ALUSLIIKENTEEN AIHEUTTAMAN AALLOKKORASITUKSEN SELVITYS VUOSAAREN VÄYLÄLLÄ

Joose Mykkänen & Mikko Kiirikki

1	2.2.2015		JM	MK	APL
Ver.	Pvm.	Kuvaus	Laatija	Tarkistaja	Hyväksyjä
			Luode Consulting Oy		

Asiakas	:	Liikennevirasto
Asiakaan yhteyshenkilö		Olli Holm
Luode Consulting Oy:n yhteyshenkilö	:	Antti Lindfors
Työn suorittaja	:	Luode Consulting Oy

Dokumentti:
ALUSLIIKENTEEN AIHEUTTAMAN AALLOKKORASITUKSEN SELVITYS VUOSAAREN VÄYLÄLLÄ

Dokumentin numero:	Ver.
2014-Vuosaari-02	**02**

Versiot:		**ALUSLIIKENTEEN AIHEUTTAMAN AALLOKKORASITUKSEN SELVITYS VUOSAAREN VÄYLÄLLÄ**			
Ver.	Laatija:	Pvm.	Kuvaus	Tarkistaja	Hyväksyjä
01	Joose Mykkänen	28.1.2015	Versio kommenteille	Mikko Kiirikki	APL
02	Joose Mykkänen	2.2.2015	Korjaukset huomioitu	Mikko Kiirikki	APL

Sisällysluettelo

Sisällys

1 Johdanto ... 4

2 Aineisto ja menetelmät ... 4

2.1 Pinnankorkeus- ja vedenlaatumittaukset ... 4

2.2 Alusliikenne ... 5

2.3 Säähavainnot ... 6

3 Tulokset ... 6

3.1 Sääolosuhteet ... 6

3.1.1 Mittaushetkellä vallinneet sääolosuhteet ... 6

3.1.2 Sääolosuhteiden edustavuus ... 7

3.2 Pinnankorkeuden muutokset ja aaltovaikutukset alusten ohitushetkillä ... 8

3.2.1 Mittaustulokset iltapäivällä ja illalla 18.12.2014 ... 10

3.2.2 Mittaustulokset aamuyöllä ja aamulla 19.12.2014 ... 15

3.2.3 Mittaustulosten ja luonnonolosuhteiden vertailu ... 20

4 Johtopäätökset ... 23

1 Johdanto

Liikennevirasto ja Helsingin Satama Oy suunnittelevat Vuosaaren väylän syventämistä 11 metristä 13 metrin kulkusyvyyteen. Tämän työn tarkoituksena on selvittää mitkä tekijät vaikuttavat alusten aiheuttamiin fysikaalisiin ilmiöihin kuten vedenpinnan korkeuden muutoksiin ja aallokkoon ja verrata vaikutuksia alueella keskimääräisissä sääolosuhteissa esiintyviin luontaisiin ilmiöihin.

Vuosaaren väylän varrella sijaitsee saaria, joissa on lomakiinteistöjä ja kiinteistöjen käyttöön liittyvää pienveneliikennettä ja pienvenesatamatoimintaa. Runsaasti loma-asusta on keskittynyt mm. Musta-Hevosen ja Kuiva-Hevosen saarille. Lähimpänä väylää virkistyskäyttöön liittyvät toiminnot ovat Kuiva-Hevosen saarella. Väylän länsipuolella sijaitsee lisäksi Kallahden Natura-alue, joka muodostuu mereen ulottuvasta harjuniemestä ja jatkuu hiekkasärkkinä ja hiekkapohjana merenpinnan alla.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Pinnankorkeus- ja vedenlaatumittaukset

Pinnankorkeus- ja sameusmittaukset tehtiin YSI 6-sarjan laitteistoilla, jotka asennettiin 1,5 metrin vakiokorkeudelle merenpohjasta neljään pisteeseen Vuosaaren sataman sisäänajoväylän varrelle (Kuva 1, pisteet VS1-VS4). Kolme mittauspisteistä sijaitsi väylän itäpuolella Kuiva-Hevonen saaren läheisyydessä. Piste VS1 sijaitsi saaren lounaisrannalla pienvenesataman edustalla, VS2 saaren eteläpuolella väylän vieressä ja VS3 saaren luoteisrannalla. Piste VS3 edusti saaren lähimpänä väylää sijaitsevaa rantaa. Neljäs mittauspiste VS4 sijaitsi kauempana Kallahdenniemen edustalla 2,6 km päässä väylästä.

Laitteistot asennettiin betonipainojen ja akustisten laukaisimien avulla. Mittauspisteiden tarkat koordinaatit ja mitatut vedensyvyydet on merkitty Taulukkoon 1. Laitteistot tallensivat mittaustiedot kerran sekunnissa sisäiseen muistiin, joista ne purettiin mittausten päätyttyä. Laitteistot ohjelmoitiin käynnistymään alusliikenteen intensiteetin mukaan mahdollisimman monen aluksen ohitushetkien monitoroimiseksi 18.12.2014 klo 15:00–22:00 ja 19.12 klo 04:00–11:00.

Kuva 1. Mittauspisteiden sijainnit Kuiva-Hevonen saaren alueella (VS1-VS3) sekä Kallahdenniemen edustalla (VS4).

Taulukko 1. Mittauspisteiden sijainnit, syvyydet ja mittausparametrit

Havaintopiste	Latitudi [asteet ja minuutit]	Longitudi [asteet ja minuutit]	Syvyys [m]	Etäisyys väylästä [m]	Mittausparametrit
VS1	60° 09.424	25° 13.399	5,0 m	720 m	pinta, sameus, suolapitoisuus, lämpötila
VS2	60° 09.181	25° 12.730	10,0 m	200 m	pinta, sameus, suolapitoisuus, lämpötila
VS3	60° 09.624	25° 12.927	3,5 m	250 m	pinta, sameus, suolapitoisuus, lämpötila
VS4	60° 10.746	25° 10.264	3,0 m	2600 m	pinta, sameus, suolapitoisuus, lämpötila

2.2 Alusliikenne

Mittausaineistojen lisäksi käytettävissä oli Liikenneviraston tallentamat AIS -tiedot satamaan johtavalta väyläosuudelta mittausjaksojen aikana. AIS -tiedot otettiin hetkeltä jolloin alukset ohittivat Kuiva-Hevonen saaren. AIS -tallenteesta saatiin alusten nimitietojen lisäksi kerättyä tiedot alusten ohitusajasta, kulkusuunnasta- ja nopeudesta sekä alusten syväyksestä (Taulukot 2 ja 3).

Taulukko 2. Satamaan saapuneet alukset

Aluksen nimi	Ohitusaika	Nopeus [kn]	Syväys [m]
Finnpulp	18.12.2014 16:46	13,8	6,2
Öland	19.12.2014 4:16	15,7	6,6
Linda	19.12.2014 6:13	17,2	7,8
Finnsailor	19.12.2014 8:35	15,4	6,7
Nordlink	19.12.2014 8:45	14,8	7,1

Taulukko 3. Satamasta lähteneet alukset

Aluksen nimi	Ohitusaika	Nopeus [kn]	Syväys [m]
Finnlady	18.12.2014 17:54	17,1	6,8
Thetis D	18.12.2014 19:58	12,9	7,9
Misida	18.12.2014 21:22	16,6	6,2
MSC Malin	18.12.2014 21:45	10,1	9,9
Jork Ruler	19.12.2014 5:44	14,1	6,8
Öland	19.12.2014 10:26	16,2	6,6

2.3 Säähavainnot

Mittauspäivien säähavainnot ja olosuhdetiedot ladattiin ilmatieteenlaitoksen tietokannasta Eestiluodon asemalta. Eestiluodon asema sijaitsee 4 km etäisyydellä mittausalueesta. Tuuliaineistosta analysoitiin mittauspäivien olosuhteet sekä vastaavien olosuhteiden toistuminen vuoden 2014 aikana. Olosuhdetiedoista hyödynnettiin mittauspäivien merkitsevän aallonkorkeuden ja aallokon suunnan havainnot Helsingin ulkomerialueen havaintopisteeltä sekä meriveden pinnankorkeuden havainnot Helsingin mareografilta.

3 Tulokset

3.1 Sääolosuhteet

3.1.1 Mittauspäivien sääolosuhteet

Kuva 2. Tuulihavainnot Eestiluodon sääasemalta mittauspäivien ajalta 18.19.12.2014 (FMI). Tarkastelun kohteena olevien alusten ohitushetket on esitetty kuvassa pisteillä x-akselilla.

Mittausjakson aikana tuulen nopeus vaihteli välillä 5,7–10,5 m/s. Keskimääräinen tuulen nopeus oli 8,1 m/s (Kuva 2). Tuulen suunta vaihteli välillä 154°–205°, keskimääräinen tuulen suunta oli 174°. Helsingin edustalla mitattu merkitsevä aallonkorkeus vaihteli alusten ohitushetkien aikaan välillä 1,0–1,5 m, keskimäärin merkitsevä aallonkorkeus oli 1,3 m (Kuva 3). Aallonkorkeus suojaisemmalla Vuosaaren väylällä on ollut Helsingin edustan mittausta selvästi matalampi. Aallokon suunta vaihteli välillä 169°–245°, keskimääräinen aallokon suunta oli 202°. Meriveden pinnankorkeus nousi mittausten aikana lähtötasosta +15 cm tasolle +31 cm palautuen mittausten lopussa takaisin lähtötasolle (Kuva 4).

Kuva 3. Merkitsevä aallonkorkeus sekä aallokon suunta avomerellä Helsingin edustalla mittauspäivien aikana 18.-19.12.2014 (FMI). Aallonkorkeus suojaisemmalla Vuosaaren väylällä on ollut Helsingin edustan mittausta selvästi matalampi. Alusten ohitushetket on esitetty kuvassa pisteillä x-akselilla.

Kuva 4. Meriveden pinnankorkeus Helsingissä mittauspäivien aikana (FMI).

3.1.2 Sääolosuhteiden edustavuus

Vuoden 2014 tuulihavainnoista 47 % oli suunnasta 120°-250° jolloin tuuli ja tuulen nostama aallokko suuntautuu mittauskohteisiin avoimilta merialueilta (Kuva 5). Tarkasteltaessa vastaavien avoimelta merialueelta suunnasta 120°–250° ja voimakkuudeltaan yli 8 m/s tuuliolosuhteiden toistuvuutta havaitaan tilanteiden toistuvan 164 vuorokautena vuoden 2014 aikana (Taulukko 4). Mittausolosuhteiden voidaan todeta edustaneen hyvin vuoden 2014 keskimääristä tilannetta mittausalueella.

Kuva 5. Tuulen nopeus- ja suuntajakauma vuonna 2014 Eestiluodon havaintoasemalla.

Taulukko 4. Vuorokausien lukumäärä vuoden 2014 aikana, jolloin suunnasta 120°-250° puhaltaneen tuulen nopeus ylitti 8, 10, 12, ja 14 m/s.

Tuulen nopeus	Vuorokausien lukumäärä
yli 8 m/s	164
yli 10 m/s	132
yli 12 m/s	72
yli 14 m/s	20

3.2 Pinnankorkeuden muutokset ja aaltovaikutukset alusten ohitushetkillä

Alusliikenteen vaikutukset näkyvät tyypillisesti ensin pinnankorkeuden hitaina muutoksina vedenpinnan noustessa aluksen lähestyessä mittauspistettä ja voimakkaammin pinnankorkeuden laskiessa aluksen imuvaikutuksen johdosta. Tämän jälkeen havaitaan nopeat aaltovaikutukset aluksen runkoaaltojen saavuttaessa mittauspisteen. Tulosten tarkastelussa keskityttiin tarkastelemaan erikseen hitaita imuvaikutuksia pinnankorkeuteen ja nopeita aaltovaikutuksia seuraamalla suurimpia yksittäisiä aaltoja.

Pinnankorkeusaikasarjoihin tehtiin ensin normalisointi, jolla luonnollisista pinnankorkeusvaihteluista ja asennussyvyydestä aiheutuvat erot on saatu poistettua. Alusten imuvaikutuksien hitaiden pinnankorkeuden muutosten seuraamiseksi laskettiin aikasarjoista 7 sekunnin liukuva keskiarvo, jonka muutoksia tarkasteltiin alusten ohitushetkillä. Imuvaikutuksen suuruutta arvioitiin laskemalla liukuvan keskiarvon minimi- ja maksimiarvon erotus alusten vaikutusaikana. Kuiva-Hevonen saaren mittauspisteissä (VS1-VS3) vaikutukset näkyvät 3–5 min ohitushetkestä, kauempana sijainneella VS4-pisteellä vaikutukset näkyvät noin 7 min aikana ohituksesta. Nopeita aaltovaikutuksia arvioitiin etsimällä yksittäisiä suurimpia aaltoja alusten vaikutusaikana.

Aallonkorkeus laskettiin normalisoidusta pinnakorkeuden aikasarjasta laskemalla pinnankorkeuden minimi- ja maksimiarvon erotus 10 sekunnin aikana jokaiselle aika-askeleelle. Suurin yksittäinen aallonkorkeus alusten vaikutusaikana laskettiin etsimällä aallonkorkeuden aikasarjasta maksimiarvo.

Alusliikenteen vaikutuksien erottamiseksi luonnollisesta pinnankorkeuden ja aallonkorkeuden vaihtelusta etsittiin vastaavat vertailuarvot 10 minuutin jaksolta ennen alusten vaikutusta ja ohitushetkeä. Hitaiden pinnankorkeuden muutosten luonnollinen vaihteluväli laskettiin liukuvan keskiarvon minimi- ja maksimiarvon erotuksena. Suurimman yksittäisen aallonkorkeuden arvo vertailujaksolla laskettiin etsimällä maksimiarvo 10 sekunnin jakson pinnankorkeuden minimi- ja maksimiarvojen erotuksesta. Aluksen imuvaikutuksen voimakkuutta arvioitiin näin vertaamalla imuaallon korkeutta pinnankorkeuden luonnolliseen vaihteluun ja aluksista aiheutuvien aaltojen korkeutta vertaamalla suurimpiin luonnollisiin aallonkorkeuksiin.

Pinnankorkeuden normalisoidut aikasarjat sekä liukuvan keskiarvon aikasarjat (18.12.2014 klo 15:00–22:00 sekä 19.12.2014 klo 04:00–11:00) on esitetty yhdessä alusten ohitushetkien kanssa Kuvissa 6 ja 11. Yksittäisten alusten ohitushetket eri mittauspisteissä on esitetty Kuvissa 7–10 ja 12–15. Alusten aiheuttamien vaikutuksien vertailu luonnollisiin pinnankorkeuden muutoksiin ja suurimpiin luonnollisiin aallonkorkeuksiin on esitetty satamaan saapuvien alusten osalta Kuvassa 16 ja satamasta lähtevien alusten osalta Kuvassa 17.

Alusten aiheuttamat suurimmat aallot olivat kaikissa tapauksissa samaa suuruusluokkaa luonnollisten aaltojen kanssa. Imuvaikutukset taas erottuivat selvästi luonnollisten pinnankorkeuden vaihteluiden joukosta. Niiden riippuvuutta alusten ohitusnopeuksista ja syväyksistä selvitettiin regressioanalyysin avulla. Analyysi tehtiin lähimpänä väylää sijainneen mittauspisteen V2 aineistosta, jossa mitatut vaikutukset olivat suurimmillaan. Tulokset on esitetty Kuvissa 18 ja 19. Aluksen syväyksellä ei havaittu olevan yhteyttä imuvaikutukseen. Ohitusnopeus taas selitti 60% havaitusta imuvaikutuksen suuruudesta. Nopeudella 10 solmua vaikutus oli luonnollisten ilmiöiden suuruusluokkaa. Suurimmat vaikutukset mitattiin kun ohitusnopeudet olivat yli 16 solmua. Satamasta lähtevien alusten aiheuttama imuvaikutus oli noin kaksinkertainen saapuviin aluksiin verrattuna (Kuva 20).

Vedenlaadussa (sameus, lämpötila ja suolapitoisuus) ei havaittu muutoksia alusten ohitushetkillä.

3.2.1 Mittaustulokset iltapäivällä ja illalla 18.12.2014

Kuva 6. Pinnakorkeuden ja pinnankorkeuden liukuvan keskiarvon (7s) aikasarjat kaikilla mittauspisteillä 18.12.2014 klo 15-22. Satamaan saapuvien alusten ohitushetket on merkitty punaisella pisteellä, satamasta lähtevien alusten ohitushetket sinisellä pisteellä.

Kuva 7. VS1 pisteen pinnankorkeuden ja pinnakorkeuden liukuvan keskiarvon (7 s) aikasarjat tarkennettuna 18.12.2014 klo 15-22 mittausjaksolle osuneiden alusten ohitushetkien ajalta. Satamaan saapuvien alusten ohitushetket on merkitty punaisella nuolella, satamasta lähtevien alusten ohitushetket sinisellä nuolella.

Kuva 8. VS2 pisteen pinnankorkeuden ja pinnakorkeuden liukuvan keskiarvon (7 s) aikasarjat tarkennettuna 18.12.2014 klo 15-22 mittausjaksolle osuneiden alusten ohitushetkien ajalta. Satamaan saapuvien alusten ohitushetket on merkitty punaisella nuolella, satamasta lähtevien alusten ohitushetket sinisellä nuolella.

Kuva 9. VS3 pisteen pinnankorkeuden ja pinnakorkeuden liukuvan keskiarvon (7 s) aikasarjat tarkennettuna 18.12.2014 klo 15-22 mittausjaksolle osuneiden alusten ohitushetkien ajalta. Satamaan saapuvien alusten ohitushetket on merkitty punaisella nuolella, satamasta lähtevien alusten ohitushetket sinisellä nuolella.

Kuva 10. VS4 pisteen pinnankorkeuden ja pinnakorkeuden liukuvan keskiarvon (7s) aikasarjat tarkennettuna 18.12.2014 klo 15-22 mittausjaksolle osuneiden alusten ohitushetkien ajalta. Satamaan saapuvien alusten ohitushetket on merkitty punaisella nuolella, satamasta lähtevien alusten ohitushetket sinisellä nuolella.

3.2.2 Mittaustulokset aamuyöllä ja aamulla 19.12.2014

Kuva 11. Pinnakorkeuden ja pinnankorkeuden liukuvan keskiarvon (7s) aikasarjat 19.12.2014 klo 04-11. Satamaan saapuvien alusten ohitushetket on merkitty punaisella pisteellä, satamasta lähtevien alusten ohitushetket sinisellä pisteellä.

Kuva 12. VS1 pisteen pinnankorkeuden ja pinnakorkeuden liukuvan keskiarvon (7s) aikasarjat tarkennettuna 19.12.2014 klo 04-11 mittausjaksolle osuneiden alusten ohitushetkien ajalta. Satamaan saapuvien alusten ohitushetket on merkitty punaisella nuolella, satamasta lähtevien alusten ohitushetket sinisellä nuolella.

Kuva 13. VS2 pisteen pinnankorkeuden ja pinnakorkeuden liukuvan keskiarvon (7s) aikasarjat tarkennettuna 19.12.2014 klo 04-11 mittausjaksolle osuneiden alusten ohitushetkien ajalta. Satamaan saapuvien alusten ohitushetket on merkitty punaisella nuolella, satamasta lähtevien alusten ohitushetket sinisellä nuolella.

Kuva 14. VS3 pisteen pinnankorkeuden ja pinnakorkeuden liukuvan keskiarvon (7s) aikasarjat tarkennettuna 19.12.2014 klo 04-11 mittausjaksolle osuneiden alusten ohitushetkien ajalta. Satamaan saapuvien alusten ohitushetket on merkitty punaisella nuolella, satamasta lähtevien alusten ohitushetket sinisellä nuolella.

Kuva 15. VS4 pisteen pinnankorkeuden ja pinnakorkeuden liukuvan keskiarvon (7s) aikasarjat tarkennettuna 19.12.2014 klo 04-11 mittausjaksolle osuneiden alusten ohitushetkien ajalta. Satamaan saapuvien alusten ohitushetket on merkitty punaisella nuolella, satamasta lähtevien alusten ohitushetket sinisellä nuolella.

3.2.3 Mittaustulosten ja luonnonolosuhteiden vertailu

Kuva 16. Satamaan saapuvien alusten vaikutukset mittauspisteillä VS1-VS4.

Vasen sarake: Alusten imuvaikutukset (punainen palkki) ja luonnolliset pinnankorkeuden muutokset (sininen palkki).

Oikea sarake: Alusten aallokkovaikutukset (punainen palkki) ja luonnollinen aallokko (sininen palkki).

Kuva 17. Satamasta lähtevien alusten vaikutukset mittauspisteillä VS1-VS4. Selite kuten Kuvassa 16.

Kuva 18. Syväyksen ja imuvaikutuksen regressio. Analyysi perustuu mittauspisteen VS2 aineistoon.

Kuva 19. Nopeuden ja imuvaikutuksen regressio. Analyysi perustuu mittauspisteen VS2 aineistoon.

Kuva 20. Saapuvien alusten ja lähtevien alusten aiheuttama keskimääräinen imuvaikutus ja sen keskihajonta. Analyysi perustuu mittauspisteen VS2 aineistoon.

4 Johtopäätökset

- Mittauspäivien tuulitilanne vastasi hyvin alueen keskimääräisiä vuotuisia olosuhteita. Tuuli oli etelän puolelta ja noin 8 m/s.
- Alusten ohituksia saatiin mitattua yhteensä 11 kappaletta edustaen hyvin eri syväyksiä ja ohitusnopeuksia.
- Vaikutus vedenpinnan korkeuteen (imuvaikutus) oli havaittavissa Kuiva-Hevosen välittömässä läheisyydessä sijaitsevilla mittauspisteillä VS1-VS3. Suurin vaikutus havaittiin väylän vieressä sijaitsevalla pisteellä VS2.
- Aallokkovaikutukset eivät erottuneet luontaisesta aallokosta.
- Kallahden Natura-alueen edustalla sijaitsevassa pisteessä VS4 ei havaittu luontaisesta poikkeavia vedenpinnan korkeuden muutoksia tai aallokkovaikutusta.
- Vaikutuksia vedenlaatuun (sameus, lämpötila, suolapitoisuus) ei havaittu mittauspisteillä.
- Alusten kulkunopeus selitti 60% havaitusta imuvaikutuksesta. Suurimmat imuvaikutukset havaittiin kun alukset ohittivat mittauspisteen yli 16 solmun nopeudella.
- Alusten syväyksellä ei ollut merkitystä imuvaikutuksen suuruuteen. Vähäisin imuvaikutus mitattiin alukselle MSC Malin, jonka syväys oli koko aineiston suurin 9,9 metriä.
- Satamasta lähtevien alusten imuvaikutukset olivat noin kaksinkertaiset satamaan saapuviin aluksiin verrattuna.