

Aaltomittaukset asuinalueiden suunnittelun tukena Helsingissä

Tilannekatsaus 2.10.2014, Ilkka Vähäaho



Helsingin kaupunki
Kiinteistövirasto

Sisältö

1. Tutkimuksen tausta
2. Lyhyesti meriveden korkeusvaihteluista
3. Case: Merivesitulvan riskialue Vantaalla
- 4. Aallonkorkeudet Helsingin rannikkovesillä**
5. Aaltomittaukset ja aaltomallilaskelmat -tutkimuksen yhteenveto
6. Tulossa ...
7. Optio

1. Sopimus

- Aaltomittaukset ja aaltomallilaskelmat Helsingin rannikkovesillä -nimisen tutkimushankkeen toteuttaa Ilmatieteen laitos kiinteistöviraston geoteknisen osaston tilauksesta GEO 6756 / PM128031913 / 16.3.2012).

1. Projektin johtoryhmä

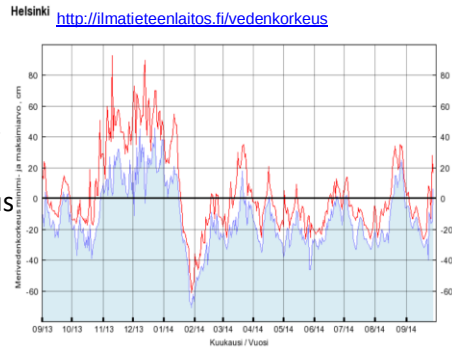
- *Helsingin kaupunki*
 - *Ilkka Vähäaho (pj), Osmo Korhonen ja Risto Niinimäki (siht.), Kiinteistövirasto*
 - *Jouni Kilpinen, Kaupunkisuunnitteluvirasto*
 - *Tero Sievänen, Helsingin satama*
 - *Hannu Airola, Liikuntavirastosta*
 - *Jorma Lilja, Pelastuslaitos*
 - *Vesa Isakov, Rakennusvalvontavirasto*
 - *Emil Vahtera, Ympäristökeskus*
- *Paula Kuusisto-Hjort, Espoon kaupunki*
- *Martin Vermeer, Aalto-yliopisto*
- **Kimmo Kahma** ja *Tuomo Roine, Ilmatieteen laitos*

2. Meriveden pinnan vaihtelut Helsingin rannikkovesillä

- Meriveden pinnan tieto saadaan Kaivopuiston rannassa olevan mareografin avulla
- Interpoloimalla Hanko – Helsinki – Hamina mareografiin avulla saadaan meriveden pinnan korkeus laskettua riittävällä tarkkuudella

– > Tarvetta oman
vedenkorkeuden
havainnointiverkoston
rakentamiseen ei ole

(Pikkuhuopalahdella tehdyissä
vedenkorkeusmittauksessa 2013 todettiin, että
ero Kaivopuiston mareografiin oli enimmilläänkin
alle 10 cm.)



Arvot on annettu teoreettisen
keskiveden suhteen.



Ilkka Vähäaho, Kv-geo

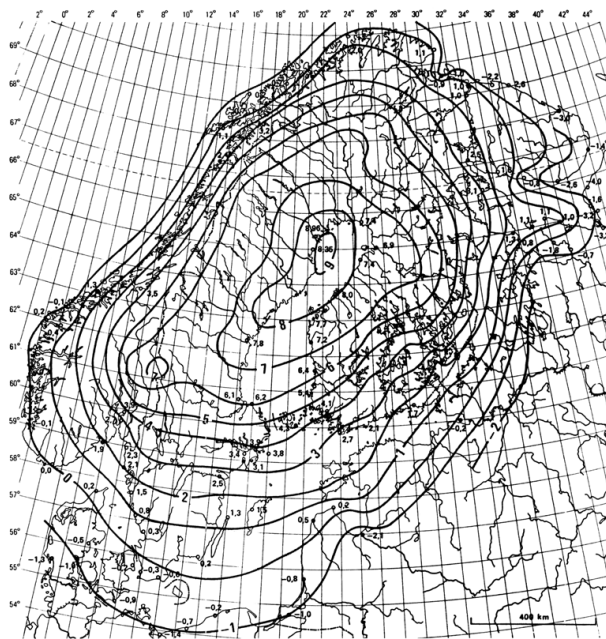
2. Vedenkorkeusennätykset

Asema	Maksimi		Minimi		Havaintoja vuodesta
1. Kemi	201	(22.9.1982)	-125	(21.11.1923)	1922
2. Oulu	183	(14.1.1984)	-131	(14.1.1929)	1922
3. Raase	162	(14.1.1984)	-129	(4.10.1936)	1922
4. Pietarsaari	139	(14.1.1984)	-113	(4.10.1936)	1922
5. Vaasa	144	(14.1.1984)	-100	(14.1.1929)	1922
6. Kaskinen	148	(14.1.1984)	-91	(31.1.1998)	1926
7. Mäntyluoto	132	(14.1.1984)	-80	(10.4.1934)	1925
8. Rauma	123	(16.1.2007)	-77	(10.4.1934)	1933
9. Turku	130	(9.1.2005)	-74	(10.4.1934)	1922
10. Föglö	102	(14.1.2007)	-71	(10.4.1934)	1923
11. Hanko	132	(9.1.2005)	-79	(28.1.2010)	1887
12. Helsinki	151	(9.1.2005)	-93	(28.1.2010)	1904
13. Hamina	197	(9.1.2005)	-116	(20.3.2013)	1928

Taulukon vedenkorkeusarvot ovat cm teoreettisen keskiveden suhteen

Ilkka Vähäaho, Kv-geo

6



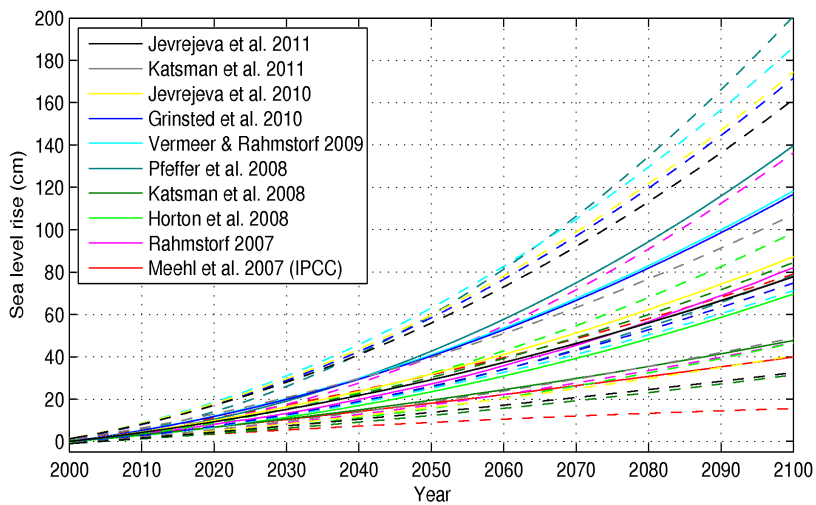
Ilkka Vähäaho, Kv-geo

2. Maan kohoaminen 1900-luvun keskiveden suhteen (mm/y)

Lämpenemisen vaikutukset maapallon muodossa ja merenpinnan korkeudessa, Juhani Kakkuri, Geodeettinen laitos

7

2. Valtamerien pinnannousun skenaarioita

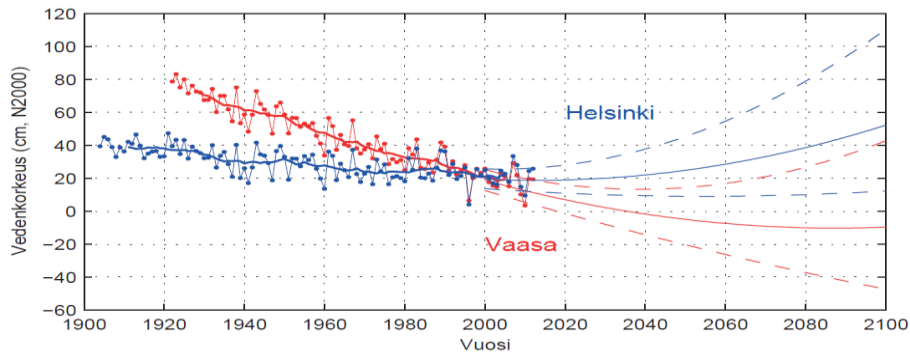


Ilkka Vähäaho, Kv-geo

8



2. Keskiveden noususkenaario Helsinkiin



Keskimääräinen meriveden pinnan korkeus Helsingissä ja Vaasassa. Pallot ovat havaittuja vuosikeskiarvoja, yhtenäinen viiva on vuoteen 1999 saakka havainnosta laskettu pitkän ajan keskiarvo ja vuodesta 2000 alkaen arvio tulevasta keskimääräisestä veden pinnan korkeudesta. Katkoviivat kuvaavat arvioiden epävarmuusastetta, joka johtuu erityisesti mannerjäätiköiden sulamisarvioiden epävarmuudesta, ei niinkään kasvihuonekaasujen päästöjen epävarmuudesta. (lähde: IL)

Reuters, 14 May 2013

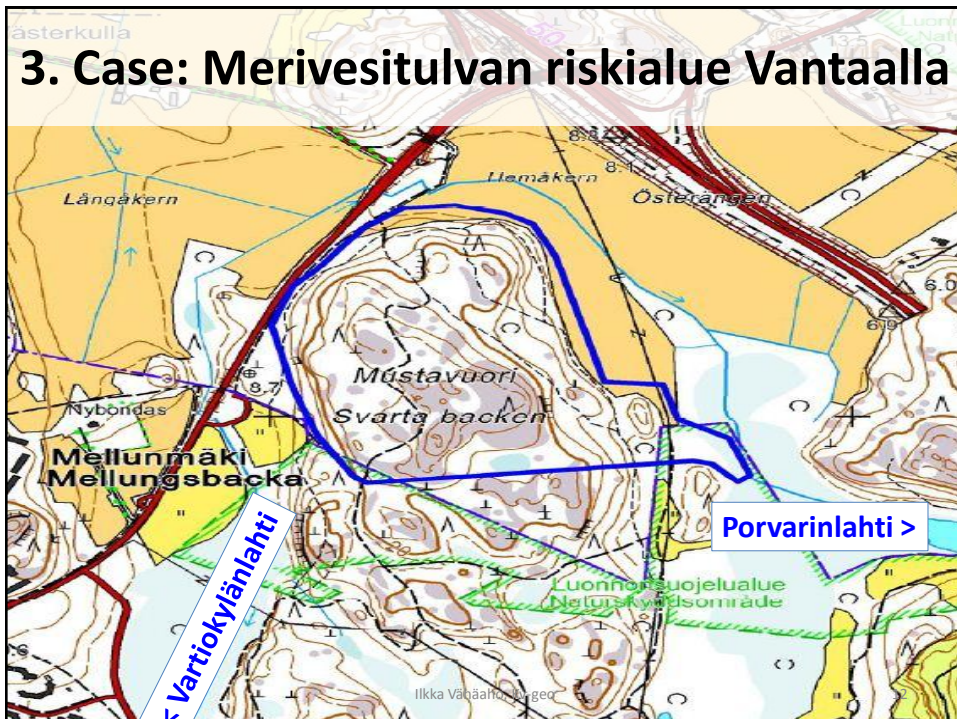
- A melt of ice on Greenland and Antarctica is likely to be less severe than expected this century, limiting sea level rise to a maximum of 69 cm (27 inches), an international study said on Tuesday
- "This is good news" for those who have feared sharper rises, David Vaughan, of the British Antarctic Survey who led the ice2sea project, told Reuters in a telephone interview
- Ice2sea said a **thaw of Antarctica, Greenland and glaciers from the Alps to the Andes would contribute between 3.5 and 36.8 cm** to sea level rise this century. **The fact that water expands as it warms would add another 13 to 32 cm**, Vaughan said.

2. Suositus alimmista tonttikorkeuksista Helsingissä (vuoteen 2014 asti)

Korkeusjärjestelmä	N43	N60	N2000	MW2000	MW2005	MW2010	MW2015
NN nollatason ero ko. järjestelmän nollatasoon (mm)	0	-50	-305	-116	-112	-107	-102
Korkein havaittu merivesi (+ taso)	+1.40	+1.45	+1.70	+1.51	+1.51	+1.51	+1.50
Alin suositeltava tonttikorkeus (+ taso)	+3.0	+3.1	+3.3	+3.1	+3.1	+3.1	+3.1
Alin tonttikorkeus - Maksimi vedenkorkeus (m)	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
			Ilkka Vähäaho Kv-geo				

11

3. Case: Merivesitulvan riskialue Vantaalla

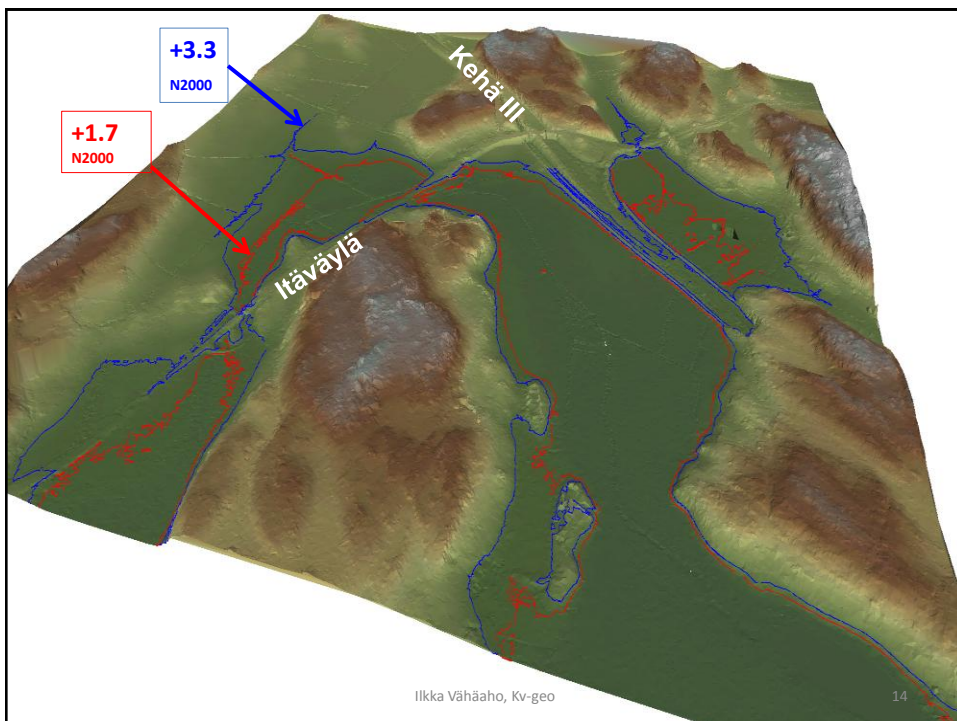


3. Tulvareitin kuviteltu suunta



Ilkka Vähäaho, Kv-geo

13

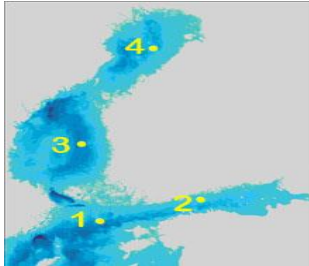


Ilkka Vähäaho, Kv-geo

14

4. Merkitsevä aallonkorkeus

Ilmatieteen laitoksella on Itämerellä neljä poijua, joilla mitataan aallokkoa avovesikaudella



Helsinki pe 26.9.2014 klo 11

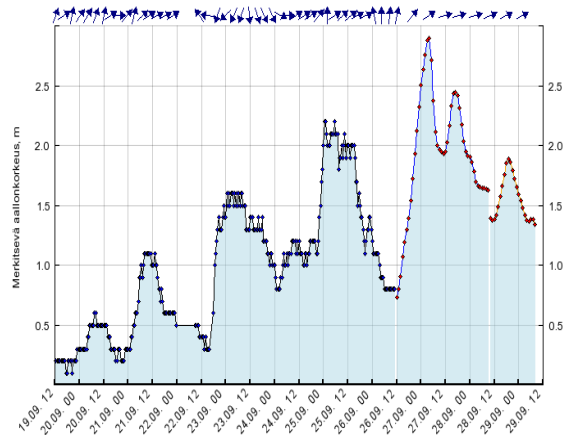
Merkitsevä aallonkorkeus: 0,8 m

Korkein yksittäinen aalto: 1,4 m

Pintaveden lämpötila: 14,8 °C

**Vesa –myrskyn aikana la 27.9.
merkitsevä aallonkorkeus olisi
ennusteen mukaan lähes 3 m**

Helsinki



Merkitsevä aallonkorkeus: mitattu arvo (sininen), aaltomallin ennuste (punainen). Kun poiju ei ole meressä tai havaintodataa ei ole muuten saatavilla, näytetään kuvassa sekä taulukossa aaltomallilla laskettu arvo (kuvassa aniliininpunainen). Nuoli kuvaa aallokon etenemissuuntaa.

Ilkka Vähäaho, Kv-geo

15



© Vesa Ranta

Ilkka Vähäaho, Kv-geo

16

4. Merkitsevä aallonkorkeus H_s

- Aallonkorkeudella tarkoitetaan aallon pohjan ja huipun välistä korkeuseroa
- Epäsäännöllistä aallokon korkeutta kuvataan merkitsevällä aallonkorkeudella, joka vastaa likipitään silmin havaittavaa aallonkorkeutta tai syvässä vedessä aaltojen korkeimman kolmanneksen keskiarvoa. **Aaltomittauksista merkitsevä aallonkorkeus saadaan kertomalla aallokon energiaspektristä lasketun varianssin neliöjuuri neljällä.**
- Vaikka määritelmä kuulostaa hankalilta, vastaa merkitsevä aallonkorkeus hyvin merenkulkijoiden kokemaa aallokon korkeutta. Kannattaa kuitenkin muistaa että **korkein yksittäinen aalto on liki kaksinkertainen merkitsevään aallonkorkeuteen nähden.**

4. Aaltoennätykset Itämerellä

- 22.12.2004 **Itämeren pohjoisosassa** merkitsevä aallonkorkeus kasvoi Rafael- myrskyn aikana **8,2 metriin**. Korkein yksittäinen aalto oli tällöin **14 metriä**.
- Yli 7 metrin aallokkoa on mitattu useampaan kertaan.
- **Suomenlahdella**, Helsingin edustalla mitattiin 15.11.2001 ja 30.11.2012 merkitsevä aallonkorkeus **5,2 metriä**, korkeimman yksittäisen aallon ollessa **n. 9 metriä**. Tällä alueella sekä itä- että länsituuli voivat kasvattaa näin korkeita aaltoja, mutta tätä korkeammaksi ne eivät juuri pääse kasvamaan Suomenlahden pitkänomaisen muodon takia.

4. Meriveden aaltoilun mittaukset

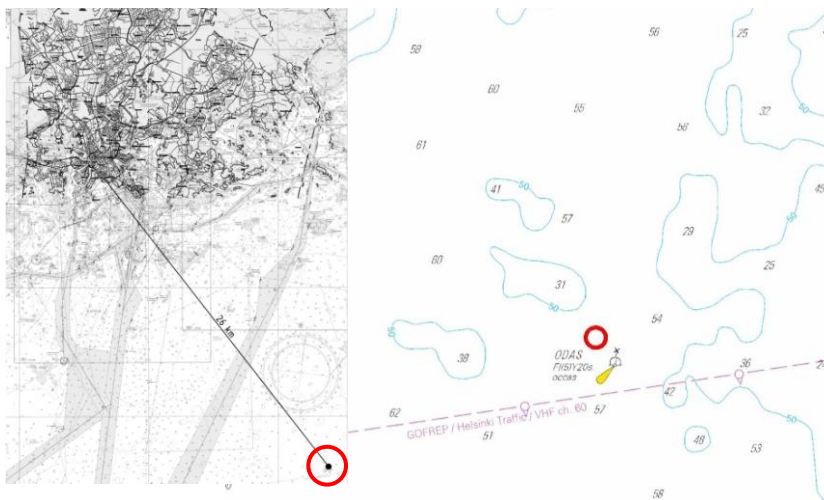
Suomea ympäröivillä merialueilla aallokkoa on mitattu 1970-luvulta lähtien

- Helsingin poiju mittaa aallonkorkeutta avomerellä kohdassa, jossa vesisyvyys 53 metriä
- Sijainti 26 km kaakkoon Eiranrannasta (59°58 N 25°14 E)
- **Olosuhteet eivät vastaa Helsingin uusien merellisten aluerakennuskohteiden olosuhteita** - avomerellä aallokko on moninkertainen
- Kattavia aaltomittauksia on Helsingin alueella tätä tutkimusta ennen tehty ainoastaan Vuosaaren sataman suunnittelua varten

Ilkka Vähäaho, Kv-geo

19

4. Helsingin poijun sijainti



Ilkka Vähäaho, Kv-geo

20

4. Stadin Snadin kasto 15.8.2012 vs. pelastuskomentaja Jorma Lilja



Ilkka Vähäaho, Kv-geo

Kuva: Risto Niinimäki 21

4. Ensimmäiset mittau tulokset

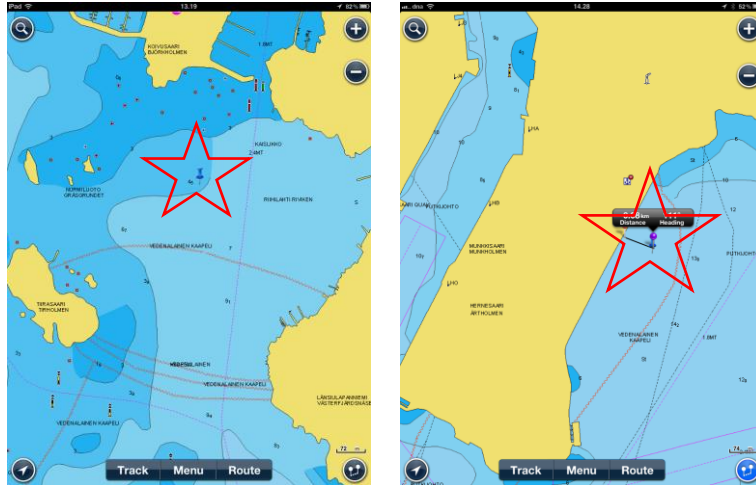
Avomerien ja Koivusaaren aallokon suhde (%)

7.8.2012 15:30			
Helsingin poiju	merkitsevä aallonkorkeus 2.19 m	aallokon suunta WSW	
Koivusaaren poiju	merkitsevä aallonkorkeus 0.21 m	aallokon suunta S	10 %
2.8.2012 11:30			
Helsingin poiju	merkitsevä aallonkorkeus 0.89 m	aallokon suunta SWW	
Koivusaaren poiju	merkitsevä aallonkorkeus 0.17 m	aallokon suunta S	19 %
2.8.2012 12:00			
Helsingin poiju	merkitsevä aallonkorkeus 0.95 m	aallokon suunta SWW	
Koivusaaren poiju	merkitsevä aallonkorkeus 0.17 m	aallokon suunta S	18 %
2.8.2012 14:30			
Helsingin poiju	merkitsevä aallonkorkeus 0.70 m	aallokon suunta SSW	
Koivusaaren poiju	merkitsevä aallonkorkeus 0.11 m	aallokon suunta S	16 %
3.8.2012 12:30			
Helsingin poiju	merkitsevä aallonkorkeus 0.33 m	aallokon suunta SW,SE	
Koivusaaren poiju	merkitsevä aallonkorkeus 0.09 m	aallokon suunta S	27 %
4.8.2012 9:30			
Helsingin poiju	merkitsevä aallonkorkeus 0.67 m	aallokon suunta WSW	
Koivusaaren poiju	merkitsevä aallonkorkeus 0.05 m	aallokon suunta S	7 %
4.8.2012 14:00			
Helsingin poiju	merkitsevä aallonkorkeus 1.45 m	aallokon suunta SWW	
Koivusaaren poiju	merkitsevä aallonkorkeus 0.14 m	aallokon suunta S	10 %
4.8.2012 17:00			
Helsingin poiju	merkitsevä aallonkorkeus 1.22 m	aallokon suunta WSW	
Koivusaaren poiju	merkitsevä aallonkorkeus 0.12 m	aallokon suunta S	10 %
8.8.2012 9:00			
Helsingin poiju	merkitsevä aallonkorkeus 1.00 m	aallokon suunta SW	
Koivusaaren poiju	merkitsevä aallonkorkeus 0.12 m	aallokon suunta S	12 %
1.8.2012 13:00			
Helsingin poiju	merkitsevä aallonkorkeus 0.81 m	aallokon suunta SW	
Koivusaaren poiju	merkitsevä aallonkorkeus 0.16 m	aallokon suunta S	20 %

Ilkka Vähäaho, Kv-geo

22

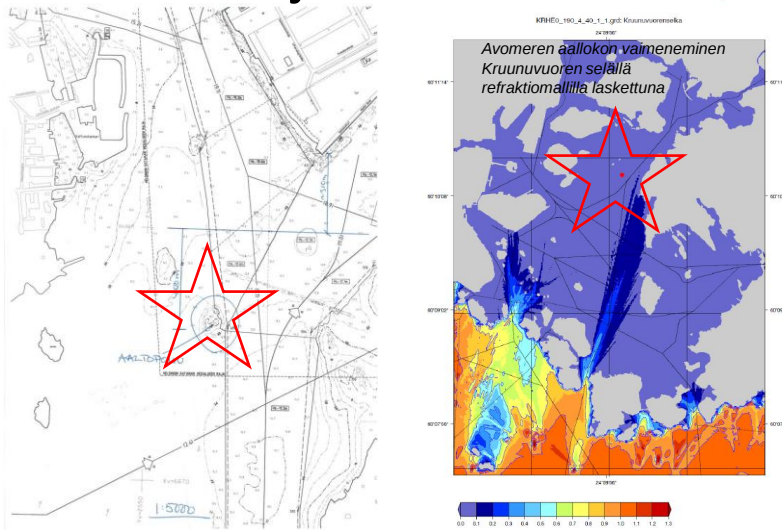
4. Mittauspaikat elo-syyskuussa 2012 Koivusaari ja Hernesaari



Ilkka Vähäaho, Kv-geo

23

4. Mittauspaikat loka-marraskuussa 2012 Jätkäsaari ja Kruunuvuorenranta



Ilkka Vähäaho, Kv-geo

24

4. Tutkimusohjelma 1(3)

Vuosi 2011:

- Luotustietojen kokoaminen

Vuosi 2012:

- Koko Helsingin rannikon refraktiomallin ajo, jolla saatiin lasketut arvot aallokon vaimenemiselle
- Väliarportti ja kartasto lasketusta vaimenemisesta
- Aaltopoijun hankinta (Snadi)
- **Aaltomittaukset neljässä mittauspaikassa**, joissa kussakin mittausta enintään 30 vuorokautta.

Vuosi 2013

- Vuoden 2012 mittauksen perusteella kalibroitiin lasketut arvot
- Väliarportti ja kartta valmistuneiden mittauksen avulla kalibroiduista lasketuista arvoista
- Toisen aaltopoijun hankinta (Aapo)
- **Aaltomittaukset kuudessa mittauspaikassa**

Ilkka Vähäaho, Kv-geo

25

4. Tutkimusohjelma 2(3)

Vuosi 2014

- Mittauksen perusteella kalibroitiin lasketut arvot
- Väliarportti ja kartta valmistuneiden mittauksen avulla kalibroiduista lasketuista arvoista
- **Aaltomittaukset jopa kahdeksassa mittauspaikassa, joista yksi Espoon puolella**
- **Tuulimittaukset Kruunuvuorenselän ja Vartiokylänlahden aaltoilun mallintamiseen (sisävesiaallokko)**
- **Tuulimittarit on asennettu Neljänviitankarille ja Vartiokylänlahdensillalle**



26

4. Tutkimusohjelma 3(3)

Vuosi 2015

- Mittausten perusteella kalibroidaan lasketut arvot
- Aallonkorkeuskartaston ja loppuraportin viimeistely
- Mahdollinen pysyvä aaltopöiju Helsingin rannikkovesillä (Buli)
- Mahdollinen aallonkorkeuden varoitusjärjestelmä Helsingin rannikon pienveneilijöille

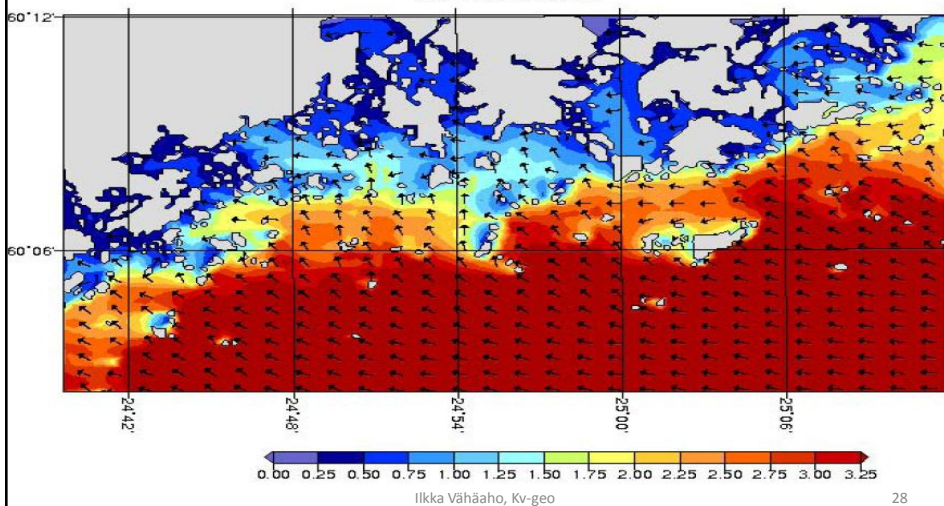
Ilkka Vähäaho, Kv-geo

27

4. Aallokon vaimeneminen WAM-aaltomallilla laskettuna

Merkitsevä aallonkorkeus avomerellä on yli 5 m

30.11.2012 03.30



28

4. Helsingin poiju vs. Stadin Aapo

<http://ilmatieteenlaitos.fi/aallonkorkeus>

Valitse havainto- asema	Merkitsevä aallon- korkeus	Korkein yksittäinen aalto	Aallokon tulo- suunta	Pintaveden lämpötila
1. Pohjoinen Itämeri	1 m	1.8 m	220° (SW)	12.8 °C
2. Helsinki	0.7 m	1.3 m	232° (SW)	12.8 °C
3. Selkämeri	0.8 m	1.4 m	282° (W)	12.2 °C
4. Perämeri	2.1 m	3.8 m	228° (SW)	9.4 °C

<http://nodc.fmi.fi/wr/aapo/aapo.html>

Poiju: AAPO

Aallot

Merkitsevä aallonkorkeus (Hs[m]): 0.031
Aallokon suunta (dir [deg]): 130.8
Meriveden lämpötila (T): 12.3

Sijainti

Sijainti: 60° 12.84'N 25° 07.158'E
Etäisyys ankkurointipaikasta [nm]: 0.009 ja suunta (dir [deg]): 320.9
Patterin status: 11

Viestin aika: 2014-09-29T12h26Z/2014-09-29T12:26Z *)

*) UTC-aika on 2 tuntia jäljessä normaalista Suomen ajasta ja 3 tuntia jäljessä kesäajasta.

Ilkka Vähäaho, Kv-geo



29

5. Aaltomittaukset ja aaltomallilaskelmat tutkimuksen yhteenveto 1(2)

- Tavoitteena saada koko Helsingin rannikon aallonkorkeuskartasto (= **yksilöllinen arvo kullekin kaistalle**)
- Tutkimuksen kesto 2011-2015
- Helsingin rannikon aallonkorkeudet ovat alle 50 % avomerellä Helsingin edustalla sijaitsevaan poijuun verrattuna
- Rannan muodolla ja vesisyvyydellä on ratkaiseva merkitys aallokon korkeuteen
- Jyrkissä rannoissa¹⁾ (käytännössä kaikki Helsingin rannat):
 - **Yhtenäinen vesi nousee ainakin²⁾ tasolle 2*Hs**
 - Roiskeet nousevat paljon korkeammalle

1) Jyrkkänä rantana, joka vahvistaa aaltoja/roiskeita, voidaan pitää rantaa, jonka jyrkkyys on 1:3 tai jyrkempi

2) 2*Hs on voimassa kun jyrkkä ranta alkaa syvästä vedestä ja se on alaraja suurimmalle yhtenäiselle vedelle. Nousu on suurempi, jos ennen jyrkkää rantaa aallonpituuden puoliskon matkalla pohja ehti nousta riittävästi. Nousukorkeus Hs:ään verrattuna on siten aallon periodin ja veden syvyyden epälineaarinen funktio.

Ilkka Vähäaho, Kv-geo

30



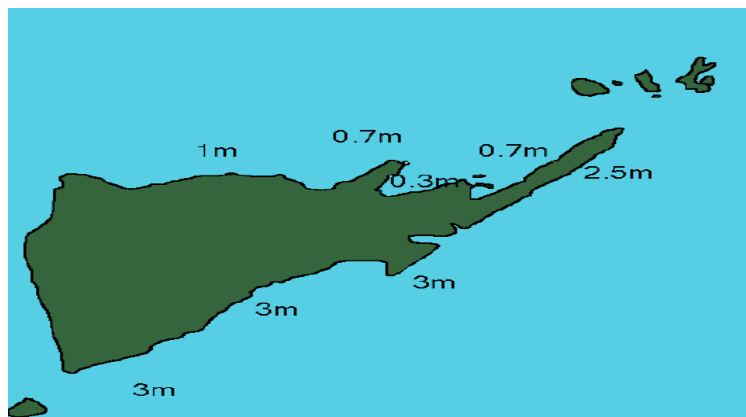
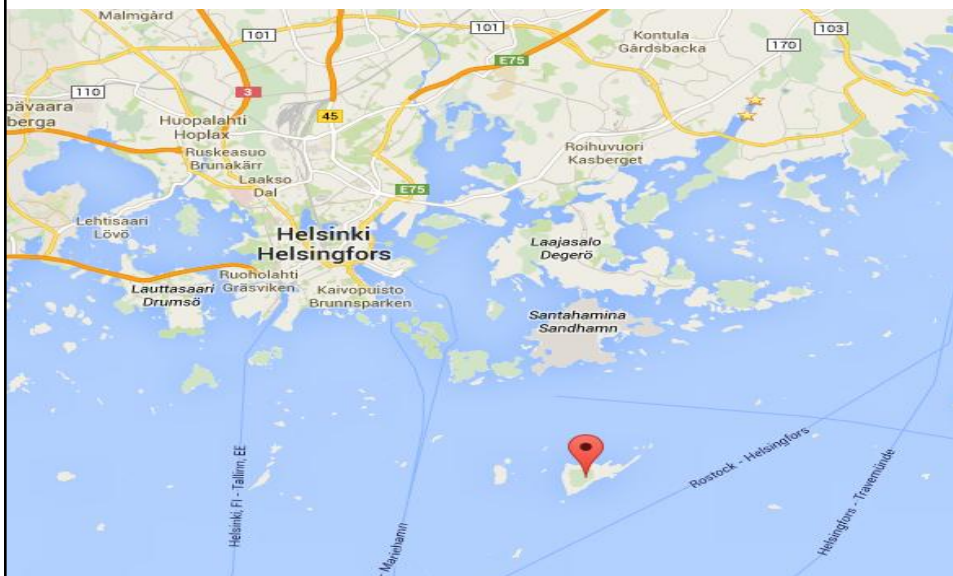
Kuva: Kimmo Tikka

5. Aaltomittaukset ja aaltomallilaskelmat tutkimuksen yhteenveto 2(2)

- Analysointi on aloitettu Hernesaaren mittauksista
- Alue oli vuoden 2012 mitatuista alueista mielenkiintoisin ja siitä saatavia laskelmia hyödynnetään muihin kohteisiin
- Aaltojen taipuminen esteiden taakse ja tällöin pienikin tuulen suunnan muutos voi vaikuttaa siihen, mihin kohtaan korkein aallokko muodostuu
- Hernesaassa näyttäisi, että merkittävimmät läpi tulevat ovat 5-6 sekunnin pituiset aallot
- Näistä korkeimmat yksittäiset näyttäisivät olevan kooltaan noin 25 % ulkomerellä olevasta aallokosta
- Hernesaassa mahdollinen maksimi merkitsevä aallonkorkeus näyttäisi olevan noin 1 metri, joka tarkoittaa aaltoiluvarana noin 2 metriä

Aaltoilumittaukset elo-syyskuussa 2014

ISOAAREN, KUIVASAAREN JA PIKKU KUIVASAAREN ASEMAKAAVOITUSTA VARTEN



Isosaari	Merkitsevä aallonkorkeus	Periodi ja aallonpituus
Suurin etelärannalla ilman heijastumista	2 - 3 m	
Suurin laiturissa ilman heijastumista	0.7 m	

Alimmat suositeltavat rakentamiskorkeudet, joihin on lisättävä paikkakohtainen aaltoiluvara

Taulukko 8. Alimmat suositeltavat rakentamiskorkeudet ilman aaltoiluvaraa N2000-järjestelmässä mareografeittain ja mareografien sijainnit perustamisvuosiin (Kahma ym. 2014).

Tulvin varautuminen rakentamisessa Oman alueen rakentamiskorkeuden määrittäminen Pietarsaari Antti Puttonen ja Mikko Huhtanen (2015)	Mareografi	Alin suositeltava rakentamiskorkeus ilman aaltoiluvaraa (cm)	
	Kemi	260	
	Oulu	250	
	Raahen	230	
	Pietarsaari	200	
	Vaasa	200	
	Kaskinen	200	
	Mäntyluoto	200	
	Rauma	210	
	Turku	240	
	Föglö	220	
	Hanko	250	
	Helsinki	280	
	Hamina	320	

Ilkka Vähäaho, Kv-geo

35

6. Tulossa ...

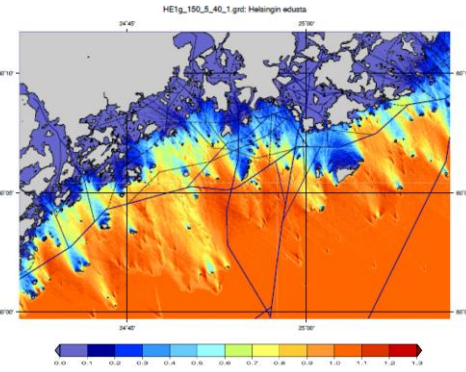
- Vuonna 2015 Helsingin rannikkovesistä mittauksiin perustuvat mallit aaltoilusta
 - Tarvitaan vielä **merenpinnan korkeuden ja aallokon paikkakohtaiset yhdistelmät** (kyseessä ei ole yhteenlasku vaan todennäköisyys ...)

Ilkka Vähäaho, Kv-geo

36

7. Optio

- Projektin lopuksi hankitaan iso aaltopoiju (Stadin Buli) pysyvään Helsingin lähivesien aaltoilumittaukseen
- Tieto voidaan linkittää nettiin ja siihen voidaan liittää myös automaattinen varoitusjärjestelmä Helsingin ulkosaariston lähistöllä liikennöiville pienveneille



Ilkka Vähäaho, Kv-geo

37

Eino Leino:

***”Tuima on tuuli ja pimeä on taivo,
suuri on ulapalla aaltojen raivo.”***



Ilkka Vähäaho, Kv-geo

38