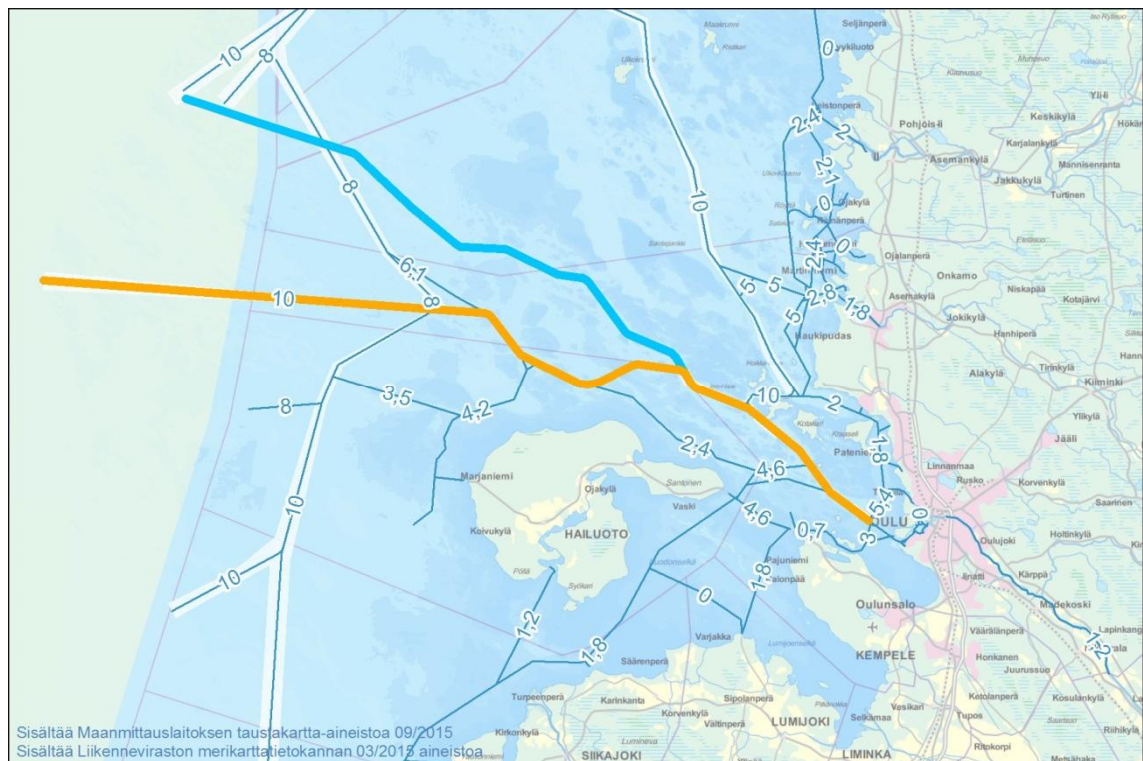




LIIKENNEVIRASTO OULUN SATAMA OY

Oulun meriväylän syventäminen

Vesistömallinnus

COPYRIGHT © PÖYRY FINLAND OY

Kaikki oikeudet pidätetään Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman Pöyry Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

Pohjakartat © Maanmittauslaitos.

Merikarttarasteriaineisto © Liikennevirasto lupa nro LIVI/5327/07.03.01/201 5

Sisältö

1	JOHDANTO	3
2	LASKENTA.....	3
2.1	TYÖN KUVAUS JA KÄYTETYT ARVIOINTIMENETELMÄT	3
2.2	MALLIHILA	7
2.3	OLOSUHDETIEDOT	9
3	MALLINNUSTULOKSET	10
3.1	VAIHTUVA TUULITILANNE	10
3.1.1	<i>Veden kiintoainepitoisuudet.....</i>	<i>10</i>
3.1.2	<i>VE1 ja VE2 Sataman ja tuloväylän imuruoppaukset.....</i>	<i>11</i>
3.1.3	<i>VE1 ja VE2 Ruoppauskohde RK4 (Hietakari).....</i>	<i>14</i>
3.1.4	<i>Väylä VE1 Hailuodon pohjoispuoli.....</i>	<i>16</i>
3.1.5	<i>Väylä VE2 ruoppauskohde RK3.....</i>	<i>18</i>
3.1.6	<i>Väylä VE2 ruoppauskohde RK2.....</i>	<i>20</i>
3.1.7	<i>Veden ravinnepitoisuudet, VE1 ja VE2 Sataman ja tuloväylän imuruoppaukset.....</i>	<i>20</i>
3.2	VAKIOTUULITILANTEET	22
3.2.1	<i>Merialueen virtaukset.....</i>	<i>22</i>
3.2.2	<i>Veden kiintoainepitoisuudet.....</i>	<i>24</i>
4	EPÄVARMUUSTEKIJÄT	25
5	HAVAINTOJA TOTEUTETTUIEN RUOPPAUSTEN VESISTÖVAIKUTUKSISTA	25
6	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	26
7	LÄHTEET	27

LIITTEET

1. Vaihtelevien tuulien tilanne, aikasarjakuvat (4 kk)
2. Vakiotuulitilanteiden jakaumakuvat

FM Heimo Vepsä, geofyysikko
MMM Lotta Lehtinen, limnologi
MMM Lasse Rantala, projektipäällikkö

1 JOHDANTO

Oulun sataman sisääntuloväylänä toimii nykyään syväväylä, jonka kulkusyvyys on 10,0 metriä. Väylän nykyinen kulkusyvyys on sataman toiminnan ja laivaliikenteen tulevaisuuden näkökulmasta riittämätön. Liikennevirasto suunnittelee meriväylän syventämistä 12,0–12,5 metrin kulkusyvyYTEEN, ja Oulun Satama suunnittelee sataman syventämistä 12,5 metrin kulkusyvyYTEEN. Hankekokonaisuudesta on käynnissä YVA-menettely, jossa on kolme vaihtoehtoa.

Nykyisen meriväylän syventäminen (VE1) edellyttäisi melko suurta ruoppausmäärää useissa ruoppauskohteissa pitkin väylää. Tämä vaihtoehto on kustannuksiltaan ja toteuttavuudeltaan todettu esisuunnitteluvaiheissa epäedulliseksi. Uusi väylälinjaus (VE2) kulkee pääosin luonnonsyvällä alueella ja kokonaan uutta linjausta on noin 55 km (kuva 1). Ruoppauskohteita on suunnitelmien mukaan viisi kappaletta ja alustavasti ruoppausmassat läjitetään vesiläjityksenä neljässä kohdassa väyläalueelle. Mikäli väylää ei syvennetä lainkaan (VE0), kunnostusruoppauksia joudutaan suorittamaan myös jatkossa tarpeen mukaan. Väylä on ruopattu viimeksi v. 2008–2010. Satamasta ruopattaville massoille rakennetaan uudet selkeytys- ja läjitysaltaat satama-alueelle nykyisten altaiden viereen. Satamaa on ruopattu viimeksi v. 2013.

Sataman ja väylän ruoppausten vesistövaikutusarvion perusteeksi sekä tulosten visualisoimiseksi ja havainnollistamiseksi laadittiin osana YVA-prosessia veden laadun mallinnus. Mallinnus on laskennallinen menetelmä, jonka avulla voidaan laskea eri ruoppausmenetelmien, työvaiheiden ja työalueiden sekä ympäristöolojen vaikutusta sameuden leviämiseen ja ainepitoisuuksiin. Tulokset ovat merkittävä apu arvioitaessa vaikutusten vaikutuslaajuutta, voimakkuutta ja pysyvyyttä.

Tässä raportissa on arvioitu vesistömallinnustulosten perusteella ruoppausten ja läjityksen aiheuttamaa samentumista eli kiintoainepitoisuuden nousua ja kiintoaineen kulkeutumista Oulun edustan merialueella. Mallinuksissa on huomioitu sekä satamassa tehtävät imuruoppaustyöt että molempien väylän linjausvaihtoehtojen työkohteet.

2 LASKENTA

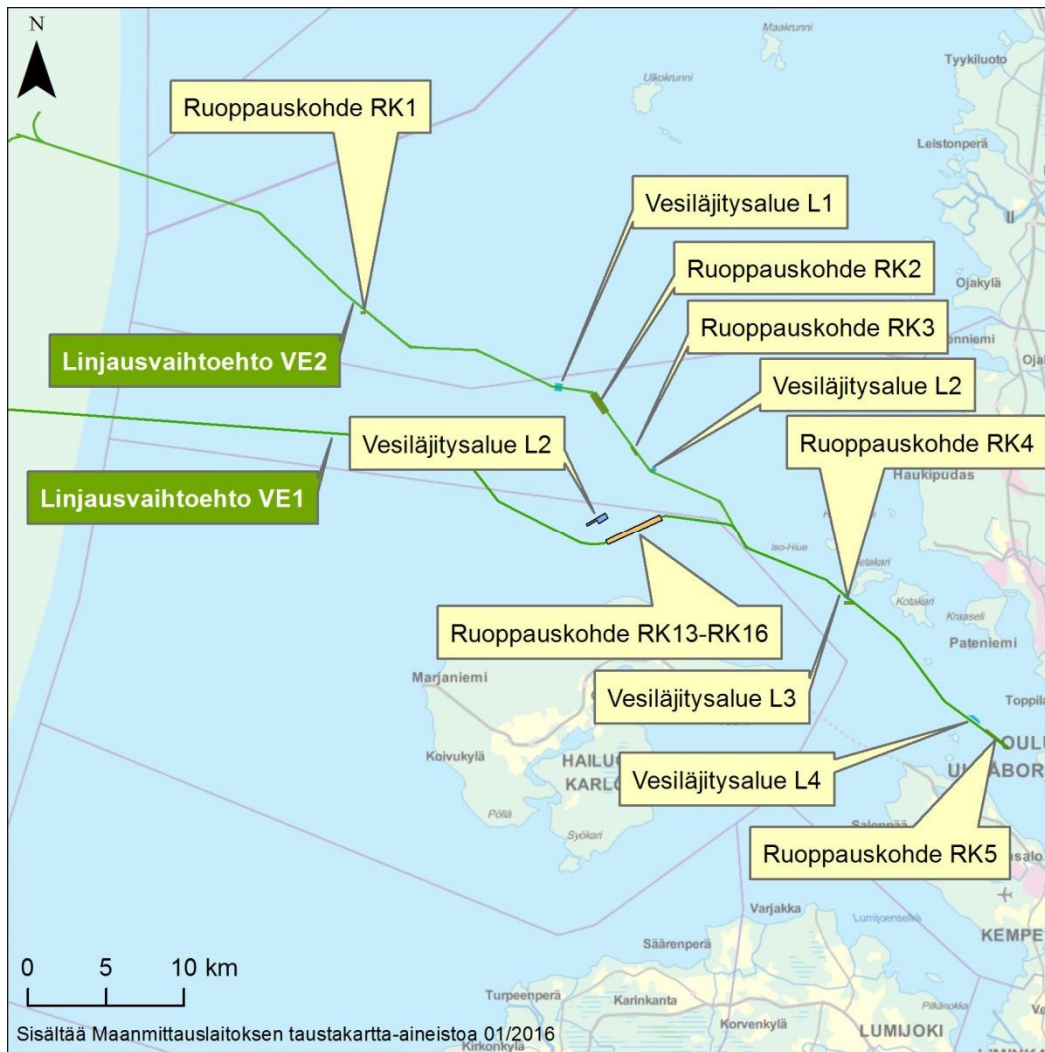
2.1 Työn kuvaus ja käytetyt arviointimenetelmät

Väylä ruopataan kulkusyvyYTEEN 12,0 m (haraustaso -14,0 m). Vaihtoehdossa VE1 pääasialliset ruoppauskohteet ovat Hailuodon pohjoispuolisella väyläalueella, minkä lisäksi kaksi kohdetta (RK5 ja RK4) on lähempänä Oulua (Kuva 1). Ruoppausmassoja on yhteensä 1 660 000 m³ ktr ja ruopattavaa pinta-alaa on noin 1 650 000 m²tr.

Vaihtoehdossa VE2 ruoppauskohteita väylällä on viisi kappaletta (RK1–RK5). Kohteet on merkitty kuvaan. Ruoppausmassojen määrä on noin 212 000 m³ ktr ja ruopattavaa pinta-alaa on noin 198 000 m²tr.

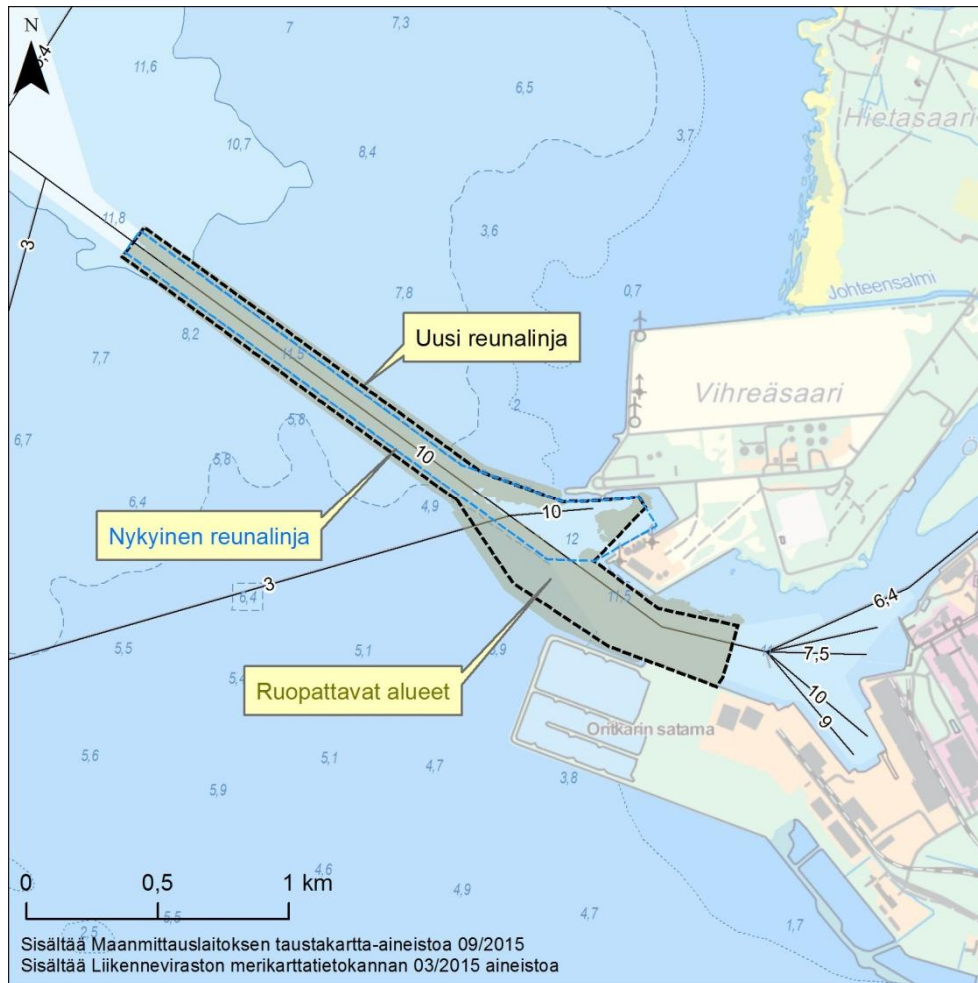
Oulun satamassa ruopataan tuloväylä ja satama-allas kulkusyvyYTEEN 12,5 m (haraustaso -13,8 m). Ruoppausmassojen määrä on yhteensä 1,6 milj. m³ ktr ja ruopattavaa pinta-alaa on noin 660 000 m²tr (Kuva 2). Satama-alueen altaisiin on suunniteltu läjitettävän satama-altaan ja tuloväylän ruoppauksesta syntyvien massojen lisäksi myös väylän

ruoppauskohteen RK5 ruoppausmassat ja mahdollisesti myös ruoppauskohteen RK4 massat.



Kuva 1. VE2 ja VE1 väylälinjaukset sekä ruoppaus- ja läjityskohteet.

Mallinnukset tehtiin sataman imuruoppauksen, väylän ruoppauskohteiden RK2–RK4 sekä olemassa olevan väylän (VE1) Hailuodon pohjoispuolella olevien ruoppauskohteiden osalta. Väylälinjauksen VE1 alueelta mallinnettiin Hiidenniemen kohdalla 2008–2010 tehdyn huoltoruoppauksen kohteet RK13–16. Väylän syventäminen Hailuodon pohjoispuolella vaatisi ruoppauksia käytännössä koko väyläalueella. Väylän ruoppauskohde RK5 on suunniteltu imuruopattavaksi, joten sen mallinnus tapahtuu sataman ruoppauksen yhteydessä. Näin ollen mallinnus toteutettiin kaikilla suunnitelluilla ruoppauskohteilla lukuun ottamatta vaihtoehdon VE2 ulointa kohdetta, mitä ei pienen massamäärän (1000 m³ ktr) ja kohteen sijainnin vuoksi nähty tarpeelliseksi.



Kuva 2. Tuloväylällä ja satamassa tehtävät ruoppaukset.

Satamassa ja tuloväylällä imuruopattava massamäärä on noin 1,6 Mm³ ja työn arvioidaan kestävän yhden avovesikauden (Taulukko 1). Imuruoppaajan pumppausteho on 9 000 m³/h, katkokset huomioiden 6 600 m³/h eli 1,8 m³/s. Työ tehdään kolmessa vuorossa vuorokauden ympäri. Imuruoppaajan työalueella ei kokemuksiin perustuen aiheudu juurikaan samennusta. Siten mallinnus kohdistuu selkeytysaltaasta purkautuvan yliteveden vaikutuksiin. Vuonna 2014 toteutetun satama-alueen imuruoppauksen vaikutukset on mallinnettu vastaavalla tavalla vuonna 2012 vesilupahakemuksen (Pöyry Finland Oy 2012) yhteydessä. Perustuen vuoden 2014 ruoppauksen tarkkailutuloksiin yliteveden kiintoainepitoisuutena käytettiin 200 mg/l. Ravinteiden lähtöpitoisuudet olivat 200 µg/l kokonaisfosforia ja 2 000 µg/l kokonaistyppeä. Vuoden 2014 ruoppaustarkkailun (Pöyry Finland Oy 2015b) perusteella jälkiselkeytysaltaasta purkautuvan veden kiintoainepitoisuus vaihteli välillä 31–630 mg/l (keskiarvo 186 mg/l) ja sameusarvot välillä 30–800 FTU (keskiarvo 222 FTU). Kokonaisfosforipitoisuus vaihteli ylitevedessä välillä 45–600 µg/l (keskiarvo 184 µg/l) ja typpipitoisuus välillä 660–2800 µg/l (keskiarvo 1900 µg/l). Imuruoppausmassojen selkeytystä on suunniteltu tehostettavan kemikaloinnilla.

Väylällä mallinnetuissa ruoppausmäärältään vähäisemmissä kohteissa RK4 ja VE2 linjauksen kohteissa RK2 ja RK3 ruoppaustehoksi arvioitiin 3 500 m³/d. Läjitykseen käytettävän proomun lastitilavuudeksi arvioitiin 3 000–5 000 m³. Läjitystä tapahtuisi kuitenkin lähes jatkuvasti ottaen huomioon massan löyhtyminen. Läjitysalueeksi oletettiin lähin

mahdollinen läjitysalue L1–L3 (Kuva 1). Ruoppaus- ja läjitystoiminnan oletettiin tapahtuvan lähinnä rantaa ja asutusta sijaitsevilla kohteella RK4 kahdessa vuorossa (klo 6–20), mutta muutoin kolmessa vuorossa vuorokauden ympäri.

Vaihtoehtoon VE1 mallinnetussa kohteessa Hailuodon pohjoispuolella ruoppaustehoksi arvioitiin 7 000 m³/d (2 kaivuria ja 2 proomua). Kokonaisuudessaan VE1 ruoppausmäärä on 1 600 000 m³ ja töiden kesto olisi siten noin 8 kk eli kaksi avovesikautta (kesä-syyskuu). Läjitysalueena käytettäisiin todennäköisesti aiemmissa huoltoruoppauksissa käytettyä läjitysalueetta L2 (Kuva 2).

Ruopattava kokonaismassamäärä ja ruoppauksen ajoittuminen eivät vaikuta mallinnettuihin vesistökuormituksiin, vaan määräävänä tekijänä on ruoppausteho (ruopattava määrä, m³/h), joten mallinnustuloksia ei ole sidottu mihinkään varsinaiseen ajankohtaan. Ruoppaus- ja läjitystoiminnan on oletettu tapahtuvan jakson läpi jatkuvana yhdessä, paikallaan pysyvässä pisteessä. Näin saadaan arvio pitoisuuksista riippumatta siitä, minä päivänä toiminta oikeasti tulee tapahtumaan. Väylän kauharuoppausten ja ruopattun massan läjityksen ajatellaan tapahtuvan samanaikaisesti eli ruopattu massa oletetaan kuljetettavan läjitysalueelle proomulla ilman taukoja.

Taulukko 1. Ruoppauskohteet, ruoppausmäärä- ja teho sekä arvioitu työn kesto.

Ruoppauskohde	YVA VE	Ruopattavat massat m3ktr	Ruopattava pinta-ala m2tr	Ruoppausteho m3 / d	Arvioitu kesto	Läjitys
Hailuodon pohj. puoli (RK13-16)	VE1	1 600 000		7 000	2 avovesikautta	huoltoruoppauksessa 2010 käytetty läjitysalue L2
RK1*	VE2	1 000	11 000	3 500	1 viikko	
RK2	VE2	14 000	20 000	3 500	2 viikkoa	väylälle L1
RK3		33 000	26 000	3 500	2 viikkoa	väylälle L2
RK4	VE1 ja VE2	8 000	11 000	3 500	2 viikkoa	väylälle L3 tai satamaan sataman imuruoppausaltaaseen
RK5		156 000	130 000	3 500		
Satama ja tuloväylä		1 600 000	660 000		1 avovesikausi	sataman imuruoppausaltaaseen

*ei mallinnettu

Kulkeutumismatka eli sameuden kesto riippuu aineksen laskeutumisnopeudesta, johon vaikuttaa partikkelin koko – mitä karkeampaa aines on sen nopeampaa on laskeutuminen ja päinvastoin. Hiesua suurijakoisempi aines vajoaa nopeasti pohjaan, eikä kulkeudu merkittäviä matkoja. Hiekka ja hieta vajoavat käytännössä välittömästi ruoppausalueelle tai sen läheisyyteen. Hieta laskeutuu yleensä nopeudella 0,88 cm/s ja hiekka 14,5 cm/s eli vain hiesu voi aiheuttaa laajempia samennusvaikutuksia ruoppausalueen ulkopuolella. Näin ollen mallinnus on tehty ainoastaan hiesulle ja sitä hienojakoisemmalle ainekselle.

Hienojakoisen aineksen keskimääräiseksi osuudeksi on arvioitu vuoden 2016 sedimenttitutkimuksen ja aikaisempien pohjatutkimusten perusteella väylällä 45 %. Yhden kauharuoppaajan arvioitu ruoppausteho on 3 500 m³/vrk. Tiheydellä 1 500 kg/m³ saadaan veden joutuvaksi hienojakoisen aineen määräksi noin 0,5 kg/s. Vajoamisnopeutena käyt-

tettiin arvoa 0,012 mm/s (1 m/d). Nopeus vastaa teoreettisesti sedimenttipartikkelin halkaisijaa 0,006 mm (6 μ m) eli hiesun keskijakeita (hieno/karkea hiesu).

Koska sataman lähellä on enemmän hienojakoisia sedimenttejä ja imuruoppausvedet selkeytyvät altaassa, käytettiin satamaruoppauksen ylivuotovesille laskeutumisnopeutta 0,5 m/d, joka vastaa partikkelikokoa noin 4 μ m (hieno hiesu/siltti). Sataman imuruoppauksissa selkeytsaltaasta poistuvan veden kiintoaineen on siten oletettu olevan 100 %:sti hienoa ja kaiken karkeamman aineksen jäävän altaaseen. Imuruoppaajan työalueelle ei arvioitu tulevan samentumaa. Sataman vakiotuulilaskennassa käytettiin kuitenkin epähuomiossa partikkelikokoa 6 μ m. Tästä syystä vakiotuulilla ja muuttuvilla tuulilla lasketut tulokset eivät täysin ole vertailukelpoisia. Vaikutus arvioitiin mallinnustuloksia vertaamalla kuitenkin niin vähäiseksi, ettei vakiotuulitilanteiden laskentaa uusittu.

Sedimenttitutkimusten (Pöyry Finland Oy 2016) perusteella näytteet olivat satama-alueella pääosin silttistä hiekkaa, tuloväylällä silttiä ja Hailuodon pohjoispuolella hiekkaa. Hehikutushäviön eli orgaanisen aineen pitoisuuden perusteella siltti määritellään liejuiseksi.

Ruoppauksen aikana osa pohja-aineksesta vapautuu vesimassaan ja vajoaa nopeasti kohti pohjaa. Osa hienojakoisesta aineksesta lietty veteen aiheuttaen sameuden ja kiintoainepitoisuuden nousua. Veteen aineksesta suspendoituu yleensä noin 1–5 %. Tarkka arvo riippuu mm. ruoppausmenetelmästä. Laskennassa on käytetty arviota, jossa 2 % massasta sekoittuu veteen. Tehty laskenta antaa siten käytetyllä 2 %:n sekoittumismäärällä maksimivaikutusarvion ruoppauksen aikaiselle samentumiselle.

Selkeytsaltaan yliteveden ravinnepitoisuuksien mallinnus tehtiin ravinteiden mallinnuksissa yleisimmin käyttämillämme parametreilla, jotka pohjautuvat päästötietojen ja havaittujen vedenlaatutietojen perusteella tehtyihin kalibrointeihin. Mallinnuksessa ravinneiden poistuman minimiarvoina käytettiin typelle 0,001 ja fosforille 0,0075. Mikäli puituma oletetaan ensimmäisen kertaluvun prosessiksi, vastaavat arvot pitoisuuden puoliintumisaikoja 693 vrk (typpi) ja 92 vrk (fosfori).

2.2 Mallihila

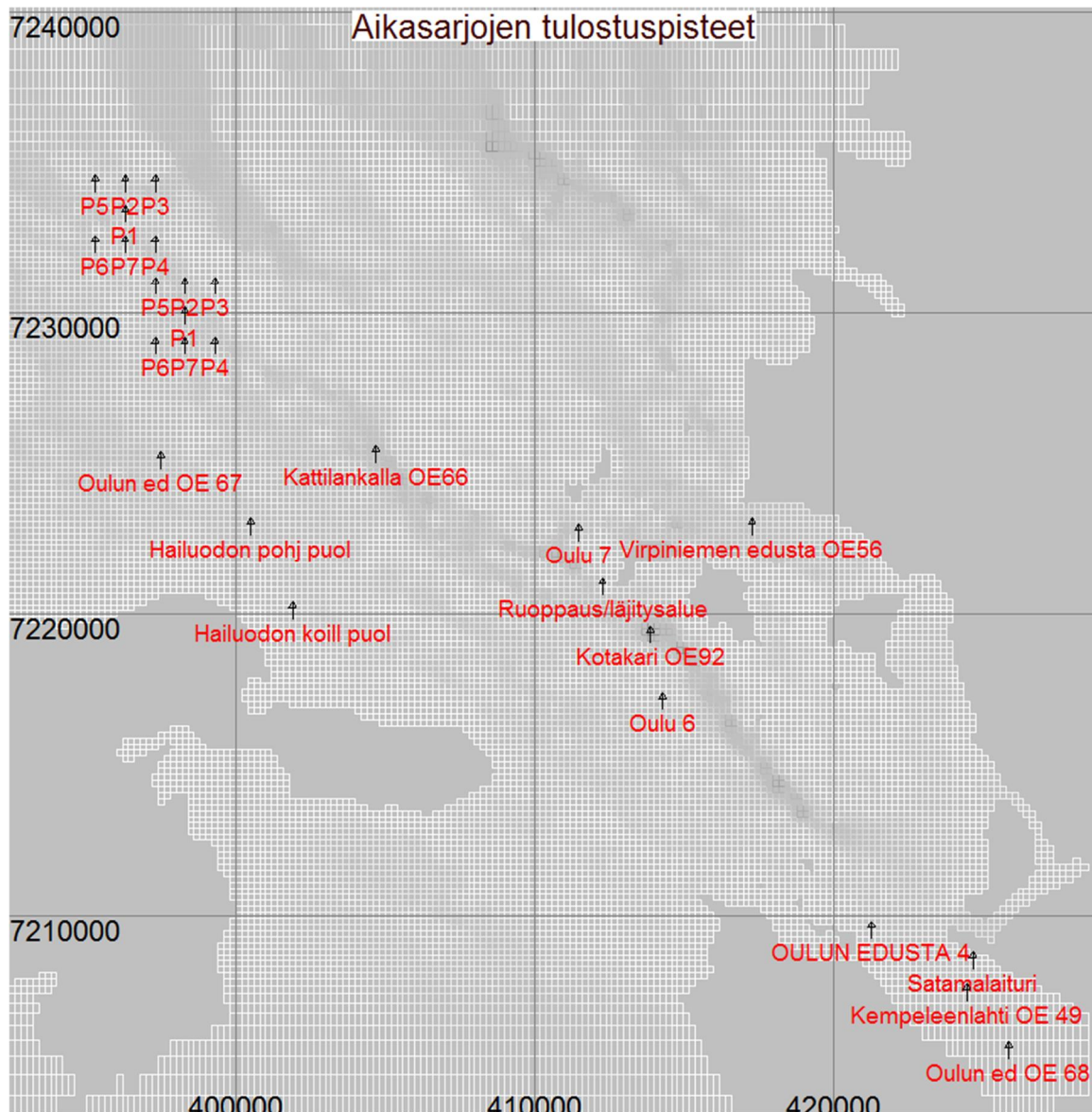
Ruoppaus- ja läjitysaluiden virtausoloja ja kiintoaineen kulkeutumista vesifaasissa laskettiin 3D-virtaus- ja vedenlaatumallin (Environmental Fluid Dynamics Code, EFDC) avulla. Mallin laadinnassa ja tulosten käsittelyssä käytettiin Dynamic Solutions Inc:in kehittämää käyttöliittymää (Craig, 2011).

Kullekin työkohteelle muodostettiin omat laskentahilat alueellisen kuvaustarkkuuden vaatimuksista johtuen. Mallissa käytetään alueellisesti muuttuvaa kuvausta siten, että mallin kuvaustarkkuus on tarkin työalueilla ja hilakoko kasvaa kauemmas etäännyttäessä (Kuva 3). Mallinnusalueen hilakoko kuvattiin tarkimmillaan työalueilla 200 metrin erotustarkkuudella, josta laskentaelementin koko tasaisesti kasvoi. Hilakoon annettiin kasvava maksimissaan mallin eteläreunaksi valitussa Merenkurkussa 15 km:iin. Mallinnettaviksi ruoppausalueiksi valittiin vaihtoehdossa VE1 Hailuodon pohjoispuoleinen alue Hiidenniemen kohdalla, joka vastaa vuoden 2010 huoltoruoppauskohteiden RK13–16 aluetta. Vaihtoehdossa VE2 mallinnettiin ruoppauskohteet RK2 ja RK3 (Kuva 1). Läjitysalueina mallinnettiin molemmissa vaihtoehdoissa lähin mahdollinen läjitysalue (L1 tai L2). Lisäksi mallinnettiin molempiin vaihtoehtoihin liittyen ruoppauskohde RK4 sekä sataman

ja tuloväylän imuruoppauksen ylitevedet sisältäen myös ruoppauskohteen RK5, joka soveltuu pohjan laadultaan ja sijainniltaan imuruopattavaksi ja massat johdettavaksi sataman läjitysaltaaseen.

3D-mallinnuksessa kiintoaineen leviäminen ja pitoisuudet lasketaan eri vesikerroksissa. Syvyysuunnassa käytettiin kutsuttua sigma-koordinaatistoa, jossa laskentakerrosten lukumäärä on sama kaikkialla – toisin sanoen matalilla alueilla kerrosten paksuus on pienempi kuin syvissä osissa aluetta. Laskenta tehtiin pääosin kuudella vertikaalikerroksella. Hailuodon pohjoispuolisella alueella laskennassa käytettiin suuremmasta vesisyvyydestä johtuen 12 kerrosta, jolloin mallinnuksen hilakoppien tilavuudet vastasivat paremmin muiden alueiden tilavuuksia. Kerrokset jaettiin tasapaksuisiksi, joten kerrospaksuus kussakin laskentasolussa on solun keskisyvyyden kuudes- tai kahdestoistaosa.

Ruoppausten ja läjitysten aiheuttamat pitoisuusvaikutukset esitetään jakaumakuvina ja aikasarjoina Laskennan tuloksista tehtiin myös animaatio vaikutusarvioinnin esittelyä varten.



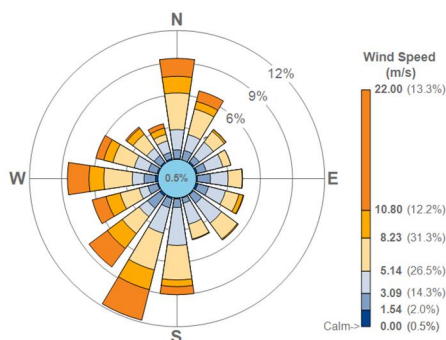
Kuva 3. Vakiotuulitilanteiden laskennassa käytetty hilaverkosto (osa) ja tulostuspisteiden sijainti. Taustaruudukon koko 5 km x 5 km.

2.3 Olosuhdetiedot

Suurin vaikutus paikallisiin virtausoloihin on tuulen aiheuttamalla pintakitkalla, joka saa aikaan tuulen suuntaisen pintavirtauksen, jota usein syvemmällä alueilla kompensoivat erisuuntaiset pohjavirtaukset.

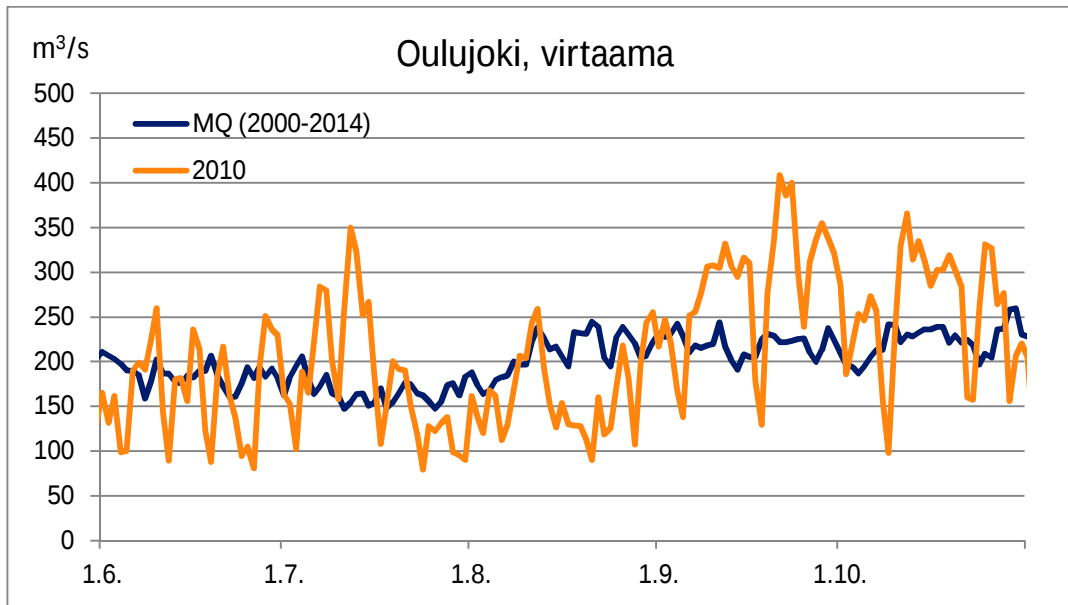
Mallinnus tehtiin alueen keskimääräisiä tuuli- ja virtaamaoloja edustavan vuoden 2015 tuulitiedoilla kesäkaudelle. Pääosin laskentajaksena oli 4 kk (kesä-syyskuu), osalla väylän kohteista töiden lyhyemmästä kestosta johtuen 3 kk (kesä-elokuu). Mallinnuksessa käytettiin Hailuodon Marjaniemen sääaseman vuoden 2015 kesä-syyskuun tuulitietoja. Jaksoksi pyrittiin valitsemaan siten, että tuulen suunta- ja nopeusjakauma edustaisi hyvin koko vuoden vallitsevia tuulia. Valitulla laskentajaksolla 1.6.–10.10.2015 tuuli vaihteli 0–22 m/s välillä, keskinopeuden ollessa luokkaa 6,5 m/s. Tuulen nopeus- ja suuntajakaumat laskentajaksolle on esitetty kuvassa (Kuva 4).

Vaihtelevien tuuli- ja virtaamaolojen lisäksi laskettiin sameuden vaikutusalueet pää- ja väli-ilmansuunnille kahdella vakiotuulen nopeudella. Vakiotuulitilanteissa on käytetty keskituulen nopeutta 6,5 m/s sekä toisena nopeutena 10 m/s. Laskenta-aika vakiotuulitilanteissa oli 5 vrk. Vakiotuulilaskentoja ei tehty väylän vaihtoehdon VE2 uloimmille kohteille.



Kuva 4. Laskennan tuulitiedot (Hailuoto Marjaniemi 1.6.–10.10.2015).

Mallinnuksessa on mukana Oulujoen virtaama, josta käytettiin kesä- syyskuun vuorokausivirtaamia vuodelta 2010, jolloin kesäajan virtaamat olivat lähellä keskimääräistä tasoa. Jokivirtaama vaihteli mallinnusjaksolla välillä 79–409 m³/s. Vakiotuulitilanteissa jokivirtaamana käytettiin vakioarvoa 169 m³/s, joka on kesä-syyskuun 2010 keskiarvo. Joesta tulevana sameutena käytettiin arvoa 0, koska mallilla laskettiin vain ruoppaus-toiminnan aiheuttamaa sameuslisäystä.



Kuva 5. Oulujoen virtaama laskentajaksolla (1.6.–1.10.2010).

Lämpötilan laskennan mukaanotolla pyrittiin varmistamaan merialueen kerrostuneisuuden kuvausta. Lämpötilan laskennassa oleellisia tekijöitä ovat ilman lämpötila, tuleva auringon säteily ja lämmön vaihtoa veden ja ilmakehän välillä kuvaavat mallin parametrit. Tulevana lyhytaaltoisena säteilynä käytettiin sopivan havaintoaineiston puuttuessa mallin laskemia, fysikaalisiin kaavoihin perustuvia arvoja. Ilman lämpötila mallinnusjaksolla vaihteli välillä 5–28 °C. Käytetyt lämpötila-arvot ovat Hailuodon Marjaniemen asemalta vuodelta 2010. Veden lämpötilaa ei pyritty sen tarkemmin kalibroimaan mihinkään tiettyyn jaksoon, koska pääpaino oli lämpötilakerrostuneisuuden mukaanotolla malliin. Voimakkaamman tuulen (10 m/s) vakioitilanteessa lämpötilamallia ei käytetty, koska eroa pinnan ja pohjan välillä ei käytännössä ollut kerrostuneisuuden sekoittuessa.

3 MALLINNUSTULOKSET

Seuraavassa on esitetty vaihtuvilla tuulilla (4 kk) tehdyn mallinnuksen tulokset jakaumakuvina, joissa esitetään kiintoainepitoisuuden keski- ja maksimi-arvot mallinnetuille ruoppauskohteille pinta- ja pohjakerroksessa. Lisäksi on esitetty alueelliset jakaumakuvat kiintoainepitoisuuden 10 mg/l esiintymistiheydestä (prosenttia laskenta-ajasta) soveltuvilta kohteilta. Liitteessä 1 on vielä esitetty pitoisuuden aikasarjat pinnassa ja pohjassa työkohteiden ympärille valituilla tulostuspisteillä.

3.1 Vaihtuva tuulitilanne

3.1.1 Veden kiintoainepitoisuudet

Kiintoaineen määrä kuvaa vedessä olevaa hiukkasmaista ainesta. Veden kiintoainepitoisuutta lisäävät maa-alueilta tapahtuva huuhtouma ja mm. leväbiomassa, minkä vuoksi kiintoainetta on yleensä eniten avovesikautena pinnassa ja myös syvänteissä.

Kirkkaan veden kiintoainepitoisuus on alle 1 mg/l. Silmin havaittavan lievän samennuksen rajana on tässä tarkastelussa käytetty kiintoainepitoisuutta 10 mg/l. Pitoisuudet

>20 mg/l kuvaavat selvästi samentunutta vettä. Voimakkaassa samentumisessa pitoisuudet ovat luokkaa 100 mg/l. Oulun edustalta kiintoainetuloja on vähän, koska suuret ei merialueen säännöllisessä velvoitetarkkailussa mitata (Lapin Vesitutkimus Oy 2011). Olemassa olevassa aineistossa (Ympäristöhallinto, Hertta-tietokanta 2016) pitoisuuden keskimääräinen taso on ollut pääosin 1–5 mg/l.

Veden sameuden yksikkö 1 FNU (formazine nephelometric units) vastaa karkeasti pitoisuutta 1 mg/l kiintoainetta, mutta suhde riippuu kiintoaineksen laadusta. Kirkkaan veden sameus on alle 1 FNU-yksikköä, lievästi samea luokkaa 1–5 FNU-yksikköä. Paljain silmin havaittava samennus on luokkaa 10 FNU-yksikköä. Oulun edustan merialueella sameusarvojen vaihteluväli on jakson 2010–2015 tarkkailutuloksissa ollut 0,3–4,9 FNU. Jokivesissä kiintoainepitoisuus ja sameus vaihtelevat voimakkaasti.

Oulujoessa jaksolla 2010–2015 veden kiintoainepitoisuus on ollut keskimäärin 4 mg/l (vaihteluväli 0–22 mg/l) ja sameus 2,5 FNU (vaihteluväli 0–11 FNU).

3.1.2 VE1 ja VE2 Sataman ja tuloväylän imuruoppaukset

Satama-alueen mallinnus sisältää myös väylän kohteen RK5, joka imuruopataan ja mas-sat läjitetään imuruoppausaltaaseen. Lähtöpitoisuutena ylitevedessä käytettiin 200 mg/l kiintoainetta. Laskenta-aika oli 4 kuukautta eli kesä-syyskuu.

Mallinnustuloksissa pinta- ja pohjakerroksen jakaumakuissa (Kuva 6) ei ollut käytännös-sä juurikaan eroa johtuen vesimassojen tehokkaasta sekoittumisesta matalalla vesialueella.

Mallilaskelmista tehtyjen jakaumakuvien perusteella keskimääräinen kiintoainepitoisuus (Kuva 6, vasemmanpuoleiset kuvat) nousee ylitevesien purkupaikan välittömässä läheisyydessä laskentajaksolla hieman yli 30 mg/l. Pitoisuus laimentuu muutamien satojen metrien matkalla tasolle 10 mg/l, joka kuvaa silmin havaittavaa lievää samennusta. Lievää samennusta esiintyy laskentajakson keskiarvona Kempeleenlahden pohjoisrannalta pohjukkaan ulottuvalla alueella.

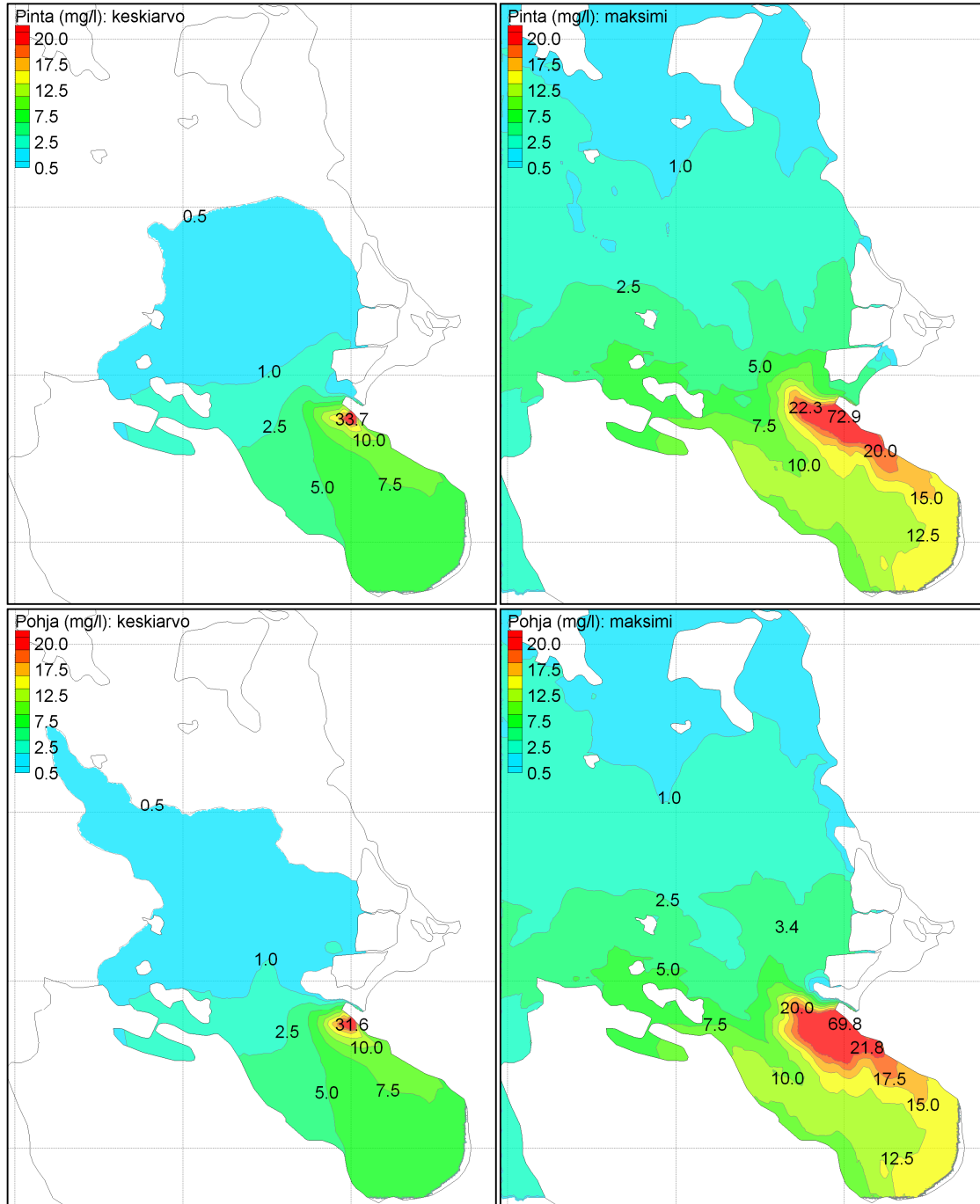
Kiintoaineen pitoisuus voi mallinnustulosten perusteella nousta ajoittain korkeimmillaan (Kuva 6, oikeanpuoleiset kuvat) tasolle 70 mg/l, eli vesi samentuu tällöin selvästi. Pitoisuudet laimentuvat nopeasti maksimitasolle 50 mg/l ja noin kilometrin etäisyydellä purkupaikasta päävirtaussuunnissa kaakkoon ja luoteeseen maksimitaso on enää 20 mg/l. Silmin havaittavaa samentumaa kuvaava maksimipitoisuus 10 mg/l ylittyy ajoittain lähes koko Kempeleenlahden alueella.

Imuruoppausaltaan ylitevesien osuus (Kuva 7) vesimassassa on mallinnuksen mukaan purkupaikan lähellä keskimäärin hieman alle 20 % ja enimmillään hieman alle 40 %. Kauempana Kempeleenlahden pohjukassa ja keskiosissa ylitevesien osuus on keskimäärin 2,5–5,0 % ja maksimissaan 5–10 %.

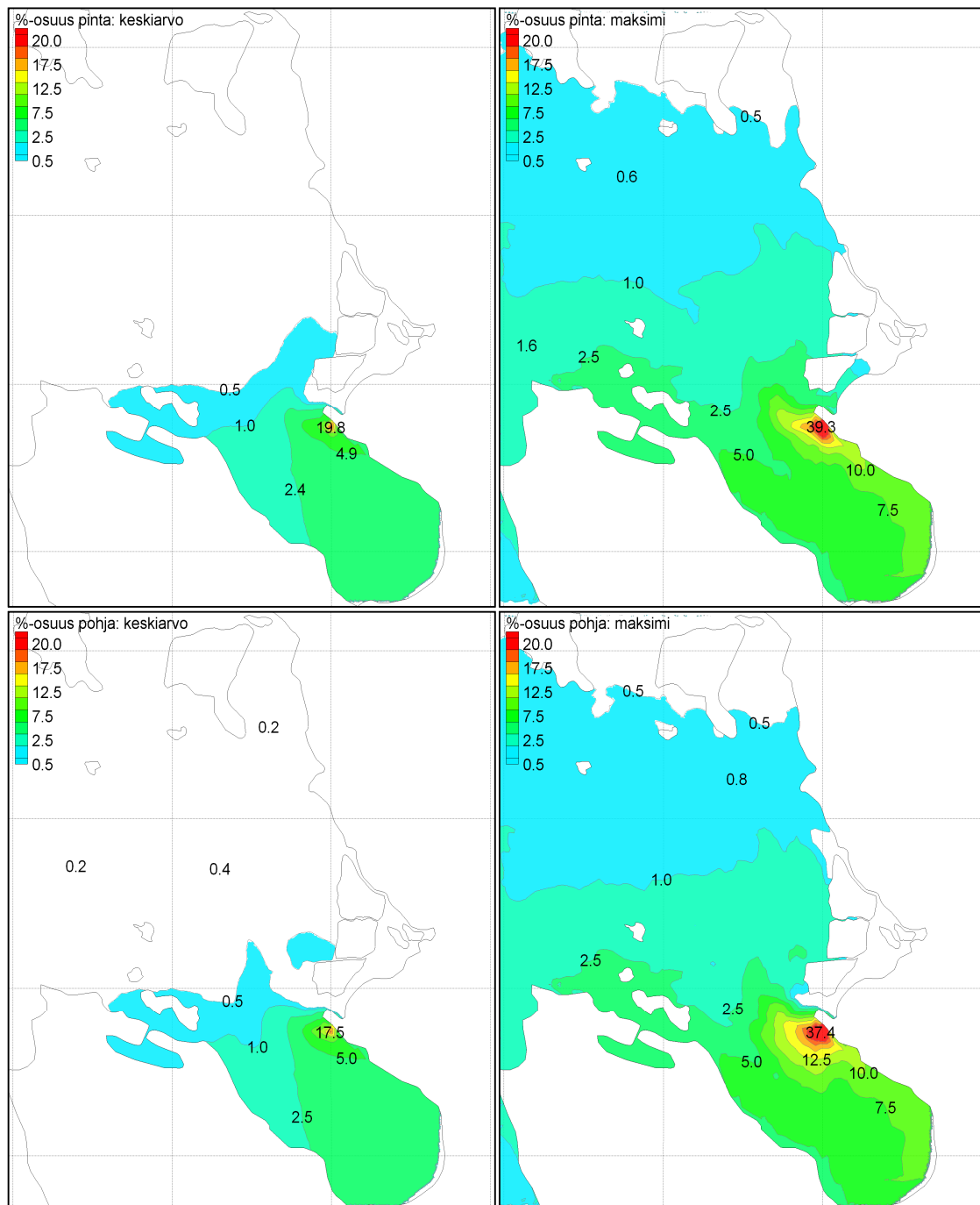
Kempeleenlahden pohjoisrannalla esiintyy lievää samennusta edustavia kiintoainepitoisuuden 10 mg/l ylityksiä (Kuva 8) noin 10–50 % ruoppausajasta. Laajemmin Kempeleenlahdella yli 10 mg/l olevia pitoisuuksia esiintyy vain alle 10 % laskenta-ajasta.

Aikasarjakuvissa (liite 1) käy ilmi tarkemmin kiintoainepitoisuuden mallinnettu ajallinen vaihtelu eri tarkastelupisteillä. Osa pisteistä on todellisia seurantapisteitä, esimerkiksi OE49 Kempeleenlahti on mukana Oulun edustan merialueen yhteistarkkailussa. Osa pis-

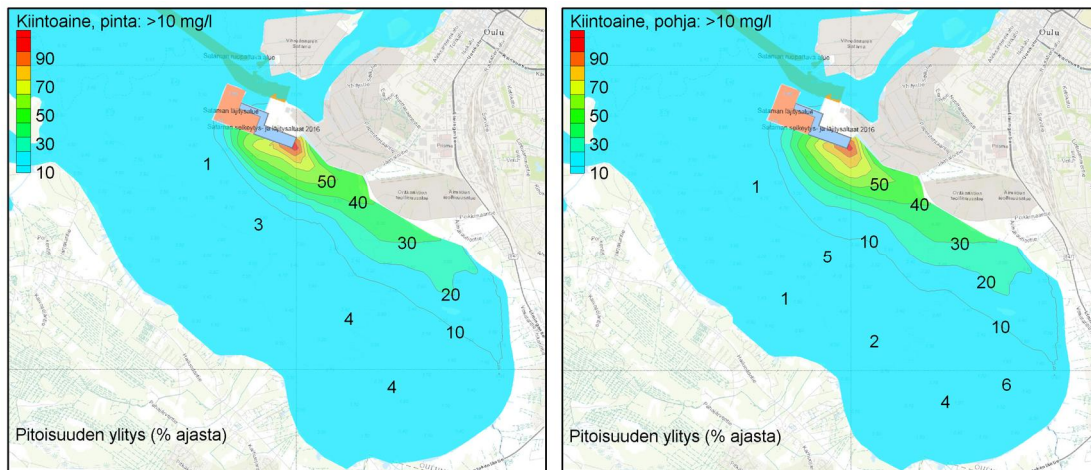
teistä on mallinnusta varten luotuja kuvitteellisia tulostuspisteitä. Pisteiden sijainti on esitetty aiemmassa kuvassa (Kuva 3). Sataman edustalla pitoisuusvaihtelu on huomattavasti voimakkaampaa ja nopeampaa kuin kauempana. Kempeleenlahden pohjukassa (OE68) veden kiintoainepitoisuudet ovat melko pieniä ja tasaisia, noin 6–9 mg/l. Kempeleenlahden suulla (Oulun ed. 4) kiintoainemäärät ovat myös pieniä, mutta vaihtelu nopeampaa virtauksista johtuen.



Kuva 6. Kiintoainepitoisuuden (mg/l) maksimi- ja keskiarvot satama-alueen pinta- ja pohjakerroksessa. Taustaruudukon koko 5 x 5 km.



Kuva 7. Yliteveden osuuden (%) maksimi- ja keskiarvot satama-alueen pinta- (yläkuvat) ja pohja- (alakuvat) kerroksessa. Taustaruudukon koko 5 km x 5 km.



Kuva 8. Pitoisuuden 10 mg/l ylitysten lukuisuus (prosenttia laskenta-ajasta 4 kk) satama-alueella pinta- (vasen) ja pohja- (oikea) kerroksessa. Taustaruudukon koko 5 km x 5 km.

3.1.3 VE1 ja VE2 Ruoppauskohde RK4 (Hietakari)

Ruoppauskohteella RK4, jossa vesisyvyys on pääosin yli 10 m, kiintoainepitoisuudet ovat pintakerroksessa selvästi pienempiä kuin pohjalla (Kuva 9).

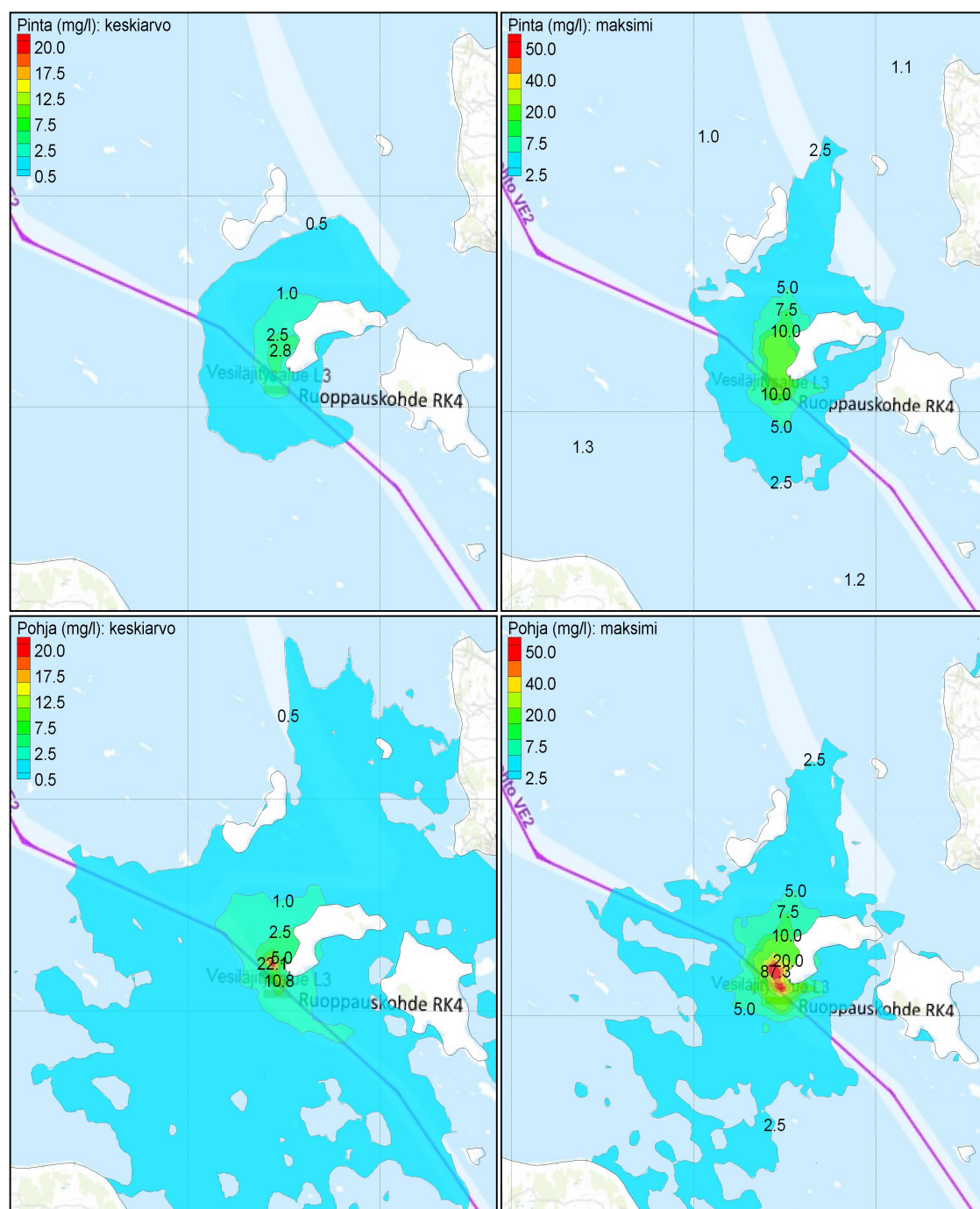
Mallinnusjakson keskimääräisistä pitoisuuksista laadittujen jakaumakuvien (Kuva 10, vasemmanpuoleiset kuvat) perusteella kiintoainepitoisuus on pohjan läheisessä vesikerroksessa ruoppauskohteella keskimäärin noin 20 mg/l ja noin 500 metrin etäisyydellä enää 1 mg/l. Pinnassa kiintoainepitoisuus on kohteella RK4 keskimäärin vain noin 2–3 mg/l, mikä ei käytännössä aiheuta silmin havaittavaa sameutta.

Maksimissaan (Kuva 10, oikeanpuoleiset kuvat) kiintoainepitoisuus voi nousta ajoittain pinnassa ruoppauskohteen läheisyydessä noin 10–20 mg/l. Pohjakerroksessa hetkittäinen maksimipitoisuus on tasoa 87 mg/l. Noin kilometrin päässä pohjassa maksimipitoisuudetkin ovat enää luokkaa 5 mg/l.

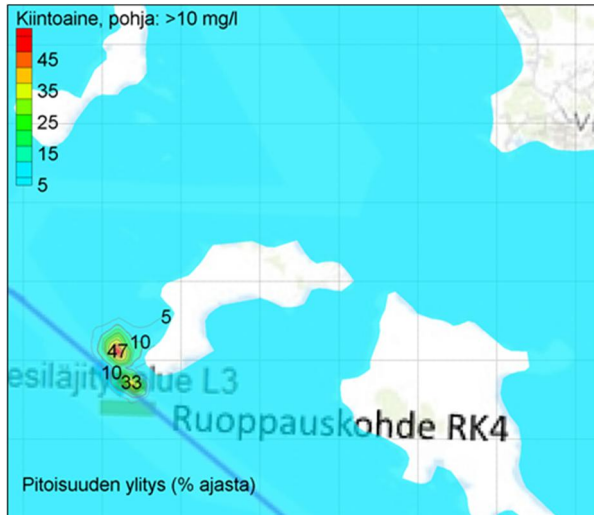
Ruoppauskohteella RK4 havaittavaa samentumaa, eli 10 mg/l ylittäviä kiintoainepitoisuuksia esiintyy pohjassa yli 10 % laskenta-ajasta vain hyvin suppealla alueella (Kuva 10).

Aikasarjakuvissa (liite 1) on tarkasteltu kiintoainepitoisuuden ajallista vaihtelua ruoppausalueen ympärille luoduilla pisteillä, joiden sijainti näkyy kuvassa (Kuva 3). Pisteet OE56 Virpiniemi ja OE92 Kotakari ovat todellisia Oulun edustan yhteistarkkailun havaintopaikkoja ja muut mallinnusta varten luotuja. Aikasarjakuvissa ruoppauskohteesta noin 1,0–1,5 kilometrin etäisyydellä sijaitsevilla tarkastelupisteillä kiintoainepitoisuudet ovat korkeimmillaankin heinä-elokuussa pieniä, pohjassa noin 2,0–2,5 mg/l.

Ruoppaus- ja läjitysalue sijaitsevat suhteellisen lähekkäin, joten niiden erottaminen aikasarjakuvissa kuten myös alueellisissa jakaumakuvissa on vaikeaa. Tästä syystä aikasarjat tulostettiin alueiden väliseltä alueelta. Lähinnä pohjakerroksen maksimipitoisuutta kuvaavassa jakaumakuvassa alueet erottuvat toisistaan.



Kuva 9. Kiintoainepitoisuuden (mg/l) maksimi- ja keskiarvot ruoppauskohteella RK4 pinta- (yläkuvat) ja pohja- (alakuvat) kerroksessa. Taustaruudukon koko 5 km x 5 km.



Kuva 10. Pitoisuuden 10 mg/l ylitysten lukuisuus (prosenttia laskenta-ajasta 3 kk) VE1 ja VE2 mukaiselta ruoppauskohteella RK4 pohjan läheisessä vedessä. Taustaruudun koko 1 km x 1 km.

3.1.4 Väylä VE1 Hailuodon pohjoispuoli

Väylävaihtoehdon VE1 Hailuodon pohjoispuolisella ruoppauskohteella laskentajakson keskimääräinen pitoisuus (Kuva 11, vasemmanpuoleiset kuvat) on ruoppaus- ja läjitys-kohteilla pinnassa vain noin 3 mg/l. Pohjan läheisessä vedessä ruoppauksen ja läjityksen vaikutukset ovat selkeämpiä, keskimääräisen pitoisuustason ollessa noin 10 mg/l. Pitoisuudet laimenevat tehokkaasti suuressa vesimassassa ja keskimääräinen pitoisuuslisäys on pohjassa noin 2–3 kilometrin etäisyydellä enää 1 mg/l.

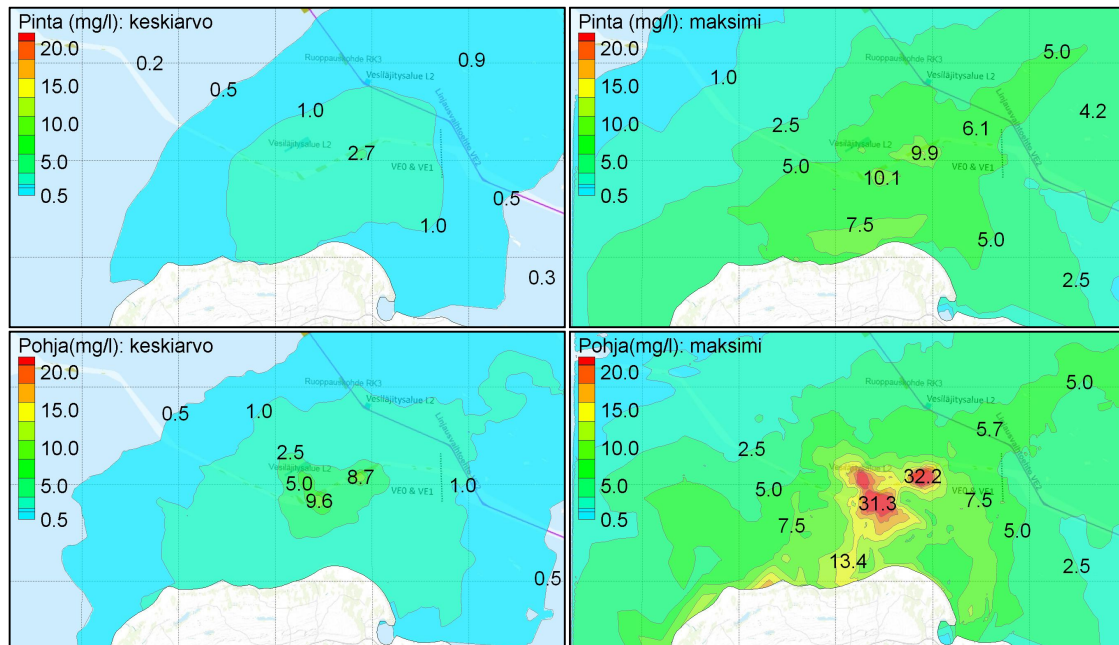
Ajoittain ruoppausaikana esiintyvät kiintoaineen maksimipitoisuudet (Kuva 11, oikeanpuoleiset kuvat) ovat mallilaskelmien mukaan pinnassa luokkaa 10 mg/l ja pohjassa hiekan yli 30 mg/l. Silmin havaittavaa samentumaa on siten pinnassa nähtävissä vain lievänä ja ajoittain. Vähäisempiä kiintoaineen ajoittaisia maksimilisäyksiä, 5–7 mg/l, esiintyy jakaumakuvien perusteella pinnassa noin kolmen kilometrin etäisyydellä ruoppauskohteesta. Vaihtuvilla tuuliolosuhteilla mallinnettuna samentuma leviää pohjavirtausten mukana pääosin kohti etelää ja Hailuodon pohjoisrantaan. Maksimipitoisuuksia 10–15 mg/l voi esiintyä ajoittain noin 50 neliökilometrin alueella työkohteiden ympäristössä Hailuodon pohjoispuolella Hiidenniemen edustalla.

Mallinnuksessa on oletettu VE1 ruoppausmassamäärän perusteella kahden ruoppaajaan työskentelevän alueella, minkä vuoksi etenkin pohjan jakaumakuvissa näkyy kaksi voimakkaamman samentuman aluetta. Myös läjityksen vaikutus näkyy jakaumakuvissa ruoppauskohteiden luoteispuolella.

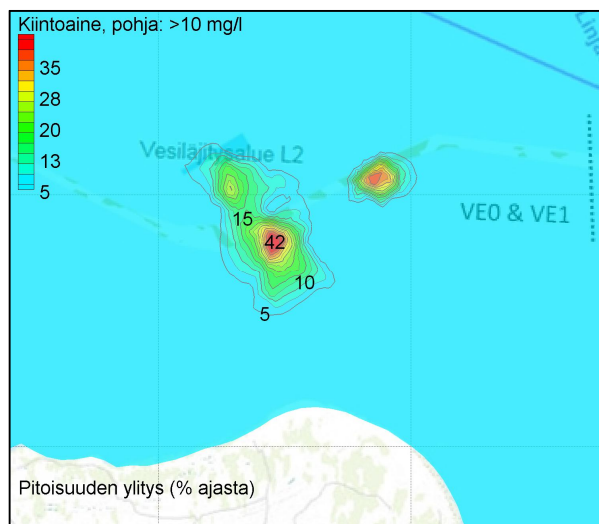
Vaikka VE1 mukaisella Hailuodon pohjoispuolisella ruoppauskohteella (RK13–16) havaittavan samentuman, eli 10 mg/l ylittäviä pitoisuuksia esiintyy pohjassa ajoittain melko laajalla alueella, on esiintyminen ajallisesti harvinaista. Yli 10 % laskenta-ajasta yli 10 mg/l olevia pitoisuuksia esiintyy vain noin 0,5–1,0 kilometrin etäisyydellä ruoppaus- ja läjitysalueista (Kuva 12).

Liitteen 1 aikasarjakuvista näkyy kiintoainepitoisuuden ajallinen vaihtelu noin 1,0–1,5 kilometrin etäisyydellä ruoppauskohteesta sijaitsevilla tarkastelupisteillä (Kuva 3). Tulos-

tuspisteet eivät ole käytössä olevia veden laadun havaintopaikkoja. Pohjan ajoittaiset maksimipitoisuudet vaihtelevat tarkastelupisteillä välillä 4–15 mg/l ollen korkeimmat pisteellä OE67. Ruoppauskohteesta etäännyttäessä ja ajan kuluessa on nähtävissä pinnan ja pohjan välisten pitoisuuserojen tasoittumista.



Kuva 11. Kiintoainepitoisuuden (mg/l) maksimi- ja keskiarvot VE1 Hailuodon pohjoispuolisella ruoppauskohteella (RK13-16) pinta- (yläkuvat) ja pohja- (alakuvat) kerroksessa. Taustaruudukon koko 5 km x 5 km.



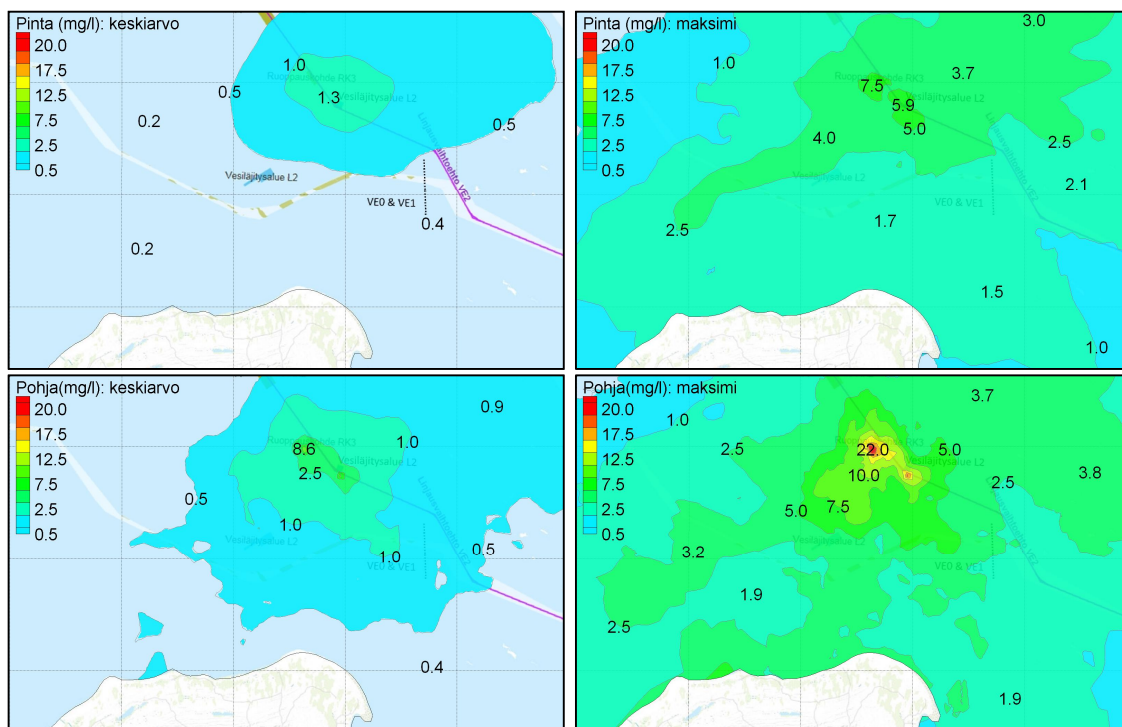
Kuva 12. Pitoisuuden 10 mg/l ylitysten lukuisuus (prosenttia laskenta-ajasta 4 kk) VE1 Hailuodon pohjoispuolellisella ruoppauskohteella (RK13-16) pohjan läheisessä vedessä. Taustaruudukon koko 5 km x 5 km.

3.1.5 Väylä VE2 ruoppauskohde RK3

Laskentatulosten mukaan mallinnusjakson keskimääräinen kiintoainelisyys (Kuva 15, vasemmanpuoleiset kuvat) on työkohteella pinnassa vain noin 1 mg/l. Pohjassa ruoppauskohteen välittömässä läheisyydessä kiintoaineen keskimääräinen pitoisuuslisyys on noin 9 mg/l. Pitoisuus laimentuu pohjassa noin yhden kilometrin päässä ruoppaus- ja läjityskohteesta tasolle 1 mg/l.

Pinnassa ajoittain esiintyvät korkeimmat pitoisuudet (Kuva 15, oikeanpuoleiset kuvat) ovat luokkaa 5–7 mg/l. Siten silminnähettävää sameutta edustava kiintoainepitoisuus 10 mg/l ei ylitä pinnassa edes ruoppauspaikan kohdalla. Pohjassa maksimipitoisuus on ruoppaus- ja läjityskohteilla noin 20 mg/l. Läjityksen vaikutus näkyy suppeana alueena ruoppauskohteen kaakkoispuolella. Lievää samennusta edustavia, noin 10 mg/l maksimipitoisuuksia voi esiintyä pohjassa ajoittain noin 20 neliökilometrin laajuisella alueella ruoppauskohteen ympärillä.

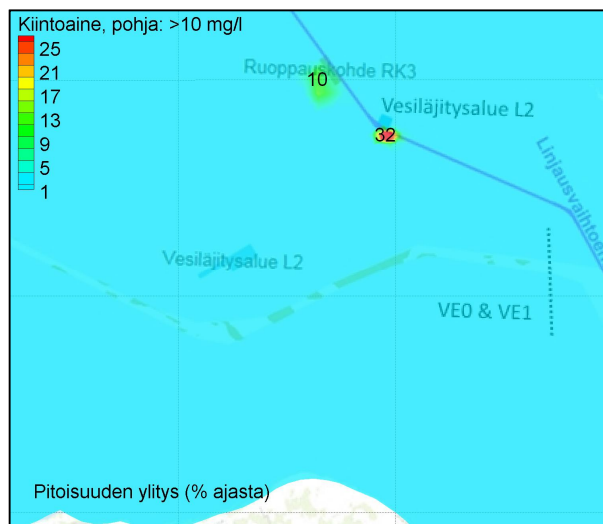
Ruoppauskohteella VE2 RK3 havaittavan samentuman, eli 10 mg/l ylittäviä pitoisuuksia esiintyy pohjassa yli 10 % laskenta-ajasta vain hyvin suppealla alueella, noin 100–200 metrin etäisyydellä ruoppaus- ja läjitysalueista (Kuva 12). Mallinnuksen mukaan pohjavirtaukset kuljettavat vähäistä samentumaa pääosin lounaissuunnassa. Vähäisiä kiintoainemääriä (1–5 mg/l) kulkeutuu myös laajemmalle alueelle, lähinnä lounais-koillinen suuntaisesti.



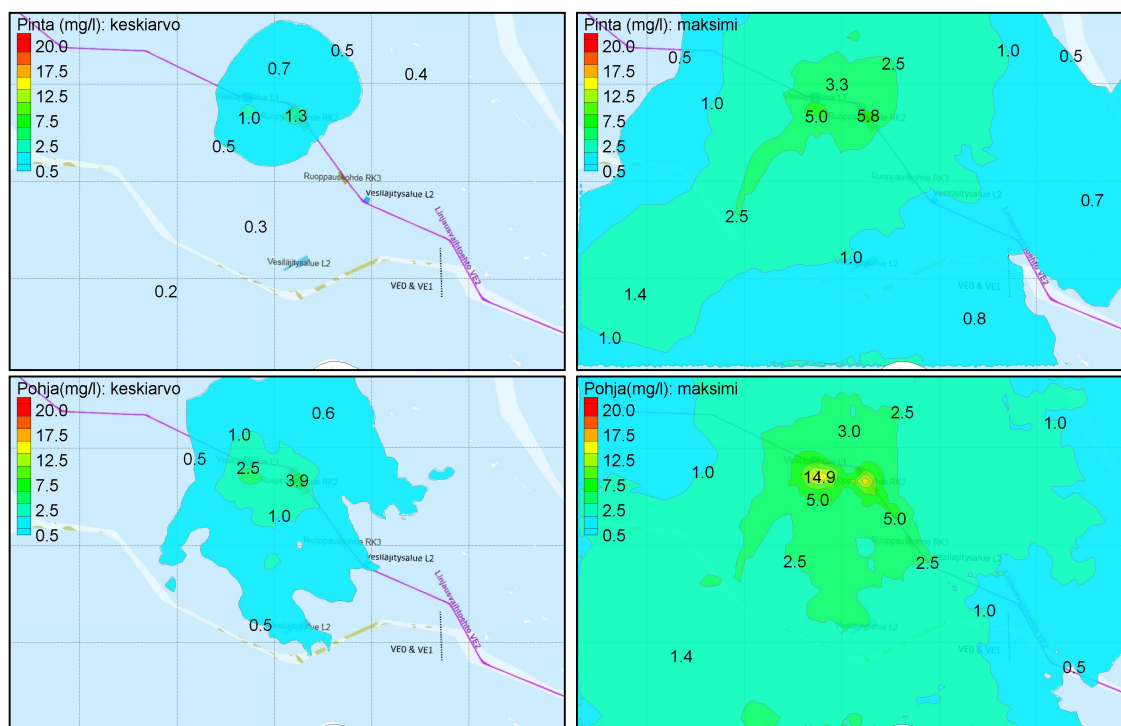
Kuva 13. Kiintoainepitoisuuden (mg/l) maksimi- ja keskiarvot VE2 ruoppauskohteella RK3 pinta- (yläkuvat) ja pohja- (alakovat) kerroksessa. Taustaruudukon koko 5 km x 5 km.

Liitteen 1 aikasarjakuvista näkyy kiintoainepitoisuuden ajallinen vaihtelu ruoppauskohteella ja noin yhden kilometrin etäisyydellä sijaitsevilla tarkastelupisteillä (Kuva 3). Tulokset

tuspisteet eivät ole käytössä olevia veden laadun havaintopaikkoja. Pohjan ajoittaiset maksimipitoisuudet vaihtelevat tarkastelupisteillä välillä 6–9 mg/l. Korkeimmat pitoisuudet esiintyvät laskennassa heinäkuun puolivälissä ja syyskuussa, kohteen eteläpuolisilla tulostuspisteillä myös heinä-elokuun vaihteessa.



Kuva 14. Pitoisuuden 10 mg/l ylitysten lukuisuus (prosenttia laskenta-ajasta 4 kk) VE2 Hailuodon pohjoispuolisella ruoppauskohteella RK3 pohjan läheisessä vedessä. Taustaruudun koko 5 km x 5 km.



Kuva 15. Kiintoainepitoisuuden (mg/l) maksimi- ja keskiarvot VE2 ruoppauskohteella RK2 pinta- (yläkuvat) ja pohja- (alakuvat) kerroksessa. Taustaruudun koko 5 km x 5 km.

3.1.6 Väylä VE2 ruoppauskohde RK2

Mallin avulla lasketut keskiarvopitoisuudet (Kuva 15, vasemmanpuoleiset kuvat) ovat kohteella RK2 samaa tasoa kuin kohteella RK3: pinnassa noin 1 mg/l ja pohjan läheisyydessä noin 3–4 mg/l. Muutaman Keskimääräinen pitoisuuslisäys on enää 1 mg/l. Pitoisuus laimenee pohjassa noin 500 metrin päässä ruoppaus- ja läjityskohteesta tasolle 1 mg/l.

Kiintoaineen ajoittaiset maksimipitoisuudet (Kuva 15, oikeanpuoleiset kuvat) ovat ruoppauskohteella pinnassa noin 5–6 mg/l ja pohjassa 15 mg/l. Noin 2–5 kilometrin etäisyydellä ruoppauskohteesta esiintyy pohjassa vielä vähäisiä, noin 2–5 mg/l kiintoaineen lisäyksiä.

Liitteen 1 aikasarjakuvista näkyy kiintoainepitoisuuden ajallinen vaihtelu ruoppauskohteella ja noin yhden kilometrin etäisyydellä sijaitsevilla tarkastelupisteillä (Kuva 3). Tulospisteet eivät ole käytössä olevia veden laadun havaintopaikkoja. Pohjan ajoittaiset maksimipitoisuudet vaihtelevat tarkastelupisteillä samalla tasolla, 6–9 mg/l, kuin kohteella RK3.

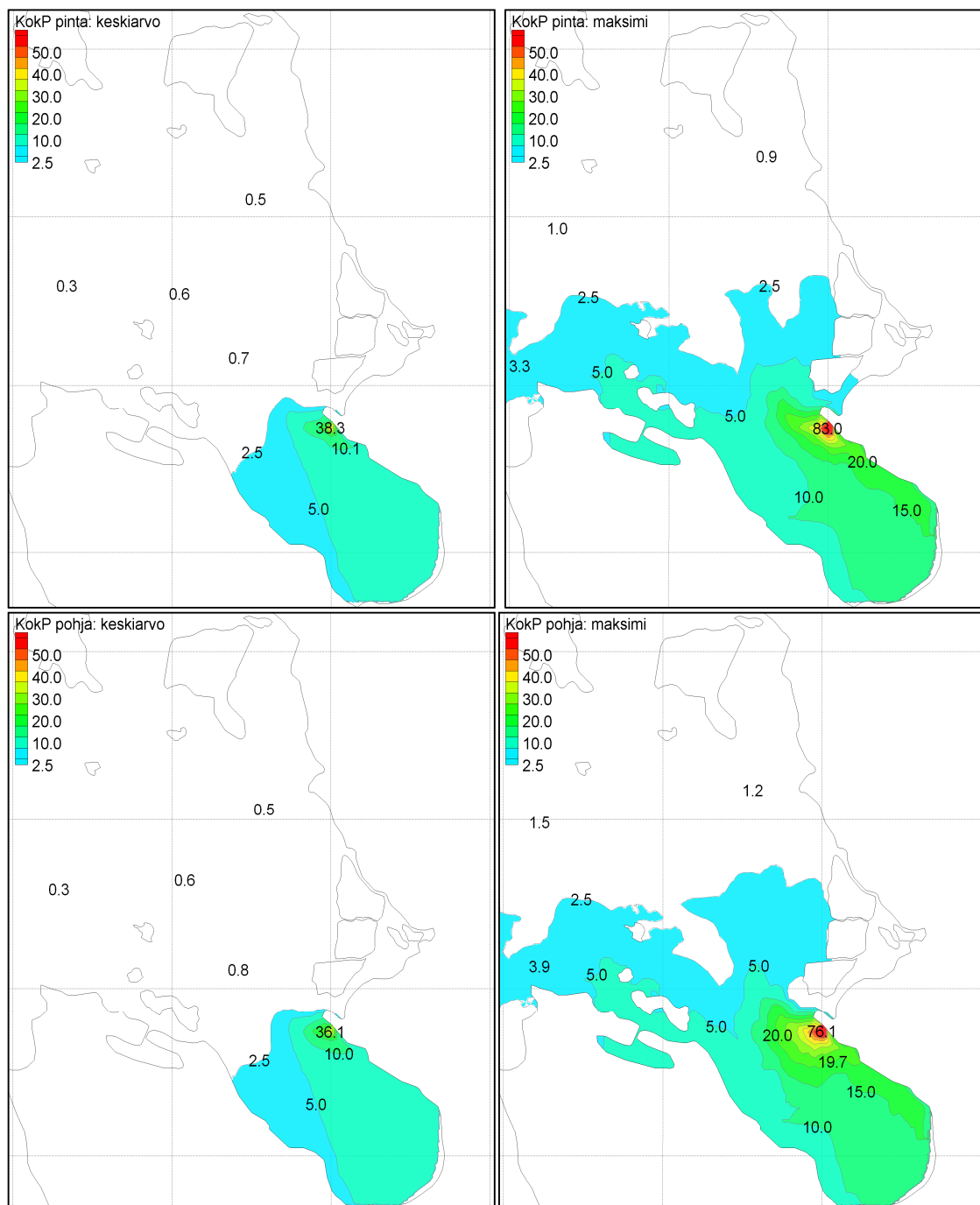
3.1.7 Veden ravinnepitoisuudet, VE1 ja VE2 Sataman ja tuloväylän imuruoppaukset

Satama-alueen imuruoppausaltaan ylitevesien osalta mallinnettiin myös kokonaisravinteet. Lähtöpitoisuuksina ylitevedessä käytettiin 200 µg/l fosforia ja 2000 µg/l typpeä. Mallinnus sisältää myös väyläkohteen RK5 ruoppausmassat.

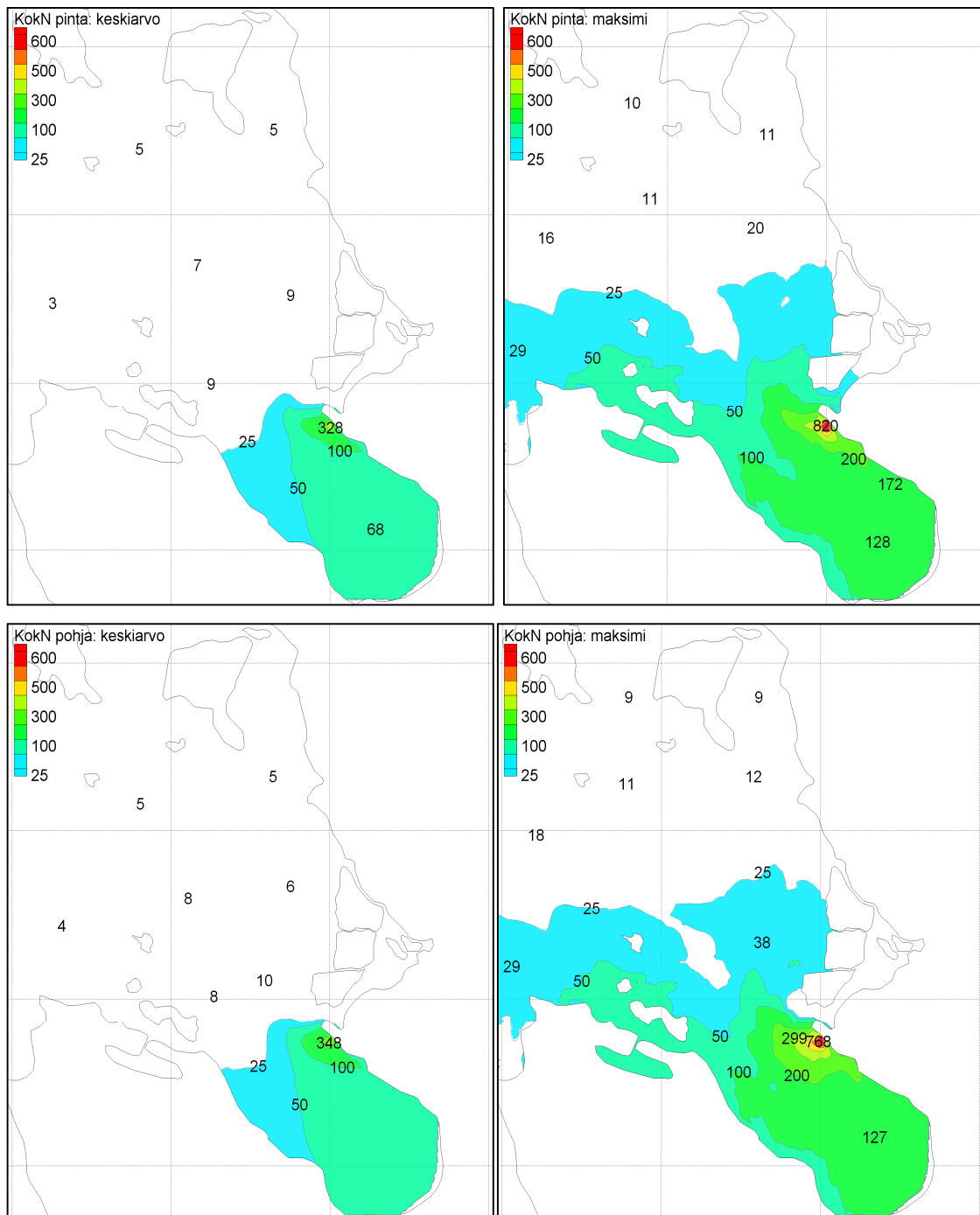
Mallilaskelmien perusteella kiintoaineeseen sitoutuneen fosforin pitoisuus nousee selkeytsaltaan yliteveden purkualueella keskimäärin noin 40 µg/l. Kauempana Kempeleenlahdessa keskimääräinen pitoisuuslisäys on pohjoisrannalla noin 10 µg/l ja muissa osissa 3–5 µg/l.

Ylitevesien aiheuttama fosforin ajoittainen maksimipitoisuus on purkupaikan edustalla 40–80 µg/l laimentuen Kempeleenlahden pohjoisrannan suuntaisesti tasolle 15–20 µg/l. Kempeleenlahden pohjukassa ja keskiosissa fosforipitoisuuden ajoittainen maksimipitoisuus on 10 µg/l. Kempeleenlahden lounaisosassa ja suulla fosforipitoisuus kasvaa enimmillään noin 5 µg/l.

Myös typpipitoisuus nousee sameiden ylitevesien leviämisen vaikutuksesta. Typen osalta laskentajakson keskimääräiset pitoisuuslisäykset ovat purkupaikan edustalla luokkaa 200–350 µg/l ja Kempeleenlahdella laajemmin 50–100 µg/l. Laskentajakson ajoittaiset maksimipitoisuudet vaihtelevat vastaavasti purkupaikan lähellä 300–800 µg/l ja muualla lahdella 100–200 µg/l.



Kuva 16. Kokonaisfosforipitoisuuden ($\mu\text{g/l}$) maksimi- ja keskiarvot sataman lähialueella pinta- (yläkuvat) ja pohja- (alakuvat) kerroksessa. Taustaruudun koko 5 km x 5 km.



Kuva 17. Kokonaistyyppipitoisuuden ($\mu\text{g/l}$) maksimi- ja keskiarvot sataman lähialueella pinta- (yläkuvat) ja pohja- (aläkuvat) kerroksessa. Taustaruudun koko 5 km x 5 km.

3.2 Vakiotuulitilanteet

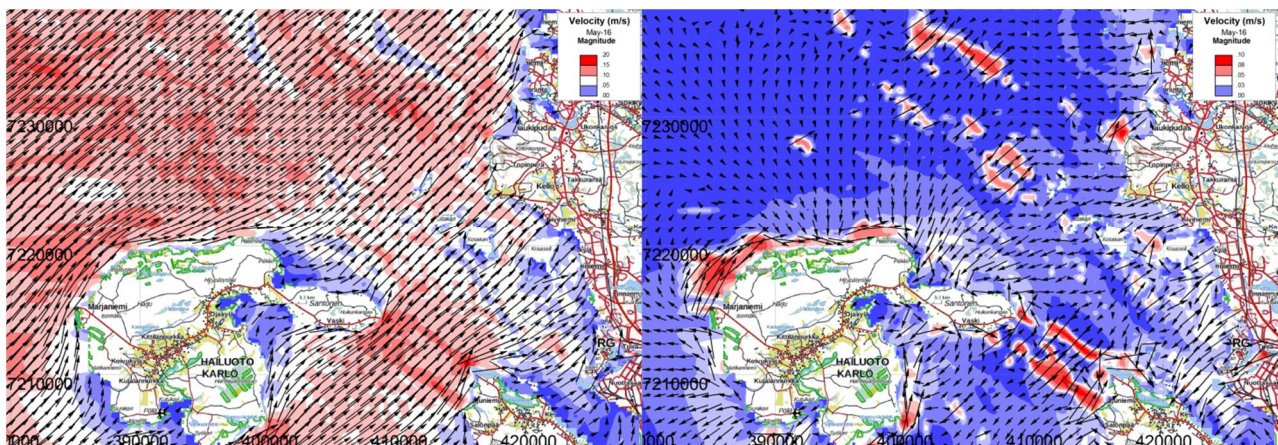
3.2.1 Merialueen virtaukset

Merialueen virtauskentät pinnassa ja pohjassa lounais- ja kaakkoissuuntaisilla vakiotuulilla (10 m/s) on esitetty kuvassa (Kuva 18). Pinnassa virtausten pääsuunta on tuulen suunnan mukainen. Pintanopeuksien maksimiarvot ovat ulommilla merialueilla luokkaa

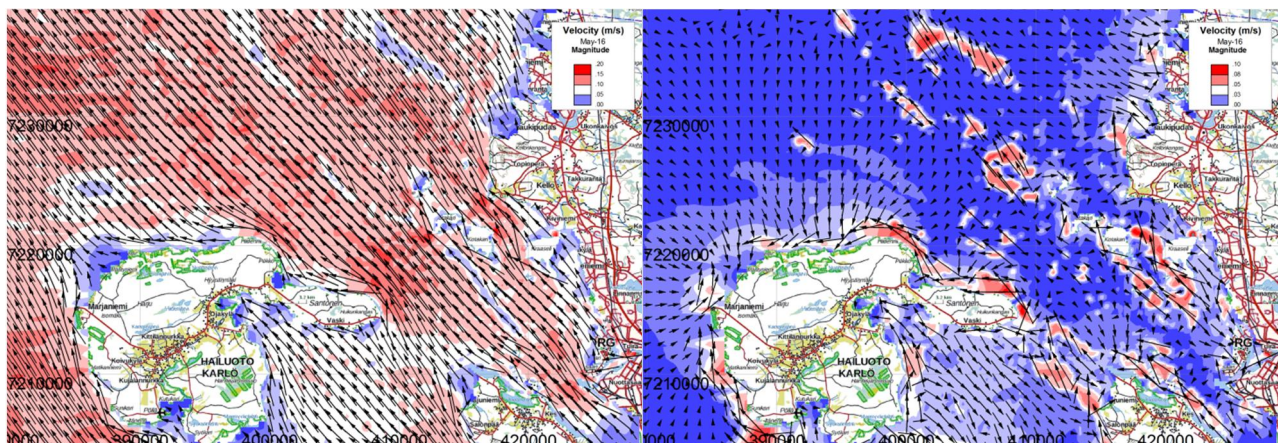
20 cm/s keskinopeuden ollessa noin 10 cm/s. Rantojen läheisyydessä virtausnopeudet ovat alhaisempia. Pohjan läheisyydessä virtaussuunnat ovat osin pintakerrokseen nähden vastakkaisia ja selvästi hitaampia keskinopeuden ollessa välillä 0–3 cm/s ja maksimit noin 10 cm/s. Kaakkoistuulella myös Luodonselälle ja Kempeleenlahden pohjukkaan muodostuu hitaampien virtausten alueita. Lounaistuulella vastaavasti Hailuodon koillispuolella sekä Oulujokisuun ja Kempeleenlahden edustalla virtaukset hidastuvat ollen pinnassa pääosin alle 10 cm/s ja pohjan läheisyydessä alle 5 m/s. Satama-alueella veden vaihtumisen ja kannalta epäedullisimpia ovat lounais- ja länsituulet sekä rannan suojaavasta vaikutuksesta johtuen myös itä- ja kaakkoistuulet.

Käytännössä tuulten nopeudet ja suunnat voivat vaihdella nopeasti ja siten myös merialueen virtaussuunnissa ja nopeuksissa voi tapahtua nopeita muutoksia lyhyenkin aikajakson sisässä, mikä vastaa vaihtuvien tuulien laskentatilannetta (kappale 3.1)

Lounaistuuli



Kaakkoistuuli



Kuva 18. Mallilaskennan virtauskentät pinta- (oikea) ja pohja- (vasen) kerroksessa lounais- ja koillistuulilla 10 m/s.

3.2.2 Veden kiintoainepitoisuudet

Vakiotuulilaskenta kuvaa tilannetta, jossa samansuuntaiset tuulet vallitsevat useana peräkkäisenä päivänä. Kiintoaineen leviämisaalueet pinnassa ja pohjassa eri ilmansuunnissa vakiotuulitilanteissa on esitetty liitteessä 2. Jakaumakuvat kuvaavat pitoisuutta laskenta ajan (5 vrk) lopputilanteessa, jolloin pitoisuudet ovat riittävästi vakiintuneet.

Laskenta-aikana tarkastelussa on käytetty 5 vuorokautta. Keskituulella (6,5 m/s) mallinuksessa on huomioitu lämpötilan vaikutus vesimassojen kerrostuneisuuteen. Voimakkaampi tuuli 10 m/s mursi laskennassa meriveden kerrostuneisuuden jo ensimmäisenä päivän aikana eikä pinnan ja pohjan välisessä tilanteessa ollut tällöin enää merkittävää eroa. Siten voimakkaamman tuulen laskenta tehtiin ilman lämpötilamallinnusta olettaen vesimassa tasalämpöiseksi.

Vakiotuulilla sameuden leviämisaalueet suuntautuvat pääosin tuulen suunnan mukaisesti. Pohjakerroksessa hitaammat virtausnopeudet ja osin myös poikkeavat virtaussuunnat aiheuttavat vaikutusalueeseen jonkin verran eroja pintaan nähden (liite 2).

Etelätuulella keskinopeudella 6,5 m/s kiintoaineen suurimmat pitoisuudet ovat satamassa purkupaikan läheisyydessä 27–29 mg/l sekä ruoppauskohteen RK4 (Hietakari) työkohteen läheisyydessä 15–17 mg/l. Kovemmalla tuulella 10 m/s kiintoaineen maksimipitoisuudet ovat samaa luokkaa, 19–20 mg/l satamassa. Ulommilla väylän ruoppauskohteilla vaikutusalueet ovat selvästi suurempia pinnan, kuin pohjan lähellä johtuen pohjan hitaammista virtauksista. Yli 5 mg/l olevia pitoisuuksia esiintyy kuitenkin hyvin suppealla alueella.

Lounais- ja länsituulella maksimipitoisuudet muodostuvat satamassa suuremmiksi etenkin keskituulennopeudella heikommasta laimentumisesta johtuen. Purkupaikan edustalla maksimipitoisuudet ovat mallilaskelman mukaan tällöin lounaistuulella 45–47 mg/l ja länsituulella 53 mg/l. Kovemmalla tuulennopeudella sataman maksimipitoisuustasoksi muodostui 31–35 mg/l. Sen sijaan ulompana väylällä kiintoainepitoisuudet laimenevat tehokkaammin ja Hietakarissa (RK4) maksimipitoisuudet ovat enää tasoa 6–8 mg/l. Väylän linjausvaihtoehdossa VE1 maksimipitoisuudet ovat työkohteiden lähellä tasolla pinnassa 4–5 mg/l ja pohjan läheisyydessä 9–12 mg/l.

Luoteis-, pohjois- ja kaakkoistuulella maksimipitoisuudet ovat satamassa purkupuutken edustalla keskituulennopeudella luokkaa 28–32 mg/l ja kovemmalla tuulen nopeudella 18–21 mg/l. Vastaavasti väylällä maksimikiintoainepitoisuudet ovat työkohteella pohjan läheisyydessä Hietakarissa (RK4) 8–16 mg/l ja VE1 (RK12-16) 7–14 mg/l. Satamassa virtaukset aiheuttavat lievän samentuman vaikutusalueen laajenemisen Kempeleenlahden pohjukkaan.

Koillistuulella sataman maksimipitoisuudet olivat keskituulella 42–44 mg/l ja voimakkaammalla tuulella 28–30 mg/l. Itätuulella sataman maksimipitoisuudet muodostuvat hieman suuremmiksi, 49–51 mg/l (6,5 m/s) ja 35–37 mg/l (10 m/s). Itätuulella rannan suojassa virtaukset ja siten veden vaihtuminen on Kempeleenlahdella hitaampaa. Ulompana RK4 (RK13-RK16) ja VE1 maksimipitoisuudet ovat työkohteiden läheisyydessä edelleen jokseenkin pieniä 4–14 mg/l muiden vakiotuulitilanteiden tavoin.

Sataman edustalla kiintoainepitoisuuksien laimentuminen on hitainta ja siten ruoppauksen vaikutukset ilmenevät voimakkaimpana länsi-lounais- sekä itätuulilla. Vuoden 2015

tuuliolot (Kuva 4) edustavat jokseenkin keskimääräistä vuotta, jolloin vallitsevina olivat etelästä, lounaasta, lännestä ja pohjoisesta puhaltavat tuulet. Vuosittaiset vaihtelut tuulioloissa saattavat kuitenkin olla suuria. Vakiotuulitilanteissa kiintoaineen pitoisuustasot ja vaikutusalueen laajuudet ovat samankaltaisia kuin vaihtuvien tuulien laskennoissa. Vaikutusalueen kuitenkin vaihtelee tuulen suunnan mukaisesti.

4 EPÄVARMUUSTEKIJÄT

Ruoppaustöiden käytännön suorittaminen saattaa poiketa mallinuksissa käytetyistä oletuksista. Ei esim. ole varmaa tehdäänkö väylän ruoppaukset yhdellä isolla tai useammalla pienemmällä koneella. Laskennassa on oletettu VE2 mukaisille väylän ruoppauskohteille yksi ruoppaaja ja yksi proomu. VE1 mukaiselle Hailuodon pohjoispuolen kohteella vaihtuvien tuulien laskennassa oletuksena oli kaksi ruoppaajaa ja kaksi proomua.

Imuruoppauksessa selkeytysaltaasta purkautuvalle vedelle on vakiotuulitilanteissa käytetty epähuomiossa laskeutumisnopeutta 1 m/s (vaihtuvien tuulien 4 kk laskennassa laskeutumisnopeus 0,5 m/s). Ero laskennassa arvioitiin kuitenkin vähäiseksi, sillä leviämisa-alue on hyvin samankaltainen vakiotuulilla ja vaihtuvilla tuulilla 4 kk tehdyissä laskennoissa, minkä vuoksi laskentaa ei uusittu.

Pohjan laatu vaihtelee paljon alueellisesti. Mallinnuksessa on kuitenkin pyritty käyttämään yliarviota (45 %) pohjan hienoaineksen määrän suhteen. Imuruoppauksen mallinnus perustuu yliteveden kokemuseräisiin pitoisuuksiin eikä pohjan laatu vaikuta kuorimitukseen.

5 KOKEMUKSIA TOTEUTETTujen RUOPPAUSTEN VESISTÖVAIKUTUKSISTA

Vuonna 2014 vastaavalla tavalla toteutetussa, mutta massamääriltään (313 000 m³ ktr) ja kestoaltaan (3 viikkoa) lyhyemmässä sataman ja tuloväylän imuruoppauksessa todettiin yleisesti samentumaa selkeytysvesien purkualueen läheisyydessä (Pöyry Finland Oy 2015b). Laajimmillaan samentumaa todettiin Kempeleenlahden pohjoisrannalta Vihreäsaaren edustalle ulottuvalla alueella. Korkeimmillaan kiintoainepitoisuudet olivat tasoa 8–13 mg/l, mutta pääosin alle 5 mg/l. Kokonaisfosforipitoisuudet vaihtelivat välillä 16–42 µg/l. Näkösyvyys oli alhaisimmillaan 1,0 m navakan tuulen yhteydessä.

Vuosina 2008–2010 toteutetuissa Oulun nykyisen väylän huoltoruoppaustöissä kauharuopattiin massoja 11 720 m³ ktr. Ruoppausmassat olivat sataman edustan kohteita lukuun ottamatta varsin kivisiä ja/tai hiekkaisia. Ruoppauskohteilla todettiin tarkkailussa ajoittain pohjan läheisyydessä kohonneita kiintoaine- ja fosforipitoisuuksia (Pöyry Finland Oy 2010b). Ruoppauskohteilla pintakerroksessa ja läjitysalueilla veden laatu oli pääosin normaali. Kokonaisuutena Oulun 10 m väylän huoltoruoppausten vesistövaikutukset olivat hyvin vähäisiä, lyhytkestoisia ja paikallisia rajoittuen lähinnä pohjan läheisyyteen. Tuulisten sääolosuhteiden takia työt olivat katkonaisia.

Vuonna 2009 toteutetussa Oritkarin väylän levennyksessä ja huoltoruoppauksessa imuruoppaukset kestivät vajaan kuukauden (n. 451 000 m³ ktr). Silloisten selkeytysaltaiden teho ei riittänyt massamäärän käsittelyyn tehokkaasti, minkä vuoksi lupamääräyksissä ylitevesien kiintoainepitoisuudelle annettu raja-arvo 200 mg/l ylittyi. Samentumaa havaittiin etenkin selkeytysaltaan ylitevesien leviämisa-alueella sataman edustalla ja Kempeleenlahdella sekä imuruoppaajan läheisyydessä. Imuruoppaajan läheisyydessä noin 3

metrin syvyydessä kiintoainepitoisuus oli suurimmillaan 76 mg/l, sameusarvo 27 FTU ja kokonaisfosfori 130 µg/l. Kempeleenlahden keskellä suurimmat pitoisuudet olivat seuraavat: sameus 10 FTU, kiintoaine 26 mg/l ja kokonaisfosfori 37 µg/l. Ruoppauksen kokonaisvaikutukset vesistössä jäivät vähäisiksi ruoppauksen lyhyestä kestosta johtuen. (Pöyry Finland Oy 2010b)

Raahessa vuosina 2008–2009 satamassa imuruopattiin massoja noin 1,8 milj. m³ ja väylällä kauharuopattiin massoja 1,7 milj. m³. Yhtenäiset samentuma-alueet rajoittuivat pääasiassa sataman edustalle. Väylällä esiintyi pinnassa yleensä pienialaisempia samentumia työkohteiden välittömässä läheisyydessä. Laajimmat samennusalueet olivat hetkellisesti noin 10 km² (Pöyry Finland Oy 2010).

Torniossa Röyttän satamassa vuonna 2006 (640 000 m³ ktr) toteutetuissa imuruoppauksissa mitattiin läjityksen aikana selkeytysaltaan edustalla korkeita sameusarvoja sekä kiintoaine- ja fosforipitoisuuksia (Pöyry Finland Oy 2008). Samentuneet alueet rajoittuivat v. 2006 pääasiassa pienelle alueelle, kaikkiaan samentuneen vesialueen pinta-alat vaihtelivat 3–22 km² välillä. Vuonna 2007 väylän ruoppauksissa (190 000 m³ ktr) ruopattavat massat olivat nopeasti laskeutuvia kovia massoja, minkä vuoksi silmin havaittavat samentumat jäivät hyvin vähäisiksi ja lyhytaikaisiksi (Pöyry Finland Oy 2008). Useimmiten samentumaa ei ollut lainkaan havaittavissa ja laajimmillaankin se ulottui vain noin 0,8 km:n etäisyydelle työkohteesta.

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Oulun meriväylän ja sataman ruoppauksen aiheuttamien vaikutusten arvioimiseksi YVA-menettelyssä laadittiin virtaus- ja vedenlaatumalli. Kokemusperäisten havaintojen perusteella ruoppauksista aiheutuu työnaikaista veden samentumista, kun ruoppausmassa liettyy veteen. Samentuneen alueen suunta ja laajuus riippuvat lähinnä kulloinkin vallitsevista tuuliolosuhteista sekä ruoppauspaikan sijainnista ja ruopattavan sedimentin hienoaineksen määrästä. Tuuliolosuhteilla merkittävä vaikutus merialueen virtauksiin ja sitä kautta samentumien leviämiseen ja laimentumiseen, mistä syystä vesistömallinnus toteutettiin useissa eri tuuliolosuhteissa sekä vaihtuvilla että vakiotuulilla.

Sataman ja tuloväylän imuruoppauksessa samentumista syntyy selkeytysaltaan ylitveden vaikutuksesta Kempeleenlahdelle. Myös satamaa lähinnä oleva väylän ruoppauskohde imuruopataan läjitysaltaaseen. Matalalla vesialueella samennus leviää melko tasaisesti koko vesimassassa. Selkeät samennusvaikutukset painottuvat selkeytysaltaan lähelle Kempeleenlahden pohjoisrannalle ja osin myös Vihreäsaaren edustalle. Lievää samennusta voi esiintyä ajoittain lähes koko Kempeleenlahden alueella. Silmin havaittavaa samentumaa Kempeleenlahden pohjoisrannalla esiintyy korkeintaan 50 % ruoppausajasta. Muualla lahdella esiintyy lievää samentumaa ajoittain, noin 6–7 päivänä laskeutujaksolla. Kempeleenlahden tai jokisuiston edustalla vaikutukset ovat hyvin lieviä virtauksista johtuen.

Väylällä ruoppauksen ja läjityksen aiheuttama samentuminen kohdistuu pääasiallisesti syvempiin vesikerroksiin. Silminnäkävää samentumaa esiintyy pinnassa vain lievänä ruoppauskohteiden välittömässä läheisyydessä. Pohjan läheisyydessä ajoittain selvästi samentuvan alueen laajuus on muutamien neliökilometrien luokkaa työkohteiden ympäristössä. Vähäistä kiintoainepitoisuuden kasvua voi kuitenkin esiintyä pohjan tuntumassa

selvästi laajemmalla alueella. Väyläkohteista voimakkaimmat samennusvaikutukset ja laajin vaikutusalue ulottuen Hailuodon pohjoisrannalle saakka, ovat väylälinjausvaihtoehdossa VE1, jossa ruoppausmäärät ja kaivuteho ovat suurimmat.

Laskennan tulokset vastaavat aiemmista ruoppaushankkeiden tarkkailuista ja muista arvioinneista saatuja kokemuksia.

Samentuminen nostaa hetkellisesti kiintoaineeseen sitoutuneen fosforin pitoisuuksia vedessä. Myös typpipitoisuus nousee samentuneella alueella. Kuitenkin vain osa sedimentistä vapautuvista ravinteista on perustuotannolle käyttökelpoisessa liukoisessa muodossa. Toisaalta samentuma heikentää kasviplanktontuotantoa valo-olosuhteiden heikkenemisen myötä. Ulompana samentumat jäävät valoisan kerroksen alapuolisiin vesikerroksiin, eikä vaikutuksia valoisan kerroksen perustuotantoon juuri aiheudu. Ravinteiden rehevöittävät vaikutukset jäävät paikallisiksi ja kokonaisuutena vähäisiksi.

Kestoltaan lyhytaikainen lievä samennus ei heikennä merkittävästi merialueen ekologista tilaa. Sedimenttitutkimuksen perusteella sedimentin haitta-aineiden pitoisuudet olivat pääosin alhaisia. Kohonneita pitoisuuksia havaittiin paikoin satama-alueella ja sen tuloväylällä. Nämä massat läjitetään satama-alueelle altaisiin. Siten ruoppausten ei arvioida vaikuttavan myöskään merialueen kemialliseen tilaan.

7 LÄHTEET

Craig, P. M. 2011. User's Manual for EFDC_Explorer: A Pre/Post Processor for the Environmental Fluid Dynamics Code. Dynamic Solutions-International, LLC, Knoxville, TN, USA

Pöyry Finland Oy, 2008. Tornion väylän ruoppauksen tarkkailu v. 2007, loppuraportti

Pöyry Finland Oy 2010a. Raahen väylän ja sataman ruoppauksen tarkkailut v. 2008–2009, yhteenvetoraportti.

Pöyry Finland Oy 2010b. Oritkarin väylän levennys ja huoltoruoppaus. Imuruoppausaltaan pengerrys v. 2008 ja ruoppaustyöt v. 2009, yhteenvetoraportti

Pöyry Finland Oy, 2011. Oulun 10 m väylän huoltoruoppaus tarkkailu v. 2008–2010, Yhteenvetoraportti.

Pöyry Finland Oy 2012. Länsilaiturin alueen rakentaminen, vaihe 2, ensimmäinen laiva- paikka. Rakentamiseen liittyvien ruoppausten ja massojen läjityksen vesilain mukainen lupahakemus.

Pöyry Finland Oy 2015. Oritkarin sataman Länsilaiturin vaiheen 2 rakentaminen. Ruoppaustöiden vesistö tarkkailu v. 2014.

Pöyry Finland Oy 2016. Oulun meriväylän syventäminen, Sedimenttitutkimus.

Ympäristöhallinto 2016. Paikkatietojärjestelmä OIVA (HERTTA-tietokanta).
[<http://www.p2.ymparisto.fi/scripts/oiva.asp>]

Lapin Vesitutkimus Oy. 2011. Oulun edustan vesistö- ja kalataloustarkkailuohjelma vuosille 2012–2018. Moniste.

