakentamiseen. Tässä selvityksessä suoritettujen mittausten myötä voitiin todeta, että Kipparlahdella ei havaittu lainkaan pitkiä avomeren aaltoja, vaan pisimmät havaittavat aallot ovat kehittyneet Kruunuvuorenselällä.

Haastavimpia paikkoja aallokon määrittelemiseksi ovat avomerelle alttiit, mutta osittain saariston suojassa olevat rannikon pisteet. Näiden paikkoja aallokkoa ei ole yksinkertaisesti kuvattavissa paikallisen aallokon ja vaimentuneen avomeren aallokon summana. Helsingin rannikon ankarin aallokko on mittausten valossa Hernesaassa, mikä on linjassa aikaisempien aallokkolaskelmien kanssa.

Poijumittausten kanssa samanaikaisesti rannalta suoritettut korkeataajuiset mittaukset esimerkiksi Jätkäsaarella ja Kipparlahdella vahvistavat, että aallokko on monin paikoin täysin heijastunutta. Mittaukset osoittavat, että Jätkäsaaren aallonvaimennuskammiot vaimentavat 10 metriä lyhyempiä aaltoja tehokkaasti, mutta sitä pidemmät aallot ovat täysin heijastuneita. Myös Kipparlahden mittaukset osoittavat aallokon heijastuvan täydellisesti. Näiden tietojen valossa on suositeltavaa käyttää oletusarvoisesti täysin heijastuvasta rantaa, ellei paikkakohtainen selvitys osoita toisin.

Aallokko laskettiin erikseen loivalle rannalle kahteen paikkaan: Presidentin linnaan ja kaupungintalolle. Lähtötietona käytettiin kauppatorin aaltomittauksia, mutta loivalla rannalla aallokon heijastumisen puuttuminen pienentää korkeutta johon vihreä vesi voi nousta. Tämän vastapainoksi on kuitenkin otettava huomioon murtuvan aallokon aiheuttaman vedenpinnan kallistumisen sekä tuuliväänteen aiheuttaman kallistuksen.

Suoritettut tuulimittaukset Kruunuvuorenselällä osoittavat tuuliolosuhteiden olevan sisärannikon asemia, esim. Kaisaniemeä, kovemmat. Kruunuvuorenselkä on kuitenkin Harmajaa suojaisempi paikka. Vertailu avomeren tuulimittausaineistoon antaa aihetta olettaa, että aikaisemmin käytetty arvio maksimituulennopeudelle 20 ms^{-1} pitäisi likimain paikkansa. Täysi varmuus asiasta voidaan saada vain suorittamalla pitkäaikaisia tuulimittauksia.

Vedenkorkeuden ja aallonkorkeuden yhdistämisen kannalta tulokset osoittavat, että näiden kahden ilmiön yhteisvaikutuksen huomioimisen kannalta todennäköisyysjakaumien yhdistäminen tuottaa parhaan tuloksen. Maksimiaallokon ja maksimivedenkorkeuden suora summaaminen on jo aiemmin todettu johtavan selvään yliarvioon. Aikaisemmin käytetty menetelmä joka yhdistää toisen ilmiön tyypilliseen arvoon toisen ilmiön maksimiarvon on raportin laskelmien perusteella hyvin linjassa tässä esitetyn uuden menetelmän kanssa. Eroja esiintyy kuitenkin tulevaisuuden harvinaisissa arvoissa, missä näyttää siltä, että vanha yksinkertaisempi menetelmä on johtanut hienoiseen aliarvioon. Tämä ero on kuitenkin pieni verrattuna ilmastonmuutoksen vaikutuksen arvioinnista tulevien epävarmuuksiin. Vedenkorkeuden tuntihavaintojen käyttäminen ei ole teknisesti välttämätöntä, mikäli saatuja tuloksia ei ole tarpeen yhdistää aallokon kanssa. Paremman tarkkuuden takia niitä on kuitenkin suositeltavaa käyttää eteenkin pitkälle menevissä tulevaisuusskenaarioissa.

Tehdyt laskelmat osoittavat, että optimaalinen tapa muodostaa aallonkorkeuden todennäköisyysjakautuma riippuu tarkasteltavan paikan luonteesta. Varsinkin suojaisissa paikoissa samanaikaiset tuuli- ja aaltomittaukset antavat hyvin arvokasta tietoa. Tuulihavaintoja tulisi tehdä aina, kun se on kustannusten puolesta mahdollista.

Tässä raportissa annetut vedenkorkeuden ja aallonkorkeuden yhdistetyt arvot ovat arvioita siitä, miten korkealle yhtenäinen ns. vihreä vesi voi ylettyä. Jyrkällä rannalla ja kovalla aallokolla voi murtuva aalto kuitenkin nostaa pärskeitä paljon korkeammalle kuin mihin vihreä vesi yltää. Vaikka tämä vesivirta ei olekaan jatkuvaa, voi se kuitenkin tuoda hetkellisesti merkittävän määrän vettä tässä raportissa annettujen suositusten ylittävälle tasolle. Pärskeet on otettava huomioon, mikäli rannan välittömässä läheisyydessä on rakennelmia jotka eivät lainkaan saisi altistua suolavedelle.

Tiedustelut tämän raportin pätevyysalueesta ja mahdollisista lisäselvitystarpeesta voi tehdä Ilmatieteen laitoksen Meripäivystykseen (puh. 050 511 0026). Meripäivystys palvelee myös operatiivisissa tilanteissa virka-ajan puitteissa.

17 JATKOTOIMENPITEET

Epäsäännöllisen rannikon läheisen aallokon täydellinen tutkiminen vaatii aina sekä pitkäaikaisia, että laaja-alaisia mittauksia. Mittausten pitkäaikaisuus on aallokon tutkimisen yleinen ehto, kun taas spatiaalisen tiheyden vaatimus on epäsäännöllisen rannikon erityispiirre. Rannikon lähellä yksittäinen mittauspiste ei ole yleistettävissä kovinkaan laajalle alueelle, mistä syystä pitkäaikaisia mittauksia suoritetaan yleensä avomerellä, kuten keskellä Suomenlahtea tai Pohjoista Itämerä. Tässä raportissa esitetyt aaltomittaukset ovat spatiaalisen tiheyden takia antaneet ennennäkemättömän kuvan rannikon läheisestä aallokosta. Mutta koska tämän projektin mittaukset ovat myös näyttäneet, että rannikon läheinen aallokko ei ole suoraan rekonstruoitavissa avomeren mittauksista, on seuraava askel rannikon läheisen aallokon kartoittamisen kannalta suorittaa pitkäaikaisia jatkuvia mittauksia valituissa paikoissa.

Erityisen arvokkaiksi ovat myös osoittautuneet Kruunuvuorenselän tuulimittaukset, sillä ne ovat antaneet tukea jo aikaisemmin muodostetulle arviolle, että Kruunuvuoren selän tuuliolosuhteet ovat kovemmat verrattuna varsinaisen rannikon, esimerkiksi Kaisaniemen olosuhteisiin. Tässä raportissa suurimmat esiintyvät tuulennopeudet on arvioitu vertailemalla Kruunuvuorenselän mittauksia avomerellä suoritettuihin tuulimittauksiin. Lopullista tietoa tuuliolosuhteista on kuitenkin saatavissa ainoastaan pitkäaikaisista tuulimittauksista. Vuoden 2016 jälkeen tuulimittaukset ovat jatkuneet, joskin haastavien huoltoyhteyksien takia mittausaikasarjassa on joitain katkoksia. Jos resurssien perusteella on mahdollista, tulisi näitä tuulimittauksia vielä jatkaa. Kruunuvuorenselän aallokon paikallinen osuus on lisäksi hyvin kuvattavissa tuulihavaintojen perusteella, mikä myös puoltaa Kruunuvuorenselän tuulimittausten jatkamista.

Suomenlinnan ulkopuolelle vuonna 2016 ankkuroitu pysyvä aaltopoiju on toiminut moitteettomasti ja mittaa tällä hetkellä aallokkoa jo neljättä mittauskautta. Nämä mittaukset ovat osoittautuneet hyvin hyödyllisiksi lyhempien mittausaikasarjojen analyysissä. Suomenlinnan poijun havainnot ovat myös toimineet perustana tieteellisissä julkaisuissa, (esim. Björkqvist ym. 2019, Björkqvist ym. 2020) jotka tuottavat lisää relevanttia tutkimustietoa. Näitä mittauksia kannattaa ehdottomasti jatkaa, ja mittauksesta olisi mahdollista tehdä kattavampi erillinen analyysi, kun aineistoa on kertynyt 5-10 vuotta.

Turvalliset rakentamiskorkeudet Helsingin rannoilla vuosina 2020, 2050 ja 2100 -kartasto julkistettiin 13.1.2016, ja päivitettiin tämän raportin päivittämisen yhteydessä syksyllä 2019. Suomenlinnan pysyvä aaltopoiju antaa reaaliaikaisesti tietoa vallitsevasta ulkosaariston sisäpuolella vallitsevasta aallokosta. Tämän tutkimuksen yhteydessä saatu erittäin merkittävä aineisto on myös hyödynnetty aaltoennustusjärjestelmän pystyttämiseksi Helsingin saariston alueelle. Tätä aaltoennustejärjestelmää pystytään jatkokehittämään kertyvän havaintoaineiston perusteella.

18 KIRJALLISUUSLUETTELO

Björkqvist, J.-V., 2019, "Ahdinaltaan aallokko – raportti syksyn 2018 mittaustuloksista", Ilmatieteen laitokselta tilattu raportti, 18.2.2019, DOI: 10.5281/zenodo.3579523

Björkqvist, J.-V. ja Johansson, M., 2017, "Merellinen Helsinki – Vuosiraportti 2016", Ilmatieteen laitokselta tilattu raportti, 16.1.2017, DOI: 10.5281/zenodo.3579511

Björkqvist, J.-V., Kanarik, H., Johansson, M. M. ja Tuomi, L., 2018, "A Wave Forecast for the Helsinki Archipelago in the Gulf of Finland," 2018 IEEE/OES Baltic International Symposium (BALTIC), Klaipeda, Lithuania, sivut 1-6

Björkqvist, J.-V., Vähä-Piikkiö, O., Alari, V., Kuznetsova, A. ja Tuomi, L., 2020, "WAM, SWAN and WAVEWATCH III in the Finnish archipelago – the effect of spectral performance on bulk wave parameters", Journal of Operational Oceanography, 13, sivut 55–70.

Björkqvist, J.-V., Pettersson, H. ja Kahma, K. K., 2019, "The wave spectrum in archipelagos", Ocean Science Discussions, 25, sivut 1469-1487.

Kahma, K.K., Pellikka, H., Leinonen K., Leijala U. ja Johansson, M., 2014, "Pitkän aikavälin tulvariskit ja alimmat suositeltavat rakentamiskorkeudet Suomen rannikolla", Ilmatieteen laitos, Raportteja, 2014:6

Kahma, K.K. ja Pettersson, H., 1992, "Aallokkomittauksia Helsingin merenlahdissa", Merentutkimuslaitos

Kahma, K.K. ja Tikka, K., 2011, "Herttoniemen Kipparilahden kaavamuutosalueen aallokkotarkastelu", Helsingin Kaupunkisuunnitteluvirasto, yleissuunnitteluosasto/teknistaloudellinen toimisto, Ilmatieteen laitokselta tilattu raportti, 2.5.2011

Kahma, K. K., J.-V. Björkqvist, M. Johansson, H. Jokinen, U. Leijala, J. Särkkä, K. Tikka ja L. Tuomi, 2016. Turvalliset rakentamiskorkeudet Helsingin rannoilla vuosina 2020, 2050 ja 2100 Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto, Geoteknisen osaston julkaisu 96, 13.1.2016.

Kangas, A., Johansson M. ja Kahma, K.K., 2006, "Selvitys vedenkorkeudesta Verkkosaaressa", Merentutkimuslaitos, 25.10.2006

Komen, G.J., Cavaleri, L., Donelan, M., Hasselmann, K., Hasselmann, S. ja Janssen, P.A.E.M., 1994, "Dynamics and Modelling of Ocean Waves", Cambridge University Press, Cambridge

Parjanne, A., Huokuna, M. (toim.), 2014, "Tulviin varautuminen rakentamisessa - opas alimpien rakentamiskorkeuksien määrittämiseksi ranta-alueilla", Ympäristöopas 2014, Suomen Ympäristökeskus, ISSN: 1796-167X, helda.helsinki.fi/syke

Ramboll, 2016, "Ahdinallas, Aaltomalli", Tekninen raportti, Laatija: Thomas Banafa, Tarkastaja: Tommy Nyman.

Tuomi, L., 2008, "The accuracy of FIMR wave forecasts in 2002–2005", Report Series of the Finnish Institute of Marine Research, No. 63, sivut 7–17

Tuomi, L. ja Björkqvist J.-V., 2014, "Wave forecasting in coastal archipelagos", Proceedings of 6th IEEE/OES Baltic Symposium, 26–29 May 2014, Tallinn

WAMDI Group, 1988, "The WAM model—A third generation ocean wave prediction model", Journal of Physical Oceanography, vol. 18, sivut 1775–1810

```
# Yhdistetty aallokko ja vedenkorkeus
#
# Korkeusjärjestelmä
N2000
# Esiintymistodennäköisyys (kerran kuinka monessa vuodessa)
250
# Sarakkeet
# 1=Latitudi
# 2=Longitudi
# 3=Arvio vuodelle 2020 (m)
# 4=Arvio vuodelle 2050 (m)
# 5=Arvio vuodelle 2100 (m)
# 6=Arvio mittauspisteelle (1), tai muualle yleistetty arvo (0)
60.161537 24.912409 3.11 3.22 3.92 0
60.157089 24.904034 2.76 2.87 3.57 0
60.157378 24.908660 2.76 2.87 3.57 0
60.153790 24.902680 2.74 2.84 3.54 0
60.151132 24.904258 2.90 3.00 3.70 0
60.150400 24.909048 3.01 3.11 3.81 1
60.152757 24.914658 3.01 3.11 3.81 1
60.148094 24.913563 3.13 3.24 3.93 0
60.147143 24.922822 3.17 3.27 3.97 1
60.146404 24.924556 3.22 3.32 4.02 0
60.146835 24.927948 3.21 3.31 4.01 0
60.148487 24.927948 3.09 3.19 3.89 0
60.150499 24.929103 3.04 3.14 3.84 0
60.151739 24.930366 2.97 3.07 3.77 1
60.153894 24.934336 2.83 2.93 3.63 0
60.151545 24.942928 2.87 2.97 3.67 0
60.150565 24.948909 2.90 3.00 3.70 0
60.148215 24.959928 2.96 3.06 3.76 0
60.153441 24.942970 2.42 2.53 3.23 0
60.154765 24.947991 2.54 2.65 3.35 0
60.154955 24.960087 2.66 2.77 3.47 0
60.167058 24.954994 2.57 2.67 3.37 1
60.166395 24.953785 2.57 2.67 3.37 0
60.165557 24.954064 2.57 2.67 3.37 0
60.167520 24.956633 2.57 2.67 3.37 0
60.165991 24.960399 2.57 2.67 3.37 0
60.164364 24.954965 2.57 2.67 3.37 0
60.164283 24.965535 2.57 2.67 3.37 0
60.161781 24.958588 2.57 2.67 3.37 0
60.168110 24.956728 2.39 2.50 3.37 0
60.168028 24.953214 2.40 2.53 3.17 0
60.179286 25.014822 2.62 2.73 3.43 0
60.179648 25.009196 2.66 2.76 3.46 0
60.179385 24.997217 2.75 2.86 3.56 0
60.175313 24.992153 2.80 2.90 3.60 0
60.173822 25.013035 2.67 2.77 3.47 0
60.171430 25.010377 2.70 2.80 3.50 1
60.169033 25.010763 2.72 2.82 3.52 1
60.164029 25.011547 2.79 2.89 3.59 1
60.160964 25.011872 2.79 2.89 3.59 0
60.154704 25.010719 2.74 2.85 3.54 0
60.163682 24.971471 2.74 2.84 3.54 0
60.166448 24.978288 2.81 2.91 3.61 0
60.171156 24.987885 2.74 2.84 3.54 0
60.152546 25.010024 2.62 2.72 3.42 0
```

60.150958	25.010970	2.83	2.94	3.63	0
60.149829	25.012674	2.81	2.91	3.60	0
60.150415	25.014160	2.85	2.95	3.65	0
60.151953	25.015661	2.86	2.96	3.66	0
60.154906	25.015365	2.71	2.81	3.51	0
60.145826	25.028252	2.69	2.79	3.49	0
60.149882	25.035748	2.69	2.79	3.49	0
60.153517	25.041934	2.79	2.89	3.59	0
60.189610	25.024740	2.57	2.68	3.38	1
60.190894	25.022403	2.57	2.68	3.38	0
60.188174	25.017504	2.51	2.62	3.32	0
60.186262	24.989441	2.95	3.05	3.75	0
60.187098	24.993570	2.95	3.05	3.75	0
60.187991	24.997776	2.95	3.05	3.75	0
60.188828	24.984853	2.95	3.05	3.75	0
60.191230	24.999092	3.01	3.12	3.82	0
60.191099	25.009290	2.78	2.88	3.58	0
60.192918	25.010746	2.78	2.88	3.58	0
60.195618	25.001734	2.89	2.99	3.69	0
60.192724	24.984968	2.69	2.80	3.50	0
60.202717	24.993942	2.86	2.96	3.66	0
60.204203	24.992447	2.86	2.96	3.66	0
60.204027	24.995989	2.76	2.86	3.56	0
60.205626	24.989100	2.97	3.08	3.78	0
60.206632	25.000706	2.82	2.93	3.63	0
60.209139	25.004564	2.82	2.93	3.63	0
60.198921	25.010847	2.82	2.93	3.63	0
60.204999	25.016030	2.95	3.05	3.75	0
60.201339	25.016212	2.95	3.05	3.75	0
60.197972	25.003300	2.82	2.93	3.63	0
60.197159	25.000026	2.82	2.93	3.63	0
60.198020	24.982316	2.85	2.95	3.65	0
60.204214	24.980405	2.87	2.97	3.67	0
60.200757	24.980252	2.85	2.95	3.65	0
60.207406	24.982852	2.89	2.99	3.69	0
60.209344	24.988434	2.85	2.96	3.66	0
60.173156	24.967202	2.61	2.72	3.42	0
60.169625	24.964915	2.56	2.67	3.37	0
60.169287	24.972453	2.56	2.67	3.37	0
60.172790	24.969884	2.77	2.88	3.58	0
60.175900	24.974161	2.77	2.88	3.58	0
60.177988	24.971661	2.65	2.76	3.46	0
60.179964	24.965892	2.65	2.76	3.46	0
60.183537	24.975369	2.77	2.88	3.58	0
60.179013	24.963357	2.56	2.67	3.37	0
60.175495	24.962106	2.65	2.76	3.46	0
60.183327	24.966084	2.35	2.46	3.16	0
60.182154	24.965508	2.35	2.46	3.16	0
60.182468	24.963670	2.35	2.46	3.16	0
60.173375	24.979542	2.79	2.90	3.60	0
60.176270	24.980302	2.47	2.58	3.28	0
60.177029	24.976541	2.47	2.58	3.28	0
60.179253	24.986044	2.61	2.72	3.42	0
60.176752	24.986017	2.56	2.67	3.37	0
60.176977	24.981627	2.53	2.64	3.34	0
60.181974	24.985206	2.57	2.68	3.38	0
60.183176	24.989304	2.47	2.58	3.28	0
60.184098	24.983754	2.51	2.62	3.32	0

60.182655	24.991716	2.51	2.62	3.32	0
60.185366	24.991886	2.51	2.62	3.32	0
60.171197	24.961989	2.56	2.67	3.37	0
60.129533	24.888716	3.72	3.83	4.52	0
60.128752	24.894976	3.72	3.83	4.52	1
60.132742	24.884689	2.89	2.99	3.69	0
60.127563	24.881783	3.04	3.14	3.85	0
60.133694	24.893228	3.30	3.41	4.10	0
60.135027	24.889765	3.19	3.29	3.98	0
60.139465	24.923576	3.38	3.49	4.18	0
60.135777	24.916958	3.01	3.12	3.82	0
60.147911	24.890279	2.61	2.72	3.42	0
60.147025	24.889845	2.61	2.72	3.42	0
60.151268	24.895354	2.61	2.72	3.42	0
60.158921	24.894403	2.61	2.72	3.42	0
60.160666	24.893882	2.61	2.72	3.42	0
60.156512	24.889375	2.61	2.72	3.42	0
60.144457	24.874331	2.89	3.00	3.71	0
60.146134	24.871972	2.89	3.00	3.71	0
60.148590	24.876227	2.89	3.00	3.71	1
60.152060	24.859872	2.75	2.85	3.55	0
60.152471	24.855391	2.70	2.80	3.51	0
60.154525	24.873080	2.83	2.93	3.63	0
60.154202	24.867479	2.83	2.93	3.63	0
60.152530	24.864472	2.89	3.00	3.71	0
60.158827	24.857687	2.79	2.90	3.60	1
60.165316	24.844132	2.83	2.94	3.64	0
60.162927	24.834893	2.87	2.98	3.68	0
60.167299	24.825615	2.83	2.94	3.64	0
60.168630	24.812313	2.56	2.67	3.37	0
60.166738	24.842158	2.71	2.82	3.52	0
60.165899	24.849967	2.71	2.82	3.52	0
60.169351	24.855799	2.71	2.82	3.52	0
60.155912	24.853731	2.71	2.82	3.52	0
60.176586	24.882108	2.83	2.94	3.64	0
60.177958	24.879810	2.83	2.94	3.64	0
60.180067	24.880768	2.89	3.00	3.70	0
60.184131	24.881122	2.91	3.02	3.72	0
60.185339	24.882049	2.91	3.02	3.72	0
60.185998	24.885284	2.56	2.67	3.37	0
60.185071	24.886840	2.56	2.67	3.37	0
60.184120	24.887878	2.56	2.67	3.37	0
60.181684	24.888031	2.56	2.67	3.37	0
60.178740	24.887317	2.56	2.67	3.37	0
60.176087	24.887814	2.91	3.02	3.72	0
60.180963	24.902009	2.83	2.94	3.64	1
60.180443	24.905365	2.83	2.94	3.64	0
60.182865	24.902622	2.59	2.70	3.40	0
60.178874	24.910805	2.59	2.70	3.40	0
60.176251	24.907575	2.83	2.94	3.64	0
60.174413	24.906914	2.50	2.61	3.31	0
60.168268	24.910697	2.83	2.94	3.64	0
60.187998	24.888475	2.79	2.90	3.60	0
60.185206	24.894570	2.83	2.94	3.64	0
60.186551	24.903660	2.71	2.82	3.52	0
60.184397	24.905708	2.61	2.72	3.42	0
60.183795	24.909279	2.47	2.58	3.28	0
60.183595	24.860418	2.91	3.02	3.72	0

60.184266	24.864464	2.91	3.02	3.72	0
60.186182	24.869233	2.91	3.02	3.72	0
60.179931	24.858732	2.91	3.02	3.72	0
60.177295	24.856612	2.91	3.02	3.72	0
60.174804	24.861911	2.91	3.02	3.72	0
60.175547	24.854878	2.91	3.02	3.72	0
60.173393	24.868155	3.01	3.12	3.82	0
60.164967	24.865953	2.87	2.98	3.68	0
60.166302	24.881584	2.54	2.65	3.35	0
60.190840	24.839877	3.05	3.16	3.86	0
60.146021	24.974383	3.24	3.34	4.04	0
60.141897	24.981108	3.27	3.37	4.07	0
60.149196	24.973743	2.71	2.81	3.51	0
60.150689	24.980679	2.84	2.94	3.64	0
60.149353	24.984269	2.84	2.94	3.64	0
60.149288	24.988061	2.81	2.91	3.61	0
60.146234	24.992499	2.81	2.91	3.61	0
60.130223	24.996252	3.88	3.98	4.67	1
60.131328	25.000493	3.74	3.84	4.54	0
60.132235	25.004438	2.66	2.76	3.46	0
60.133922	25.005740	2.61	2.72	3.42	0
60.134066	25.009468	2.66	2.76	3.46	0
60.137138	24.994656	3.33	3.44	4.13	0
60.140360	24.995499	2.93	3.03	3.73	0
60.140212	25.001930	2.87	2.97	3.67	0
60.140237	25.008180	2.79	2.89	3.59	0
60.133305	25.013567	3.47	3.57	4.27	0
60.131679	25.019947	4.01	4.12	4.81	0
60.135600	25.021851	2.57	2.68	3.38	0
60.136363	25.015330	2.60	2.70	3.40	0
60.136741	25.021158	2.57	2.68	3.38	0
60.129557	25.004063	4.25	4.35	5.04	0
60.135241	25.042966	4.39	4.50	5.19	0
60.132733	25.031974	4.39	4.50	5.19	0
60.147150	25.113527	3.84	3.94	4.62	0
60.157937	25.065679	2.71	2.82	3.52	0
60.157339	25.071926	2.71	2.82	3.52	0
60.159264	25.059091	2.61	2.72	3.42	0
60.153452	25.060465	2.56	2.67	3.37	0
60.151697	25.069713	2.56	2.67	3.37	0
60.152882	25.124300	3.59	3.69	4.37	1
60.155449	25.134564	3.50	3.61	4.29	0
60.156280	25.140420	3.52	3.62	4.30	0
60.157608	25.145943	3.37	3.47	4.16	0
60.136611	25.061212	4.03	4.13	4.81	0
60.099699	25.054409	5.42	5.50	6.05	1
60.095625	25.046237	5.55	5.63	6.18	0
60.100788	25.063175	5.42	5.50	6.05	0
60.105882	25.072537	4.85	4.94	5.52	0
60.104502	25.057282	2.71	2.82	3.52	1
60.104596	25.048574	2.71	2.82	3.52	0
60.104392	25.062896	2.71	2.82	3.52	0
60.106499	25.071399	2.71	2.82	3.52	0
60.098900	25.016477	4.87	4.98	5.68	0
60.098651	25.013416	4.87	4.98	5.68	0
60.100052	25.013229	4.87	4.98	5.68	0
60.104430	25.014420	3.43	3.53	4.17	0
60.102914	25.018178	3.43	3.53	4.17	0

60.099874	25.017699	4.87	4.98	5.68	0
60.106757	25.018732	4.32	4.43	5.12	0
60.143318	24.726968	2.46	2.57	3.27	1
60.132046	24.707945	2.46	2.57	3.27	0
60.143265	24.716948	2.51	2.62	3.32	0
60.139884	24.722824	2.46	2.57	3.27	0
60.141587	24.707054	2.51	2.62	3.32	0
60.149109	24.731640	2.46	2.57	3.27	0
60.146610	24.721530	2.51	2.62	3.32	0
60.188261	25.094190	2.91	3.02	3.72	1
60.190938	25.098705	2.91	3.02	3.72	0
60.191824	25.103517	2.91	3.02	3.72	0
60.194713	25.109285	2.91	3.02	3.72	0
60.194118	25.114340	2.91	3.02	3.72	0
60.185374	25.086298	2.56	2.67	3.37	0
60.184126	25.085894	2.56	2.67	3.37	0
60.182212	25.081312	2.56	2.67	3.37	0
60.196322	25.124838	2.71	2.82	3.52	0
60.197981	25.129435	2.71	2.82	3.52	0
60.195906	25.132581	2.71	2.82	3.52	0
60.190366	25.133302	2.71	2.82	3.52	0
60.192891	25.134319	2.71	2.82	3.52	0
60.178295	25.083727	2.56	2.67	3.37	0
60.177110	25.088278	2.56	2.67	3.37	0
60.162524	25.108779	2.56	2.67	3.37	0
60.162524	25.117502	2.56	2.67	3.37	0
60.172670	25.083124	2.56	2.67	3.37	0
60.168714	25.092616	2.56	2.67	3.37	0
60.188255	25.133587	2.63	2.73	3.43	0
60.187086	25.141746	2.63	2.73	3.43	0
60.183897	25.153675	2.78	2.88	3.58	0
60.166072	25.094040	2.60	2.70	3.40	0
60.199749	25.150126	2.94	3.04	3.73	0
60.199480	25.144140	2.94	3.04	3.73	0
60.201074	25.154199	2.53	2.63	3.33	0
60.221880	25.197153	2.67	2.78	3.48	1
60.227904	25.215683	2.67	2.78	3.48	0
60.231283	25.219560	2.67	2.78	3.48	0
60.232138	25.195955	2.67	2.78	3.48	0
60.229786	25.192509	2.67	2.78	3.48	0
60.233400	25.205992	2.67	2.78	3.48	0
60.224011	25.215942	2.67	2.78	3.48	0
60.241589	25.218201	2.73	2.84	3.54	0
60.237553	25.210918	2.73	2.84	3.54	1
60.240859	25.203027	2.73	2.84	3.54	0
60.242520	25.229705	2.73	2.84	3.54	0
60.246883	25.218354	2.73	2.84	3.54	0
60.247840	25.227799	2.73	2.84	3.54	0
60.245301	25.222762	2.73	2.84	3.54	0
60.233700	25.237216	2.73	2.84	3.54	0
60.243297	25.244169	2.73	2.84	3.54	0
60.218651	25.121540	2.63	2.74	3.44	1
60.215971	25.122089	2.63	2.74	3.44	0
60.215462	25.118937	2.63	2.74	3.44	0
60.211261	25.118044	2.63	2.74	3.44	0
60.211796	25.112528	2.63	2.74	3.44	0
60.204601	25.097770	2.63	2.74	3.44	0

```
# Suurin arvioitu merkitsevä aallonkorkeus
# Heijastusta ei ole huomioitu
# Sarakkeet
# 1=Latitudi
# 2=Longitudi
# 3=Merkitsevä aallonkorkeus
# 4=Arvio mittauspisteelle (1), tai muualle yleistetty arvo (0)
60.161537 24.912409 1.10 0
60.157089 24.904034 0.40 0
60.157378 24.908660 0.40 0
60.153790 24.902680 0.70 0
60.151132 24.904258 0.90 0
60.150400 24.909048 1.00 1
60.152757 24.914658 1.80 1
60.148094 24.913563 1.10 0
60.147143 24.922822 0.90 1
60.146404 24.924556 0.90 0
60.146835 24.927948 0.90 0
60.151739 24.930366 0.90 1
60.153894 24.934336 0.80 0
60.151545 24.942928 0.80 0
60.150565 24.948909 0.80 0
60.148215 24.959928 0.90 0
60.153441 24.942970 0.20 0
60.154765 24.947991 0.20 0
60.154955 24.960087 0.30 0
60.150499 24.929103 0.90 0
60.148487 24.927948 0.90 0
60.167058 24.954994 0.60 1
60.166395 24.953785 0.60 0
60.165557 24.954064 0.60 0
60.167520 24.956633 0.60 0
60.165991 24.960399 0.60 0
60.164364 24.954965 0.60 0
60.164283 24.965535 0.60 0
60.161781 24.958588 0.60 0
60.168110 24.956728 0.60 0
60.168028 24.953214 0.60 0
60.189610 25.024740 0.50 1
60.190894 25.022403 0.50 0
60.188174 25.017504 0.30 0
60.179286 25.014822 0.40 0
60.179648 25.009196 0.50 0
60.179385 24.997217 0.60 0
60.175313 24.992153 0.60 0
60.173822 25.013035 0.50 0
60.171430 25.010377 0.50 1
60.169033 25.010763 0.50 1
60.163682 24.971471 0.60 0
60.166448 24.978288 0.70 0
60.171156 24.987885 0.60 0
60.149196 24.973743 0.60 0
60.150689 24.980679 0.70 0
60.149353 24.984269 0.70 0
60.149288 24.988061 0.70 0
60.146234 24.992499 0.60 0
60.164029 25.011547 0.70 1
60.160964 25.011872 0.70 0
```

60.154704	25.010719	0.60	0
60.152546	25.010024	0.60	0
60.150958	25.010970	0.50	0
60.149829	25.012674	0.50	0
60.150415	25.014160	0.50	0
60.151953	25.015661	0.50	0
60.154906	25.015365	0.50	0
60.145826	25.028252	0.70	0
60.149882	25.035748	0.70	0
60.153517	25.041934	0.70	0
60.176270	24.980302	0.20	0
60.177988	24.971661	0.30	0
60.175495	24.962106	0.30	0
60.173156	24.967202	0.30	0
60.169625	24.964915	0.40	0
60.169287	24.972453	0.30	0
60.172790	24.969884	0.50	0
60.175900	24.974161	0.50	0
60.179577	24.966768	0.30	0
60.183537	24.975369	0.40	0
60.179013	24.963357	0.30	0
60.183327	24.966084	0.10	0
60.182154	24.965508	0.10	0
60.182468	24.963670	0.10	0
60.173375	24.979542	0.50	0
60.177029	24.976541	0.30	0
60.179253	24.986044	0.30	0
60.176752	24.986017	0.40	0
60.176977	24.981627	0.20	0
60.181974	24.985206	0.40	0
60.183176	24.989304	0.30	0
60.184098	24.983754	0.30	0
60.182655	24.991716	0.40	0
60.185366	24.991886	0.20	0
60.171197	24.961989	0.50	0
60.129533	24.888716	1.30	0
60.128752	24.894976	1.30	1
60.132742	24.884689	0.60	0
60.127563	24.881783	0.80	0
60.133694	24.893228	0.90	0
60.135027	24.889765	0.80	0
60.139465	24.923576	0.90	0
60.135777	24.916958	0.70	0
60.147911	24.890279	1.00	0
60.147025	24.889845	1.00	0
60.151268	24.895354	0.90	0
60.158921	24.894403	0.30	0
60.160666	24.893882	0.30	0
60.156512	24.889375	0.40	0
60.144457	24.874331	0.80	0
60.146134	24.871972	0.80	0
60.148590	24.876227	0.80	1
60.152060	24.859872	0.80	0
60.152471	24.855391	0.60	0
60.154525	24.873080	0.70	0
60.154202	24.867479	0.70	0
60.152530	24.864472	0.80	0
60.146021	24.974383	0.80	0

60.141897	24.981108	0.90	0
60.130223	24.996252	1.40	1
60.131328	25.000493	1.20	0
60.132235	25.004438	0.40	0
60.133922	25.005740	0.40	0
60.134066	25.009468	0.40	0
60.137138	24.994656	0.90	0
60.133305	25.013567	1.00	0
60.131679	25.019947	1.40	0
60.129557	25.004063	1.50	0
60.135241	25.042966	1.70	0
60.132733	25.031974	1.70	0
60.147150	25.113527	1.50	0
60.140360	24.995499	0.70	0
60.140212	25.001930	0.60	0
60.140237	25.008180	0.60	0
60.135600	25.021851	0.30	0
60.136363	25.015330	0.50	0
60.136741	25.021158	0.40	0
60.152882	25.124300	1.30	1
60.155449	25.134564	1.20	0
60.156280	25.140420	1.20	0
60.157608	25.145943	1.20	0
60.136611	25.061212	1.70	0
60.099699	25.054409	2.30	1
60.095625	25.046237	2.40	0
60.100788	25.063175	2.30	0
60.105882	25.072537	1.90	0
60.098900	25.016477	1.90	0
60.098651	25.013416	1.90	0
60.100052	25.013229	1.80	0
60.104430	25.014420	0.90	0
60.102914	25.018178	0.90	0
60.099874	25.017699	1.30	0
60.106757	25.018732	1.40	0
60.104502	25.057282	0.80	1
60.104596	25.048574	1.00	0
60.104392	25.062896	0.30	0
60.106499	25.071399	0.80	0
60.218651	25.121540	0.20	1
60.215971	25.122089	0.20	0
60.215462	25.118937	0.20	0
60.211261	25.118044	0.20	0
60.211796	25.112528	0.20	0
60.204601	25.097770	0.20	0
60.241589	25.218201	0.30	1
60.237553	25.210918	0.30	0
60.240859	25.203027	0.30	0
60.242520	25.229705	0.30	0
60.246883	25.218354	0.30	0
60.247840	25.227799	0.30	0
60.245301	25.222762	0.30	0
60.233700	25.237216	0.30	0
60.243297	25.244169	0.30	0
60.188261	25.094190	0.50	1
60.190938	25.098705	0.50	0
60.191824	25.103517	0.50	0
60.194713	25.109285	0.50	0

60.194118	25.114340	0.50	0
60.196322	25.124838	0.30	0
60.197981	25.129435	0.30	0
60.195906	25.132581	0.60	0
60.190366	25.133302	0.60	0
60.192891	25.134319	0.60	0
60.185374	25.086298	0.50	0
60.184126	25.085894	0.50	0
60.182212	25.081312	0.50	0
60.178295	25.083727	0.60	0
60.177110	25.088278	0.60	0
60.162524	25.108779	0.50	0
60.162524	25.117502	0.50	0
60.172670	25.083124	0.40	0
60.166072	25.094040	0.60	0
60.168714	25.092616	0.60	0
60.188255	25.133587	0.50	0
60.187086	25.141746	0.50	0
60.183897	25.153675	1.10	0
60.199749	25.150126	0.70	0
60.199480	25.144140	0.70	0
60.201074	25.154199	0.70	0
60.221880	25.197153	0.30	0
60.227904	25.215683	0.30	1
60.231283	25.219560	0.30	0
60.232138	25.195955	0.30	0
60.229786	25.192509	0.30	0
60.233400	25.205992	0.30	0
60.224011	25.215942	0.30	0
60.143318	24.726968	0.20	1
60.132046	24.707945	0.20	0
60.143265	24.716948	0.20	0
60.139884	24.722824	0.20	0
60.141587	24.707054	0.20	0
60.149109	24.731640	0.20	0
60.146610	24.721530	0.20	0
60.157937	25.065679	0.30	0
60.157339	25.071926	0.40	0
60.159264	25.059091	0.40	0
60.153452	25.060465	0.40	0
60.151697	25.069713	0.50	0
60.176586	24.882108	0.50	0
60.177958	24.879810	0.50	0
60.180067	24.880768	0.40	0
60.184131	24.881122	0.50	0
60.185339	24.882049	0.50	0
60.185998	24.885284	0.30	0
60.185071	24.886840	0.30	0
60.184120	24.887878	0.40	0
60.181684	24.888031	0.40	0
60.178740	24.887317	0.40	0
60.176087	24.887814	0.50	0
60.180963	24.902009	0.40	0
60.180443	24.905365	0.40	0
60.182865	24.902622	0.30	0
60.178874	24.910805	0.30	0
60.176251	24.907575	0.40	0
60.174413	24.906914	0.40	0

60.168268	24.910697	0.40	0
60.187998	24.888475	0.40	0
60.185206	24.894570	0.40	0
60.186551	24.903660	0.30	0
60.184397	24.905708	0.20	0
60.183795	24.909279	0.20	0
60.183595	24.860418	0.50	0
60.184266	24.864464	0.50	0
60.186182	24.869233	0.50	0
60.179931	24.858732	0.50	0
60.177295	24.856612	0.50	0
60.174804	24.861911	0.50	0
60.175547	24.854878	0.50	0
60.173393	24.868155	0.50	0
60.164967	24.865953	0.40	0
60.166302	24.881584	0.50	0
60.190840	24.839877	0.50	0
60.158827	24.857687	0.40	1
60.165316	24.844132	0.50	0
60.162927	24.834893	0.50	0
60.167299	24.825615	0.50	0
60.168630	24.812313	0.60	0
60.166738	24.842158	0.40	0
60.165899	24.849967	0.40	0
60.169351	24.855799	0.40	0
60.155912	24.853731	0.40	0
60.186262	24.989441	0.70	0
60.187098	24.993570	0.70	0
60.187991	24.997776	0.70	0
60.188828	24.984853	0.70	0
60.191230	24.999092	0.70	0
60.191099	25.009290	0.50	0
60.192918	25.010746	0.30	0
60.195618	25.001734	0.50	0
60.192724	24.984968	0.40	0
60.202717	24.993942	0.50	0
60.204203	24.992447	0.50	0
60.204027	24.995989	0.50	0
60.205626	24.989100	0.50	0
60.206632	25.000706	0.50	0
60.209139	25.004564	0.50	0
60.198921	25.010847	0.40	0
60.204999	25.016030	0.40	0
60.201339	25.016212	0.40	0
60.197972	25.003300	0.50	0
60.197159	25.000026	0.50	0
60.198020	24.982316	0.40	0
60.204214	24.980405	0.50	0
60.200757	24.980252	0.40	0
60.207406	24.982852	0.40	0
60.209344	24.988434	0.30	0

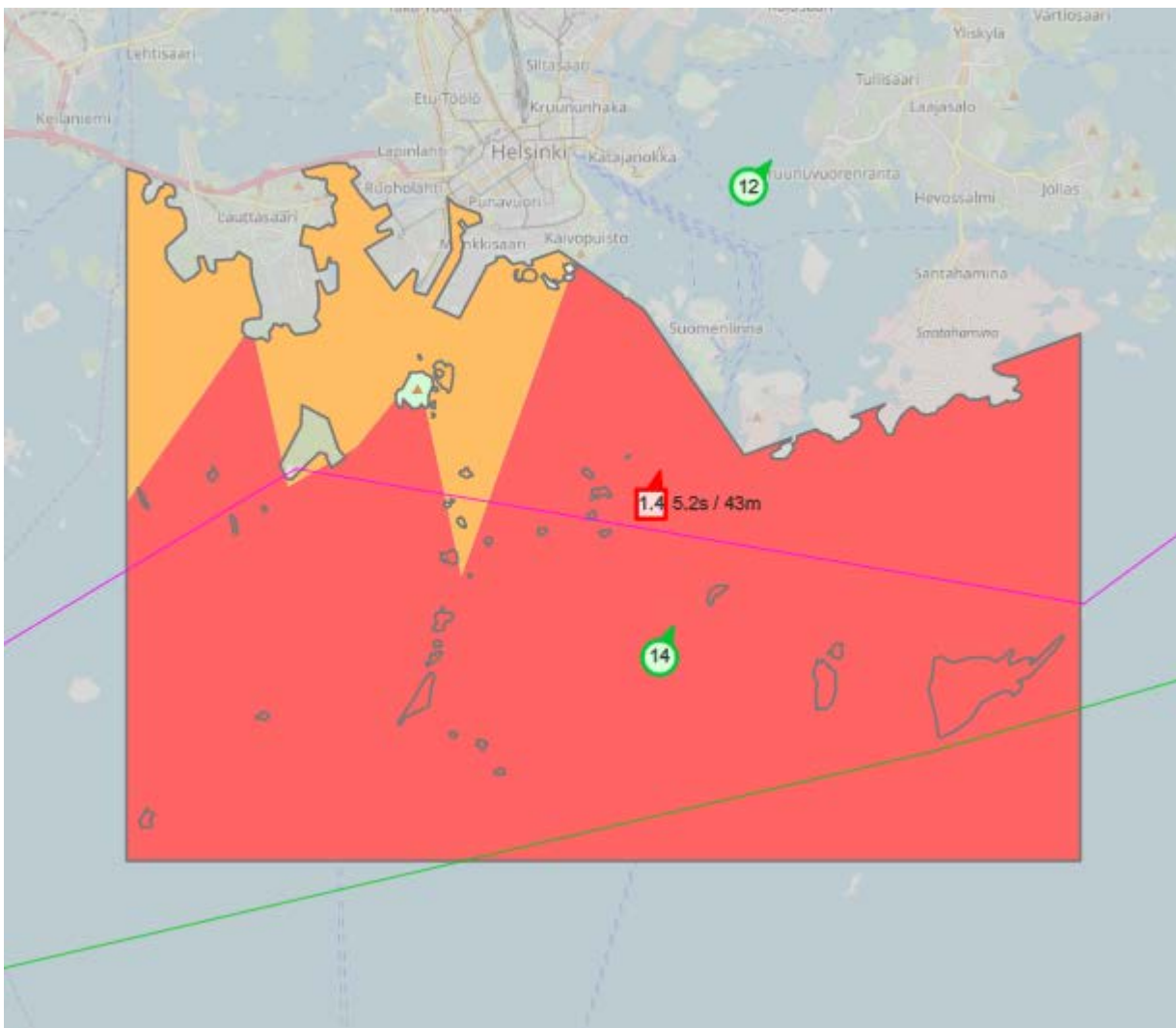
Ohje sähköisen palvelun käytöstä

Osoitteesta <http://meri.hel.fi> löytyy seuraavat palvelut:

- Helsingin lähivesien sää reaaliajassa
- Turvalliset rakentamiskorkeudet
- Suurin arvioitu merkitsevä aallonkorkeus

Helsingin lähivesien sää reaaliajassa

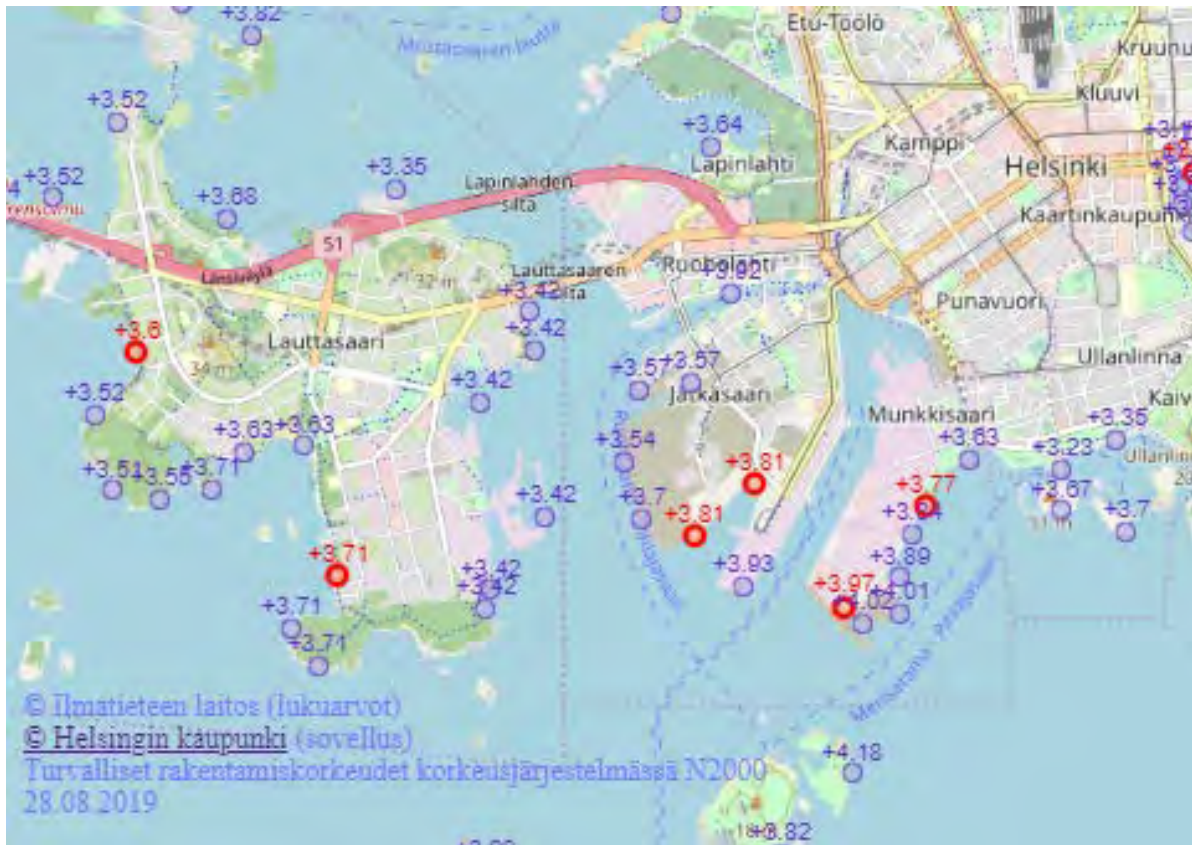
Kaikki reaaliajassa saatava Helsingin edustan havaintoaineisto on kerätty yhteen paikkaan. Suomenlahden avomeren poijun ja Suomenlinnan saaristopoijun kohdalle on saatavilla myös kahden ja puolen vuorokauden aaltoennuste, joka tuotetaan Helsingin edustalle erikseen ajettavalla hienohilaisella aaltomallilla.



Ote 'Helsingin lähivesien sää reaaliajassa' -karttanäkymästä 12.9.2019 klo 14:11

Turvalliset rakentamiskorkeudet

Valitse kartalta vuosi (2020, 2050 tai 2100) ja pistetyyppi (mitattu, laskettu tai molemmat). Kartalla näkyvät korkeuslukemat ovat N2000-korkeusjärjestelmän mukaisia. Mitatuissa pisteissä (punainen) on tehty vähintään kuukauden pituinen aaltopojumittaus. Laskettu piste (sininen) tarkoittaa kohtaa josta ei ole varsinaista mitattua dataa, vaan arvo on saatu yleistämällä mitattujen pisteiden tuloksia.



Ote 'Turvalliset rakentamiskorkeudet' -karttanäkymästä

Suurin arvioitu merkitsevä aallonkorkeus

Yleistetyt aallonkorkeusarvot löytyvät myös taulukkomuodossa Liitteestä 1b. Näihin arvoihin ei ole lisätty mitään laskennallista heijastusta. Heijastus on kuitenkin mukana Ahdinaltaan pohjukan pisteellä, sillä altaan seinän vieressä tehdyt mittaukset mittasivat heijastunutta aallokkoa. Laskettu piste (sininen) tarkoittaa kohtaa josta ei ole varsinaista mitattua dataa, vaan arvo on saatu yleistämällä mitattujen (punainen) pisteiden tuloksia.

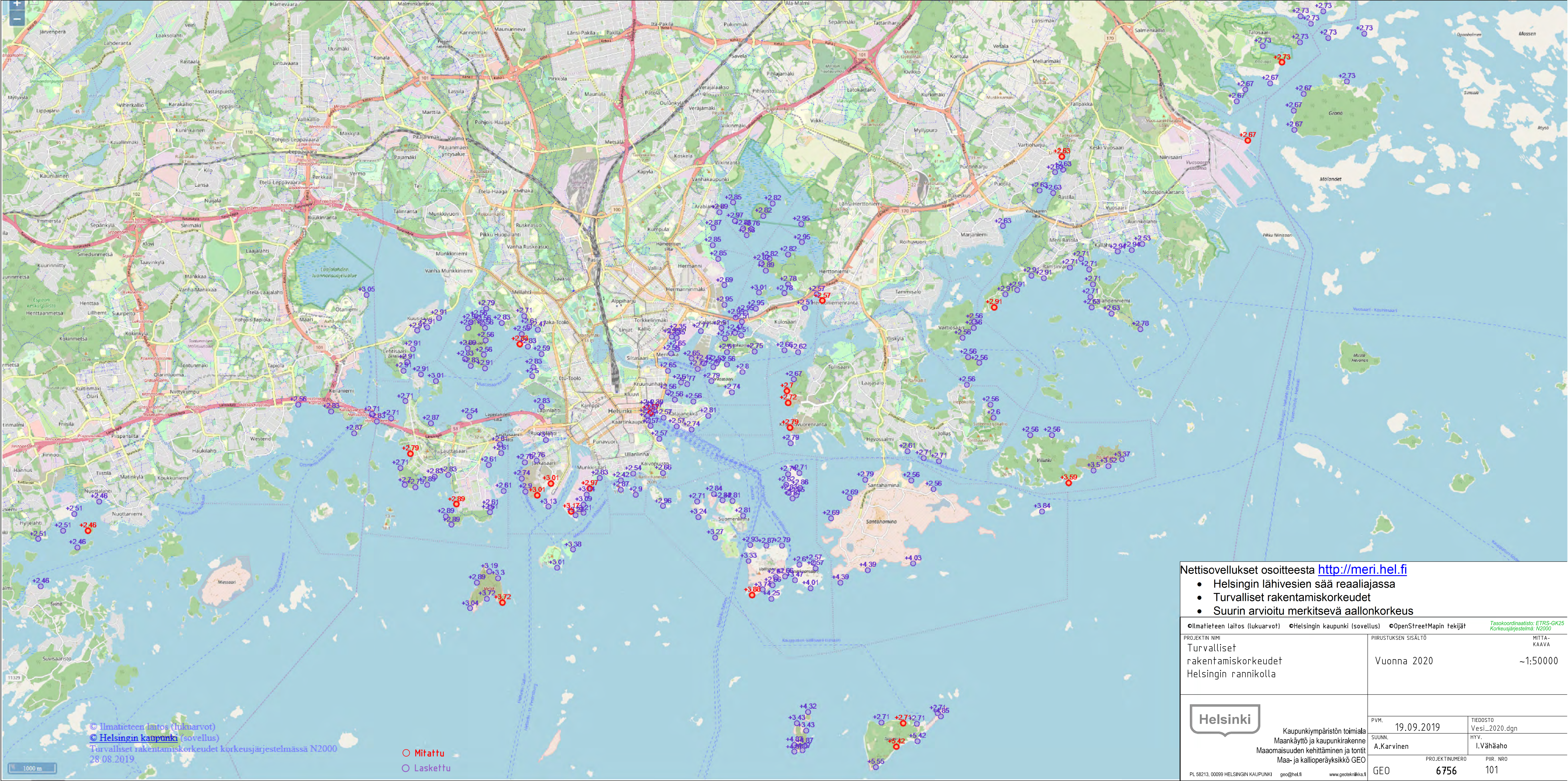


Ote 'Suurin arvioitu merkitsevä aallonkorkeus' -karttanäkymästä

Liitteessä 2 kuvattu palvelu löytyy myös Helsingin karttapalvelusta

<http://kartta.hel.fi/> > Ympäristö ja luonto > Vesistötiedot > Merellinen Helsinki

		PIIRUSTUSLUETTELO		
Työnumero	Kohde			Päivämäärä
				19.09.2019
GEO 6756	Turvalliset rakentamiskorkeudet Helsingin rannikolla			Laat. Kme
Piirustukset	Sisältö	Mittakaava	Päivämäärä	Viim. Muutos
GEO 6756.101	v. 2020	1:50000	19.09.2019	
GEO 6756.102	v. 2050	1:50000	19.09.2019	
GEO 6756.103	v. 2100	1:50000	19.09.2019	
GEO 6756.104	Suurin arvioitu merkitsevä aallonkorkeus	1:50000	19.09.2019	



© Ilmatieteen laitos (lukuarvot)
© Helsingin kaupunki (sovellus)
Turvalliset rakentamiskorkeudet korkeusjärjestelmässä N2000
28.08.2019

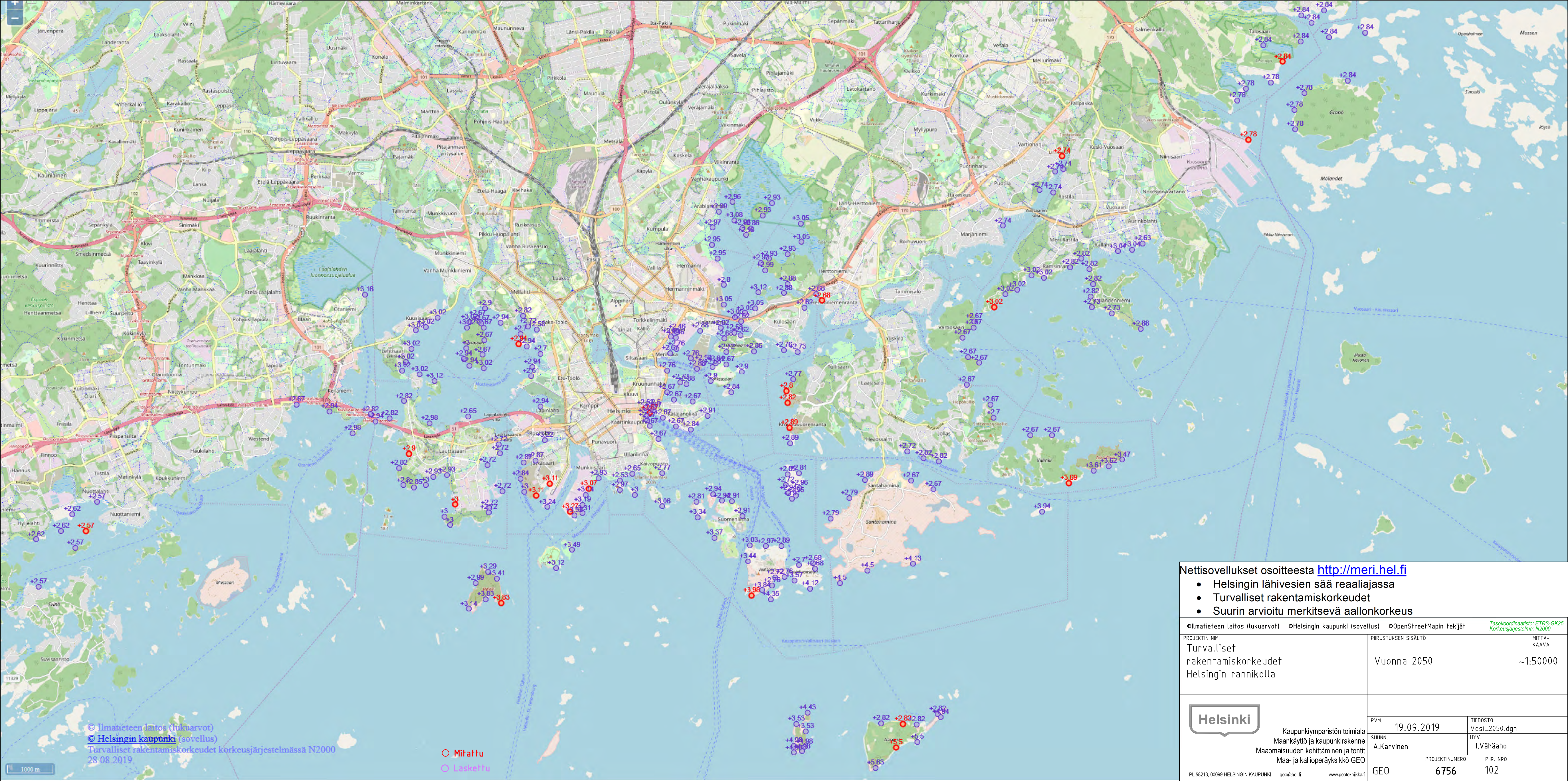
○ Mitattu
○ Laskettu

Helsinki

Kaupunkiympäristön toimiala
Maankäyttö ja kaupunkirakenne
Maaomaisuuden kehittäminen ja tontit
Maa- ja kallioperäyksikkö GEO

- Nettisovellukset osoitteesta <http://meri.hel.fi>
- Helsingin lähivesien sää reaaliajassa
 - Turvalliset rakentamiskorkeudet
 - Suurin arvioitu merkitsevä aallonkorkeus

Ilmatieteen laitos (lukuarvot)		Helsingin kaupunki (sovellus)		OpenStreetMapin tekijät		Tasokoordinaatisto: ETRS-GK25 Korkeusjärjestelmä: N2000	
PROJEKTIN NIMI		PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ		MITTA- KAAVA			
Turvalliset rakentamiskorkeudet Helsingin rannikolla		Vuonna 2020		~1:50000			
PVM.		19.09.2019		TIEDOSTO		Vesi_2020.dgn	
SUUNN.		A.Karvinen		HYV.		I.Vähäaho	
PROJEKTINUMERO		PIIR. NRO					
GEO		6756		101			



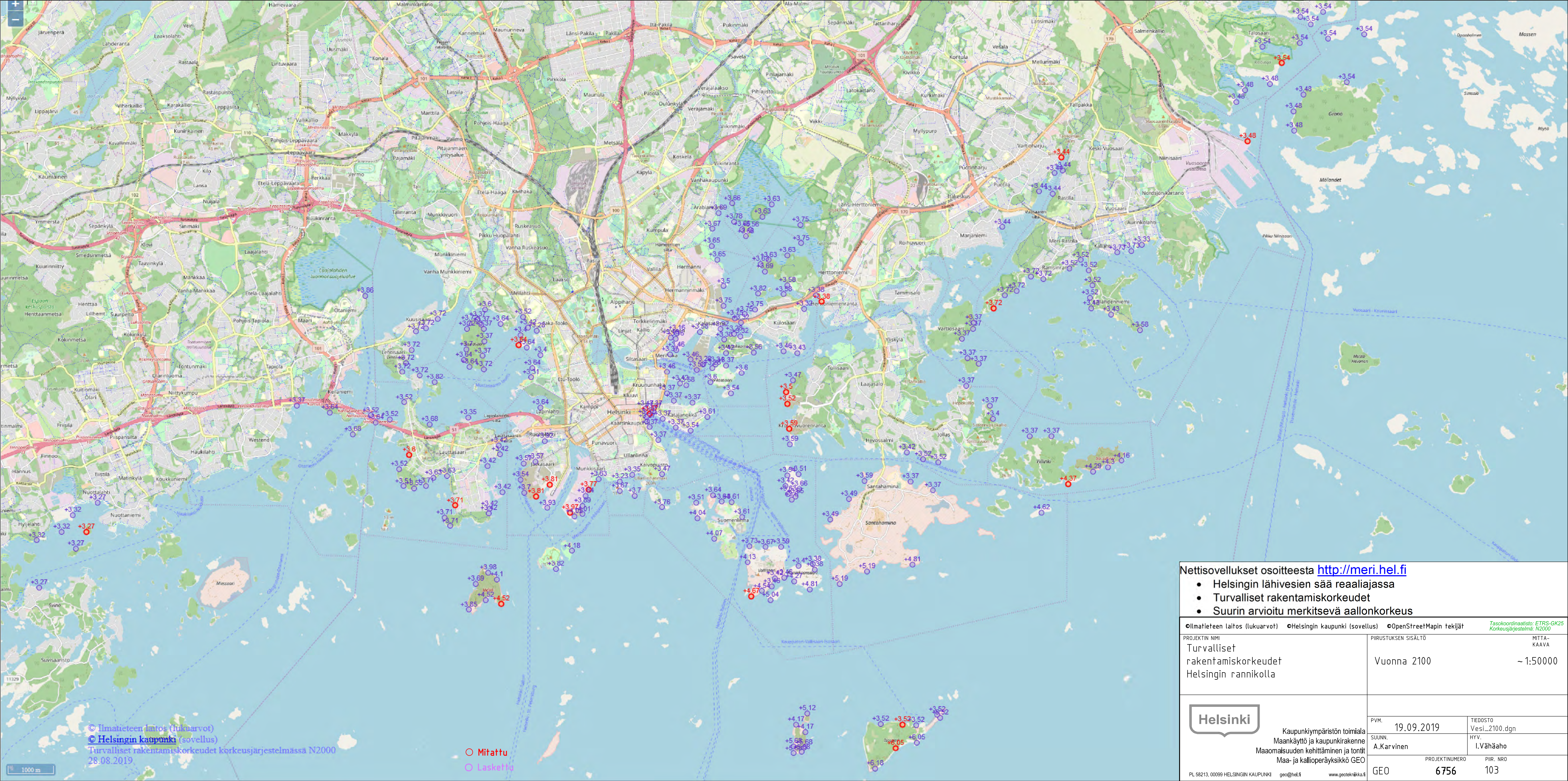
© Ilmatieteen laitos (lukuarvot)
© Helsingin kaupunki (sovellus)
Turvalliset rakentamiskorkeudet korkeusjärjestelmässä N2000
28.08.2019

○ Mitattu
○ Laskettu

Nettisovellukset osoitteesta <http://meri.hel.fi>

- Helsingin lähivesien sää reaaliajassa
- Turvalliset rakentamiskorkeudet
- Suurin arvioitu merkitsevä aallonkorkeus

●Ilmatieteen laitos (lukuarvot) ●Helsingin kaupunki (sovellus) ●OpenStreetMapin tekijät		Tasokoordinaatisto: ETRS-GK25 Korkeusjärjestelmä: N2000	
PROJEKTIN NIMI Turvalliset rakentamiskorkeudet Helsingin rannikolla		PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ Vuonna 2050	MITTA- KAAVA ~1:50000
Helsinki Kaupunkiympäristön toimiala Maankäyttö ja kaupunkirakenne Maaomaisuuden kehittäminen ja tontit Maa- ja kallioperäyksikkö GEO		PVM. 19.09.2019	TIEDOSTO Vesi_2050.dgn
		SUUNN. A.Karvinen	HYV. I.Vähäaho
PL 58213, 00099 HELSINGIN KAUPUNKI geo@hel.fi www.geotekniikka.fi		PROJEKTINUMERO GEO 6756	PIIR. NRO 102



© Ilmatieteen laitos (lukuarvot)
© Helsingin kaupunki (sovellus)
Turvalliset rakentamiskorkeudet korkeusjärjestelmässä N2000
28.08.2019

○ Mitattu
○ Laskettu

Nettisovellukset osoitteesta <http://meri.hel.fi>

- Helsingin lähivesien sää reaaliajassa
- Turvalliset rakentamiskorkeudet
- Suurin arvioitu merkitsevä aallonkorkeus

Ilmatieteen laitos (lukuarvot)Helsingin kaupunki (sovellus)OpenStreetMapin tekijät

PROJEKTIN NIMI
Turvalliset rakentamiskorkeudet Helsingin rannikolla

PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ
Vuonna 2100

MITTA-
KAAVA
~1:50000

Helsinki

Kaupunkiympäristön toimiala
Maankäyttö ja kaupunkirakenne
Maaomaisuuden kehittäminen ja tontit
Maa- ja kallioperäyksikkö GEO

PVM.
19.09.2019

TIEDOSTO
Vesi_2100.dgn

SUUNN.
A.Karvinen

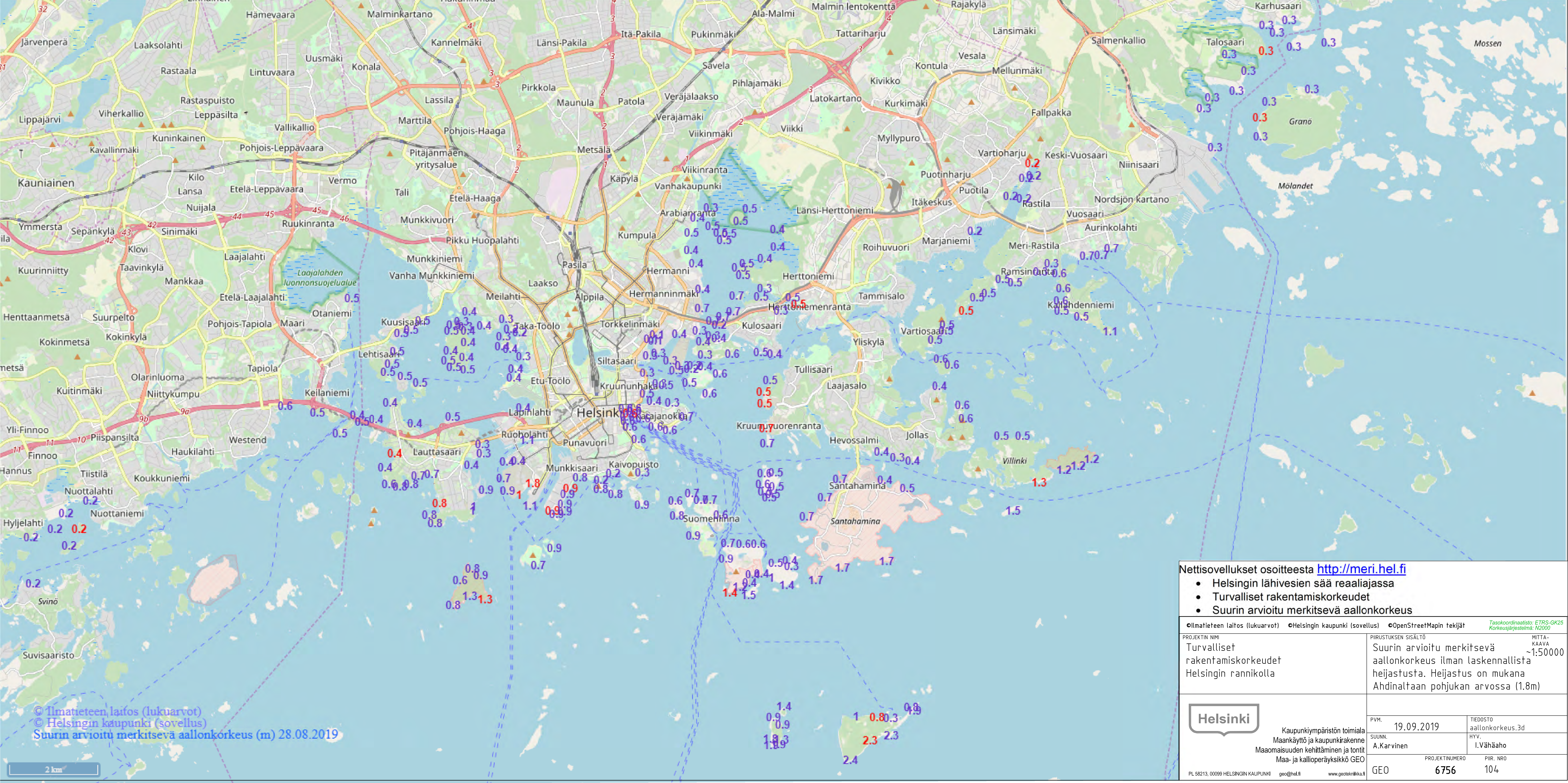
HYV.
I.Vähäaho

PROJEKTINUMERO
GEO 6756

PIIR. NRO
103

Tasokoordinaatisto: ETRS-GK25
Korkeusjärjestelmä: N2000

PL 58213, 00099 HELSINGIN KAUPUNKI
geo@hel.fi
www.geotekniikka.fi



Nettisovellukset osoitteesta <http://meri.hel.fi>

- Helsingin lähivesien sää reaalijassa
- Turvalliset rakentamiskorkeudet
- Suurin arvioitu merkitsevä aallonkorkeus

©Ilmatieteen laitos (lukuarvot)		©Helsingin kaupunki (sovellus)		©OpenStreetMapin tekijät		Tasokoordinaatisto: ETRS-GK25 Korkeusjärjestelmä: N2000	
PROJEKTIN NIMI		PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ		MITTA- KAAVA			
Turvalliset rakentamiskorkeudet Helsingin rannikolla		Suurin arvioitu merkitsevä aallonkorkeus ilman laskennallista heijastusta. Heijastus on mukana Ahdinaltaan pohjukan arvossa (1.8m)		~1:50000			
Helsinki Kaupunkiympäristön toimiala Maankäyttö ja kaupunkirakenne Maaomaisuuden kehittäminen ja tontit Maa- ja kallioperäyksikkö GEO		PVM.	19.09.2019	TIEDOSTO			
		SUUNN.	A.Karvinen	HYV.		I.Vähähäho	
PL58213, 00099 HELSINGIN KAUPUNKI		geo@hel.fi		www.geotekniikka.fi		PROJEKTINUMERO	PIIR. NRO
GEO		6756		104			

Kuvailulehti

Projektinjohto	Ilkka Vähäaho
Tekijät	Jan-Victor Björkqvist, Kimmo K. Kahma, Milla Johansson, Hannu Jokinen, Ulpu Leijala, Jani Särkkä, Kimmo Tikka ja Laura Tuomi (Ilmatieteen laitos)
Meri.hel.fi-sovellus	Aimo Karvinen
Nimeke	Turvalliset rakentamiskorkeudet Helsingin rannoilla
Sähköinen versio	www.bit.ly/turvalliset-rakentamiskorkeudet
Sarjan nimeke	Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön julkaisuja
Sarjanumero	2019:20
Julkaisuaika	Helmikuu 2019
Sivuja	156, liitteitä 8 (4 liitettä + 4 piirustusta)
ISBN	978-952-331-654-6 (verkkoversio), 978-952-331-653-9 (painettu)
ISSN	2489-4230 (verkkojulkaisu) ISSN 2489-4222 (painettu)
Kieli koko teos	Suomi
Kieli, yhteenveto	Suomi, ruotsi, englanti

Tiivistelmä:

Ilmatieteen laitos teki Helsingin kaupungin tilauksesta tutkimuksen aallokosta Helsingin rannikkovesillä. Tämä raportti esittelee vuosina 2012–2014 ja 2017–2018 tehtyjä aalto-, tuuli- ja vedenkorkeusmittauksia. Noin kuukauden mittaisia aaltomittauksia poijuilla tehtiin yli 20 kohteessa, minkä lisäksi hyvin lyhytaikaisia korkeataajuisia aaltomittauksia suoritettiin valikoiduissa kohdissa rannalta käsin. Tuulimittauksia tehtiin Kruunuvuorenselältä ja Vartiokylänlahden sillalta. Vedenkorkeusaineistoa kerättiin Pikku Huopalahdesta ja Vartiokylänlahdesta. Ilmatieteen laitoksen pitkäaikaisia tuulimittauksia Harmajalta ja Kalbådagrundista, sekä pitkäaikaisia aaltomittauksia Suomenlahdelta käytettiin myös laskelmien vertailukohtana.

Aaltomittaukset vahvistavat aallokkolaskelmien tuloksia, joiden mukaan Hernesaaren aallokko on Helsingin niemen rannoista ankarinta. Mittaukset myös vahvistavat, että Suomenlinnan Kustaanmiekalle pääsevän aallokon korkeus on jo vaimentunut noin puolella avomereen nähden, mikä mahdollistaa aaltolaskelmien huomattavan tarkentamisen esim. Kruunuvuoren selällä.

Suurimman aallokon lisäksi tässä raportissa arvioidaan myös vedenkorkeuden ja aallokon yhdistetty vaikutus rannikolla. Vedenkorkeuden ja aallonkorkeuden maksimiarvon suora summaaminen on arviona liian konservatiivinen. Veden- ja aallonkorkeuden yhteisvaikutusta pitää arvioida todennäköisyysjakautumien tasolla. Jokaiselle aaltomittauspaikalle muodostettiin arvio siellä esiintyvän aallonkorkeuden todennäköisyyksistä, joka yhdistettiin vedenkorkeuden esiintymistodennäköisyyksien kanssa. Yhdistetty jakautuma antaa arvion siitä, miten korkealle yhtenäinen vihreä vesi pystyy nousemaan. Mittauspaikoille lasketut arvot on yleistetty muihin paikkoihin käyttämällä mm. WAM-mallin antamia tietoja aaltokentän käyttäytymisestä.

Suomenlinnan edustalle vuonna 2016 ankkuroitu pysyvä aaltopoiju on toiminut moitteettomasti. Suomenlinnan saaristopoijun kohdalle on saatavilla myös kahden ja puolen vuorokauden aaltoennuste. Pysyvän aaltopoijun mittaustuksista kannattaa tehdä kattavampi erillinen analyysi, kun aineistoa on kertynyt 5–10 vuotta.

Tähän julkaisuun liittyvät Meri.hel.fi-nettisovellukset löytyvät osoitteesta <http://meri.hel.fi>

- Helsingin lähivesien sää reaaliajassa
- Turvalliset rakentamiskorkeudet
- Suurin arvioitu merkitsevä aallonkorkeus

Avainsanat: aaltospektri, diffraktio, heijastuminen, jyrkkä ranta, maksimiaallonkorkeus, merkitsevä aallonkorkeus, merkitsevä aallonpituus, modaaliperiodi, pyyhkäisymatka, WAM-malli



Kaupunkiympäristön toimiala huolehtii Helsingin kaupunkiympäristön suunnittelusta, rakentamisesta ja ylläpidosta, rakennusvalvonnasta sekä ympäristöön liittyvistä palveluista.

www.hel.fi/kaupunkiymparisto