

Tiina Vaittinen
Merilin Vartia

Uudenkaupungin väylän syventämishankkeen meriläjitysten sedimentaatiotutkimus

Tutkimusraportti



Tiina Vaittinen, Merilin Vartia

Uudenkaupungin väylän
syventämishankkeen meriläjitysten
sedimentaatiotutkimus

Tutkimusraportti

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 22/2016

Liikennevirasto
Helsinki 2016

Kannen kuva: Tiina Vaittinen, Sito

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-317-256-2

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

Tiina Vaittinen ja Merilin Vartia: Uudenkaupungin väylän syventämishankkeen meriläjitusten sedimentaatiotutkimus. Liikennevirasto, liikenne ja maankäyttö -osasto. Helsinki 2016. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 22/2016. 59 sivua ja 1 liite. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-256-2.

Avainsanat: meriläjitys, sedimentaatio, kiintoaines, sedimenttikeräin, virtausmittaukset, vedenlaatumittaukset

Tiivistelmä

Uudenkaupungin 10,0 metrin meriväylää syvennettiin 12,5 metrin kulkusyvyvyyteen vuosina 2013–2015. Syventämishankkeen yhteydessä toteutetulla sedimentaatiotutkimuksella pyrittiin selvittämään meriläjitysalueilta lähtevän kiintoainekuormituksen merkittävyyttä suhteessa taustaolosuhteisiin. Tutkimus koskee puhtaita sedimenttimassoja. Lisäksi selvitettiin tutkimuksessa käytettyjen tutkimusmenetelmien soveltuvuutta tarkkailuun ja vaikutusten arviointiin sekä mahdollisten uusien meriläjitukseen soveltuvien alueiden tunnistamiseen.

Sedimentaatio-, vedenlaatu- ja virtausmittauksia tehtiin tutkimusalueella alkukesän 2014 ja alkukesän 2015 välisenä aikana. Kuukauden pituisia mittausjaksoja oli kolme, ja ne tehtiin ennen vuoden 2014 läjityksiä, läjitystöiden aikana ja viisi kuukautta läjitysten päättymisen jälkeen. Ensimmäisellä mittausjaksolla pyrittiin selvittämään tutkimusalueen taustaolosuhteita ja luontaista sedimentaatiomäärää, kun ruoppaus- ja läjitystöitä ei ollut tehty kolmeen ja puoleen kuukauteen tutkimusalueen ympäristössä. Toinen mittausjakso toteutettiin syksyllä läjitysten aikana, jotta voitaisiin havainnoida läjityksien vaikutuksia sedimentaatioon ja vedenlaatuun. Viimeisellä mittausjaksolla väylähankkeen ruoppaus- ja läjitystyöt olivat päättyneet viisi kuukautta aiemmin. Viimeinen mittausjakso ajoitettiin samaan vuodenaikaan kuin ensimmäinen mittausjakso, jotta muun muassa sää- ja sedimentaatio-olosuhteet olisivat mahdollisimman samankaltaiset ja tulokset siten vertailukelpoisia. Ensimmäisen ja viimeisen mittausjakson tuloksia vertailemalla pyritään selvittämään, ovatko sedimentaatiomäärät ja veden sameustaso palautuneet luontaiselle tasolle läjitysten päätyttyä. Läjitysten vaikutusten arvioinnin tueksi tutkimuksessa käytettiin kahta vertailupistettä, jotka sijaitsivat läjitysalueen vaikutusalueen ulkopuolella ja mahdollisimman samankaltaisilla alueilla kuin varsinaiset tutkimuspisteet. Vertailupisteiden avulla pyrittiin selvittämään, johtuvatko sedimentaatioissa havaitut muutokset läjitystöistä vai sedimentaation luonnollisesta vuodenaikaisvaihtelusta.

Sedimenttikeräimet toimivat tämän tutkimuksen perusteella hyvin läjitystöiden vaikutusten seurannassa ja antavat kokonaiskuvan pitkän aikavälin muutoksista. Tulosten perusteella alueen luontainen sedimentaatiomäärä vaihtelee paljon vallitsevien sääolosuhteiden mukaan. Läjitystöiden aikana läjitysten vaikutukset sedimentoituvan kiintoaineksen määrään ja orgaanisen aineksen pitoisuuteen havaittiin enintään 600 metrin etäisyydellä läjitysalueesta. Läjitysten aikana havaittiin selkeitä sameuspiikkejä, jotka hälvienivät tyypillisesti 45 minuutissa. Yksittäisestä läjityksestä johtuva samentuma kesti enintään kaksi tuntia. Läjitystöistä johtuvia sedimentaation tai sameuden muutoksia ei ollut enää havaittavissa viimeisellä mittausjaksolla viisi kuukautta läjitysten päättymisestä. Havaitut muutokset olivat luonnollista alkuperäää, sillä ne havaittiin myös vertailupisteillä. Sameuden ja virtausnopeuden välille ei tässä tutkimuksessa löydetty selkeää korrelaatiota. Virtausnopeuden lisäksi muun muassa voimakkaan virtausjakson kestolla on merkittävä vaikutus pohjanläheiseen sameuteen.

Tiina Vaittinen och Merilin Vartia: Sedimentationsundersökning för havsdeponering i samband med projektet att fördjupa Nystads farled. Trafikverket, trafik och markanvändning. Helsingfors 2016. Trafikverkets undersökningar och utredningar 22/2016. 59 sidor och 1 bilaga. ISSN-L 1798-6656, ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-256-2.

Sammanfattning

Nystads havsfarled fördjupades från 10,0 meter till 12,5 meters djup under åren 2013–2015. Vid den sedimentationsundersökning som genomfördes i samband med fördjupningsprojektet försökte man utreda betydelsen av belastningen från de fasta partiklar som härstammar från deponiområdena i förhållande till bakgrundsförhållandena. Undersökningen gäller rena sedimentmassor. Dessutom klarlade man i undersökningen lämpligheten hos de tillämpade undersökningsmetoderna för observation och bedömning av effekterna samt identifiering av potentiella nya områden som lämpar sig för havsdeponering.

Sedimentations-, vattenkvalitets- och flödesmätningar utfördes i undersökningsområdet mellan försommaren 2014 och försommaren 2015. De en månad långa mättningsperioderna, som var tre till antalet, genomfördes innan deponeringarna 2014, under dumpningsarbetet och fem månader efter att deponeringarna hade avslutats. Under den första mättningsperioden försökte man klarlägga bakgrundsförhållandena i undersökningsområdet och den naturliga sedimentationsmängden, när muddrings- och dumpningsarbete inte hade utförts på tre och en halv månad i undersökningsområdet. Den andra mättningsperioden genomfördes på hösten under deponeringarna för att man skulle kunna observera effekterna av deponeringarna på sedimentationen och vattenkvaliteten. Vid den sista mättningsperioden hade muddrings- och dumpningsarbetet i samband med farledsprojektet avslutats fem månader tidigare. Den sista mättningsperioden förlades till samma årstid som den första mättningsperioden, för att bland annat väder- och sedimentationsförhållandena skulle vara så likartade som möjligt och resultaten på så sätt jämförbara. Genom att jämföra resultaten från den första och den sista mättningsperioden försöker man klarlägga om sedimentationsmängden och grumlighetsnivån har återgått till sin naturliga nivå efter att deponeringarna har avslutats. Till stöd för bedömningen av effekterna av deponeringarna använde man i undersökningen två jämförelsepunkter, som var belägna utanför deponiområdets influensområde och på så likartade områden som de egentliga undersökningspunkterna som möjligt. Med hjälp av jämförelsepunkterna försökte man klarlägga om de observerade förändringarna i sedimentationen var till följd av deponeringsarbetet eller på grund av naturliga årstidsväxlingar i sedimentationen.

Sedimentuppsamlarna fungerade på basen av denna undersökning bra vid uppföljningen av deponeringsarbetets effekter och ger en helhetsbild av förändringarna på lång sikt. Utgående från resultaten varierar områdets naturliga sedimentationsmängd mycket enligt de rådande väderförhållandena. Under deponeringsarbetet observerades deponeringarnas effekter på den mängd fasta partiklar som avlagras och halten av organiskt material högst 600 meter från deponiområdet. Under deponeringarna observerades tydliga grumlighetstoppar, som normalt avtog inom 45 minuter. Grumlighet till följd av enstaka deponeringar varade i högst två timmar. Förändringar i sedimentationen eller grumligheten till följd av deponeringsarbetet kunde inte längre observeras under den sista mättningsperioden fem månader efter att deponeringarna hade avslutats. De observerade förändringarna hade naturligt ursprung, eftersom de även observerades på jämförelsepunkterna. Ingen tydlig korrelation mellan grumlighet och flödes hastighet hittades i denna undersökning. Utöver flödes hastigheten har även bland annat varaktigheten hos en kraftig flödesperiod en betydande effekt på grumligheten nära botten.

Tiina Vaittinen and Merilin Vartia: Sedimentation study for sea banking during the Uusikaupunki sea route deepening project. Finnish Transport Agency, Transport and Land Use. Helsinki 2016. Research reports of the Finnish Transport Agency 22/2016. 59 pages and 1 appendix. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-256-2.

Summary

The Uusikaupunki sea route was deepened from a draught of 10.0 metres to 12.5 metres between 2013 and 2015. A sedimentation study that was performed in connection with the deepening project aimed to analyse the significance of solid matter loads released from the sea banking areas in relation to the background conditions. The study concerns clean sediment masses. The study also examined the suitability of the research methods for monitoring, impacts assessment and discovering possible new areas for sea banking.

The sedimentation, water quality and flow measurements were made in the area studied between early summer of 2014 and early summer of 2015. There were three one-month measurement periods which were completed both before the banking work of 2014, while the work was under way, and after the banking had been completed. During the first measurement period, the aim was to determine the background conditions in the study area and the amount of natural sedimentation after no dredging had been performed for three months in the vicinity of the study area. The second measurement period was completed in the autumn while the banking work was under way, in order to allow for observing the effects of banking on the sedimentation and water quality. The final measurement period took place five months had passed after the completion of the dredging and banking work. The final measurement period was scheduled to take place during the same season as the first measurement period in order to achieve weather and sedimentation conditions that were as similar as possible and, thereby obtaining comparable results. By comparing results from the first and final measurement periods, the study aims to determine whether the sedimentation amounts and water turbidity have returned to their natural levels after completion of the banking. In order to support the assessment of the effects of banking, the study used two reference points that were located outside the zone of influence of the banking and in areas that were as similar as possible to the actual points being studied. By using the reference points, the study aimed to determine whether the changes observed in the sedimentation were due to the banking or to the natural, seasonal variation of sedimentation.

Based on this study, sediment collectors work well for monitoring the effects of banking and provide an overall picture of long-term changes. The results indicate that the natural amount of sedimentation varies highly according to the prevailing weather conditions. During the banking work, the effects of banking on the amount of sedimented solids and concentrations of organic matter extended to a maximum range of 600 metres from the banking area. Clear turbidity peaks were observed during the banking, and typically these cleared within 45 minutes. The increase in turbidity due to a single banking operation lasted for at most two hours. No changes in sedimentation or turbidity could be observed during the final measurement period, which took place five months after the banking work had been completed. The changes that were observed were of a natural origin, since they were also observed at the reference points. No clear correlation between turbidity and flow rate was found in the study. In addition to the flow rate, the turbidity near the bottom is also affected by the duration of the period of heavy flow, among other things.

Esipuhe

Uudenkaupungin 10,0 metrin meriväylää syvennettiin 12,5 metrin kulkusyvyyteen vuosina 2013–2015. Syventämishankkeen yhteydessä tehdyllä sedimentaatio-tutkimuksella Liikennevirasto pyrki selvittämään meriläjitysalueilta mahdollisesti lähtevän kiintoainekuormituksen merkittävyyttä suhteessa taustaolosuhteisiin. Lisäksi tarkoituksena oli selvittää tutkimuksessa käytettyjen tutkimusmenetelmien soveltuvuutta tarkkailuun ja vaikutusten arviointiin sekä mahdollisten uusien meriläjitukseen soveltuvien alueiden tunnistamiseen.

Tutkimushankkeen projektipäällikkönä toimi Merilin Vartia Sito Oy:stä ja tutkimuksen päätekijä oli Tiina Vaittinen Sito Oy:stä. Kenttätutkimusten toteutuksesta vastasivat Sauli Vatanen Kala- ja vesitutkimus Oy:stä sekä Antti Lindfors Luode Consulting Oy:stä. Ylitarkastaja Olli Holm toimi Liikenneviraston projektipäällikkönä.

Helsingissä huhtikuussa 2016

Liikennevirasto
Liikenne ja maankäyttö -osasto

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	8
2	TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA TOTEUTUS	9
3	VÄYLÄHANKE.....	10
4	TUTKIMUSALUE	12
4.1	Sijainti ja nykytila.....	12
4.2	Pohjaolosuhteet.....	15
4.3	Vedenlaatu.....	15
4.4	Kalasto ja luontokohteet	16
5	AINEISTO JA MENETELMÄT	18
5.1	Sedimenttikeräimet	19
5.2	Vedenlaatu- ja virtausmittaukset	21
5.3	Syvyysaineisto ja pohjan topografia.....	23
6	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU.....	29
6.1	Virtausolosuhteet	29
6.1.1	Ensimmäinen mittausjakso	29
6.1.2	Toinen mittausjakso	31
6.1.3	Kolmas mittausjakso	33
6.2	Sameus ja vedenlaatu.....	35
6.2.1	Ensimmäinen mittausjakso	35
6.2.2	Toinen mittausjakso	37
6.2.3	Kolmas mittausjakso	39
6.3	Sedimentaatio.....	41
6.3.1	Ensimmäinen mittausjakso	41
6.3.2	Toinen mittausjakso	44
6.3.3	Kolmas mittausjakso	48
7	TULOSTEN YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	51
7.1	Virtausolosuhteet alueella.....	51
7.2	Pohjanläheinen virtausnopeus ja sameus	52
7.3	Sedimentaation muutokset	53
7.4	Sedimenttikeräinten käyttökelpoisuus	57
8	KIRJALLISUUS.....	58

LIITTEET

Liite 1	Toisen mittausjakson aikana (6.10.2014–3.11.2014) läjitysalueelle D läjitetyt massat
---------	--

1 Johdanto

Meriväylien ja satamien kunnossapito edellyttävät usein merenpohjan ruoppausta, johtuen muun muassa virtausten kuljettaman kiintoaineksen sedimentaatiosta, laivakoon kasvusta ja maankohoamisesta erityisesti Pohjanlahdella. Syntyvät ruoppausmassat on läjitettävä, millä on suoria ja välillisiä vaikutuksia ympäristöön. Merialueiden ruoppaushankkeissa meriläjitys on usein käytetty massojen sijoitustapa, vaikka ruopatut massat pyritäänkin ensisijaisesti hyödyntämään esimerkiksi satamarakenteissa. Massojen hyötykäyttö ei ole kuitenkaan aina mahdollista esimerkiksi ruoppausmassojen heikkojen geoteknisten ominaisuuksien takia.

Läjityksen vaikutukset, vaikutusten kesto sekä vaikutusalueen laajuus riippuvat monista tekijöistä. Merkittäviä tekijöitä ovat muun muassa läjitetyn sedimentin määrä ja massojen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet, läjitystöiden kesto ja ajankohta sekä käytetty ruoppausmenetelmä. Lisäksi merkitystä on läjitysalueen ominaisuuksilla, kuten pohjan topografialla ja virtausolosuhteilla. Läjitettyjen massojen pysyvyys alueella on tärkeä kriteeri läjitysalueita valittaessa, jotta läjitystöistä johtuva kiintoaineksen ja mahdollisten haitta-aineiden kulkeutuminen jäisi mahdollisimman vähäiseksi. Vuosaaren ja Turun sataman läjitysalueilla tehtyjen mittausten mukaan keskimääräisessä läjitystapahtumassa läjitettävästä massasta resuspendoituu tyypillisesti 2–3 % (Kiirikki ja Rasmus 2013).

Läjitysalueelta peräisin olevan kiintoainekuormituksen merkittävyyteen vaikuttavat oleellisesti alueen kiintoainepitoisuuden taustatasot, sillä merieliöstö on sopeutunut alueen luontaisiin olosuhteisiin. Esimerkiksi jokisuiden ja merenlahtien kiintoainetaustapitoisuudet ovat tyypillisesti korkeita. Myös sään ääriolosuhteet, kuten myrskyt, voivat lisätä veden kiintoainepitoisuutta ja sameutta merkittävästi. Esimerkiksi Suomenlahdella 40 metriä syvillä pohjilla toteutetun tutkimuksen (Kiirikki ja Rasmus 2013) mukaan yksittäisen voimakkaan myrskyn aiheuttama kiintoaineen resuspensio oli suuruusluokkaa yksi kg/m², mikä oli 5–10 % tutkimusalueen koko vuotuisesta resuspensiosta.

Aikaisemmin meriläjitysmassojen aiheuttamaa ympäristökuormitusta on tutkittu erityisesti Pohjois-Airiston merialueella 1990-luvulla (mm. Korkka 1995, Kuulusa 1999 ja Jumpanen 2000). Alueella olevaa Kuuvan entistä läjitysalueita on tutkittu paljon ja sen havaittiin kuormittavan ympäristöä merkittävästi niin ravinteiden kuin raskasmetallienkin suhteen. Kyseinen läjitysalue ei olekaan enää käytössä eikä nykysäädösten mukainen. Lisäksi 90-luvulla tutkittiin Helsingin itäpuolella olevan Mustakuvun läjitysalueen vaikutuksia merenpohjan oloihin (Virtanen 1993). Vuosina 2013–2014 toteutettiin läjitysmassojen paikallaan pysyvyyden tutkimus Haminan ja Naantalın meriläjitysalueilla (Vaittinen 2014). Muuten Suomen läjitysalueilla on pääsääntöisesti tehty vain velvoitetarkkailututkimuksia.

Tässä tutkimuksessa pyritään selvittämään meriläjitysalueilta lähtevän kiintoainekuormituksen merkittävyyttä suhteessa taustaolosuhteisiin hyödyntäen sedimenttikeräimillä ja jatkuvatoimisilla virtaus- ja vedenlaatumittareilla saatua aineistoa. Lisäksi tarkoituksena oli selvittää tutkimuksessa käytettyjen tutkimusmenetelmien soveltuvuutta tarkkailuun ja vaikutusten arviointiin sekä uusien meriläjitykseen soveltuvien alueiden tunnistamiseen. Tutkimus toteutettiin Uudenkaupungin meriväylän syventämishankkeen yhteydessä vuosina 2014–2015.

2 Tutkimuksen tavoitteet ja toteutus

Uudenkaupungin meriväylän syventämishankkeen läjitysten yhteydessä tehtävällä sedimentaatiotutkimuksella selvitettiin meriläjitysalueilta mahdollisesti ympäristöön leviävän kiintoainekuormituksen merkittävyyttä suhteutettuna taustaolosuhteisiin. Tutkimus koskee puhtaita sedimenttimassoja. Lisäksi selvitettiin tutkimuksessa käytettyjen tutkimusmenetelmien soveltuvuutta läjitysalueiden tarkkailuun ja vaikutusten arviointiin sekä uusien meriläjitykseen soveltuvien alueiden tunnistamiseen. Yhtenä tavoitteena on tuottaa lisätietoa kustannustehokkaista tutkimusmenetelmistä väylähankkeiden lupahakemuksia ja seurantaa varten. Tutkimuksessa tarkasteltiin myös virtausolosuhteiden vaikutuksia havaittuihin sameuden muutoksiin.

Sedimentaatio-, sameus- ja virtausmittauksia tehtiin tutkimusalueella yhden vuoden aikana. Kuukauden pituisia mittausjaksoja oli kolme, ja ne toteutettiin vuosina 2014 ja 2015. Ensimmäisellä mittausjaksolla pyrittiin selvittämään tutkimusalueen taustaolosuhteita ennen merkittävän määrän (329 950 m³) läjittämistä läjitysalueelle. Ennen ensimmäistä mittausjaksoa ruoppaus- ja läjitystöitä ei tutkimusalueen ympäristössä ollut tehty kolmeen ja puoleen kuukauteen. Toinen mittausjakso toteutettiin läjitysten aikana, jotta saatiin tietoa läjityksien vaikutuksista alueen sedimentaatioon ja sameuteen. Viimeisen mittausjakson alkaessa kaikki hankkeen ruoppaus- ja läjitystyöt olivat päättyneet viisi kuukautta aiemmin. Viimeinen mittausjakso ajoitettiin samaan aikaan kuin ensimmäinen, jotta muun muassa ilmasto-olosuhteet olisivat mahdollisimman samankaltaiset ja tulokset siten vertailukelpoisia. Ensimmäisen ja viimeisen mittausjakson tuloksia vertailemalla pyrittiin selvittämään, ovatko sedimentaatiomäärät ja sameus palautuneet läjityksiä edeltäneelle tasolle.

Läjitysten vaikutusten arvioinnin tueksi tutkimuksessa oli kaksi vertailupistettä, jotka sijoitettiin läjitysalueen vaikutusalueen ulkopuolelle ja sedimentaatio-olosuhteiltaan mahdollisimman samankaltaisille alueille kuin varsinaiset tutkimuspisteet. Vertailupisteiden avulla tarkasteltiin alueen luontaisia taustaolosuhteita sekä sitä, johtuivatko sedimentaatiossa havaitut muutokset läjitystöistä vai sedimentaation luonnollisesta vaihtelusta.

3 Väylähanke

Uudenkaupungin merialueella kulkee 43 kilometrin pituinen Uudenkaupungin meriväylä, joka alkaa Sandbäckin loiston pohjoispuolelta ja jatkuu Isokarin eteläpuolitse Uudenkaupungin saariston läpi Yara Suomi Oy:n satamaan sekä Hepokarin väylän kautta Uudenkaupungin satamaan. Väylän kulkusyvyyttä syvennettiin 10,0 metristä 12,5 metriin vuosina 2013–2015. Samalla myös levennettiin Hepokarin väylän niin sanottua Urpoisten mutkaa sekä syvennettiin Yara Suomi Oy:n satama-allasta ja saneerattiin satama-alueen laitureita. Myös väylämerkkejä ja turvalaitteita uusittiin. Väylän kulkusyvyyttä lisäämällä pyrittiin parantamaan merikuljetusten kustannustehokkuutta ja siten edistää merikuljetuksia käyttävän teollisuuden toimintaedellytyksiä. Hankkeen tilaajina olivat Liikennevirasto, Uudenkaupungin Satama Oy sekä Yara Suomi Oy. Edellisen kerran Uudenkaupungin meriväylää syvennettiin vuonna 1979.

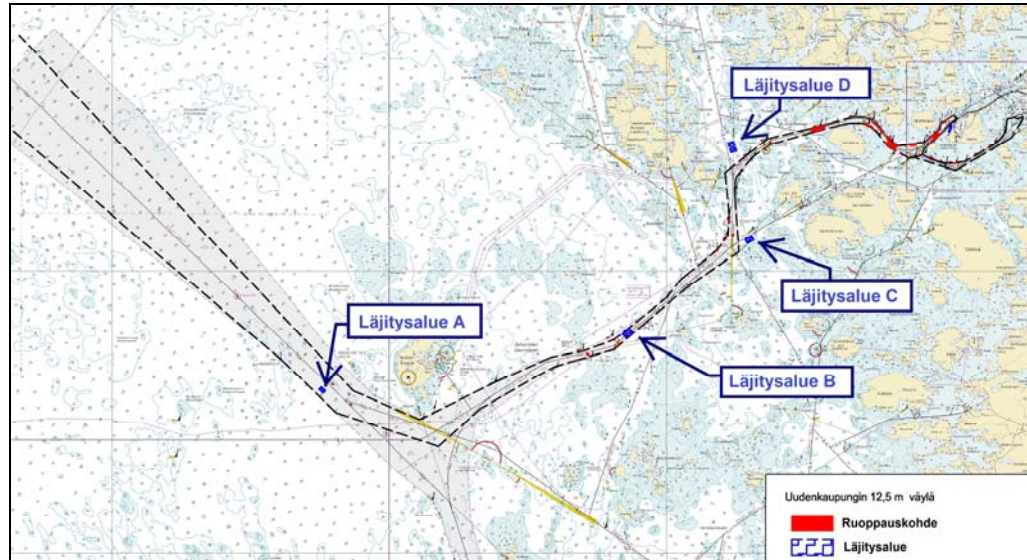
Hankkeen vesilupahakemus jätettiin 19.11.2007, jonka jälkeen sitä täydennettiin kuudesti vuosina 2008–2011. Etelä-Suomen aluehallintovirasto myönsi hankkeelle luvan 8.3.2011 päätöksessään nro 42/2011/4 (Dnro ESAVI/148/04.09/2010). Päätöksestä valitettiin ja Vaasan hallinto-oikeus kumosi 24.1.2012 aluehallintoviraston päätöksen Keskiteon alueelle kaavailun meriläjitysalueen luvan osalta (päätös nro 12/0022/1). Korkein hallinto-oikeus ei muuttanut Vaasan hallinto-oikeuden päätöstä. Tämän jälkeen hankkeen suunnittelijat hakivat lupaa läjitysalueen C laajennukselle, jolle aluehallintovirasto antoi 23.8.2013 luvan päätöksessään nro 170/2013/2 (Dnro ESAVI/16/04.09/2013).

Syvennyshankkeen ruoppaus- ja läjitystyöt alkoivat lokakuussa 2013 ja työt valmistuivat 23.12.2014. Kokonaisuudessaan hanke valmistui alkuvuonna 2015. Ruoppauskohteita syventämishankkeessa oli kaikkiaan 23 ja niiden pinta-ala oli noin 34 hehtaaria. Ruoppausmassoja kertyi yhteensä 1 158 970 m³. Pilaantuneita sedimenttejä kuorittiin väylän sisäosassa kolmella ruoppauskohteella (kohteet 180, 190 ja satamassa) ja massat stabiloitiin satamaan varastokentäksi. Ruoppaukset toteutettiin kauharuoppaajalla (Kuva 1).



Kuva 1. Kauharuoppaaja Optimus työn touhussa 20.10.2014 (Kuva: Tiina Vaitinen).

Meriläjitykseen kelpaavia ruoppausmassoja sijoitettiin neljälle meriläjitysalueelle A, B, C ja D (Kuva 2). Läjitysalueet A ja B sijaitsevat väylän ulko-osassa ja alueet C ja D väylän sisäosassa. Lisäksi pilaantuneita massoja läjitettiin Yara Suomi Oy:n satama-alueelle tätä tarkoitusta varten rakennettuun altaaseen stabiloitavaksi.



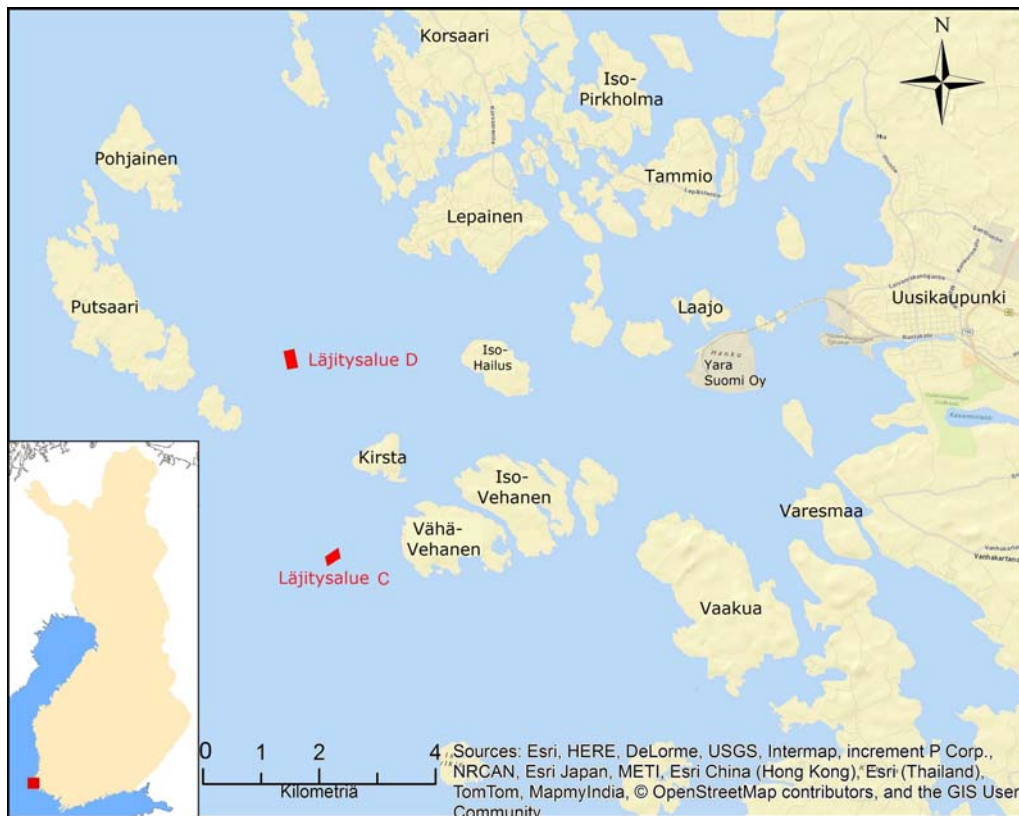
Kuva 2. Uudenkaupungin 12,5 metrin väylä sekä syvennyshankkeessa käytettävät läjitysalueet ja ruoppauskohteet.

Tässä työssä tutkimukset kohdistettiin väylän sisäosan meriläjitysalueelle D. Kyseinen läjitysalue valittiin tutkimuskohteeksi, sillä se oli kapasiteetiltaan huomattavasti suurempi kuin läjitysalueet A ja B, lisäksi sinne oli suunnitteilla läjittää hienojakoisempia ja siten herkemmin resuspendoituvia massoja kuin läjitysalueelle C. Läjitysalueen D ympäristö oli myös sedimentaatio- ja virtausolosuhteiltaan selkeämmin tulkittavissa. Tutkimuksessa hyödynnettiin kuitenkin myös läheisen läjitysalueen C vesistötarkkailusta saatavia tuloksia.

4 Tutkimusalue

4.1 Sijainti ja nykytila

Tutkimusalue sijaitsee Uudenkaupungin edustan merialueella, joka on harvaan asuttua sisä- ja välisaaristoa (Kuva 3). Saaristovyöhyke on noin 20 kilometrin levyinen. Keskisyvyys Uudenkaupungin edustan merialueella on seitsemän metriä, ja pohjan topografia on hyvin vaihtelevaa. Tutkimusaluetta luonnehtivat suhteellisen kapeat ja jyrkkäreunaiset salmet. Salmien syvyys on paikoin yli 30 metriä, ja Pohjaisen itäpuolella on yli 60 metrin syvyinen syvännealue. Vuonna 2013 valmistuneen ekologisen tilan luokituksen mukaan linjan Lepäinen-Kirsta-Hylkimys-Kuliluoto ulkopuolinen merialue, jolla läjitysalueet C ja D sijaitsevat, oli tilaltaan hyvä (Turkki 2014). Uudenkaupungin edustalla kulkee hidas rannikon suuntainen päävirtaus pohjoiseen. Pohjan läheisen vesikerroksen virtausnopeudet ovat tyypillisesti melko alhaisia, keskimäärin noin 4 cm/s (FCG Oy 2010).



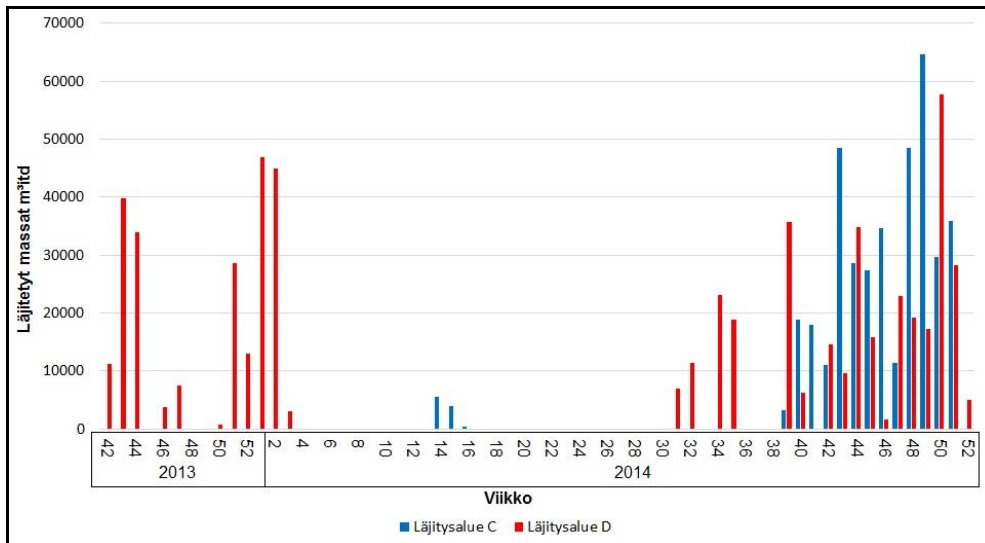
Kuva 3. Uudenkaupungin edustan merialue sekä väylähankkeen läjitysalueiden C ja D sijainti.

Uudenkaupungin merialueen merkittävimmät kuormittajat ovat Yara Suomi Oy:n tehtaiden sekä Uudenkaupungin alueen jätevedet. Niiden mukana on arvioitu kulkeutuneen Uudenkaupungin merialueelle keskimäärin 3,4 kg fosforia ja 382 kg typpeä vuorokaudessa vuonna 2013. Kokonaisravinnekuormituksen arvioitiin olevan samana vuonna 4,2 tonnia fosforia ja 412 tonnia typpeä. Näihin määriin eivät sisälly jätekipsi-alueen fosforipäästöt eivätkä taajama-alueen hulevedet (Turkki 2014).

Alueen ainoa merkittävä joki on Sirppujoki, jonka keskivirtaama oli 2,98 m³/s vuosina 1992–2005. Sirppujoen suulle on padottu suunnilleen 37 km²:n laajuinen makeavesiallas, joka vaikuttaa merkittävästi Uudenkaupungin edustan veden laatuun ja virtausoloihin. Makeavesiallas sijaitsee noin kahdeksan kilometriä Udestakaupungista pohjoiseen. Sirppujoen valuma-alueen happamat sulfaattimaat happamoittavat joen vettä, ja niiltä liukenee veteen typpi-, mangaani- ja alumiiniyhdisteitä. Veden happamuuden seurauksena joen kuljettamasta fosforista suurin osa saostuu altaan pohjalle eikä kulkeudu merialueelle. Sen sijaan jokisuun altaasta mereen virtaava vesi sisältää poikkeuksellisen runsaasti epäorgaanisia typpiyhdisteitä. (Turkki 2014)

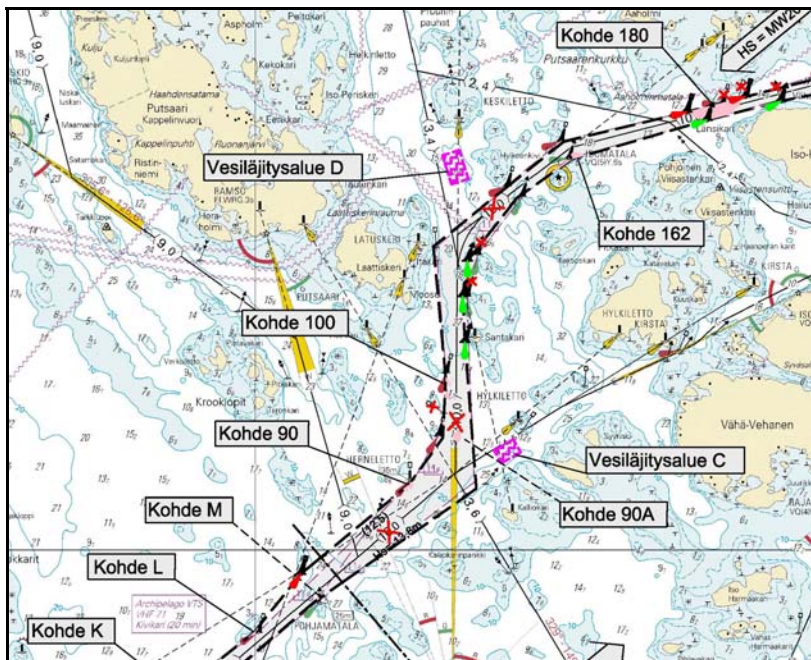
Läjitysalue D sijaitsee Putsaaren itäpuolella noin 22–25 metrin syvyisessä pienimuotoisessa painanteessa. Se on pinta-alaltaan 6,2 hehtaarin laajuinen ja sen ylin täyttötaso on -17,0 metriä. Läjitysalueen teoreettinen tilavuus on 350 000 m³tr. 6,6 hehtaarin laajuinen läjitysalue C puolestaan sijaitsee etelämpänä Vähä-Vehasen saaren länsipuolella, pääosin yli 20 metrin syvyisessä koillisesta lounaaseen kulkevassa kaapeassa syvänteessä. Läjitysalueen C ylin täyttötaso on -16,0 metriä ja teoreettinen tilavuus 290 000 m³tr.

Läjitysalueelle D oli läjitetty tutkimuksen alkaessa 233 000 m³itd ruoppausmassoja aikavälillä 18.10.2013–14.1.2014. Ennen tutkimuksen ensimmäistä mittausjakso näiden läjitysten päättymisestä oli kulunut kolme ja puoli kuukautta. Läjitettyt massat koostuivat pääasiassa savesta, lisäksi joukossa oli moreenia ja louhetta. Tutkimuksen alkaessa läjitysalueelle C oli puolestaan läjitetty 9 830 m³itd massoja, joista noin puolet koostui savesta ja mudasta ja puolet louheesta ja moreenista. Nämä massat läjitettiin aikavälillä 3.4.2014–17.4.2015, joten läjitysalueen C läjityksistä oli kulunut noin kaksi viikkoa ennen tutkimuksen ensimmäistä mittausjaksoa. Tämän tutkimuksen aikana läjitysalueelle D läjitettiin massoja 329 950 m³itd ja läjitysalueelle C 380 450 m³itd. Kaikkiaan Uudenkaupungin väylähankkeen aikana läjitysalueelle D läjitettiin 563 440 m³itd massoja ja läjitysalueelle C 390 280 m³itd massoja. Yhteenvedo läjitysalueille C ja D läjitetyistä massamääristä on esitetty Kuvassa 4.



Kuva 4. Läjitysalueille C ja D läjitetyt massat viikoittain. Tämän tutkimuksen ensimmäinen mittausjakso ajoittui viikoille 18–22/2014, toinen mittausjakso viikoille 41–45/2014 ja kolmas mittausjakso viikoille 18–22/2015.

Molempien läjitysalueiden läheisyydessä sijaitsi useampi hankkeen ruoppauskohde (Kuva 5). Läjitysaluetta D lähimpänä oleva ruoppauskohde on yhden kilometrin päässä sijaitseva kohde 162. Kohteelta ruopattiin hankkeen aikana 19 650 m³ massoja. Läjitysaluetta C on puolestaan lähimpänä 350 metrin päässä oleva ruoppauskohde 90A, jolta ruopattiin hankkeen aikana 23 150 m³ massoja.



Kuva 5. Ote Uudenkaupungin 12,5 m väylän rakennussuunnitelman yleiskartasta. Kuvassa näkyvät lilalla viivoituksella merkityt läjitysalueet C ja D sekä niiden lähistön ruoppauskohteet vaaleanpunaisina alueina.

4.2 Pohjaolosuhteet

Uudenkaupungin väyläalueen ulko-osissa pohjasedimentti on tyypillisesti keskitiivistä savi- ja hiekkamoreenia. Väylän sisäosissa sedimentti vaihtuu savi- ja siltiliejuksi, jossa on paikoin vähähappisia oloja kuvastava lievä rikkivedyn haju (Meritaito Oy 2013, Vatanen et al. 2014). Läjitysalueen D pintasedimentti on Vatasen et al. (2014) sedimenttitutkimusten perusteella löyhää liejua ja saviliejua, jonka hehkutushäviö vaihteli välillä 5,4–6,7 %. Löyhän pintakerroksen alla on tiivis hiesun sekainen savi. Läjitysalueita pohjois- itä- ja länsipuolilla ympäröivillä harjanteilla pintasedimentin laatu muuttui karkeammaksi, samoin kuin läjitysalueen eteläpuoleisella väyläalueella. Läjitysalueen C pohjanlaatu on kova, eikä sen pinnalla ole juurikaan hienojakoista materiaalia. Sedimentin hehkutushäviö läjitysalueen C ympäristössä on alhainen vaihdellen välillä 1,5–2,6 %, mikä ilmentää alhaista orgaanisen aineksen pitoisuutta (Vatanen et al. 2014).

Vuonna 2010 toteutetun pohjaeläinselvityksen (Turkki 2011) mukaan Uudenkaupungin merialueen pohjan tila on heikentynyt neljä vuotta aikaisemmin toteutettuun tutkimukseen (Turkki 2007) verrattuna. Heikkoja happiolosuhteita ilmentävät surviaisääskentoukat ja harvasukasmadot olivat selvästi lisääntyneet ja niiden esiintymisalue laajentunut. Likaantuneiksi luokiteltujen pohjien määrä oli kaksinkertaistunut sisä- ja välisaariston alueilla, uloimmalla merialueella ei ollut tapahtunut merkittäviä muutoksia.

4.3 Vedenlaatu

Alueen merialueen tilaa on selvitetty Lounais-Suomen ympäristökeskuksen hyväksymän vesistö tarkkailuohjelman (Kirkkala 2004) mukaisesti. Vuoden 2013 tarkkailun (Turkki 2014) mukaan näkösyvyys läjitysalueen D läheisyydessä Putsaaren itärannikon edustalla oli vuonna 2013 merialueen yleiseen tasoon nähden hyvä, tyypillisesti noin 3–4 m. Vuoden 2013 merialueen yhteistarkkailussa meriveden kiintoaineen määrä Uudenkaupungin merialueella vaihtelivat välillä 1,5–22 mg/l. Pienimmät pitoisuudet mitattiin Putsaaren itärannikolla. Yhteenveto vuoden 2013 tarkkailun kiintoaine- ja sameustuloksista on esitetty Taulukossa 1. Ennen väylähankkeen vesitöiden alkamista joulukuussa 2011 Putsaaren koillispuolella jatkuvatoimisilla sameusmittareilla mitatut sameusarvot alueella vaihtelivat tyypillisesti 1–2 NTU-yksikön välillä (Lindfors ja Kiirikki 2012).

Taulukko 1. Vuoden 2013 yhteisvaikutustarkkailun (Turkki 2014) aikana veden kiintoainepitoisuus ja sameus Putsaaren itärannan edustalla. Sameuden yksikkö FNU vastaa suuruudeltaan kutakuinkin tässä tutkimuksessa käytettyä NTU-yksikköä.

Syvyys m	17.6.2013		19.8.2013		21.10.2013	
	Kiintoaine mg/l	Sameus FNU	Kiintoaine mg/l	Sameus FNU	Kiintoaine mg/l	Sameus FNU
1	1,2	1,5	1,1	0,7	1,7	1,4
5	0,9	2,2	1,8	0,8	1,9	1,5
10	1,1	2,1	1,7	0,8	1,9	1,6
20	0,9	1,2	1,9	1,2	1,8	1,8
33	2,1	2,0	3,8	2,9	2,1	2,0
Tuulen nopeus m/s	8		8		1	
Näkösyvyys m	3,9		4,0		4,1	

Avovesikauden klorofyllipitoisuuksien keskiarvojen mukaan sisäsaariston alue ja osa välisaaristosta oli luokiteltavissa reheväksi ja muu merialue lievästi reheväksi. Heinäkuisessa kasviplanktonissa vallitsivat selkeästi sinilevät (Turkki 2014). Tämän tutkimuksen yhteydessä tehtyjen mittauksen perusteella veden suolapitoisuus läjitysalueen D läheisyydessä on tyypillisesti noin 5,8 ‰.

4.4 Kalasto ja luontokohteet

Uudenkaupungin edustan merialue kuuluu eteläisimpään Selkämereen ja alueen kalastossa ovat edustettuina sekä sisä- että merivesien lajit. Tyypillisimpiä merialueen kalalajeja ovat alueella lisääntyvät lajit, kuten ahven, kuha, silakka, karisiika, lahna, särki ja hauki. Aiemmin alueella on esiintynyt myös yleisesti kampelaa, mutta ammattikalastajien mukaan niiden määrä on vähentynyt huomattavasti viime vuosina (Haikonen 2009). Kampelakantojen taantuminen johtunee osittain merialueen suolapitoisuuden alenemisestä, mutta myös vesien rehevöitymisestä. Merialueelle istutetaan vuosittain runsaasti siikoja, kuhia sekä taimenia kompensoimaan ravinnekuormituksesta johtuvia haittoja (Vatanen ja Haikonen 2013).

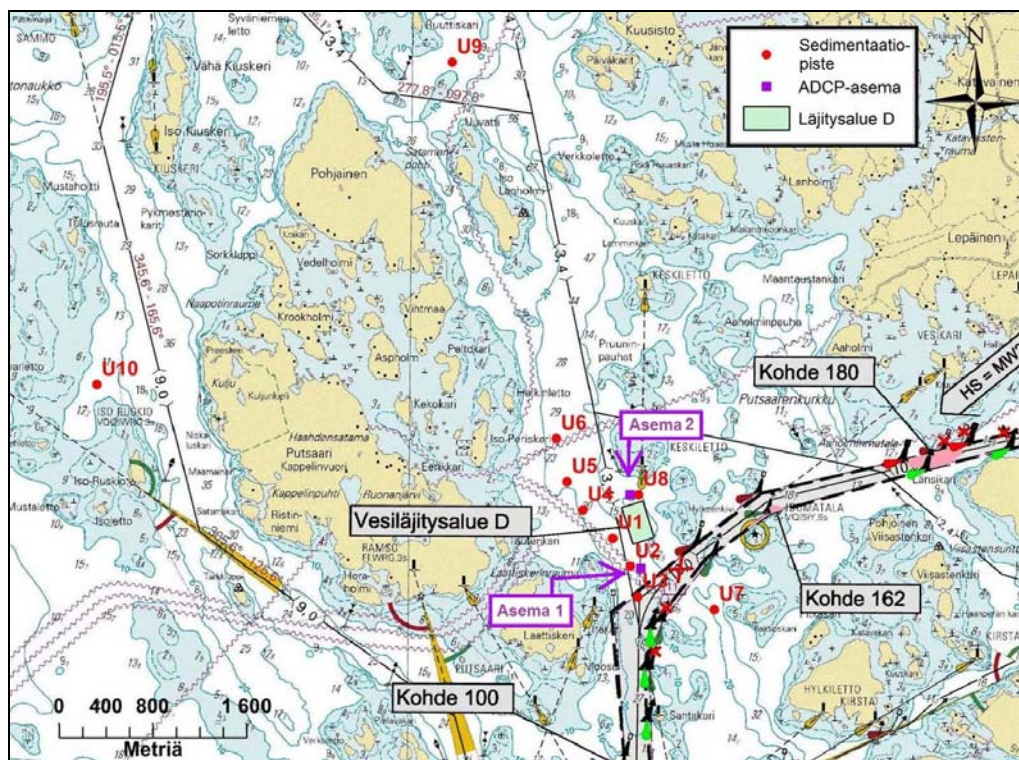
Uudenkaupungin edustan merialueella kalastetaan ammattimaisesti pääasiassa kuhaa, siikaa, silakkaa, ahventa, madetta sekä haukea. Alueella saadaan myös vähäisiä määriä vaelluskaloja, kuten vaellussiikaa ja lohta. Pohjaverkkokalastus on alueen yleisin pyyntimuoto (Vatanen ja Haikonen). Alueella kalastavien ammattikalastajien määrä on hankkeen vaikutusalueella vuonna 2013 tehdyn kalatalousselvityksen (Vatanen et al. 2014) mukaan yhteensä kaksitoista, joista kuusi kalasti päätoimisesti ja kuusi sivutoimisesti.

Uudenkaupungin edustan saaristo on virkistyskäyttöarvoltaan suuri (Vatanen ja Hainonen 2013). Osa Uudenkaupungin edustan merialueesta ja saaristosta kuuluvat kahteen eri Natura 2000 -verkoston alueeseen: Uudenkaupungin saariston Natura-alueeseen (FI0200072) ja Seksmiilarin saariston Natura-alueeseen (FI0200152). Uudenkaupungin väylä kulkee kummankin Natura-alueen halki. Uudenkaupungin saariston Natura-alueen suojeluperusteina ovat alueen edustava ja harvinaisuuksia sisältävä kasvisto ja eläimistö sekä alueen merkitys saaristolinnuston pesimäalueena ja muutonaikaisena levähdysalueena. Seksmiilarin saaristo on puolestaan hyvin tärkeä merilintujen lisääntymisalue. Lisäksi pääosa merialueesta kuuluu rantojensuojeluohjelmaan.

5 Aineisto ja menetelmät

Tutkimusaineisto koostui erityisesti pohjaan asennetuilla sedimenttikeräimillä sekä jatkuvatoimisilla virtaus- ja vedenlaatumittauksilla saadusta aineistosta. Tutkimuksessa oli kymmenen sedimentaation mittauspistettä, joista jokaisella oli kahdesta keräinputkesta koostuva pohjaan asennettu sedimenttikeräin. Tutkimuksessa oli myös kaksi jatkuvatoimista ADCP-asemaa, joissa oli jatkuvatoimiset virtaus- ja vedenlaatumittarit. Molemmat ADCP-asemat ja kahdeksan sedimenttikeräintä sijaitsivat Putsaaren itä- ja kaakkoispuolella läjitysalueen D läheisyydessä, noin 60–800 metrin säteellä läjitysalueen reunasta (Kuva 6). Nämä pisteet pyrittiin sijoittamaan mahdollisimman edustavasti läjitysalueen D läjitystöiden vaikutusalueelle.

Tutkimuksessa käytettiin kahta vertailusedimentaatiopistettä (U9 ja U10), jotka sijaitsivat noin 4–4,5 kilometrin etäisyydellä läjitysalueesta D (Kuva 6). Vertailupiste U9 sijaitsi Pohjaisen itäpuolella olevan syvännealueen pohjoispuolella ja U10 Putsaaren länsipuolella. Taulukossa 2 on esitetty sedimenttikeräinten ja ADCP-asemien koordinaatit, asennussyvyudet sekä etäisyys läjitysalueen D reunasta. Sedimenttikeräinten ja ADCP-asemien tarkemmat sijaintikartat on esitetty luvussa 5.3 Syvyysaineisto ja pohja.



Kuva 6. Sedimentaatiopisteiden (U1–U10), ADCP-asemien (asemat 1 ja 2) sekä läjitysalueen D sijainti.

Taulukko 2. Tutkimuksen havaintopisteiden syvyys, koordinaatit ja etäisyys läjitysalueen D reunasta.

Havaintopiste	Syvyys	Koordinaatit [KKJ]		Etäisyys läjitysalueesta D
		N	E	
U1	27 m	6741796 N	1511245 E	143 m
U2	34 m	6741555 N	1511391 E	195 m
U3	33 m	6741295 N	1511455 E	465 m
U4	31 m	6742037 N	1510990 E	325 m
U5	27 m	6742278 N	1510853 E	512 m
U6	22 m	6742649 N	1510761 E	809 m
U7	22 m	6741186 N	1512109 E	805 m
U8	22 m	6742168 N	1511462 E	63 m
U9	29 m	6745859 N	1509872 E	4 071 m
U10	21 m	6743104 N	1506839 E	4 590 m
ADCP-asema 1	31 m	6741537 N	1511482 E	223 m
ADCP-asema 2	21 m	6742168 N	1511389 E	82 m

Aineistoa kerättiin kolmen mittausjakson aikana 29.4.–26.5.2014, 6.10.–3.11.2014 sekä 28.4.–26.5.2015. Kukin mittausjakso oli kestoltaan noin kuukauden. Tulosten tulokinnassa hyödynnettiin monikeilakaikuluotauksella ja kaikuharauksella tuotettua syvyysaineistoa, jonka avulla tarkasteltiin pohjan topografiaa ja alueen virtausdynamiikkaa. Lisäksi työssä hyödynnettiin Kala- ja vesitutkimus Oy:n Uudenkaupungin väylähankkeen vesistö- ja kalataloustarkkailun tuloksia, Uudenkaupungin edustan veloitettarkkailun raportteja sekä muita alueella tehtyjä aikaisempia tutkimuksia (mm. FCG Oy 2010 ja Lindfors ja Kiiरिकki 2012). Lähtötietoihin kuuluivat myös muun muassa merikartat, tutkimustöiden kenttähavainnot, hankeurakoitsijoiden työmaapäiväkirjat sekä Ilmatieteen laitokselta saadut tiedot sääolosuhteista.

5.1 Sedimenttikeräimet

Sedimenttikeräimet ovat pohjan tuntumaan asennettavia keräinputkia, jotka keräävät pohjalle laskeutuvaa kiintoainesta. Niitä käyttämällä pyritään selvittämään pitkän aikavälin kiintoainekuormituksen määrää ja sedimentaatiossa tapahtuneita. Tässä tutkimuksessa sedimentaatiomittaukset toteutettiin kahdesta akryylimuoviputkesta koostuvilla sedimenttikeräimillä, jotka asennettiin pohjaan painolaatikoiden avulla (Kuva 7). Painolaatikot on varustettu akustisilla laukaisimilla, jolloin pintakohoja ei ollut tarpeen käyttää. Tämä vähentää sedimenttikeräinten katoamisriskiä varsinkin väyläalueella ja läjitysalueen läheisyydessä, ja näin keräimet voidaan asentaa edustaville paikoille.



Kuva 7. Sedimenttikeräimen nosto ensimmäisen mittausjakson jälkeen 26.5.2014. Kuvassa näkyy kaksi keräinputkea painolaatikossa (Kuva: Merilin Vartia).

Kukin keräysputki oli halkaisijaltaan 5 cm, korkeudeltaan 50 cm ja pinta-alaltaan 19,63 cm². Kahden keräinputken avulla jokaiselta pisteeltä saatiin kaksi rinnakkaista näytettä. Sedimenttikeräimiin kertyneestä kiintoaineesta tehtiin kentällä aistinvaraiset havainnot ja määritettiin Metropolilab Oy:n laboratorioissa sedimentoituneen kiintoaineen määrä milligrammoina näytettä kohden sekä hehkutusjäännös siten, etteivät veden suolat vääristäneet tuloksia.

Sedimentaatiotulosten perusteella laskettiin kunkin pisteen päiväkohtainen kertymä neliometriä kohden, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia keskenään sekä muihin tutkimuksiin. Saatuja tuloksia verrattiin eri mittausjaksojen ja pisteiden välillä läjitysten aiheuttamien sedimentaatiomuutosten selvittämiseksi. Tuloksia verrattiin myös Kala- ja vesitutkimus Oy:n suorittaman väylähankkeen velvoitetarkkailun vastaaviin tuloksiin.

Hehkutusjäännös kuvaa kertyneen sedimentin orgaanisen aineksen pitoisuutta. Mitä alhaisempi hehkutusjäännösprosentti on, sitä enemmän sedimentti sisältää orgaanista ainesta. Orgaanisen aineksen määrä on tärkeä sedimentin laatuparametri, jonka avulla voidaan arvioida eri mittauspisteiden sedimentaatio-olosuhteita. Löyhän, runsaasti orgaanista ainesta sisältävä resuspentoiduu helposti ja sen sedimentaatio edellyttää rauhallisia virtausolosuhteita. Korkea (yli 12–14 %) orgaanisen aineksen pitoisuus lisää sedimentin eroosioherkkyyttä. Lisäksi orgaaninen aines sitoo itseensä haitta-aineita (Grabowski ym. 2011). Orgaanisen aineksen määrä sedimentissä lisäänty tyypillisesti rehevöitymisen myötä.

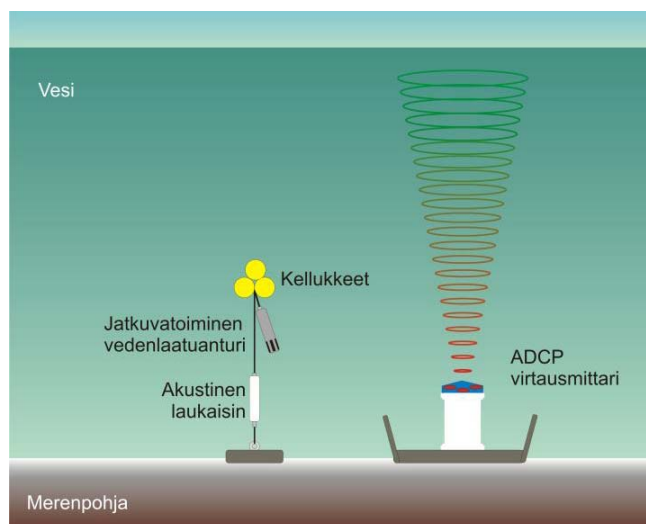
Sedimentaatiomittauksia tehtiin kahdeksalla pisteellä läjitysalueen D läheisyydessä ja kahdella vertailupisteellä läjitysten vaikutusalueen ulkopuolella. Vertailupisteet pyrittiin sijoittamaan virtaus- ja sedimentaatio-olosuhteiltaan mahdollisimman paljon läjitysalueen D ympäristöä muistuttaville alueille. Vertailupisteiden avulla pyrit-

tiin selvittämään alueen luontaista sedimentaatiokehitystä eri mittausten aikana, jotta sedimentaatioon vaikuttavat luonnolliset tekijät, kuten voimakkaat myrskyt, saataisiin suljettua pois tuloksista. Näin väylähankkeen ruoppaus- ja läjitystöiden sedimentaatiovaikutusten tunnistaminen on luotettavampaa.

5.2 Vedenlaatu- ja virtausmittaukset

Sedimentaatiotutkimusten aikana tehtiin jatkuvatoimisia vedenlaatu- ja virtausmittauksia kahdella läjitysalueen D läheisyydessä olevalla mittausasemalla. Veden sameuden perusteella voidaan arvioida, miten pohjanläheinen virtaus irrottaa pohjamateriaalia ja miten nopeasti veden kiintoainepitoisuus nousee ja palautuu normaalille tasolle esimerkiksi myrskyn tai läjityksen jälkeen. Jatkuvatoimisen virtausmittauslaitteiston avulla selvitettiin alueen virtausolosuhteita eri mittausjakojen aikana ja muun muassa tarkasteltiin kiintoainepilvien tulosuunnat sekä pyrittiin arvioimaan virtausnopeutta, jossa sedimentin resuspensio käynnistyy. Tulosten tulkinnessa hyödynnettiin Ilmatieteen laitoksen Isokarin mittausaseman tuulennopeus- ja sadetietoja sekä alueen merenpohjan topografiasta tehtyä DEM-mallia.

Kaikki tutkimuksessa käytetyt jatkuvatoimiset mittalaitteet oli ohjelmoitu tekemään mittaukset 15 minuutin välein ja tallentamaan tulokset sisäiseen muistiin. Vedenlaatumittauksissa käytettiin YSI 600 ja YSI 6600 -sarjojen mitta-antureita, jotka asennettiin noin kahden metrin etäisyydelle pohjasta (Kuva 8). Vedenlaatumittareissa olevien optisten mitta-antureiden likaantumisen estämiseksi mitta-laitteisto oli varustettu mekaanisella pyyhkimellä. Mitattuja vedenlaatuparametreja olivat sameus, lämpötila, sähkönjohtavuus ja saliniteetti. Sameus on tässä tutkimuksessa mitattu NTU-yksikköinä (nephelometric turbidity unit), joka vastaa noin yhden mg/l kiintoainepitoisuutta. Yksikkö kuvaa valon sirontaa vedessä.



Kuva 8. Periaatekuva vedenlaatuanturista ja ADCP-virtausmittarista.
Kuva: Luode Consulting Oy (Lindfors ja Mykkänen2013)

Virtausmittauksissa käytettiin Teledyne RD Instruments Sentinel workhorse -sarjan 600 kHz profiloivia ADCP-laitteistoja (Acoustic Doppler Current Profiler). Mittauslaitteistot tallensivat virtaussuunnan ja -nopeuden jokaista metrin paksuista vesikerrosta kohden pinnalta pohjalle. ADCP-laitteisto asennettiin pohjalle painolaatikossa (Kuva 9). Taulukossa 3 on esitetty tutkimuksessa käytettyjen mittalaitteiden mittausalueet, resoluutiot ja tarkkuudet.

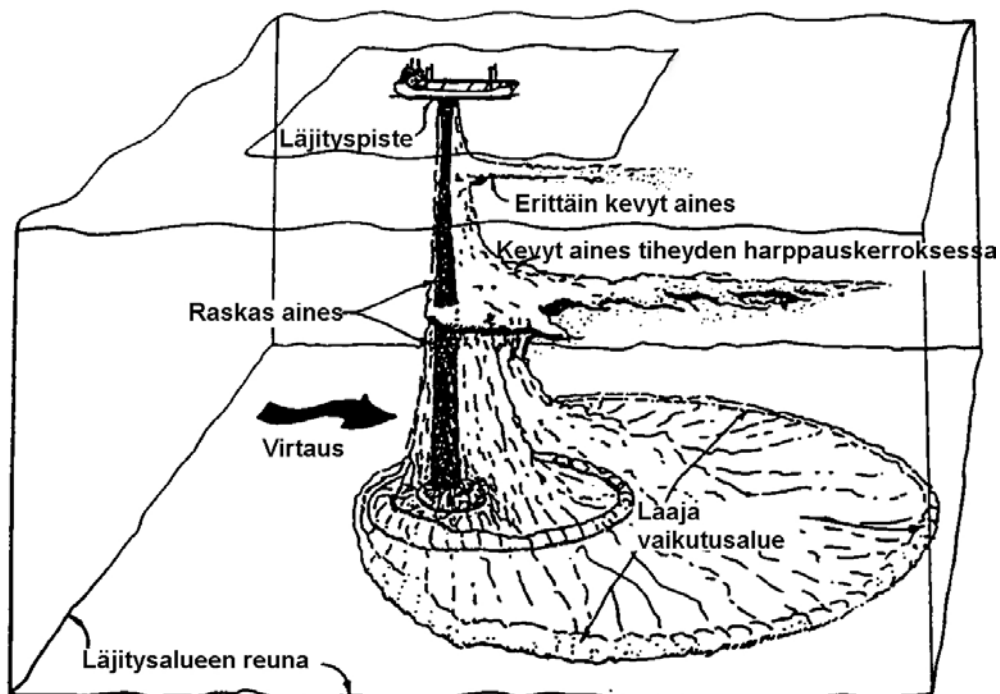


Kuva 9. Tutkimuksen virtausmittauksissa käytetty RD Instruments Sentinel workhorse -sarjan ADCP-mittari (kuva: Tiina Vaittinen).

Taulukko 3. Tutkimuksessa käytettyjen mittalaitteiden mittausalueet, resoluutiot ja tarkkuudet.

Mittalaite	Parametri	Mittausalue	Resoluutio	Tarkkuus
RD Instruments Sentinel workhorse 600 kHz	Virtausnopeus	0 – 5 000 mm/s	1 mm/s	±3 mm/s
RD Instruments Sentinel workhorse 600 kHz	Virtaus-suunta	0 – 360°	0,1°	±2°
YSI	Sameus	0 – 1 000 NTU	0,1 NTU	±0,3 NTU tai ±2%
YSI	Saliniteetti	0 – 70 ppt	0,01 ppt	±0,1 ppt tai ±1%
YSI	Lämpötila	-5 – +50°C	0,01°C	±0,15°C
YSI	Sähköjohtavuus	0 – 100 mS/cm	0,001 mS/cm	±0,5% + 0,001 mS/cm

Virtausmittauksilla saatu aineisto käsiteltiin tilastollisesti virtaussuuntien, -nopeuksien, nopeusjakaumien ja vuorokausisykliä selvittämiseksi. Vakiintuneen käytännön mukaisesti käytettiin veden virtaussuuntana virran menosuuntaa. Tutkimuksessa selvitettiin sekä pinta- että pohjavirtausten käyttäytymistä. Pintavirtauksen suunta ja nopeus määritettiin neljän metrin syvyydellä kulkevasta vesikerroksesta, jotta aallokon tuloksia vääristävä vaikutus saatiin suljettua pois. Pohjavirtauksen suunta ja nopeus määritettiin noin kaksi metriä pohjan yläpuolella kulkevasta vesikerroksesta, sillä virtausparametrien määrittäminen ei tätä syvemältä onnistu. Läjitystöistä aiheutuva kiintoaineen leviäminen tapahtuu pääasiassa pohjanläheisessä vesikerroksessa (Kuva 10), minkä takia tutkimuksessa keskityttiin erityisesti pohjavirtauksen käyttäytymiseen. Läjitysalueen D eteläpuolella sijaitsevalla ADCP-asemalla 1 pohjavirtauksen suunta ja nopeus määritettiin täten 29 metrin syvyydeltä ja läjitysalueen pohjoispuolella huomattavasti asemaa 1 matalammalla sijainneella ADCP-asemalla 2 samat määrittäykset tehtiin 18 metrin syvyydeltä.

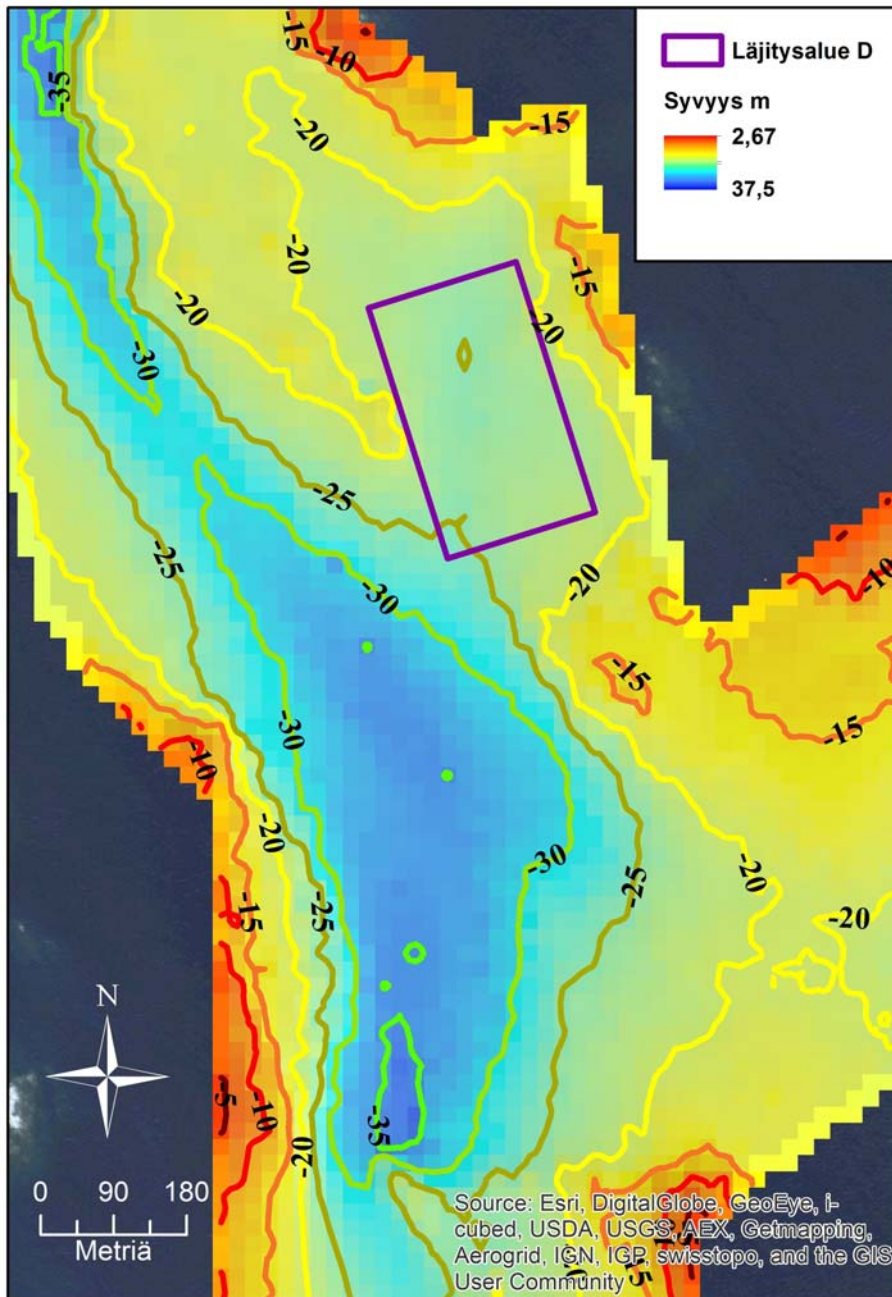


Kuva 10. Periaatekuva läjitysmassojen leviämisestä (Pequegnat et al. 1990). Alkuperäiskuvaa on muokattu.

5.3 Syvyysaineisto ja pohjan topografia

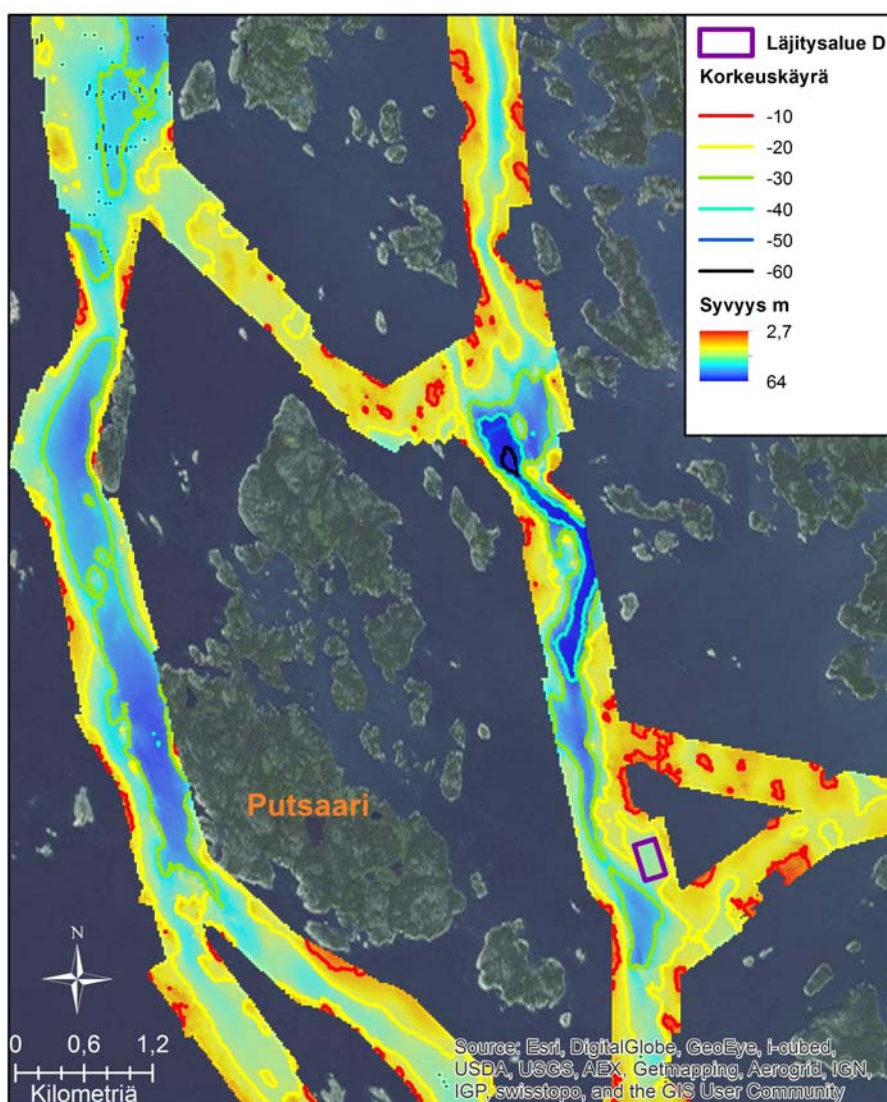
Tutkimuksessa hyödynnettiin tutkimusalueella tehtyjen syvyysmittausten aineistoja. Aineistot saatiin 18 km² laajuiselta alueelta XYZ-tiedostomuodossa. Saatu syvyysaineisto oli tuotettu vuosina 1991–2005 monikeilaluotauksella, kaikuharauksella ja kaikuluotauksella. Syvyysaineiston harvennus toteutettiin siten, että tutkimuksen kannalta tärkeimmät alueet harvennettiin viiden metrin tarkkuudella ja muut alueet 20 metrin tarkkuudella. Molemmat harvennukset tehtiin sekä minimi- että maksimilukemilla, jotta merenpohjan mallista tulisi mahdollisimman edustava. Syvyysaineistojen pohjalta luotiin tutkimusalueen merenpohjan topografinen malli eli DEM-malli

(Digital Elevation Model) ArcMap 10.0 -ohjelmistolla. Mallin (Kuvat 11–15) avulla arvioitiin alueen virtausolosuhteita ja sedimentin kulkeutumista.



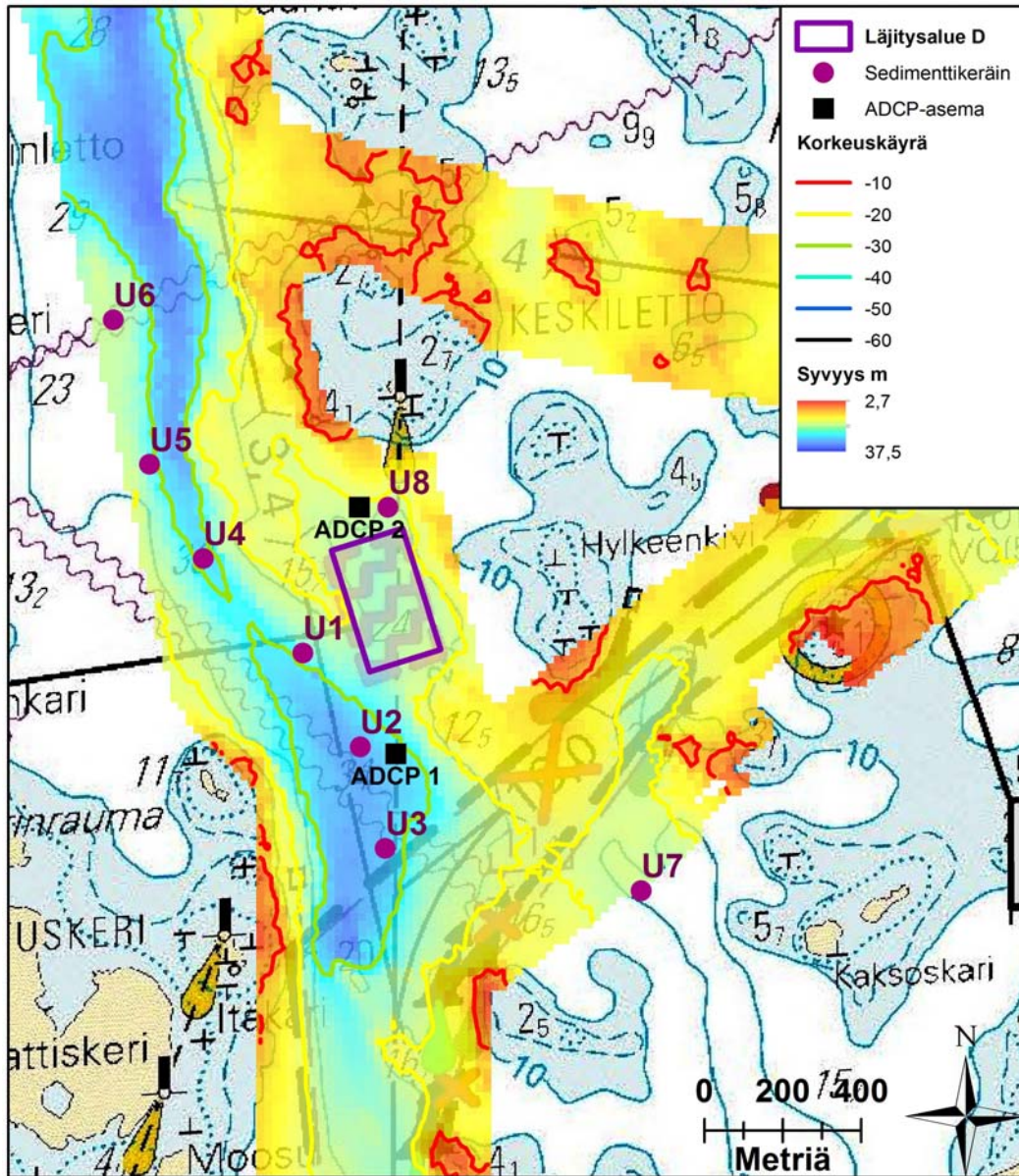
Kuva 11. Pohjan topografia läjitysalueen D läheisyydessä. Pohjan syvyys on kuvattu korkeuskäyrillä ja väreillä siten, että punaiset alueet ovat korkeimpia ja tummansiniset syvimpiä.

Läjitysalue D (Kuva 11) sijoittuu pienimuotoiseen kaakko-luode -suuntaiseen painanteeseen, jota rajaavat korkeammat harjanteet pohjois-, länsi- ja itäpuolilla. Pohjan taso läjitysalueella on noin 22–25 metriä. Läjitysalue syvenee lounaaseen päin ja on siten yhteydessä suurempaan syvännealueeseen. Tämä Keskkileton syvänne on pohjois-eteläsuuntainen kapea syvännealue, joka sijoittuu saarten ja matalikkojen rajaamaan salmeen Putsaaren itäpuolelle (Kuva 12). Salmi todennäköisesti kanavoi alueen virtauksia ja voimakkaidenkin virtausten esiintyminen on ajoittain mahdollista (FCG Oy 2010). Lindforsin ja Kiiikin (2012) mukaan joulukuussa 2011 Keskkileton syvänteessä toteutettujen jatkuvatoimisten virtausmittausten perusteella pohjanläheisen vesikerroksen virtausnopeuden keskiarvo oli 7 cm/s, ja virtausnopeus lähenteli 20 cm/s useamman jakson ajan. Mittaukset tehtiin Putsaaren koillispuolella, noin kolme kilometriä pohjoiseen läjitysalueesta D. Tämän tutkimuksen yhteydessä tehtyjen virtausmittausten perusteella alueen päävirtaus kulkee kaakon ja luoteen välillä, luoteeseen kulkevan virtauksen ollessa aavistuksen vallitsevampi suuntaus (tarkemmin kappale 6.1 Virtausolosuhteet).



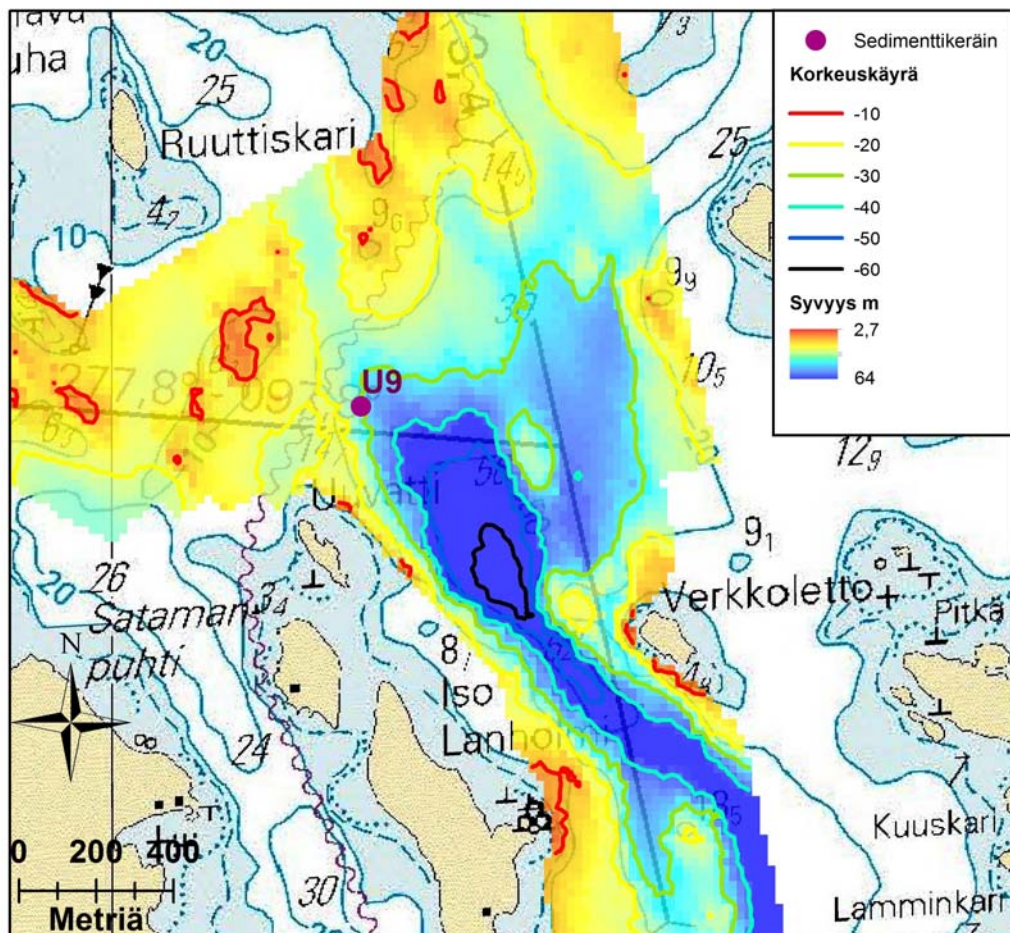
Kuva 12. Tutkimusalueen pohjan topografia syvyysluodatuilla alueilla. Pohjan syvyys on kuvattu korkeuskäyrillä ja väreillä siten, että punaiset alueet ovat korkeimpia ja tummansiniset syvimpiä.

Läjitysalueelta D mahdollisesti ympäristöön resuspendoituva kiintoaines lähtee todennäköisimmin kulkeutumaan lounaseen Keskkileton syväntettä kohden, koska läjitysalueita rajaavat korkeammat harjanteet muissa ilmansuunnissa. Syvänteessä kiintoaineen arvioidaan kulkeutuvan virtausten mukana erityisesti pohjoiseen, jonne syvänteen topografia viettää. Tästä syystä suurin osa sedimenttikeräimistä sijoitettiin Keskkileton syvänteeseen painottaen läjitysalueen pohjoispuolta (Kuva 13). Läjitysalueen D eteläpuolella sedimentaatiotulosten tulkintaa hankaloittavat etelässä kulkeva Uudenkaupungin meriväylä sekä väylän syventämishankkeen ruoppauskohteet.



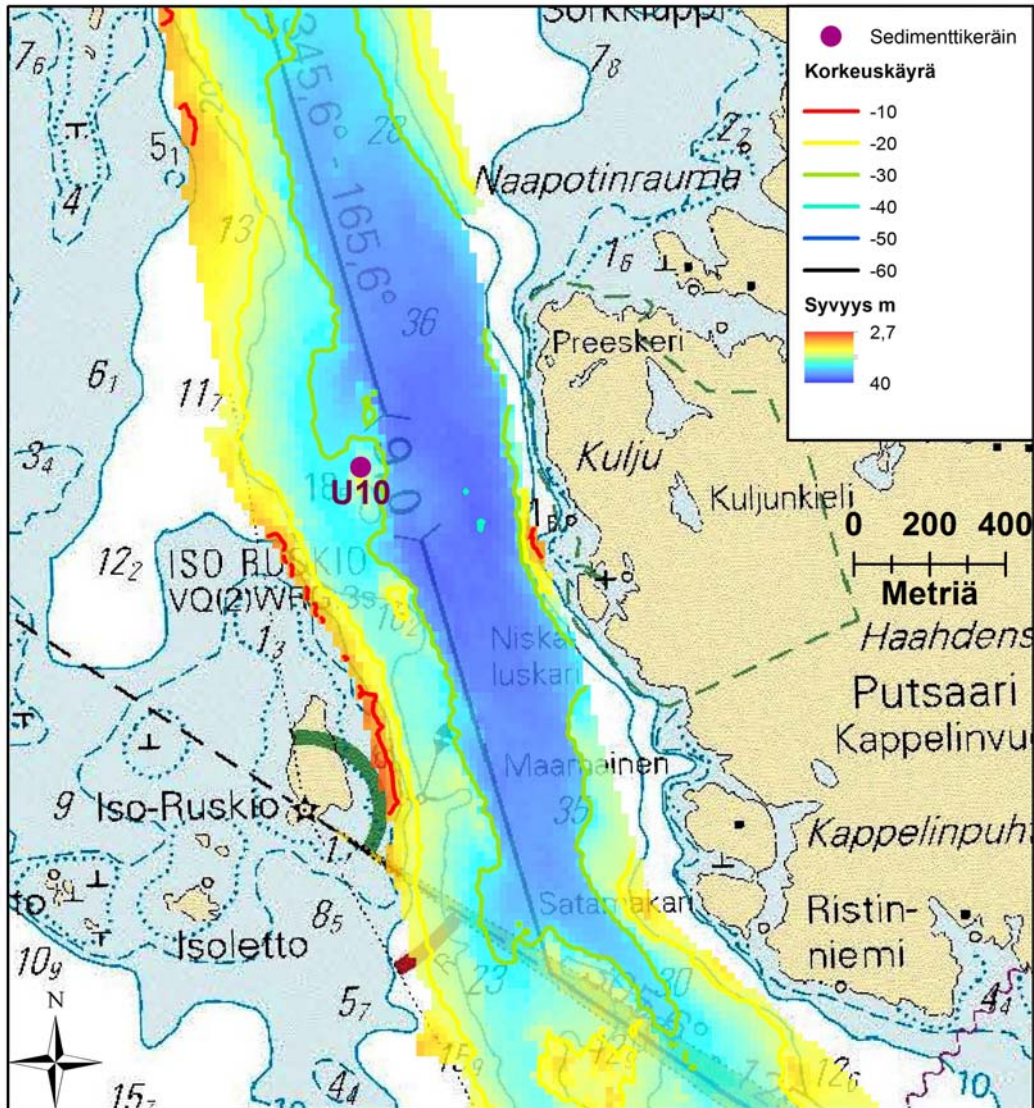
Kuva 13. Läjitysalue D sekä sedimentaatiopisteiden U1-U8 sekä ADCP-asemien 1 ja 2 sijainnit. Taustalla on merikartta, jonka päälle on asetettu alueen syvyysmalli niiltä alueilta, joilta syvyysmittausaineistoa oli saatavilla.

Tutkimuksen kaksi vertailupistettä pyrittiin sijoittamaan sedimentaatio-olosuhteiltaan mahdollisimman paljon läjitysalueen D ympäristöä vastaaville alueille, mutta kuitenkin läjitysalueen vaikutusalueen ulkopuolelle. Vertailupiste Ug (Kuva 14) sijoitettiin Keskileton syvänteen päässä olevan jyrkän painauman luoteispuolelle, noin neljän kilometrin päähän väylähankkeen lähimmistä ruoppaus- ja läjityskohteista. Pisteen eteläpuoleisen painauman kohdalla pohjan syvenee nopeasti 30 metristä jopa yli 60 metriin. Vertailupiste Ug sijoitettiin 29 metrin syvyydelle, samalle syvyystasolle kuin varsinaiset sedimentaatiopisteet läjitysalueen läheisyydessä. Pisteen lähellä kulkee 3,4 metrin väylä. Läjitys- ja ruoppaustöiden ei arvioida ulottuvan pisteelle Ug alueen pohjadynamiikan ja suuren etäisyyden vuoksi.



Kuva 14. Merenpohjan topografia sedimentaatiovertailupisteen Ug ympäristössä. Taustalla on merikartta, jonka päälle on asetettu alueen syvyysmalli niiltä alueilta, joilta syvyysmittausaineistoa oli saatavilla.

Vertailupiste U10 (Kuva 15) sijoitettiin Putsaaren länsipuolella kulkevaan salmeen, noin 4,5 kilometrin etäisyydelle väylähankkeen lähimmistä ruoppaus- ja läjityskohteista. Piste sijoittuu pohjois-eteläsuuntaisesta syvänteestä hieman sivuun, pohjadyynamiikaltaan samantapaiselle alueelle kuin läjitysalue D. Vertailupiste sijoitettiin 21 metrin syvyydelle, samalle syvyystasolle kuin varsinaiset sedimentaatiopisteet läjitysalueen läheisyydessä. Pisteestä lähellä kulkee 9,0 metrin väylä. Läjitysalueen D ja pisteestä U10 väliin sijoittuu suurikokoinen saari Putsaari ja useita matalikkoja. Piste sijoittuu erilleen myös muista väylähankkeen läjitys- ja ruoppauskohteista, ja sen arvioidaan olevan ruoppaus- ja läjitystöiden vaikutusalueen ulkopuolella.



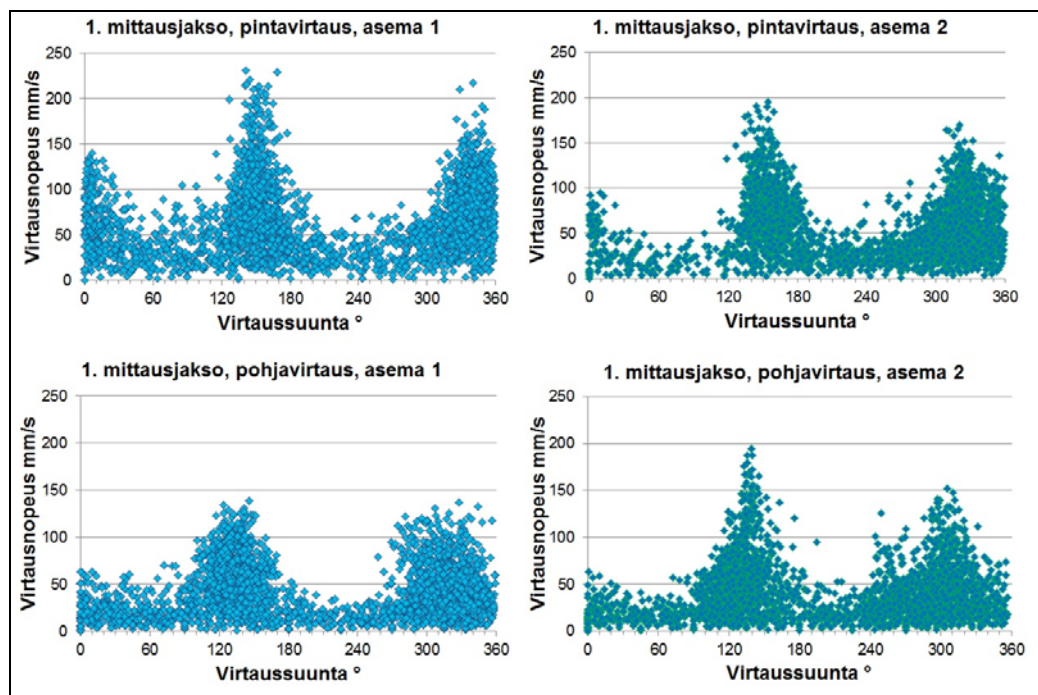
Kuva 15. Merenpohjan topografia sedimentaatiovertailupisteen U10 ympäristössä. Taustalla on merikartta, jonka päälle on asetettu alueen syvyysmalli niiltä alueilta, joilta syvyysmittausaineistoa oli saatavilla.

6 Tulokset ja niiden tarkastelu

6.1 Virtausolosuhteet

6.1.1 Ensimmäinen mittausjakso

Ensimmäinen mittausjakso toteutettiin alkukesällä, aikavälillä 29.4.2014–26.5.2014. Mittausjakson aikana päävirtaussuunnat mittausalueilla olivat kaakko-luodesuuntaisia (Kuva 16). Pohjavirtausten nopeudet olivat samaa suuruusluokkaa sekä läjitysalueen D etelä- että pohjoispuolen mittausasemilla, ollen keskimäärin noin 4 cm/s. Pintavirtaustenkin osalta nopeudet olivat hieman alhaisemmat läjitysalueen pohjoispuoleisella mittausasemalla 2, joka sijaitsi suojaisammalla ja matalammalla paikalla kuin asema 1 (Taulukko 4).

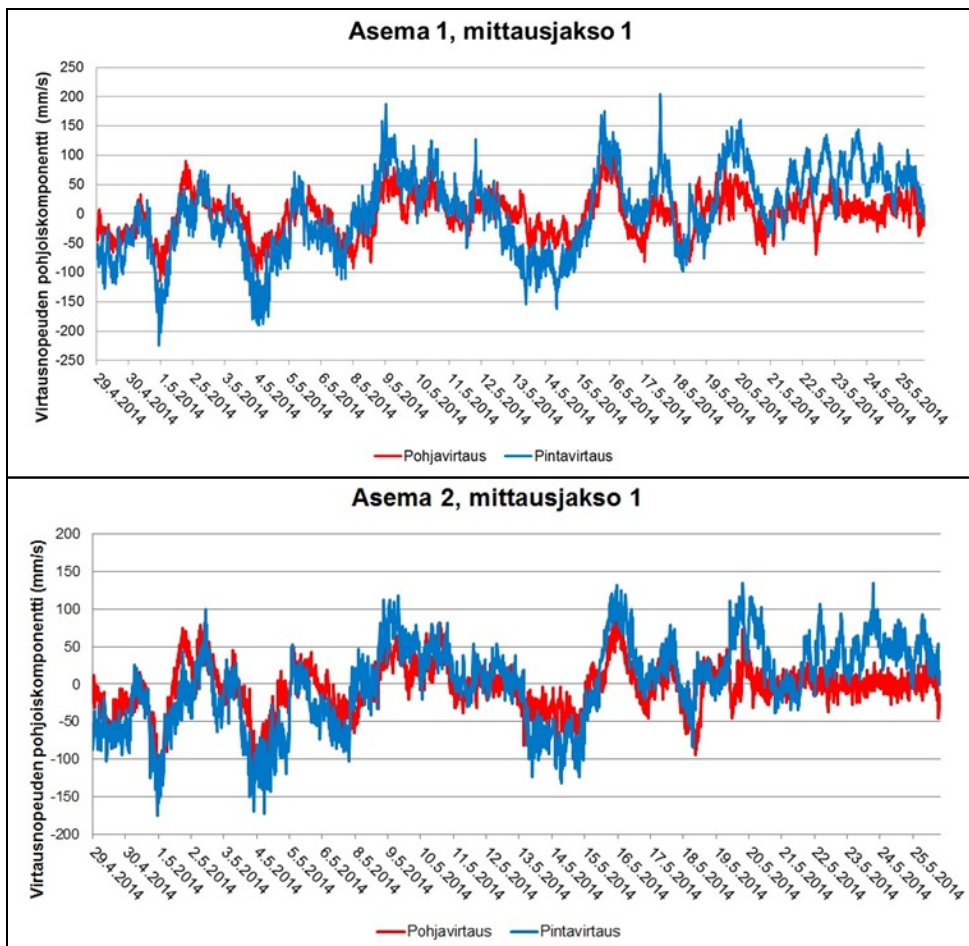


Kuva 16. Virtaussuunnat ja -nopeudet ADCP-aseilla ensimmäisen mittausjakson aikana. Virtausten ominaisuudet on esitetty kummaltakin asemalta sekä pinnan että pohjan läheisten vesikerrosten osalta. Asema 1 sijaitsi läjitysalueen D eteläpuolella ja asema 2 pohjoispuolella.

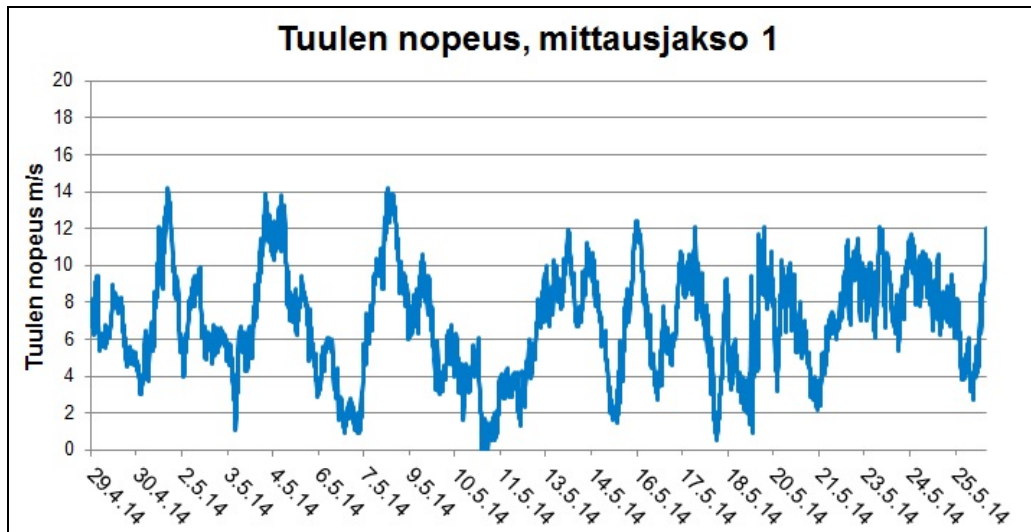
Taulukko 4. Ensimmäisellä mittausjaksolla mitatut virtausnopeudet mittausasemilla.

Mittaus- asema	Sijainti suhteessa läjitysalueeseen D	Pintavirtaus		Pohjavirtaus	
		Nopeuden keskiarvo mm/s	Nopeuden vaihteluväli mm/s	Nopeuden keskiarvo mm/s	Nopeuden vaihteluväli mm/s
Asema 1	223 metriä etelään	68	0–231	44	0–139
Asema 2	82 metriä pohjoiseen	56	0–195	43	0–200

Tulosten perusteella pinta- ja pohjavirtaukset kulkevat alueella pääsääntöisesti samaan suuntaan (Kuva 17). Virtausnopeudet korreloivat suhteellisen hyvin vallinneisiin tuulenopeuksiin nähden (Kuva 18), tuulten lisäksi virtausoloihin alueella vaikuttavat todennäköisesti myös meriveden pinnankorkeuksien vaihtelut.



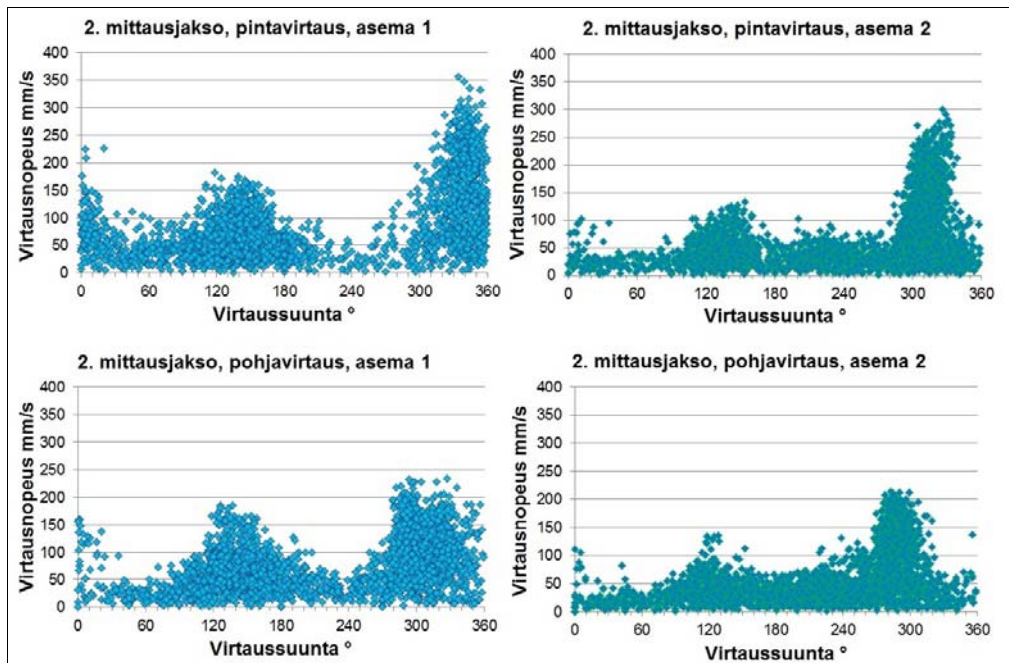
Kuva 17. Pohja- ja pintavirtausten etelä-pohjoissuuntainen virtauskomponentti mittausasemilla ensimmäisen mittausjakson aikana. Positiivinen virtausnopeuden pohjoiskomponentin arvo kuvaa pohjoista kohti kulkevaa virtausta ja negatiivinen (-) etelää kohti kulkevaa. Mitä suuremman positiivisen tai negatiivisen lukuarvon pohjoiskomponentti saa, sitä nopeampi virtaus on.



Kuva 18. Tuulen nopeudet ensimmäisellä mittausjaksolla. Tiedot ovat Ilmatieteen laitoksen Isokarin mittausasemalta. Lähde: Ilmatieteen laitos 2015.

6.1.2 Toinen mittausjakso

Toinen mittausjakso toteutettiin loppusyksystä, aikavälillä 6.10.2014–3.11.2014. Päävirtaussuunnat olivat ensimmäisen mittausjakson tapaan kaakko-luodesuuntaiset. Toisella mittausjaksolla luode oli selvästi hallitsevampi virtaussuunta varsinkin läjitysalueen D pohjoispuolella sijainneella mittausasemalla 2 (Kuva 19). Virtausnopeudet olivat keskimäärin huomattavasti ensimmäistä mittausjaksoa suuremmat (Taulukko 5). Virtausnopeudet olivat keskimäärin selvästi alhaisemmat läjitysalueen D pohjoispuoleisella asemalla 2, joka on sijainniltaan suojaisampi kuin asema 1.

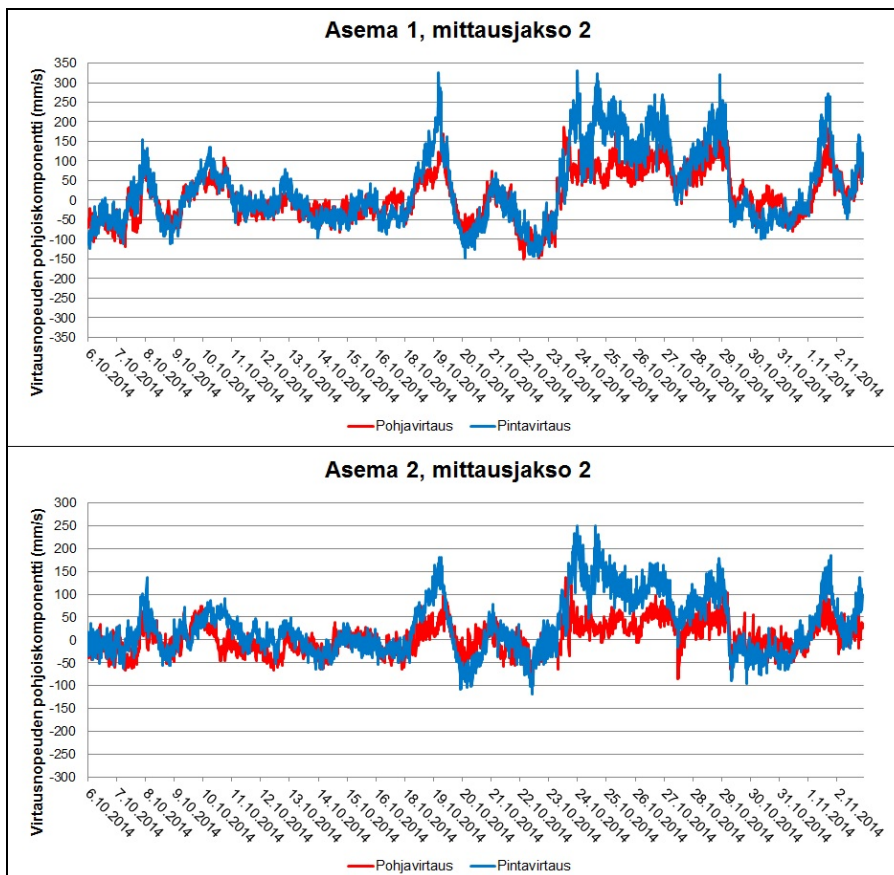


Kuva 19. Virtaussuunnat ja -nopeudet mittausasemilla toisen mittausjakson aikana. Virtausten ominaisuudet on esitetty kummaltakin asemalta sekä pinnan että pohjan läheisten vesikerrosten osalta. Asema 1 sijaitsi läjitysalueen D eteläpuolella ja asema 2 pohjoispuolella.

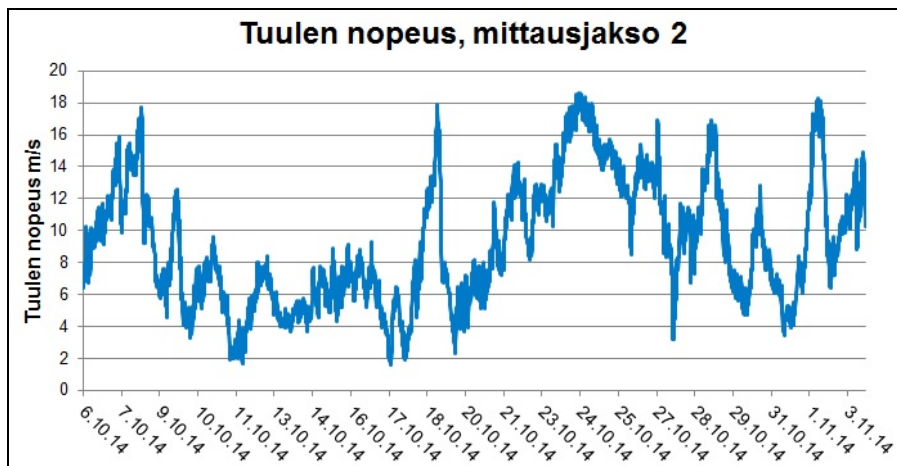
Taulukko 5. Toisella mittausjaksolla mitatut virtausnopeudet mittausasemilla.

Mittaus- asema	Sijainti suhteessa läjitysalueeseen D	Pintavirtaus		Pohjavirtaus	
		Nopeuden keskiarvo mm/s	Nopeuden vaihteluväli mm/s	Nopeuden keskiarvo mm/s	Nopeuden vaihteluväli mm/s
Asema 1	223 metriä etelään	89	0–356	81	0–234
Asema 2	82 metriä pohjoiseen	77	0–301	67	0–214

Virtausmittausten perusteella pinta- ja pohjavirtaukset kulkevat alueella pääsääntöisesti samaan suuntaan (Kuva 20). Vallinneiden tuulten nopeuksien (Kuva 21) vaikutus virtausnopeuksiin on selvästi havaittavissa, tuulten lisäksi virtausoloihin alueella vaikuttanevat myös meriveden pinnankorkeuksien vaihtelut sekä omalta osaltaan alueella käynnissä olleet ruoppaus- ja läjitystyöt.



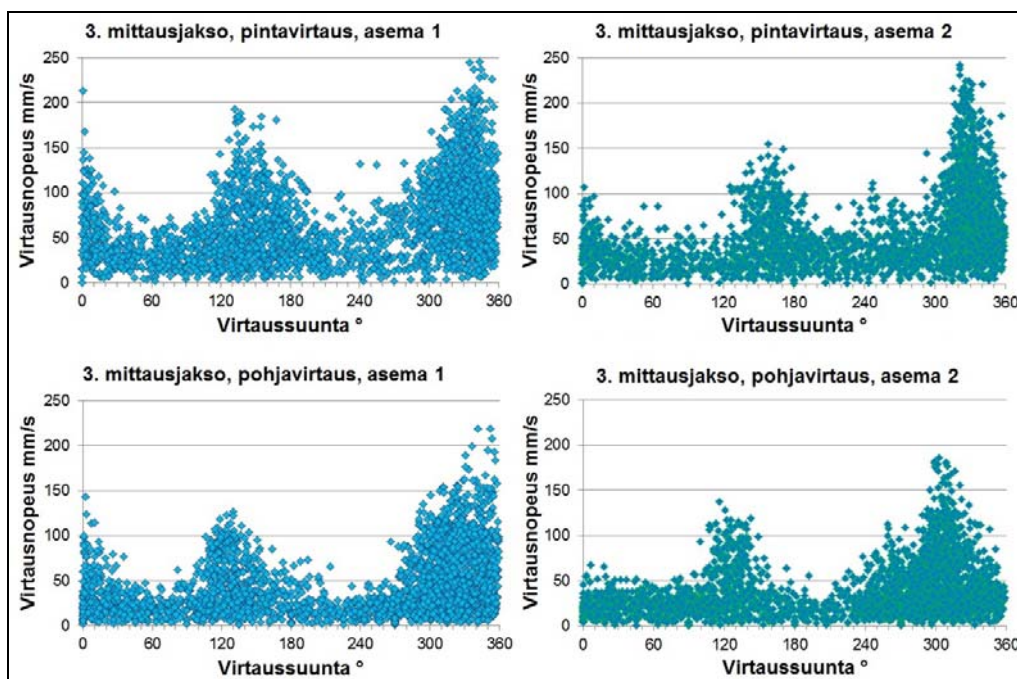
Kuva 20. Pohja- ja pintavirtausten etelä-pohjoissuuntainen virtauskomponentti mittausasemilla toisen mittausjakson aikana. Positiivinen virtausnopeuden pohjoiskomponentin arvo kuvaa pohjoista kohti kulkevaa virtausta ja negatiivinen (-) etelää kohti kulkevaa. Mitä suuremman positiivisen tai negatiivisen lukuarvon pohjoiskomponentti saa, sitä nopeampi virtaus on.



Kuva 21. Tuulen nopeudet toisella mittausjaksolla. Tiedot ovat Ilmatieteen laitoksen Isokarin mittausasemalta. Lähde: Ilmatieteen laitos 2015.

6.1.3 Kolmas mittausjakso

Kolmas mittausjakso suoritettiin alkukesällä vuoden kuluttua ensimmäisestä mittausjaksosta, aikavälillä 28.4.2015–26.5.2015. Päävirtaus suunnat olivat aikaisempien mittausjaksojen tapaan kaakko-luodesuuntaisia molemmilla asemilla, luoteeseen kulkeva virtaus oli hieman vallitsevampi (Kuva 22). Virtausnopeudet olivat samaa suuruusluokkaa kuin ensimmäisellä mittausjaksolla, pohjavirtauksen nopeuden olleen keskimäärin noin 4 cm/s ja pintavirtauksen nopeuden 6–7 cm/s (Taulukko 6). Virtausnopeudet olivat hieman alhaisemmat läjitysalueen pohjoispuoleisella mittausasemalla 2, joka sijaitsi suojaisammalla ja matalammalla paikalla kuin asema 1.

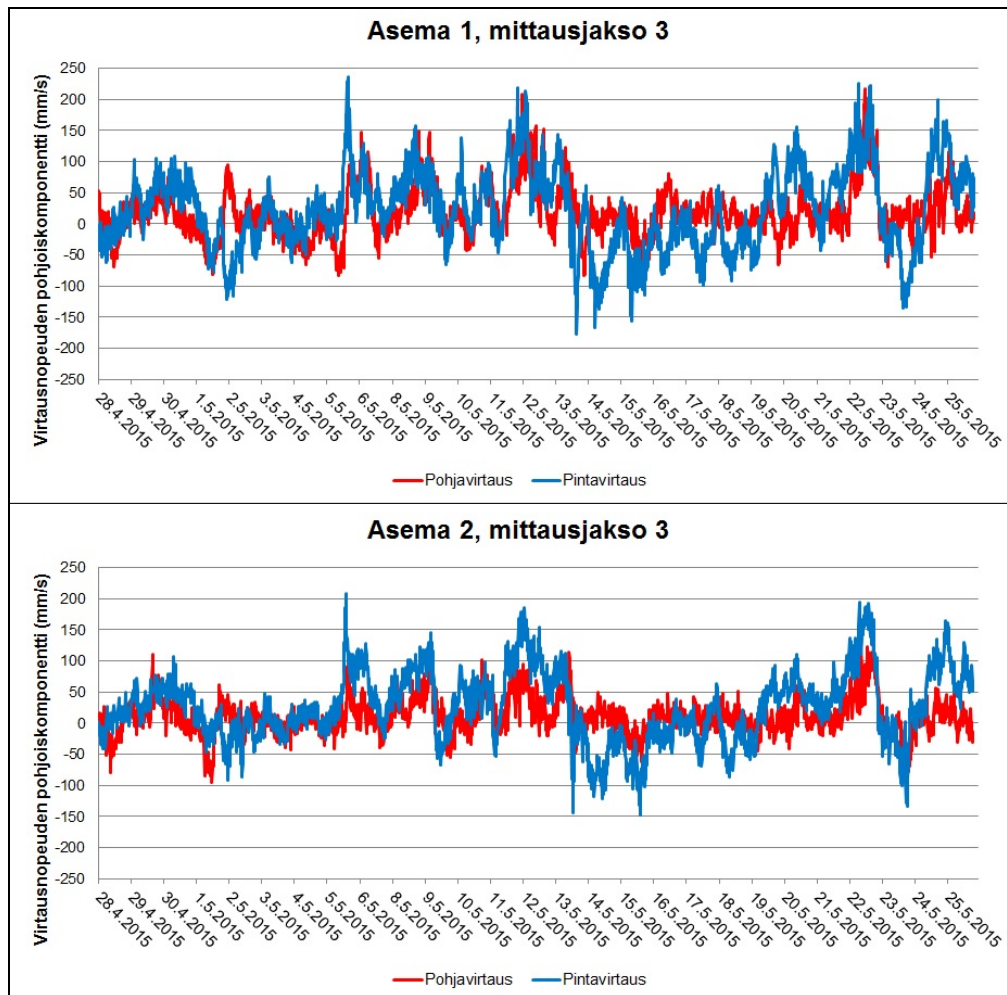


Kuva 22. Virtaussuunnat ja -nopeudet ADCP-asetilla kolmannen mittausjakson aikana. Virtausten ominaisuudet on esitetty kummaltakin asemalta sekä pinnan että pohjan läheisten vesikerrosten osalta. Asema 1 sijaitsi läjitysalueen D eteläpuolella ja asema 2 pohjoispuolella.

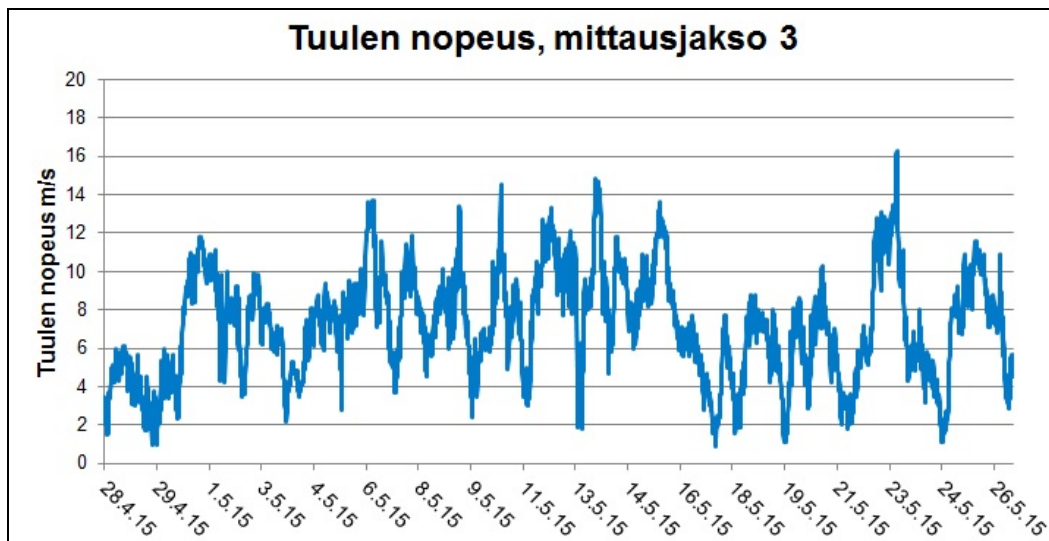
Taulukko 6. Kolmannella mittausjaksolla mitatut virtausnopeudet mittausasemilla.

Mittaus- asema	Sijainti suhteessa läjitysalueeseen D	Pintavirtaus		Pohjavirtaus	
		Nopeuden keskiarvo mm/s	Nopeuden vaihteluväli mm/s	Nopeuden keskiarvo mm/s	Nopeuden vaihteluväli mm/s
Asema 1	223 metriä etelään	68	0–246	45	1–219
Asema 2	82 metriä pohjoiseen	61	1–242	40	1–186

Tulosten perusteella pinta- ja pohjavirtaukset olivat alueella tyypillisesti samansuuntaiset (Kuva 23). Vallinneiden tuulenopeuksien (Kuva 24) vaikutus virtausnopeuksiin on nähtävissä tuloksista. Tuulten lisäksi virtausoloihin alueella vaikuttavat todennäköisesti myös meriveden pinnankorkeuksien vaihtelut.



Kuva 23. Pohja- ja pintavirtausten etelä-pohjoissuuntainen virtauskomponentti mittausasemilla kolmannen mittausjakson aikana. Positiivinen virtausnopeuden pohjoiskomponentin arvo kuvaa pohjoista kohti kulkevaa virtausta ja negatiivinen (-) etelää kohti kulkevaa. Mitä suuremman positiivisen tai negatiivisen lukuarvon pohjoiskomponentti saa, sitä nopeampi virtaus on.

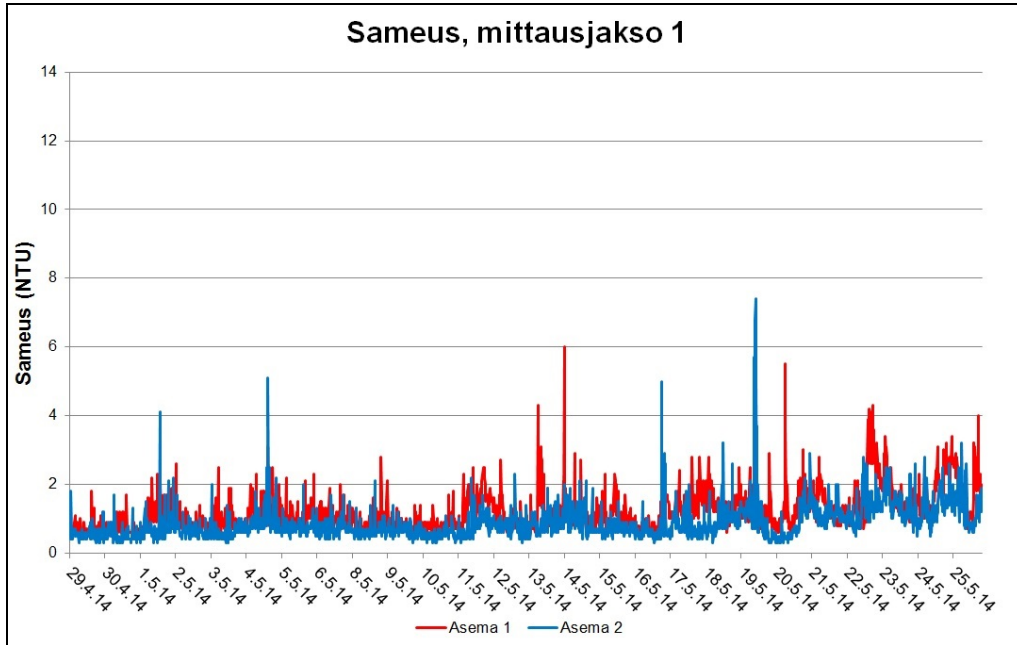


Kuva 24. Tuulen nopeudet kolmannella mittausjaksolla. Tiedot ovat Ilmatieteen laitoksen Isokarin mittausasemalta. Lähde: Ilmatieteen laitos 2015.

6.2 Sameus ja vedenlaatu

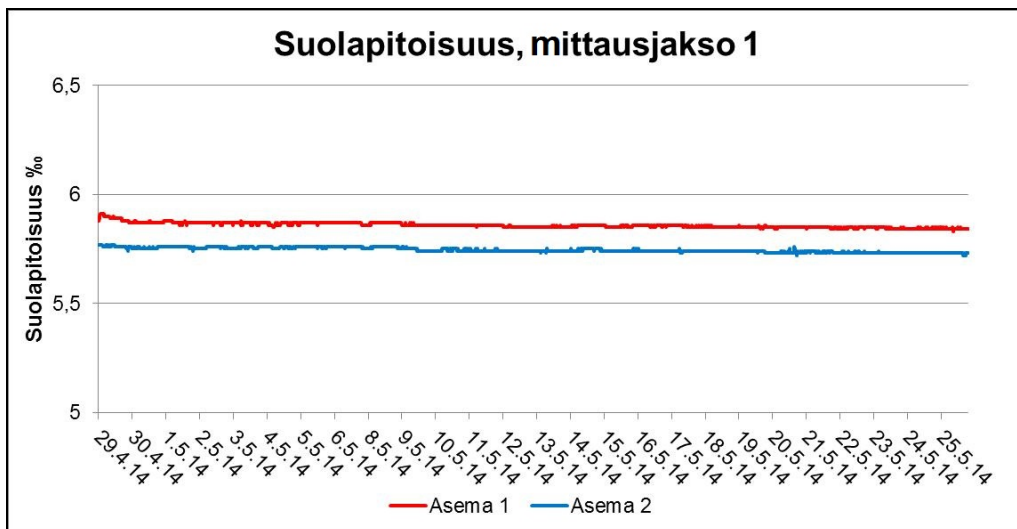
6.2.1 Ensimmäinen mittausjakso

Ensimmäisellä mittausjaksolla 29.4.2014–26.5.2014 sameuden keskiarvo pohjanläheisessä vesikerroksessa oli 1,2 NTU-yksikköä asemalla 1 ja 0,9 NTU-yksikköä asemalla 2. Tulosten perusteella sameus ei pohjanläheisyydessä nouse tyypillisesti yli 2,5 NTU-yksikön, mutta hetkellisesti sameusarvot voivat jopa nelinkertaistua (Kuva 25). Mitatut sameusarvot ovat molemmilla asemilla hyvin samankaltaiset ja vastaavat tyypillisiä merialueen tausta-arvoja (Lindfors ja Kiirikki 2012, Turkki 2014). Sameusarvot vaikuttavat mukailevan molemmilla mittausasemilla kohtalaisesti vallinneita virtausnopeuksia yksittäisiä selviä piikkejä lukuun ottamatta. Nämä yksittäiset sameuspiikit voivat johtua muun muassa alusliikenteen aiheuttamista potkurivirtauksista.



Kuva 25. Jatkuvatoimisten sameusmittausten tulokset ensimmäisen mittausjakson aikana. Asema 1 sijaitti läjitysalueen D eteläpuolella ja asema 2 pohjoispuolella.

Veden suolapitoisuus pohjanläheisessä vesikerroksessa pysyi vakaana koko mittausjakson ajan, eikä esimerkiksi kumpuamiseen viittaavia suolapitoisuuden heilahteluja havaittu (Kuva 26). Suolapitoisuus oli aavistuksen korkeampi ja veden lämpötila alhaisempi avoimemmalla ja noin kymmenen metriä syvemmällä alueella sijainneella mittausasemalla 1. Yhteenveto ensimmäisen mittausjakson vedenlaatumittausten tuloksista on esitetty Taulukossa 7.



Kuva 26. Pohjanläheisen vesikerroksen suolapitoisuus ensimmäisen mittausjakson aikana mittausasemilla 1 ja 2.

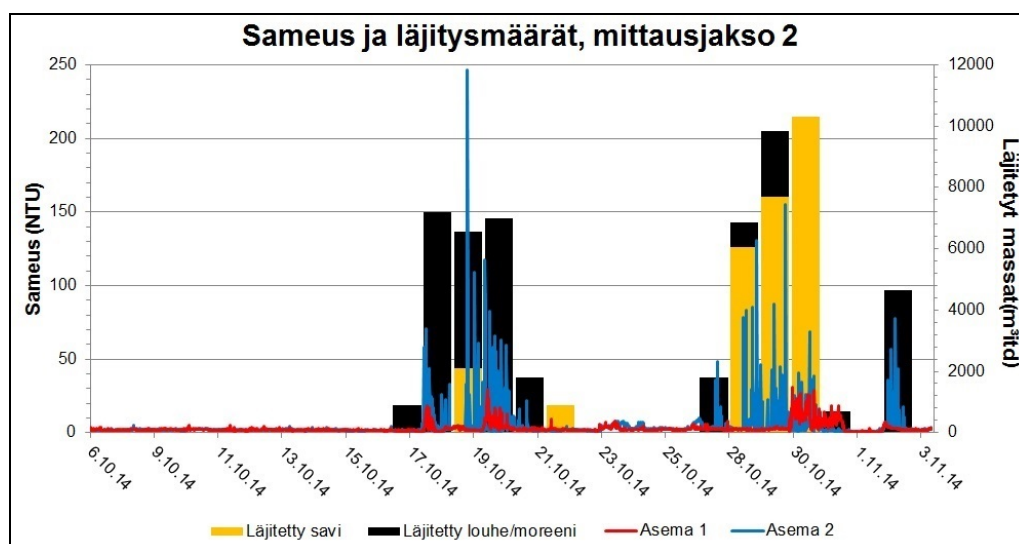
Taulukko 7. Mitattujen vedenlaatuparametrien keskiarvot pohjanläheisessä vesikerroksessa ensimmäisellä mittausjaksolla. Mittaukset on tehty noin 2,5 metriä merenpohjan yläpuolelta. Taulukossa on esitetty myös mittausaseman sijainti läjitysalueeseen D nähden sekä mittausvyvyys.

Mittaus- asema	Sijainti suhteessa läjitysalueeseen D	Mittaus- syvyys	Lämpötila °C	Suolapitoisuus ‰	Sameus NTU	Johtokyky µS/cm
Asema 1	223 metriä etelään	28,5 m	+5,6	5,9	1,2	10 427
Asema 2	82 metriä pohjoiseen	18,5 m	+6,4	5,7	0,9	10 219

6.2.2 Toinen mittausjakso

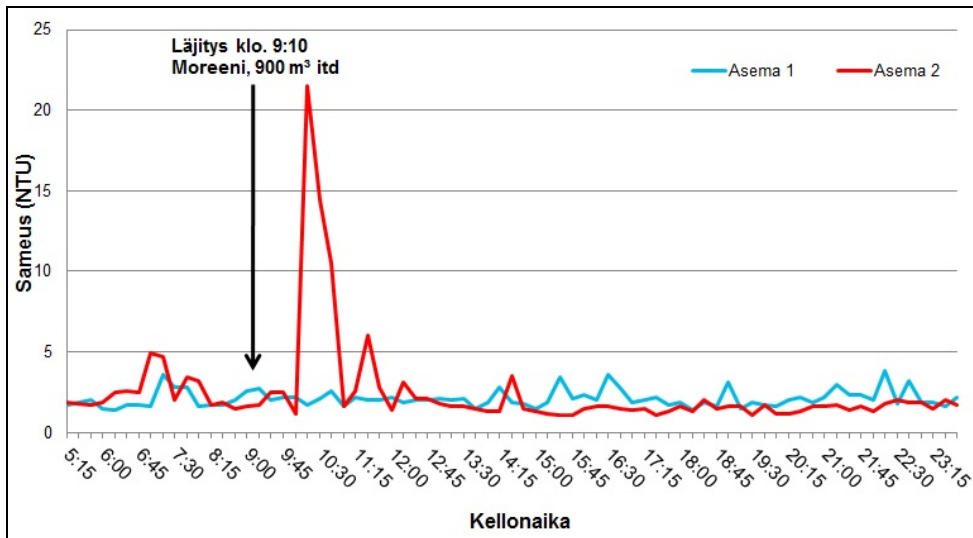
Toisella mittausjaksolla 6.10.–3.11.2014 tutkimusalueella tehtiin ruoppaus- ja läjitystöitä. Yhteensä läjitysalueelle D läjitettiin toisen mittausjakson aikana 58 500 proomukuutiota massoja. Tästä savea oli 27 050 proomukuutiota, louhetta 14 200 proomukuutiota ja moreenia 17 250 proomukuutiota. Tarkemmat tiedot läjitysalueelle D läjitetyistä massoista toisella mittausjaksolla löytyvät Liitteestä 1.

Pohjanläheisen vesikerroksen sameusarvoissa läjitystyöt näkyvät voimakkaina hetkellisinä sameusarvojen nousuina (Kuva 27). Sameuden keskiarvo pohjanläheisessä vesikerroksessa oli 2,9 NTU-yksikköä asemalla 1 ja 4,4 NTU-yksikköä asemalla 2. Sameuden keskiarvo oli kummallakin mittausasemalla selvästi ensimmäistä mittausjaksoa korkeampi, erityisesti läjitysalueella lähempänä sijainneella asemalla 2. Läjitetyiden lisäksi alueen sameuteen vaikuttivat ajankohtana vallinneiden voimakkaiden tuulten aiheuttama virtausnopeuden kasvu (tarkemmin Luku 6.1.2). Esimerkiksi sameuden nousu 23.10.–25.10. johtuneen ajanjaksolla vallinneista voimakkaista tuulista.

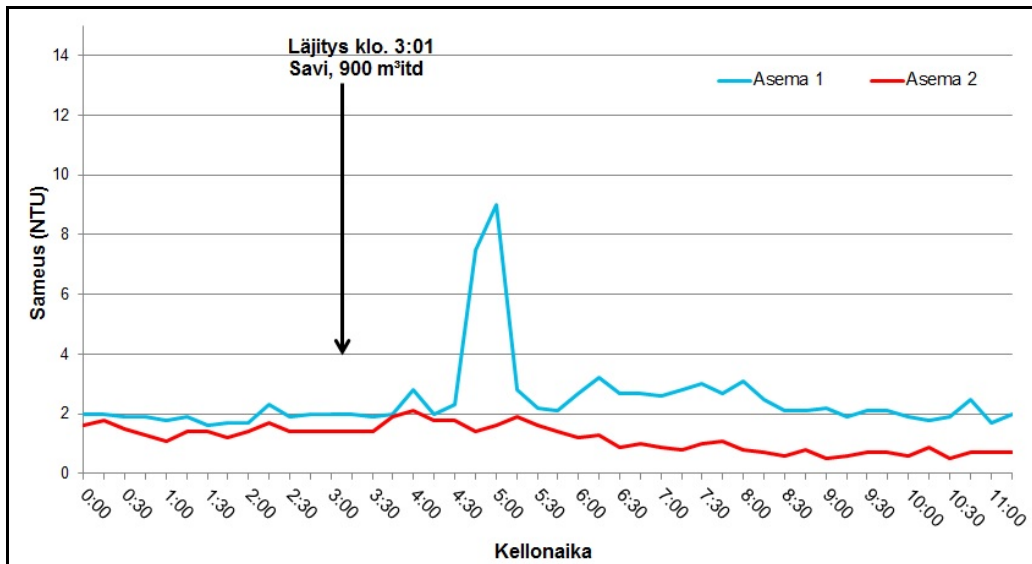


Kuva 27. Jatkuvatoimisten sameusmittausten tulokset sekä läjitysalueelle D läjitetyt massat toisen mittausjakson aikana. Asema 1 sijaitsee läjitysalueen D eteläpuolella ja asema 2 pohjoispuolella. Läjitetyt massat on ilmoitettu yksikössä m³/d, joka vastaa proomukuutiota. Läjitetyissä massoissa on eroteltu savi (keltainen väri) sekä louhe/moreeni (musta väri).

Läjitystöiden aikana sameuden arvot nousivat hetkellisesti jopa noin 250 NTU-yksikköön. Mittausten perusteella yksittäisen läjityksen aiheuttama voimakas samentuma häveni noin 45 minuutin kuluessa, enintään samentuma kesti kaksi tuntia. Samanlaisia tuloksia ovat saaneet myös Hentschke et al. (2009) tutkimuksissaan Pohjanmeren rannikolla. Osa läjityksistä ei aiheuttanut lainkaan kummallakaan mittausasemalla havaittavissa olevaa samentumaa. Esimerkkejä läjitysten aiheuttamista samentumista on esitetty Kuvissa 28 ja 29.

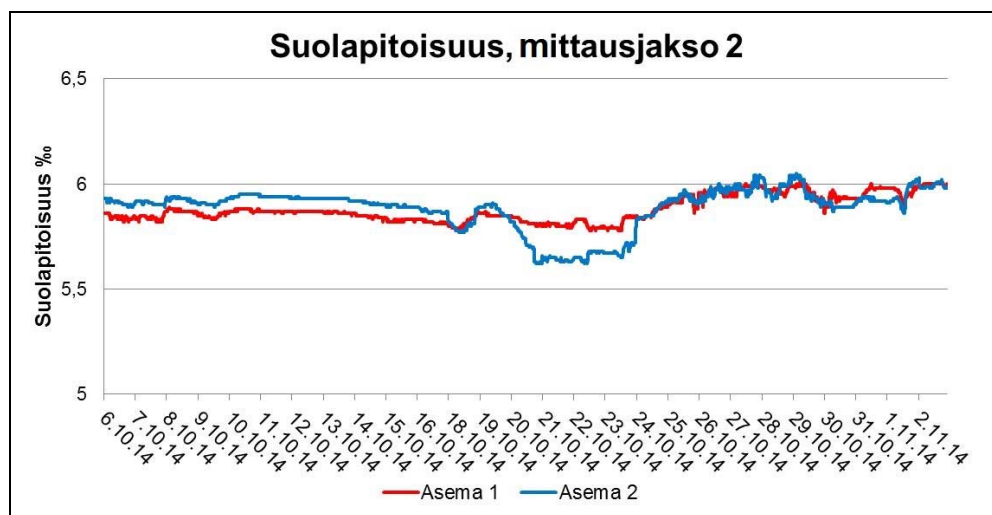


Kuva 28. Läjityksen aiheuttama sameuspiikki 21.10.2014. Läjitysalueelle D läjitettiin 900 proomukuutiota (m^3 itd) moreenia kello 9:10. Läjityksen aiheuttama sameuspiikki näkyy mittausasemalla 2 noin puolen tunnin kuluessa. Läjityshetkellä pohjavirtaus oli luoteen suuntainen. Läjitys on tapahtunut arviolta noin 120 metrin päässä mittausasemasta 2.



Kuva 29. Läjityksen aiheuttama sameuspiikki 22.10.2014. Läjitysalueelle D läjitettiin 900 proomukuutiota (m^3 itd) savea kello 3:01. Läjityksen aiheuttama sameuspiikki näkyy mittausasemalla 1 noin puoleltoista tunnin kuluttua ja kestää noin tunnin. Alueella vallitsi läjityshetkellä kaakkoon kulkeva pohjavirtaus, joka oli pyörteinen varsinkin aseman 2 läheisyydessä. Läjitys on tapahtunut arviolta noin 450 metrin päässä mittausasemasta 1.

Mitattujen vedenlaatuparametrien arvot olivat hyvin samanlaiset molemmilla mittausasemilla, toisin kuin ensimmäisen mittausjakson aikana (Taulukko 8). Tutkimusalueen suolapitoisuudessa havaittiin pienehköjä heilahteluja, jotka johtuivat vesikerrosten sekoittumisesta läjitystöiden yhteydessä ja sääolosuhteiden aiheuttamasta vesimassojen liikkeestä. Suolapitoisuuden heilahtelut ovat voimakkaampia mittausasemalla 2, joka sijaitsee huomattavasti lähempänä läjitysalueetta kuin asema 1 (Kuva 30).



Kuva 30. Pohjanläheisen vesikerroksen suolapitoisuus toisen mittausjakson aikana mittausasemilla 1 ja 2.

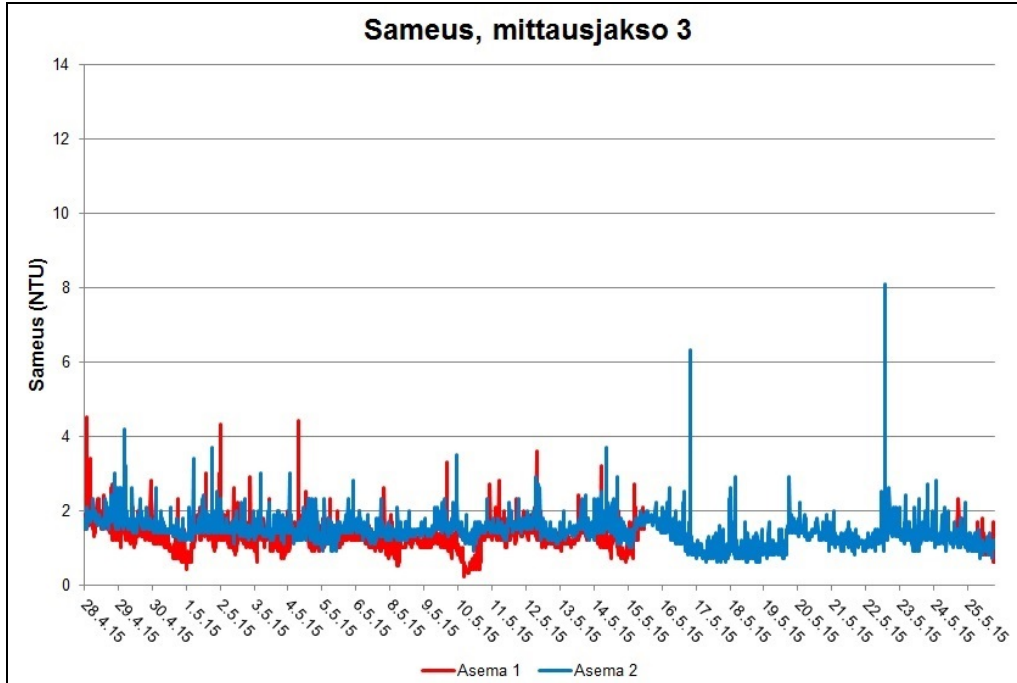
Taulukko 8. Mitattujen vedenlaatuparametrien keskiarvot pohjanläheisessä vesikerroksessa toisella mittausjaksolla. Mittaukset on tehty noin 3 metriä merenpohjan yläpuolelta. Taulukossa on esitetty myös mittausaseman sijainti läjitysalueeseen D nähden sekä mittausvyvyys.

Mittausasema	Sijainti suhteessa läjitysalueeseen D	Mittausvyvyys	Lämpötila °C	Suolapitoisuus ‰	Sameus NTU	Johtokyky µS/cm
Asema 1	223 metriä etelään	28 m	+10,2	5,9	2,9	10 380
Asema 2	82 metriä pohjoiseen	17,5 m	+10,1	5,9	4,4	10 388

6.2.3 Kolmas mittausjakso

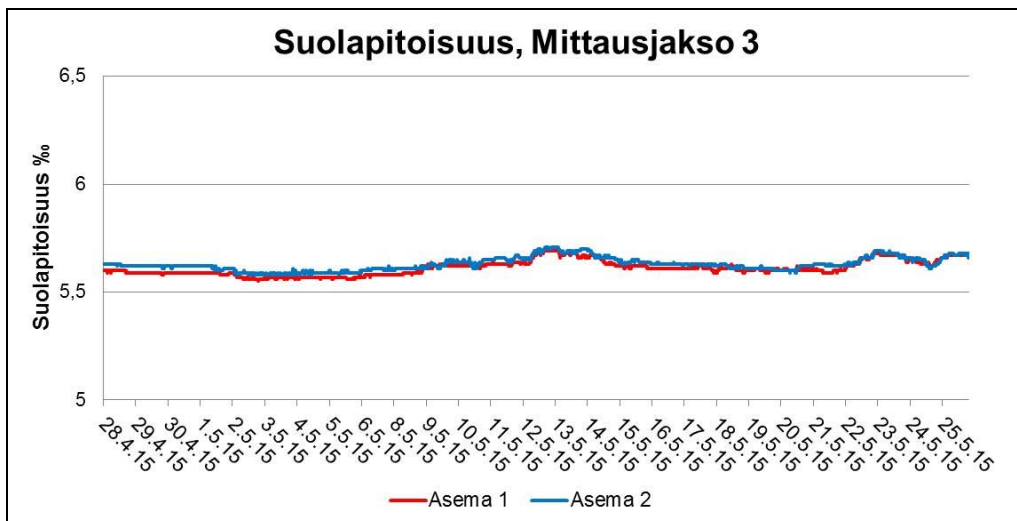
Kolmas mittausjakso suoritettiin 28.4.–26.5.2015, vuoden kuluttua ensimmäisestä mittausjaksosta. Kolmannella mittausjaksolla sameuden keskiarvo läjitysalueen D eteläpuoleisella mittausasemalla 1 oli 1,5 NTU-yksikköä ja pohjoispuolella sijainneella asemalla 2 keskiarvo oli 1,4 NTU-yksikköä. Arvot ovat hyvin samankaltaiset kuin ensimmäisellä mittausjaksolla, eroa on vain noin 0,5 NTU-yksikköä. Sameuden tausta-arvojen vähäinen nousu vastaa hyvin sedimentaatiomittausten tuloksia (luku 6.3.3), joiden mukaan alueen luontaiset sedimentaatiomäärät olivat kolmannen jakson aikana suuremmat kuin vuotta aikaisemmin. Vuoden 2015 toukokuu oli Isokarin mittausasemalla selvästi sateisempi kuin edeltävä vuosi, mikä on todennäköisesti lisännyt kiintoaineksen huuhtoutumista maa-alueilta ja kulkeutumista merialueelle

(Ilmatieteen laitos 2015). Mittausjakson aikana asemalla 1 havaittiin 16.5.–22.5. mahdollisesti vedenlaatuanturiin tarttuneesta levästä johtuva virheellisten sameuslukemien sarja, joka poistettiin tuloksia käsiteltäessä. Jatkuvatoimisten sameusmittausten tulokset on esitetty Kuvassa 31.



Kuva 31. Jatkuvatoimisten sameusmittausten tulokset kolmannen mittausjakson aikana. Asema 1 sijaitsi läjitysalueen D eteläpuolella ja asema 2 pohjoispuolella. Sameusarvoista on poistettu Asemalla 1 havaitut virheelliset arvot.

Veden suolapitoisuus pohjanläheisessä vesikerroksessa pysyi vakaana koko mittausjakson ajan, eikä esimerkiksi kumpuamiseen viittaavia suolapitoisuuden heilahteluja havaittu (Kuva 32). Mitattujen vedenlaatuparametrien arvot olivat hyvin samankaltaiset molemmilla mittausasemilla (Taulukko 9).



Kuva 32. Pohjanläheisen vesikerroksen suolapitoisuus kolmannen mittausjakson aikana mittausasemilla 1 ja 2.

Taulukko 9. Mitattujen vedenlaatuparametrien keskiarvot pohjanläheisessä vesikerroksessa kolmannella mittausjaksolla. Mittaukset on tehty noin 2,5 metriä merenpohjan yläpuolelta. Taulukossa on esitetty myös mittausaseman sijainti läjitysalueeseen D nähden sekä mittaussyvyys.

Mittaus- asema	Sijainti suhteessa läjitysalueeseen D	Mittaus- syvyys	Lämpötila °C	Suolapitoisuus ‰	Sameus NTU	Johtokyky µS/cm
Asema 1	223 metriä etelään	27,5 m	+6,9	5,6	1,5	9 989
Asema 2	82 metriä pohjoiseen	17,5 m	+7,0	5,6	1,4	10 015

6.3 Sedimentaatio

6.3.1 Ensimmäinen mittausjakso

Ensimmäinen mittausjakso suoritettiin ajanjaksolla 29.4.–26.5.2014. Mittausjakson pituus oli 28 vuorokautta, kun mittausjakson päätepäivät lasketaan kokonaisiksi vuorokausiksi. Taulukossa 10 on esitetty ensimmäisen mittausjakson sedimentaatiotulokset ja Taulukossa 11 tulosten perusteella lasketut vuorokauden keskimääräiset sedimentaatiomäärät neliometriä kohden.

Taulukko 10. Ensimmäisen mittausjakson sedimentaatiotulokset. Jokainen sedimenttikeräin koostui kahdesta putkesta, joita kuvaavat näytepisteen tunnuksen perässä olevat kirjaimet A ja B. Hehkutusjäännös ilmaisee epäorgaanisen aineksen osuuden sedimenttikeräimeen kertyneestä kiintoaineesta.

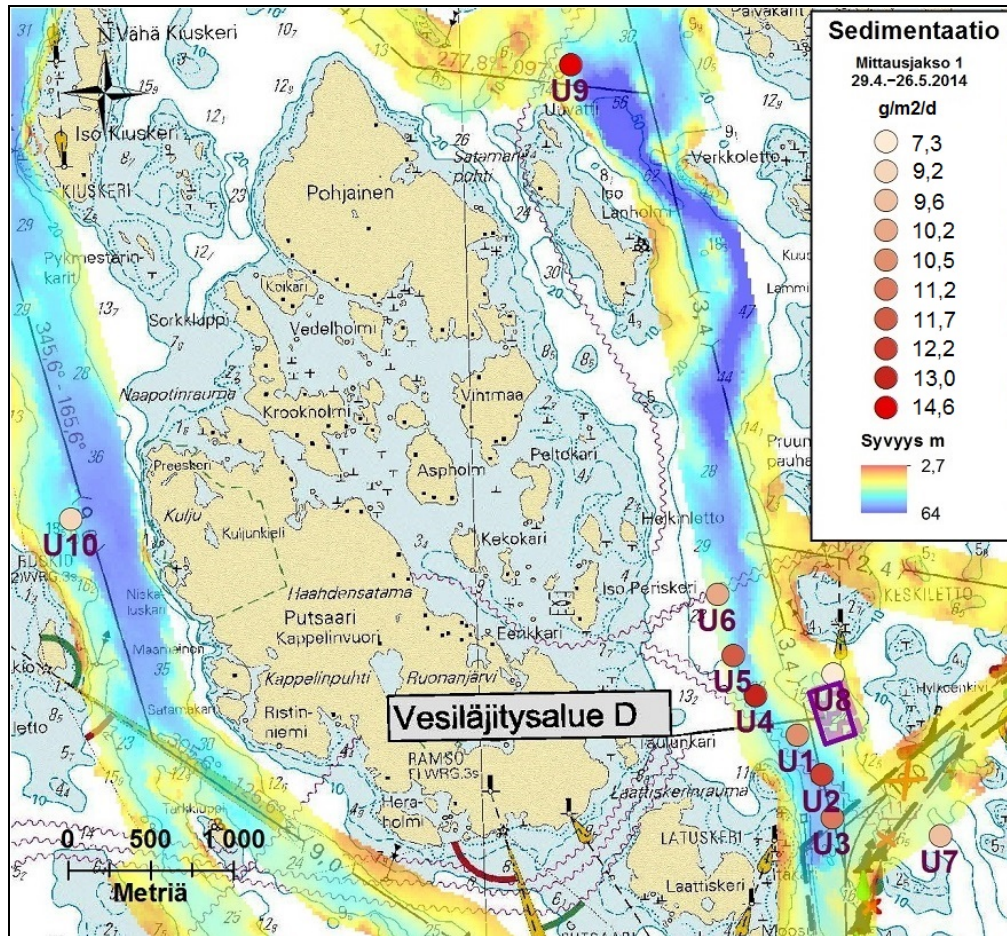
Näytetunnus	Sedimentaation määrä, mg/putki	Sedimentaation määrä, keskiarvo mg/näytepiste	Hehkutusjäännös %/putki	Hehkutusjäännös, keskiarvo %/näytepiste
U1 A	591	580	90,4	90,6
U1 B	569		90,7	
U2 A	654	668	91,2	91
U2 B	681		90,8	
U3 A	590	617	90,5	90,6
U3 B	643		90,7	
U4 A	689	715	90,4	89,5
U4 B	740		88,6	
U5 A	638	643	87,9	88,1
U5 B	648		88,2	
U6 A	569	561	87,8	87,7
U6 B	553		87,5	
U7 A	522	526	88,2	87
U7 B	530		85,7	
U8 A	392	401	89,2	89
U8 B	410		88,7	
U9 A	731	801	87,7	88
U9 B	871		88,2	
U10 A	529	507	85,8	85,8
U10 B	485		85,8	

Taulukko 11. Tulosten perusteella laskettu sedimentaation määrä keskimäärin vuorokaudessa neliometriä kohden ensimmäisen mittausjakson aikana. Taulukossa on esitetty myös näytepisteen etäisyys läjitysalueen D reunasta.

Näytepiste	Vuorokauden keskiarvo g/m ²	Etäisyys läjitysalueesta D
U1	10,6	143 m
U2	12,2	195 m
U3	11,2	465 m
U4	13,0	325 m
U5	11,7	512 m
U6	10,2	809 m
U7	9,6	805 m
U8	7,3	63 m
U9	14,6	4 071 m
U10	9,2	4 590 m

Eri mittauspisteiltä saadut tulokset olivat hehkutusjäännöksen osalta keskenään melko samankaltaisia, hehkutusjäännöksen vaihdellessa välillä 85,7–91,2 %. Tätä suuruusluokkaa olevat arvot edustavat tyypillistä lievästi rehevöityneen merialueen reseranttia sedimenttiä. Hehkutusjäännöksen perusteella sedimentoituneen aineksen orgaanisen aineksen pitoisuudet olivat läjitysalueen ympäristössä samaa luokkaa kuin verrokkipisteillä. Keskimäärin hehkutusjäännös oli läjitysalueen lähiympäristön pisteillä U1–U8 89 % ja vertailupisteillä U9–U10 87 %. Korkeimmat sedimentin orgaanisen aineksen pitoisuudet havaittiin vertailupisteellä U10 ja läjitysalueesta D noin 800 metriä kaakkoon sijainneella pisteellä U7.

Vuorokaudessa sedimentoituneen kiintoaineen määrä neliometrillä vaihteli välillä 7,3–14,6 grammaa. Läjitysalueen läheisyydessä sijaitsevilla näytepisteillä U1–U8 oli sedimenttikeräimiin kertynyt kiintoainesta vuorokaudessa keskimäärin 10,7 g/m². Vertailupisteillä U9 ja U10 oli keskimäärin vuorokaudessa kertynyt kiintoainesta 11,9 g/m². Kenttähavaintojen perusteella alueella sedimentoituva kiintoaines oli sulfidipitoista silttiä/hietaa. Vähiten kiintoainesta oli kertynyt pisteellä U8, joka sijaitsee läjitysalueen koilliskulmassa, syvänteen pohjukassa (Kuva 33). Vertailupisteellä U9 sedimenttikeräimiin kertyneen kiintoaineen määrä oli suurempi kuin muilla näytepisteillä. Vertailupisteellä U10 kiintoainesta oli puolestaan kertynyt samaa suuruusluokkaa oleva määrä kuin pisteillä U1–U8. Sedimenttikeräimen kahdesta eri putkesta saatujen rinnakkaisnäytteiden välillä oli keskimäärin 5,9 % ero kertyneen kiintoaineen määrässä mittausjakson aikana.



Kuva 33. Sedimentaation määrä keskimäärin vuorokaudessa neliometriä kohden ensimmäisen mittausjakson aikana. Punaisen värin intensiivisyys kuvaa kertyneen sedimentin määrää näytepisteellä. Pohjakarttana on merikartta, jonka päälle on asetettu alueen merenpohjan topografinen malli.

Läjäytysalueelle D oli läjitetty tutkimuksen alkaessa 233 000 proomukuutiota ruoppausmassoja aikavälillä 14.10.2013–14.1.2014. Ennen tutkimuksen ensimmäistä mittausjaksoa näistä läjityksistä oli kulunut kolme ja puoli kuukautta. Ensimmäisen mittausjakson aikana läjitysalueen läheisyydestä (pisteet U1–U8) saatuihin tuloksiin vaikuttavat siten alueelle jo läjitetyt massat. Näiden pisteiden tulokset eivät edusta luonnollista alkutilannetta, vaan myöhempiä 330 000 proomukuution läjityksiä edeltävää tilannetta läjitystöiden jo ennestään muokkaamalla alueella.

6.3.2 Toinen mittausjakso

Toinen mittausjakso toteutettiin 6.10.2014–3.11.2014. Jakson pituus oli 29 vuorokautta, kun mittausjakson päätepäivät lasketaan kokonaisiksi vuorokausiksi. Väylähankkeen ruoppaus- ja läjitystyöt olivat käynnissä mittausjakson aikana. Yhteensä läjitysalueelle D läjitettiin toisen mittausjakson aikana 58 500 proomukuutiota massoja. Tästä savea oli 27 050 proomukuutiota, louhetta 14 200 proomukuutiota ja moreenia 17 250 proomukuutiota. Tarkemmat läjitystiedot mittausjakson ajalta löytyvät Liitteestä 1. Taulukossa 12 on esitetty ensimmäisen mittausjakson sedimentaatiotulokset ja Taulukossa 13 tulosten perusteella lasketut vuorokauden keskimääräiset sedimentaatiomäärät neliometriä kohden.

Taulukko 12. Toisen mittausjakson sedimentaatiotulokset. Jokainen sedimenttikeräin koostui kahdesta putkesta, joita kuvaavat näytetunnuksen perässä olevat kirjaimet A ja B. Hehkutusjäännös ilmaisee epäorgaanisen aineksen osuuden sedimenttikeräimeen kertyneestä kiintoaineesta.

Näytetunnus	Sedimentaation määrä, mg/putki	Sedimentaation määrä, keskiarvo mg/näytepiste	Hehkutusjäännös %/putki	Hehkutusjäännös, keskiarvo %/näytepiste
U1 A	21 846	20 946	98,0	98,0
U1 B	20 046		98,0	
U2 A	6 653	6 446	96,2	96,2
U2 B	6 238		96,1	
U3 A	5 624	5 918	95,6	95,7
U3 B	6 212		95,8	
U4 A	5 298	5 818	95,2	95,4
U4 B	6 337		95,5	
U5 A	8 309	7 464	96,2	96,0
U5 B	6 618		95,8	
U6 A	3 199	3 153	94,4	94,5
U6 B	3 107		94,5	
U7 A	1 641	1 614	91,1	91,8
U7 B	1 586		92,4	
U8 A	169 490	169 925	98,8	98,9
U8 B	170 360		98,9	
U9 A	2 863	2 845	91,6	91,4
U9 B	2 827		91,1	
U10 A	2 914	3 106	89,1	88,9
U10 B	3 297		88,6	

Taulukko 13. Sedimentaatiotulosten perusteella laskettu sedimentaation määrä keskimäärin vuorokaudessa neliometriä kohden toisen mittausjakson aikana. Taulukossa on myös esitetty näytepisteen etäisyys läjitysalueen D reunasta.

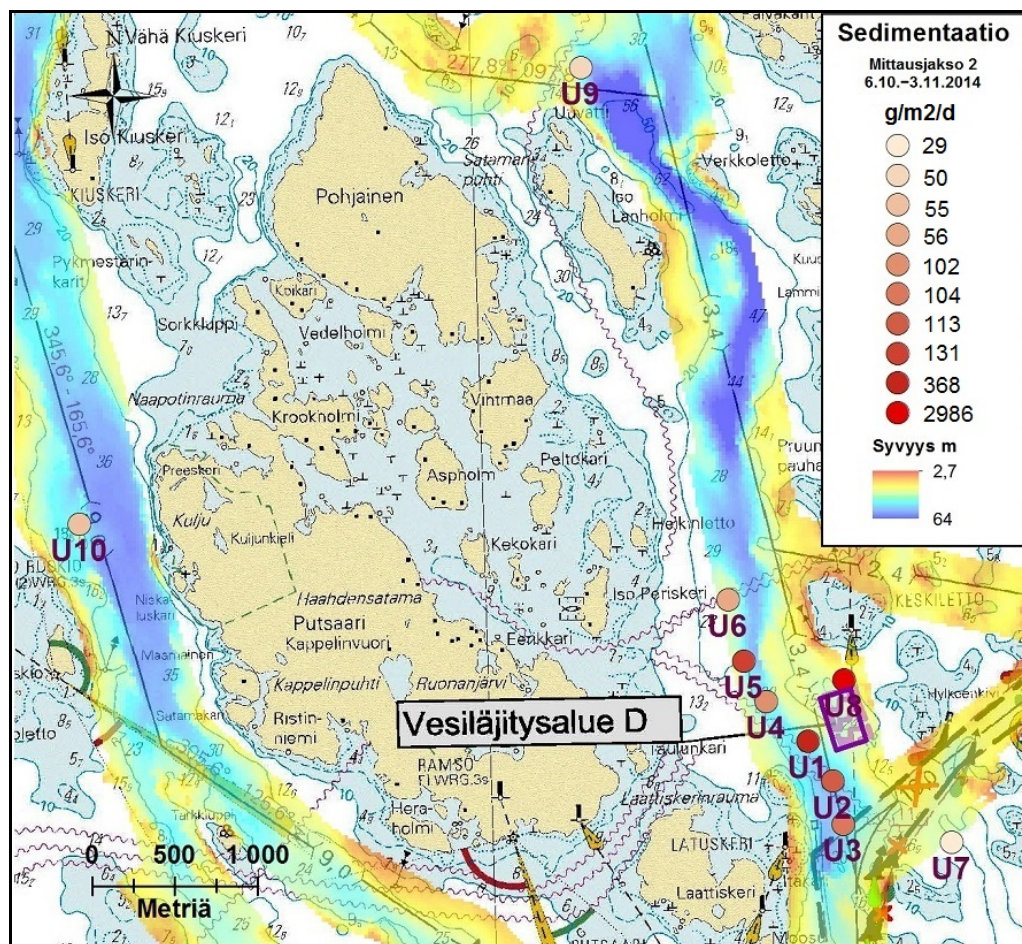
Näytepiste	Vuorokauden keskiarvo g/m ²	Etäisyys läjitysalueesta D
U1	368	143 m
U2	113	195 m
U3	104	465 m
U4	102	325 m
U5	131	512 m
U6	55	809 m
U7	28	805 m
U8	2 986	63 m
U9	50	4 071 m
U10	55	4 590 m

Toisella mittausjaksolla sedimentoituneen aineksen hehkutusjäännökset olivat korkeammat kuin ensimmäisellä mittausjaksolla eli sedimentoituneen orgaanisen aineksen määrä oli ensimmäisen mittausjakson määrää alhaisempi. Läjitysalueen läheisyyden pisteillä U1–U8 hehkutusjäännöksen keskiarvo oli 95,8 %, eli noin 7 prosenttiyksikköä korkeampi kuin ensimmäisellä mittausjaksolla. Vertailupisteiden U9–U10 hehkutusjäännöksen keskiarvo oli toisella mittausjaksolla 90,1 % ja näin ollen noin 3 % korkeampi kuin ensimmäisellä mittausjaksolla. Orgaanisen aineksen määrän väheneminen vertailupisteillä selittyy sedimentaation vuodenaikaisvaihtelulla. Jakso sijoittuu loppusyksyyn, jolloin voimakkaammat virtaukset kuljettavat ja kerrostavat karkeampaa ainesta. Lisäksi biomassan väheneminen loppusyksystä laskee osaltaan orgaanisen aineksen osuutta sedimentoituvassa aineksessa. Kenttähavaintojen perusteella sedimentoitunut aines ei koostumukseltaan eronnut aiemmasta mittausjaksosta, pois lukien läjitysten välittömässä läheisyydessä olleen pisteen U8 kiintoaines.

Läjitysalueen D läheisyydessä orgaanisen aineksen pitoisuuden suhteelliseen vähenemiseen mittausjakson 1 tuloksiin verrattaessa vaikuttavat todennäköisesti myös läjitystyöt, vaikka osaltaan muutosta selittävät luontaiset tekijät. Jakson alhaisimmat orgaanisen aineksen pitoisuudet olivat läjitysalueella lähinnä sijaitsevilla pisteillä U8 ja U1 (hehkutusjäännös 98,9 % ja 98,0 %). Noin 800 metriä läjitysalueesta kaakkoon sijainneella pisteellä U7 ei ollut havaittavissa merkittävää muutosta orgaanisen aineksen pitoisuudessa, vaikka piste sijaitsi ruoppaustöiden läheisyydessä.

Läjitysalueen D vaikutusalueella olevilla näytepisteillä U1-U8 kertyneen kiintoaineksen määrässä oli huomattavia eroja tulosten vaihdellessa välillä 28–2 986 g/m²/d. Sedimenttikeräin pisteellä U8 ja ADCP-asema 2 sijaitsivat läjitysten välittömässä läheisyydessä, mikä näkyy huomattavasti muita pisteitä korkeampana sedimentaation määränä (Kuva 34). Vähiten sedimenttiä oli kertynyt pisteellä U7, joka sijaitsi noin 800 metriä läjitysalueesta D kaakkoon, eikä läjitysten vaikutus ole ilmeisesti ulottunut pisteelle asti. Myöskään niin ikään reilun 800 metrin päässä läjitysalueesta sijainneella pisteellä U6 ei havaittu merkittäviä muutoksia sedimentaatiomäärissä. Vertailupisteillä U9-U10 kiintoainesta oli kertynyt vuorokaudessa keskimäärin 53 g/m²,

joka on lähes viisi kertaa enemmän kuin ensimmäisellä mittausjaksolla. Sedimentoituneen kiintoaineksen määrän merkittävä luontainen kasvu on tyypillistä loppusyksyllä, jolloin voimakkaat tuulet nostavat virtausnopeuksia, mikä puolestaan lisää pohjasedimentin resuspension ja virtausten kuljettaman kiintoaineksen määrää. Sedimenttikeräimen kahdesta eri putkesta saatujen rinnakkaisnäytteiden välillä oli keskimäärin 8,7 % ero kertyneen kiintoaineksen määrässä.



Kuva 34. Sedimentaation määrä keskimäärin vuorokaudessa neliometriä kohden toisen mittausjakson aikana. Punaisen värin intensiivisyys kuvaa kertyneen sedimentin määrää näytepisteellä. Pohjakarttana on merikartta, jonka päälle on asetettu alueen merenpohjan topografinen malli.

Läjitysalueen läheisyydessä tehtiin toisen mittausjakson aikana myös ruoppaustöitä. Läjitysaluetta D lähimpänä oleva ruoppauskohde oli yhden kilometrin päässä idässä sijaitseva kohde 162, jolla ruopattiin jakson aikana 700 m³ louhetta. Läjitysalueen eteläpuolella kahden kilometrin päässä sijaitseva kohde 100, jolta ruopattiin moreenia 6 000 m³ ja alueen länsipuolella 2,5 kilometrin päässä sijainneelta kohteelta 180 ruopattiin louhetta 5 100 m³. Näiden ruoppaustöiden vaikutukset ovat saattaneet vaikuttaa sedimentaatioon pisteillä U1–U8. Vaikutus jäänee kuitenkin vähäiseksi, sillä ruopatut massat koostuvat louheesta ja moreenista, massamäärät ovat suhteellisen pieniä eivätkä kohteet ole aivan tutkimuspisteiden vieressä.

6.3.3 Kolmas mittausjakso

Kolmas mittausjakso suoritettiin aikavälillä 28.4.2015–26.5.2015. Mittausjakson pituus oli 29 vuorokautta, kun mittausjakson päätepäivät lasketaan kokonaisiksi vuorokausiksi. Mittausjakson sedimentaatiotulokset on esitetty Taulukossa 14 ja tulosten perusteella laskettu sedimentaation keskimääräinen kertymä vuorokaudessa neliometriä kohden Taulukossa 15.

Taulukko 14. Kolmannen mittausjakson sedimentaatiotulokset. Jokainen sedimenttikeräin koostui kahdesta putkesta, joita kuvaavat näytetunnuksen perässä olevat kirjaimet A ja B. Taulukossa on esitetty myös tulosten perusteella lasketut näytepistekohtaiset keskiarvot. Hehkutusjäännös ilmaisee epäorgaanisen aineksen osuuden sedimenttikeräimeen kertyneestä kiintoaineesta.

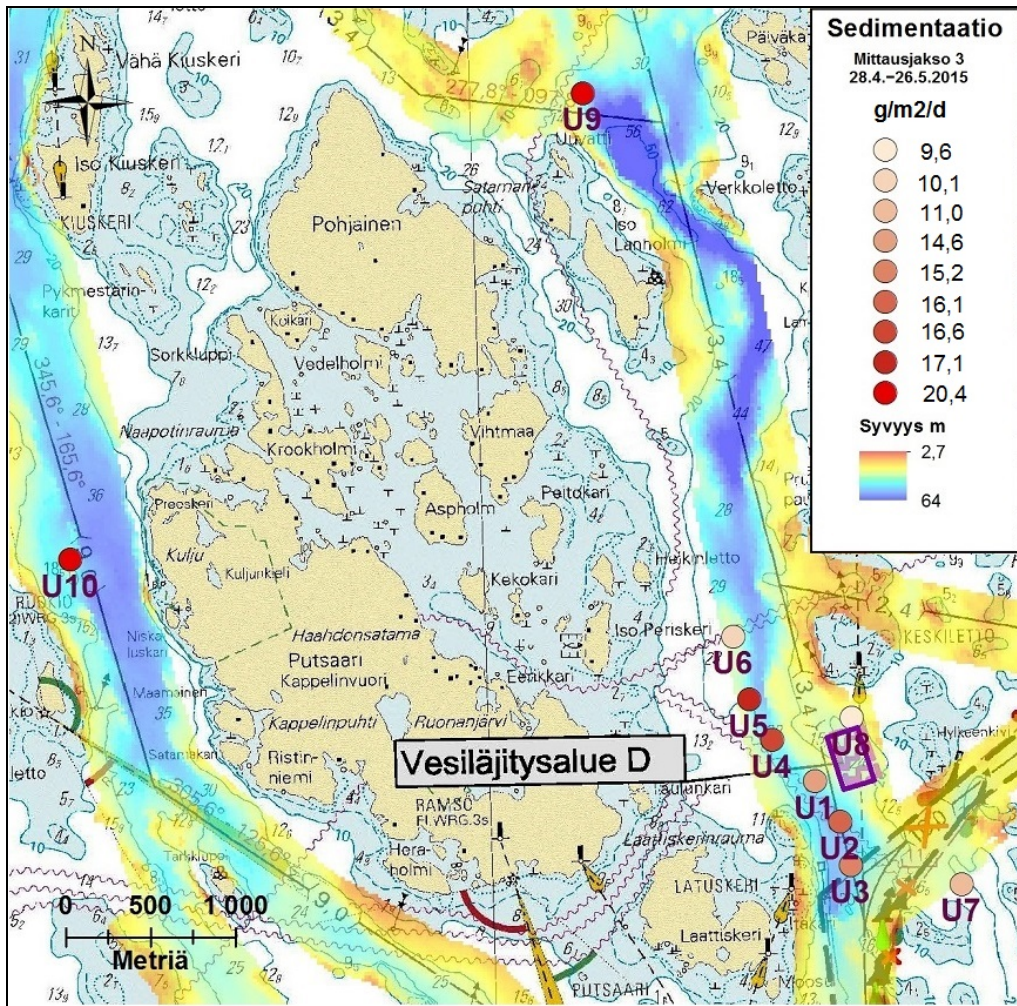
Näytetunnus	Sedimentaation määrä, mg/putki	Sedimentaation määrä, keskiarvo mg/näytepiste	Hehkutusjäännös %/putki	Hehkutusjäännös, keskiarvo %/näytepiste
U1 A	812	834	89,5	89,5
U1 B	855		89,4	
U2 A	935	936	89,9	89,7
U2 B	936		89,5	
U3 A	837	841	90,0	90,0
U3 B	844		90,0	
U4 A	933	942	89,4	89,4
U4 B	950		89,4	
U5 A	997	951	90,6	90,3
U5 B	904		89,9	
U6 A	574	572	89,0	89,2
U6 B	569		89,3	
U7 A	642	620	89,0	89,5
U7 B	598		89,9	
U8 A	547	545	89,0	89,5
U8 B	543		89,9	
U9 A	1 115	1 160	89,0	89,1
U9 B	1 205		89,2	
U10 A	1 137	1 160	88,2	87,9
U10 B	1 183		87,6	

Taulukko 15. Sedimentaatiotulosten perusteella laskettu sedimentaation määrä keskimäärin vuorokaudessa neliometriä kohden kolmannen mittausjakson aikana. Taulukossa on myös esitetty näytepisteen etäisyys läjitysalueen D reunasta.

Näytepiste	Vuorokauden keskiarvo g/m ²	Etäisyys läjitysalueesta D
U1	14,7	143 m
U2	16,4	195 m
U3	14,8	465 m
U4	16,5	325 m
U5	16,7	512 m
U6	10,0	809 m
U7	10,9	805 m
U8	9,6	63 m
U9	20,4	4 071 m
U10	20,4	4 590 m

Eri mittauspisteiltä saadut tulokset olivat orgaanisen aineksen pitoisuudeltaan keskenään hyvin samankaltaisia hehkutusjäännöksen vaihdellessa välillä 87,9–90,25 %. Orgaanisen aineksen pitoisuudet olivat samalla tasolla kuin ensimmäisellä mittausjaksolla, eroa ensimmäisen ja kolmannen jakson hehkutusjäännöksissä oli keskimäärin 0,7 prosenttiyksikköä. Hehkutusjäännöksen perusteella kertynyt kiintoaine edustaa tyypillistä lievästi rehevöityneen merialueen pintasedimenttiä. Sedimentoituneen materiaalin orgaanisen aineksen pitoisuudet olivat läjitysalueen ympäristössä samaa luokkaa kuin verrokkipisteillä. Keskimäärin hehkutusjäännös oli läjitysalueen lähiympäristön pisteillä U1–U8 89,6 % ja vertailupisteillä U9–U10 88,5 %. Korkeimmat orgaanisen aineksen pitoisuudet olivat vertailupisteellä U10.

Sedimentoituneen kiintoaineen määrä vaihteli välillä 9,6–20,4 g/m²/d. Sedimentaation määrä oli ensimmäistä mittausjaksoa suurempi kaikilla näytepisteillä, selvästi eniten kiintoainesta oli sedimentoitunut vertailupisteillä U9 ja U10. Läjitysalueen läheisyydessä sijaitsevilla näytepisteillä U1–U8 sedimenttikeräimiin oli kertynyt kiintoainesta keskimäärin 13,7 g/m²/d. Vertailupisteillä U9 ja U10 oli keskimäärin kertynyt kiintoainesta 20,4 g/m²/d. Varsinkin vertailupisteillä kertyneen sedimentaation määrät olivat hyvin samanlaiset, vertailupisteillä tulosten keskiarvo oli peräti sama. Vähiten kiintoainesta oli kertynyt pisteellä U8, joka sijaitsee läjitysalueen koilliskulmassa, syvänteen pohjukassa (Kuva 35). Sedimenttikeräimen kahdesta eri putkesta saatujen rinnakkaisnäytteiden välillä oli keskimäärin 3,8 % ero kertyneen kiintoaineen määrässä.



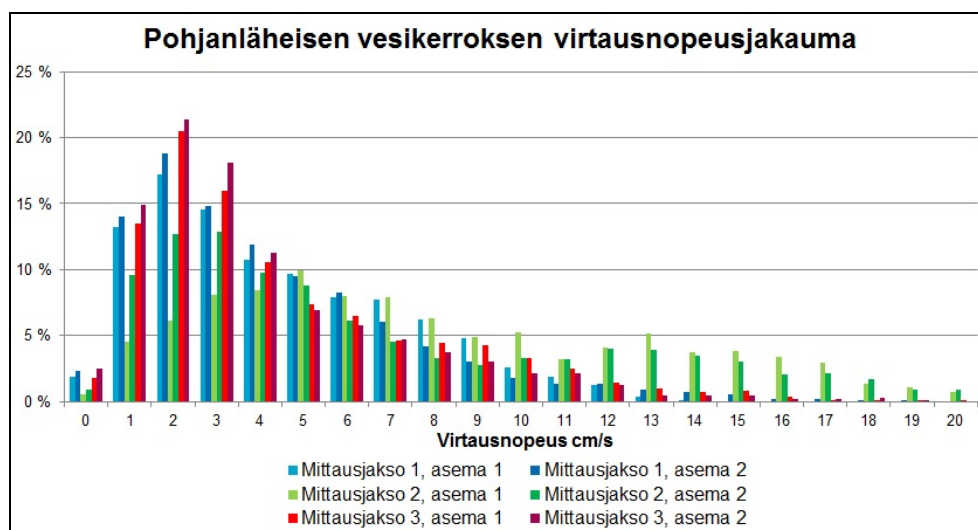
Kuva 35. Sedimentaation määrä keskimäärin vuorokaudessa neliometriä kohden kolmannen mittausjakson aikana. Punaisen värin intensiivisyys kuvaa kertyneen sedimentin määrää näytepisteellä. Pohjakarttana on merikartta, jonka päälle on asetettu alueen merenpohjan topografinen malli.

Uudenkaupungin väylähankeen ruoppaus- ja läjitystyöt valmistuivat noin viisi kuukautta ennen kolmannen mittausjakson alkua. Ensimmäisen ja kolmannen mittausjakson välillä läjitelyalueelle D läjitettiin massoja 329 950 proomukuutiota. Lisäksi kyseisellä aikavälillä tehtiin ruoppaustöitä läjitelyalueen D lähistöllä, lähin ruoppauskohde sijaitsi noin kilometrin päässä läjitelyalueesta itään.

7 Tulosten yhteenveto ja johtopäätökset

7.1 Virtausolosuhteet alueella

Tulosten perusteella läjitysalueen D läheisyydessä päävirtaussuunta on kaakko-luodesuuntainen, luoteeseen kulkevan virtauksen ollessa aavistuksen vallitsevampi. Pohjavirtaus alueella on tyypillisesti hidas, noin 4 cm/s. Loppusyksyn mittausjaksolla havaittiin sääolosuhteista johtuva virtausnopeuksien selvä kasvu, pohjanläheisen virtausnopeuden noustessa noin 7 cm/s läjitysalueen D läheisyydessä. Tulokset vastaavat alueella tehtyjä aikaisempia tutkimuksia (FCG Oy 2010, Lindfors ja Kiirikki 2012). Pinta- ja pohjavirtaus kulkevat alueella tyypillisesti samaan suuntaan. Pääsääntöisesti virtausnopeudet olivat läjitysalueen pohjoispuolella sijainneella mittausasemalla 2 alhaisemmat kuin läjitysalueen eteläpuolisella avoimemmalla ja syvemmällä sijainneella asemalla 1. Vallitsevien tuulen nopeuksien vaikutus virtausolosuhteisiin oli selvä, lisäksi alueen virtausolosuhteisiin vaikuttavat myös merenpinnankorkeudet (Lindfors ja Kiirikki 2012).



Kuva 36. Pohjanläheisen vesikerroksen virtausnopeusjakaumat mittausjaksoilla 1 (29.4.–26.5.2014), 2 (6.10.–3.11.2014) ja 3 (28.4.–26.5.2015). Mittausasema 1 sijaitsi läjitysalueen eteläpuolella ja asema 2 läjitysalueen pohjoispuolella. Kuvassa on esitetty, kuinka monta prosenttia kunkin mittausjakson kokonaisajasta virtausnopeus sai tietyn arvon.

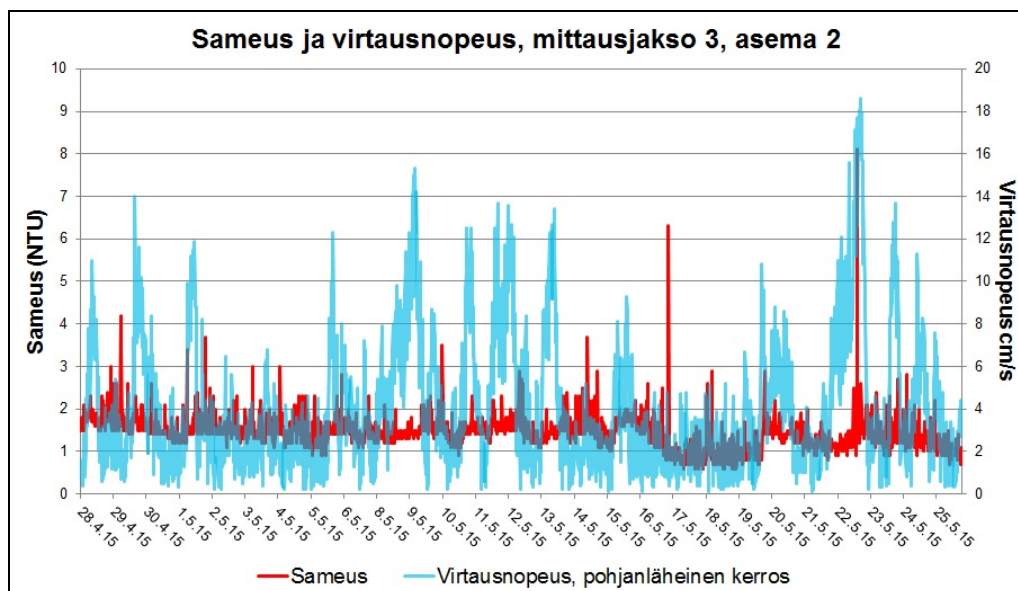
Pohjanläheisen vesikerroksen virtausnopeusjakauman (Kuva 36) perusteella arvioituna läjitysalue D täyttää hyvän läjitysalueen kriteerit (Ympäristöministeriö 2015) ensimmäisen ja kolmannen mittausjaksojen osalta. Kyseisinä ajanjaksoina (29.4.–26.5.2014 ja 28.4.–26.5.2015) mitattujen virtausnopeuksien keskiarvo on alle 5 cm/s ja virtausnopeudet ovat painottuneet alhaisiin, alle 3 cm/s oleviin arvoihin. Pohjanläheisen vesikerroksen virtausnopeudet ovat vain harvoin yli 10 cm/s. Loppusyksyllä toisen mittausjakson aikana (6.10.–3.11.2014) virtausnopeudet olivat vallitsevien sääolosuhteiden vuoksi selvästi suuremmat. Tämän mittausjakson aikana läjitysalue D muistuttaa pohjanläheisen vesikerroksen virtausnopeuden perusteella tyydyttävää läjitysaluetta (Ympäristöministeriö 2015), keskimääräisen virtausnopeuden ollessa 7–8 cm/s ja virtausnopeuden ylittäessä 15 cm/s vain harvakseltaan.

7.2 Pohjanläheinen virtausnopeus ja sameus

Tutkimuksessa selvitettiin myös pohjanläheisen virtausnopeuden ja sameuden välistä yhteyttä. Pohjanläheiseen sameuteen vaikuttaa suuresti pohjasedimentin resuspensio, jonka yhteyttä pohjanläheisiin virtausnopeuksiin pyrittiin arvioimaan epäsuorasti. Pohjanläheisen vesikerroksen virtausnopeutta käytetään usein läjityspaikan soveltuvuuden määrittelyssä ja läjitetyn massan erodoitumisen arvioinnissa.

Näiden kahden parametrin välillä ei löydetty selvää korrelaatiota tämän tutkimuksen aikana. Mitatun sameuden ja pohjanläheisen vesikerroksen virtausnopeuden välinen korrelaatio laskettiin molemmilta mittausasemilta ensimmäisellä ja kolmannella mittausjaksolla. Toinen mittausjakso jätettiin tarkastelusta pois jakson aikana käynnissä olleiden läjitystöiden vuoksi, sillä läjitys vaikutti voimakkaasti pohjan sameuteen.

Laskennallinen korrelaatio vaihteli tässä tutkimuksessa välillä $-0,29$ – $0,19$, eivätkä sameus ja pohjanläheinen virtausnopeus näiden tulosten perusteella korreloi lineaarisesti juurikaan keskenään (Kuva 37). Laskennalliseen lähestymistapaan liittyy kuitenkin aina epävarmuustekijöitä ja korrelaatio kuvaa pelkästään lineaarista riippuvuutta. Lisäksi viidentoista minuutin välein tehdyt virtaus- ja sameusmittaukset eivät olleet täysin samanaikaisia. Vaikka korrelaatiota ei laskennallisesti havaittukaan, virtausnopeuden ja sameuden välillä havaittiin kohtalainen yhteys tuloksia tarkasteltaessa. Näiden kahden suureen välinen yhteys ei ole yksioikoinen ja sameuteen vaikuttavat myös monet muut tekijät, kuten poikkeuksellisten sääolosuhteiden kesto, alusliikenne sekä merenpohjan laatu.

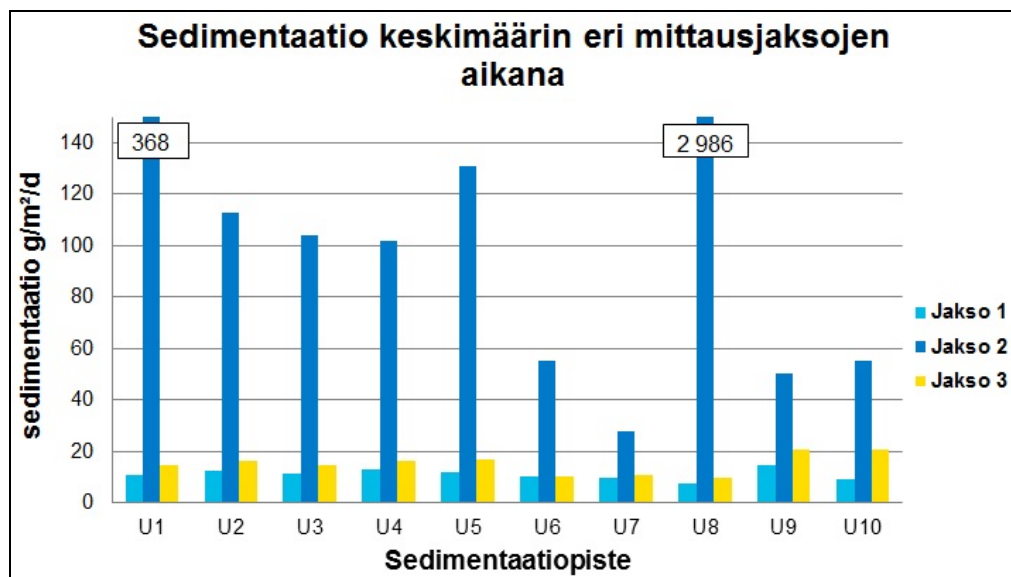


Kuva 37. Sameus ja pohjanläheisen vesikerroksen virtausnopeus mittausasemalla 2 kolmannella mittausjaksolla. Korrelaatio sameuden ja pohjanläheisen vesikerroksen virtausnopeuden välillä oli tämän jakson aikana vain $0,16$.

7.3 Sedimentaation muutokset

Tutkimuksen tulosten perusteella alueen luontainen sedimentaatiomäärä vaihtelee paljon vallitsevien sääolosuhteiden mukaan. Karkeasti arvioituna alueen vuotuinen sedimentoituvan kiintoaineksen määrä vaihtelee välillä 6–19 kg/m². Samaa suuruusluokkaa olevia tuloksia ovat saaneet myös Kiirikki ja Rasmus (2013) mittauksissaan Suomenlahden 40 metriä syvillä pohjilla. Hehkutusjäännöksen perusteella sedimentoituva kiintoaines edustaa tyypillistä lievästi rehevöityneen merialueen resenttiä sedimenttiä.

Läjitystöiden aikana havaittiin niistä johtuvia muutoksia sedimentaatiossa korkeintaan 600 metrin etäisyydellä läjitysalueesta D. Läjitystöiden vaikutukset näkyivät sedimentoituneen kiintoaineksen määrän kasvuna ja orgaanisen aineksen pitoisuuden laskuna toisella mittausjaksolla. Selvimmät muutokset havaittiin lähimpänä läjitys-aluetta sijainneilla pisteillä U1 ja U8 (Kuva 38).



Kuva 38. Vuorokaudessa keskimäärin sedimentoituneen kiintoaineksen määrät kullakin sedimentaation mittauspisteellä eri mittausjaksojen aikana. Vertailupisteet U9 ja U10 edustavat alueen luontaista sedimentaatiota. Johtuen läjityksistä toisen mittausjakson aikana sedimentaatiomäärät läjitysalueen läheisillä pisteillä U1 ja U8 olivat huomattavan korkeat.

Viisi kuukautta läjitys- ja ruoppaustöiden päättymisen jälkeen sedimentoituvan kiintoaineksen määrä ja orgaanisen aineksen pitoisuus alueella vaikuttavat palanneen alkuperäiselle, 330 000 proomukuution läjittämistä edeltäneelle tasolle (Taulukot 16 ja 17). Sedimentaatiomäärät olivat kasvaneet kaikilla mittauspisteillä viimeisellä mittausjaksolla suhteessa vuotta aiempaan ensimmäiseen mittausjaksoon. Vertailupisteiden perusteella kasvu on seurausta luontaisesta sedimentaatiomäärien lisääntymisestä, eikä läjityksistä johtuvia muutoksia ollut havaittavissa. Eniten sedimentoituneen kiintoaineksen määrä oli noussut vertailupisteellä U10. Vuoden 2015 toukokuu oli huomattavasti edeltävää vuotta sateisempi Isokarin mittausasemalla, mikä on todennäköisesti lisännyt kiintoaineksen huuhtoutumista ja kulkeutumista merialueelle (Ilmatieteen laitos 2015)

Taulukko 16. Sedimentaation vuorokauden keskiarvo eri mittausjaksojen aikana nelioometriä kohden. Toisen ja kolmannen mittausjakson tuloksia on verrattu ensimmäisen jakson tuloksiin laskemalla muutosprosentti. Näytepisteet U1–U8 sijaitsevat läjitysalueen D välittömässä läheisyydessä ja pisteet U9 ja U10 ovat vertailupisteitä, jotka edustavat alueen luontaista sedimentaatiota. Taulukossa on esitetty myös näytepisteiden etäisyys läjitysalueen D reunasta.

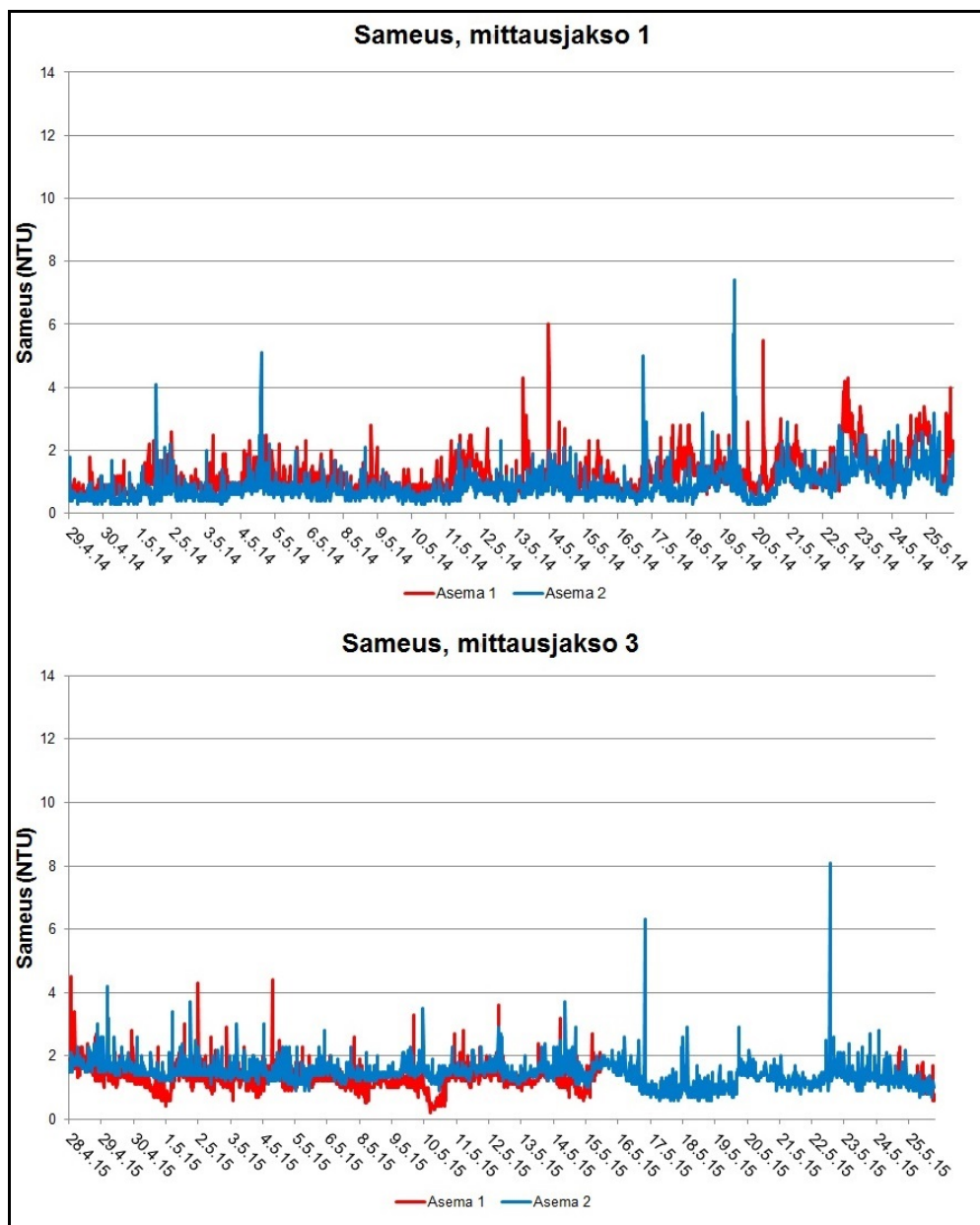
Näytepiste	Mittausjakso 1 29.4.–26.5.2014	Mittausjakso 2 6.10.–3.11.2014		Mittausjakso 3 28.4.–26.5.2015		Etäisyys läjitysalueesta D
	keskiarvo g/m ² /d	keskiarvo g/m ² /d	Muutos-% verrattuna jaksoon 1	keskiarvo g/m ² /d	Muutos-% verrattuna jaksoon 1	
U1	10,6	368	3 472 %	14,7	139 %	143 m
U2	12,2	113	926 %	16,4	134 %	195 m
U3	11,2	104	929 %	14,8	132 %	465 m
U4	13,0	102	785 %	16,5	127 %	325 m
U5	11,7	131	1 120 %	16,7	143 %	512 m
U6	10,2	55	539 %	10,0	98 %	809 m
U7	9,6	28	292 %	10,9	114 %	805 m
U8	7,3	2 986	40 904 %	9,6	132 %	63 m
U9	14,6	50	342 %	20,4	140 %	4 071 m
U10	9,2	55	598 %	20,4	222 %	4 590 m

Taulukko 17. Näytepisteillä sedimentoituneen kiintoaineksen hehkutusjäännös mittausjaksoilla. Näytepisteet U9 ja U10 ovat vertailupisteitä, jotka edustavat alueen luontaista sedimentaatiota. Taulukossa on esitetty myös näytepisteiden etäisyys läjitysalueen D reunasta.

Näyte- piste	Mittausjakso 1 29.4.–26.5.2014	Mittausjakso 2 6.10.–3.11.2014	Mittausjakso 3 28.4.–26.5.2015	Etäisyys läjitysalueesta D
	hehkutusjäännös %	hehkutusjäännös %	hehkutusjäännös %	
U1	90,6	98,0	89,5	143 m
U2	91	96,2	89,7	195 m
U3	90,6	95,7	90,0	465 m
U4	89,5	95,4	89,4	325 m
U5	88,1	96,0	90,3	512 m
U6	87,7	94,5	89,2	809 m
U7	87	91,8	89,5	805 m
U8	89	98,9	89,5	63 m
U9	88	91,4	89,1	4 071 m
U10	85,8	88,9	87,9	4 590 m

Uudenkaupungin väylän ruoppaus- ja läjityshankkeen vesistö- ja kalataloustarkkailua suorittanut Kala- ja vesitutkimus Oy seurasi myös sedimentaation muutoksia sedimenttikeräinten avulla läjitysalueiden C ja D lähistöllä. Seurannassa sijoitettiin kummastakin läjitysalueesta 100–800 metrin etäisyydelle neljän sedimentaatiopisteen linjasto. Läjitysalueen D linjasto kulki läjitysalueesta etelään ja läjitysalueelta C lounaaseen. Seuranta toteutettiin läjitys- ja ruoppaustöiden aikana 20.12.2013–3.1.2014 ja 6.–20.10.2014, sekä noin vuosi väylähankkeen valmistumisen jälkeen 9.–23.10.2015. Seurannan tulokset (Vatanen 2015) olivat samaa suuruusluokkaa kuin tämän tutkimuksen tulokset, vaikka ne eivät olekaan täysin vertailukelpoisia mittausjaksojen eriaikaisuuden ja pituuden sekä sedimenttikeräinten erilaisen sijainnin vuoksi. Seurannan tuloksissa oli havaittavissa läjitysten aikana selvä sedimentoituneen kiintoaineksen määrän lisääntyminen sekä orgaanisen aineksen määrän vähentyminen erityisesti noin 600 metrin säteellä läjitysalueesta. Läjitys- ja ruoppaustöiden vaikutus oli selkeä varsinkin läjitysalueen C ympäristössä. Tosin tämän sedimentaatiotutkimuksen loka-marraskuun sedimentaatiomäärät (mittausjakso 2) olivat selvästi seurannan tuloksia korkeammat läjitysalueen D läheisyydessä, mikä selittyy mittausjakson sijoittumisesta intensiivisempien läjitys- ja ruoppaustöiden aikaan. Myös lokakuussa 2015 toteutetun jälkiseurannan tulokset olivat samansuuntaisia tämän sedimentaatiotutkimuksen tulosten kanssa. Tuolloin sedimentaatiomäärät läjitysalueen D läheisyydessä olivat noin 7–16 g/m²/d ja läjitysalueen C läheisyydessä sedimentoituneen kiintoaineksen määrät olivat noin puolet pienempiä, keskimäärin 7,5 g/m²/d. Orgaanisen aineksen pitoisuudet olivat läjitysalueiden C ja D läheisyydessä samaa luokkaa eli noin 10 %.

Myöskään sameudessa ei havaittu vuoden 2014 läjitys- ja ruoppaustöistä johtuvia muutoksia, vaan ensimmäisen ja kolmannen mittausjakson mitatut sameudet olivat samaa suuruusluokkaa (Kuva 39). Sameusmittausten tulokset vastasivat rannikon läheisillä merialueilla yleisesti mitattavia 1–3 NTU yksikön suuruusluokkaa olevia tausta-arvoja ja tulokset vastasivat myös tutkimusalueen ympäristössä aikaisemmin tehdyissä sameusmittauksissa (Turkki 2014, Lindfors ja Kiirikki 2012). Pohjanläheinen sameus oli keskimäärin 1,1 NTU-yksikköä ensimmäisellä mittausjaksolla ja 1,5 NTU-yksikköä kolmannella mittausjaksolla. Tämän suuruusluokan vaihtelut ovat hyvin pieniä eikä ihmissilmä pysty niitä havaitsemaan. Paljain silmin havaittavan sameuden rajana pidetään yleisesti kymmenen NTU-yksikön sameutta, joka laskee näkösyvyyden yhden metrin tasolle (Lindfors ja Kiirikki 2012). Sameustason vähäinen nousu vuoden 2015 keväällä vastaa hyvin sedimentaatiotuloksia, joissa myös havaittiin luontainen sedimentaatiomäärien kasvu.



Kuva 39. Ensimmäisen ja kolmannen mittausjakson jatkuvatoimisten sameusmittaustulosten vertailu.

Läjäytystöiden vaikutukset läjitysalueen lähiympäristön pohjanläheiseen sameuteen olivat selvät läjitysten aikana. Läjäytystöiden aikana mitatut sameuden arvot nousivat hetkellisesti jopa noin 250 NTU-yksikköön ja yksittäisen läjityksen aiheuttama samentuma häveni noin 45 minuutin kuluessa. Enintään läjityksestä johtuva samentuma kesti kaksi tuntia. Osa läjityksistä ei aiheuttanut lainkaan kummalaakaan mittausasemalla havaittavissa ollutta samentumaa.

Tulosten tarkastelussa tulee huomioida, että läjitysalueelle D oli läjitetty tutkimuksen alkaessa 233 000 proomukuutiota ruoppausmassoja kolme ja puoli kuukautta ennen tutkimuksen ensimmäistä mittausjaksoa. Läjitysalueen D läheisyydestä (pisteet U1–U8) saatuihin tuloksiin vaikuttavat siten mahdollisesti alueelle jo läjitetyt massat. Näiden pisteiden ensimmäisen mittausjakson tulokset eivät edusta luonnollista alkutilannetta, vaan myöhempiä 330 000 proomukuution läjityksiä edeltävää tilannetta.

7.4 Sedimenttikeräinten käyttökelpoisuus

Sedimenttikeräimet toimivat tämän tutkimuksen perusteella hyvin läjäytystöiden vaikutusten seurannassa ja antavat kokonaiskuvan pitkän aikavälin muutoksista. Läjäytystöiden vaikutukset sedimentaatioon pystyttiin tunnistamaan sedimenttikeräimillä saadusta aineistosta ja jatkuvatoimiset sameusmittaukset korreloivat hyvin sedimentaatiotulosten kanssa. Myös Kala- ja vesitutkimus Oy:n alueella toteuttaman sedimentaatioseurannan (Vatanen 2015) tulokset olivat samaa suuruusluokkaa tämän tutkimuksen tulosten kanssa.

Sedimenttikeräimen on hyvä koostua vähintään kahdesta keräinputkesta rinnakkaisien näytteiden saamiseksi. Tässä tutkimuksessa sedimenttikeräin koostui kahdesta keräinputkesta, joihin kertynyt kiintoaine oli määrältään ja orgaanisen aineksen pitoisuudeltaan samankaltaista. Koko tutkimuksen aikana saman sedimenttikeräimen kahdesta keräinputkesta saatujen rinnakkaisnäytteiden välillä oli keskimäärin 6 % ero sedimentoituneen kiintoaineen määrässä. Vertailupisteiden käyttö tutkimuksessa on tärkeää tulosten oikean tulkinnan kannalta, sillä sedimentaatio vaihtelee paljon myös luontaisesti. Sedimentaatiotutkimusta suunniteltaessa tulee kerätä riittävät pohjatiedot tutkimusalueen pohjadynamiikasta ja topografiasta. Muun muassa tarkan syvyysaineiston käyttö on hyvin suositeltavaa.

Pintakohojen varassa olevat sedimenttikeräimet ovat herkempiä kalustovaurioille kuin akustisilla laukaisimilla varustetut painolaatikossa olevat sedimenttikeräimet. Pintakohot voivat vaurioitua alusliikenteen takia ja ovat myös alttiimpia vandalismille. Varsinkin jos tutkimuksia on tarpeen tehdä väyläalueella, ovat akustisilla laukaisimilla varustetut sedimenttikeräimet suositeltavia.

Sedimenttikeräinten keskeisenä virhelähteenä on se, että keräysputken korkeuden vuoksi ne eivät kerää aivan pohjanläheisyydessä kulkeutuvaa kiintoainesta. Putkien on kuitenkin oltava riittävän korkeita suhteessa leveyteen, jottei sinne kertynyt aines resuspentoidu uudelleen. Sedimenttikeräimiin kertyvän kiintoaineen määrä ei myöskään edusta täysin luonnollista sedimentaatiota, sillä keräimiin kertyvä materiaali jää pois kiintoaineen luonnollisesta kierrosta. Sedimenttikeräimet eivät tästä syystä anna täysin todellista kuvaa alueen sedimentaatiomääristä varsinkaan eroosiopohjilla.

Kirjallisuus

FCG Oy 2010. Uudenkaupungin väylän keskileton läjitysalueen sedimenttitutkimus. Tutkimusraportti.

Grabowski, R.C., Droppo, I.G. ja Wharton, G. 2011. Erodibility of cohesive sediment: The importance of sediment properties. *Earth-Science Reviews*, vol. 105, s. 101–120

Haikonen, A. 2009. Uudenkaupungin edustan kalataloudellinen velvoitetarkkailu 2009 - tarkkailusuunnitelma. Kala- ja vesitutkimus Oy.

Hentschke, U., Schubert, B. ja Maaß, B. 2009. On the behaviour of dredged material at a disposal site in the German Bight, North Sea. 6th SedNet Conference, 7-9 October 2009.

Helsingin Satama 2012. Ruoppausmassojen meriläjitysalue Helsingin edustalla. Ympäristövaikutusten arviointiohjelma. Helsingin Satama, julkaisusarja B2012:12. Saatavana Internetissä, sivulla vierailtu 24.10.2014.
https://www.portofhelsinki.fi/download/15759_Helsa_YVA-selostus.pdf

Ilmatieteen laitos 2015. FMI catalog, avoin data -palvelu.
<http://catalog.fmi.fi/geonetwork/srv/en/main.home>

Jumppanen, K. 2000. Turun sataman ruoppausmassojen läjityksen vesistövaikutusten tarkkailu vuonna 1999. Vuosiyhteenveto. Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy. Tutkimusseloste 162.

Kiirikki, M. ja Rasmus, K. 2013. Arvio luonnollisen resuspension suuruusluokasta Suomenlahden avoimella merialueella. Luode Consulting Oy.

Kirkkala, T. 2004. Tutkimusohjelma Uudenkaupungin merialueen tarkkailututkimusta varten. Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy.

Korkka, E. 1995. Turun sataman ruoppaus- ja läjitystoiminnan sedimenttivaikutuksista. Pro Gradu -tutkielma, Turun Yliopisto, Geologian laitos, maaperägeologian osasto.

Kuulusa, M. 1999. Pohjois-Airiston merialueen pintasedimenttitutkimus. Pro Gradu -tutkielma, Turun Yliopisto, Geologian laitos, maaperägeologian osasto.

Lindfors, A. ja Kiirikki, M. 2009. Arvioläjitystoiminnan aiheuttamasta veden sameneemisesta Pohjakurun väylätyön läjitysalueiden L0, L2 ja L4 ympäristössä. Luode Consulting Oy.

Lindfors, A. ja Kiirikki, M. 2012. Arvioläjitystoiminnan aiheuttamasta veden sameneemisestä Uudenkaupungin läjityspaikan ympäristössä. Luode Consulting Oy.

Lindfors, A. ja Mykkänen, J. 2013. Kruunuvuorenselän ja Sompasaaren edustan virtaus- ja vedenlaatumittaukset. Luode Consulting Oy.

Meritaito Oy 2013. Uudenkaupungin 12,5 m väylän rakennussuunnitelma. Työselostus.

Pequegnat, W. E., Gallaway, B. ja Wright, T. 1990. Revised Procedural Guide for Designation Surveys of Ocean Dredged Material Disposal Sites.

Turkki, H. 2007. Uudenkaupungin merialueen pohjaeläintutkimus vuonna 2006. Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy.

Turkki, H. 2011. Uudenkaupungin merialueen pohjaeläintutkimus vuonna 2010. Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy.

Turkki, H. 2014. Uudenkaupungin merialueen kuormitus ja tila. Vuosiraportti 2013. Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy.

Vaittinen, T. 2014. Meriläjityksen fysikaaliset vaikutukset Haminassa ja Naantalissa. Liikennevirasto, infra- ja ympäristöosasto. Helsinki 2014. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 21/2014. Saatavana Internetissä, sivulla vierailtu 23.10.2014. http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts_2014-21_merilajityksen_fysikaaliset_web.pdf

Vatanen, S. 2015. Sedimentaatio 2013–2015, tulostaulukko. Henkilökohtainen tiedoksianto.

Vatanen, S. ja Haikonen, A. 2008. Vuosaaren satamahankkeen vesistö- ja kalatalousseuranta 2007. Vuosaaren satamahankkeen julkaisuja 1/2008.

Vatanen, S. ja Haikonen, A. 2013. Uudenkaupungin väylän ja sataman ruoppaus- ja läjityshankkeen vesistö- ja kalataloustarkkailuohjelma. Kala- ja vesitutkimus Oy, Kala- ja vesimonisteita nro 109.

Vatanen, S., Haikonen, A. ja Kervinen, J. 2014. Uudenkaupungin väylän ja sataman ruoppaus- ja läjityshankkeen vesistö- ja kalataloustarkkailu - Ennakkotarkkailu sekä rakentamisen aikainen tarkkailu vuonna 2013. Kala- ja vesitutkimus Oy, Kala- ja vesimonisteita nro 137.

Vatanen, S., Haikonen, A. ja Piispanen, A. (toim.) 2012. Vuosaaren sataman rakentamisen aikaisen (2003–2008) vesistö- ja kalataloustarkkailun yhteenvetoraportti. Kala- ja vesimonisteita nro 57. Kala- ja vesitutkimus Oy.

Virtanen, P. 1993. Merenalaisen soranoton ja läjityksen vaikutukset merenpohjan geologisiin olosuhteisiin Helsingin itäpuolella. Pro gradu -tutkielma, Turun yliopisto, Geologian laitos, maaperägeologian osasto.

Ympäristöministeriö 2015. Sedimenttien ruoppaus- ja läjitysohje. Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2015.

Toisen mittausjakson aikana (6.10.2014– 3.11.2014) läjitysalueelle D läjitetyt massat

Päivämäärä	Kellonaika	Ruoppausalue	Maalaji	Massojen läjitys- tyspaikka	Proomukuutiot
17.10.2014	23:52	90A	Louhe	D	900
18.10.2014	2:33	90A	Louhe	D	900
	4:42	90A	Louhe	D	900
	7:31	90A	Louhe	D	900
	10:55	90A	Louhe	D	900
	13:49	90A	Louhe	D	900
	15:31	90A	Louhe	D	900
	18:06	90A	Louhe	D	900
	21:27	90A	Louhe	D	900
19.10.2014	0:59	190	Savi	D	700
	2:45	190	Savi	D	700
	11:36	90A	Moreeni	D	850
	12:22	190	Savi	D	700
	14:22	90A	Louhe	D	900
	17:11	90A	Louhe	D	900
	19:38	90A	Louhe	D	900
	23:07	90A	Louhe	D	900
20.10.2014	1:11	90A	Moreeni	D	900
	2:00	162	Louhe	D	700
	4:38	90A	Moreeni	D	900
	7:31	90A	Moreeni	D	900
	10:52	90A	Moreeni	D	900
	13:47	90A	Moreeni	D	900
	17:33	90A	Moreeni	D	900
	20:57	90A	Moreeni	D	900
21.10.2014	3:03	90A	Moreeni	D	900
	9:10	90A	Moreeni	D	900
22.10.2014	3:01	satama	Savi	D	900
27.10.2014	14:09	180	Louhe	D	900
	15:47	180	Louhe	D	900
28.10.2014	10:00	satama	Savi	D	700
	11:17	satama	Savi	D	700
	12:54	satama	Savi	D	700
	14:00	satama	Savi	D	700
	15:38	satama	Savi	D	850
	16:53	satama	Savi	D	850
	18:01	satama	Savi	D	700
	20:06	satama	Savi	D	850
	22:42	satama	Moreeni	D	800

Päivämäärä	Kellonaika	Ruoppausalue	Maalaji	Massojen läjitys- tyspaikka	Proomukuutiot
29.10.2014	1:00	satama	Moreeni	D	600
	3:39	satama	Moreeni	D	750
	9:45	satama	Savi	D	800
	10:32	satama	Savi	D	650
	11:56	satama	Savi	D	800
	13:33	satama	Savi	D	800
	14:51	satama	Savi	D	800
	15:56	satama	Savi	D	650
	17:44	satama	Savi	D	800
	19:17	satama	Savi	D	850
	21:19	satama	Savi	D	700
	23:15	satama	Savi	D	850
30.10.2014	1:05	satama	Savi	D	850
	2:27	satama	Savi	D	700
	3:58	satama	Savi	D	850
	5:26	satama	Savi	D	850
	6:50	satama	Savi	D	700
	8:13	satama	Savi	D	850
	9:38	satama	Savi	D	850
	10:38	satama	Savi	D	700
	11:54	satama	Savi	D	850
	13:17	satama	Savi	D	850
	15:47	satama	Savi	D	850
	18:44	satama	Savi	D	700
21:27	satama	Savi	D	700	
31.10.2014	3:00	100	Moreeni	D	700
2.11.2014	2:42	satama	Moreeni	D	800
	5:06	satama	Moreeni	D	750
	7:02	satama	Moreeni	D	750
	9:02	satama	Moreeni	D	750
	10:44	satama	Moreeni	D	750
	14:21	satama	Moreeni	D	850

ISSN-L 1798-6656
ISSN 1798-6664
ISBN 978-952-317-256-2
www.liikennevirasto.fi

Liik
enne
vira
sto

