

Tahkoluodon merituulipuiston laajennukseen  
liittyvät rakennusaikaisen samentuman arviointi  
virtaus- ja vedenlaatulaskennan avulla

11.11.2021, v3

Asiakas: Suomen Hyötytuuli Oy

Projektinumero: 101016896-001

Hannu Lauri, DI  
Lotta Lehtinen, MMM  
Kaisa Kettunen, DI (Tarkastaja)

AFRY Finland Oy,  
Vesistöselvitykset,  
Elektroniikkatie 13  
90590 OULU

Copyright © AFRY Finland Oy

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



## Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	3
2	Lähtötiedot.....	3
2.1	Kohdealue.....	3
3	Mallinnus .....	3
3.1	Mallihila.....	4
4	Läjitysalueiden pohjaläheisten virtausnopeuksien arviointi.....	6
4.1	Tulosten tarkastelu.....	9
5	Samentuman laskenta ja kuormitukset .....	11
6	Ruoppauksen aiheuttama samentuma, tulokset.....	14
6.1	Tuulivoimalapaikkojen ruoppauksen aiheuttama samentuma	14
6.2	Kaapelikaivantojen ruoppauksen aiheuttama samentuma ...	20
7	Läjityksen aiheuttama samentuma, tuloksia.....	25
7.1	Läjityspaikat ja laskentatapa.....	25
7.2	Samentuman kuukausikeskiarvot.....	26
7.3	Samentuman suurin arvioitu leviäminen .....	33
8	Yhteenveto.....	40
9	Lähdeluettelo.....	41

## 1 Johdanto

Tässä raportissa on arvioitu Tahkoluodon merialueelle suunnitellun tuulipuiston rakentamisvaiheen aikaisista ruoppauksista ja ruoppausmassojen läjityksestä aiheutuvia vaikutuksia alueen vedenlaatuun. Arviointi on tehty virtaus- ja vedenlaatumallia käyttäen.

Raportissa on esitetty arvio töiden aiheuttamista kuormituksista, kiintoaineen leviäminen ruoppauskohteista, läjitysalueiden pohjan läheiset virtausnopeudet, sekä läjityskuormituksen leviäminen eri sääolosuhteissa.

## 2 Lähtötiedot

### 2.1 Kohdealue

Tahkoluodosta länteen ulottuva merialue on rannikon läheistä avomerta. Tarkasteltava alue sijoittuu pääasiassa 10 – 50 m syvyysvyöhykkeelle Tahkoluodon edustalle (Kuva 1). Syvin tarkastelualueen piste on noin 60 m. Alueella syvenee varsin tasaisesti rannikolta avomerellä päin, mutta meren pohjalla on myös idän ja kaakon suunnalta länteen ja luoteeseen suuntautuvia harjanteita ja myös erillisiä syvänteitä. Saaria ei ole. Alueen itäosaan vaikuttaa Kokemäenjoen virtaama, muita suurempia jokia ei alueelle laske.

Merialueen päävirtaussuunta on rannikon suuntainen etelästä pohjoiseen. Ajoittain, olosuhteista riippuen, virtaussuunta voi rannikon lähellä kääntyä myös pohjoisesta etelään. Kokemäenjoen vedet jakautuvat pääasiassa länteen ja pohjoiseen, ja sekoittuvat meriveteen saaristovyöhykkeen reunalla. Rannikolla on ajoittain kumpuamista, mikä näkyy kesäisin esim. veden pintalämpötilassa siten, että rannikon lähellä olevan veden pintalämpötila laskee nopeasti, ja voi olla selvästi avomeren vettä viileämpää.

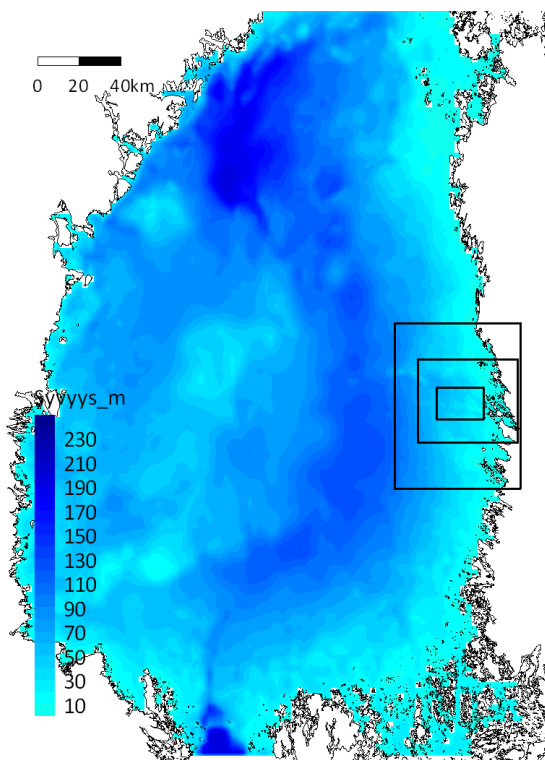
## 3 Mallinnus

Tahkoluodon edustan merialue mallinnettiin 3d virtausmallilla (YVA 3d- malli). Käytetty EIA3d-virtaus- ja vedenlaatumalli perustuu hydrostaattisten 3d-virtausyhtälöiden ratkaisemiseen numeerisesti asteittain tarkentuvassa suorakulmaisessa neliöhilassa. Vaakasuunnassa mallihila koostuu suorakulmaisista ruuduista, syvyysuunnassa malli käyttää vakiosyvyystasoihin perustuvaa kerrosjakoa. Malli soveltuu hyvin Suomen järvi- ja rannikkoalueiden kuvaamiseen, ja sitä on käytetty yli sataan laskentasovellukseen Suomessa ja ulkomailla (Koponen et. al 2008).

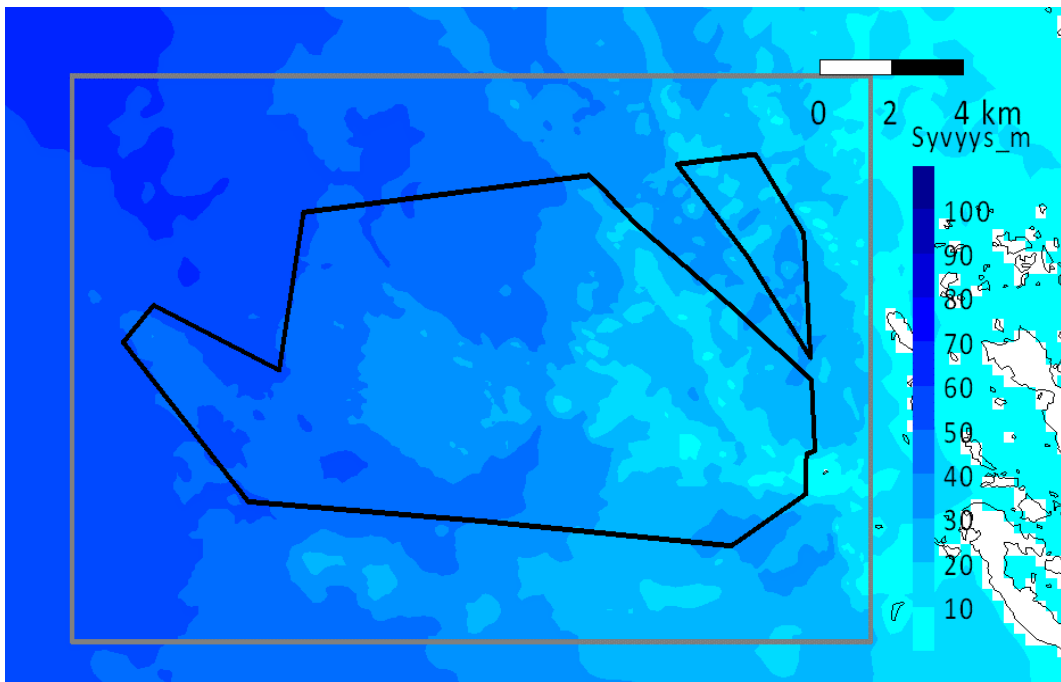
### 3.1 Mallihila

Mallisovelluksen kattama merialue on esitetty kuvassa 1. Suomen rannikkoalueen syvyystietoina käytettiin Liikenneviraston avoimen datan perusteella tehtyä syvyyssmallia (Liikennevirasto 2021). Kohdealueen tietoja tarkennettiin vielä Traficomin toimittamalla 40 m vaakaresoluution syvyysdatalla (Traficom 2021).

Mallin laskentahilana käytettiin asteittain tarkentuvaa sisäkkäistä neliöhilaa, jossa kohdealueen vaakatason hilatarkkuus oli 100 m ja harvimman hilatason vaakatarckuus oli 2 700 m. Syvyyssuunnassa mallissa on 36 hilatasa, hilatason syvyys on 2 m välillä 0 – 50 m. 50 m tason alapuolella yksittäisen hilatason paksuus kasvaa tasaisesti niin, että alimman hilakerroksen paksuus noin sadan metrin syvyydellä on 8 m. Syvyyvälillä 0 – 50 m on tässä käytetty 2 m syvyystartkuutta, johtuen siitä että syvimät läjityspaikat ovat noin 50 m tasolla. Tässä käytetyllä syvyysjaotuksella koko 0 – 50 m syvyysväli lasketaan samalla hilatarkkuudella.



*Kuva 1: Koko mallihila, kattaa Selkämeren Ahvenanmaalta Merenkurkkuun. Mallin hilatarkennusten rajat Porin edustalla esitetty mustalla rajauksella.*



Kuva 2: Mallin tarkin hilataso (rajattu harmaalla) sekä suunnitellun tuulivoimapuiston hankealue.

Mallin reunaehtoina etelässä ja pohjoisessa käytettiin koko Itämeren mallista otettuja pinnankorkeuden, lämpötilan ja suolaisuuden arvoja. Pinnankorkeuden arvoja korjattiin lisäksi lähimmän mareografin mittausarvojen perusteella vastaamaan tarkemmin mitattua vedenkorkeuden vaihtelua. Mitatut vedenkorkeudet saatiin SMHI:n (Swedish Meteorological and Hydrological Institute) tietojen latauspalvelusta (SMHI, 2021).

Mallin säätietoina käytettiin Euroopan sääkeskuksen (ECMWF) tuottamaan ERA5-reanalysis alueellista säädataa (Copernicus Climate Change Service, 2017). Sää tiedoissa oli mukana tuulen suunta ja nopeus, ilmanpaine, ilman kosteus, tuleva säteily ja ilman lämpötila.

Mallin alueelle sijoittuvien suurempien jokien virtaama olivat laskennassa mukana. Suomen rannikon joista mukana oli Kokemäenjoki, Ruotsin rannikon joista mukana olivat Faxelva, Indalselva ja Dalelva. Jokivirtaamat Suomen jokiin saatiin SYKE:n Hertta-palvelusta (SYKE 2021), ja Ruotsin jokiin SMHI:n verkkopalvelusta (SMHI, 2021).

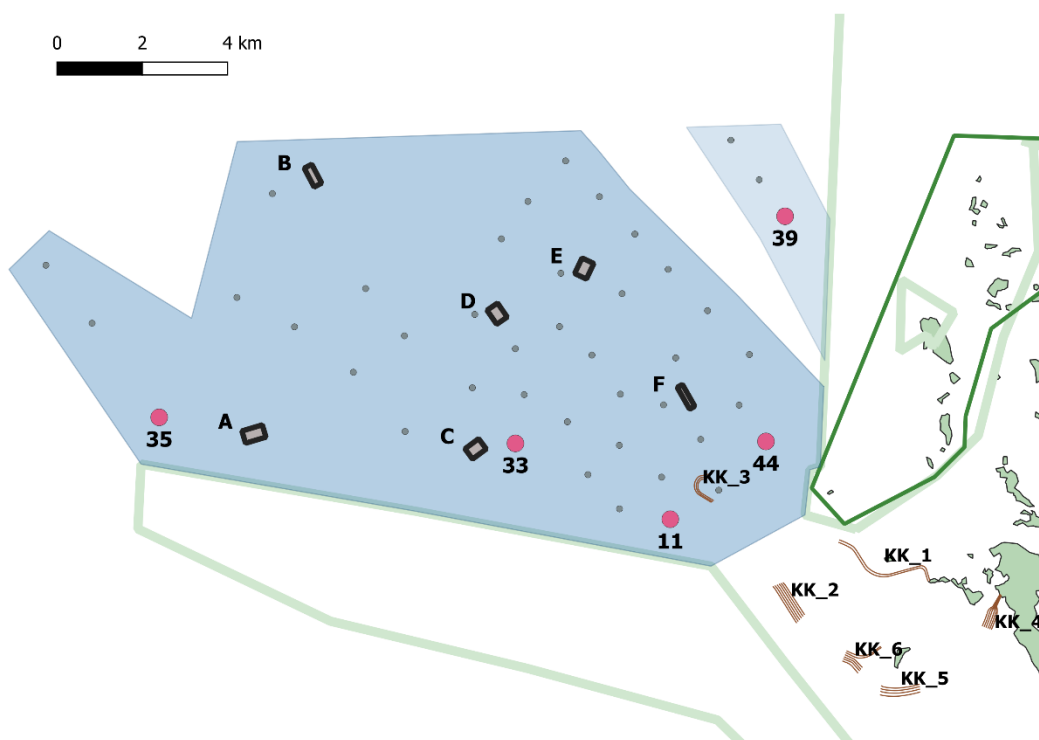
Mallin alkutilanteena suolaisuuden ja lämpötilan osalta käytettiin SMHI:n NEMO-mallin reanalysis-kenttää, joka haettiin Copernicus Marine Service- nettipalvelusta (CMEMS 2021).

## 4 Läjitysalueiden pohjaläheisten virtausnopeuksien arviointi

Alueella tehtävien ruoppauksista kertyvä pohjamateriaali on suunniteltu läjitettäväksi kuvassa 3 esitetyn hankealueen sisäpuolelle. Kuvassa on esitetty myös suunnitellut paikat mahdollisille läjitysalueille. Alueiden sopivuutta läjitykseen on tässä pyritty arvioitu laskemalla kultakin alueelta pohjan läheinen virtausnopeus aluetta edustavasta aikasarjapisteestä, joka sijoitettiin vaakasuunnassa alueen keskipistettä lähimpänä olevaan hilapisteeseen 1 – 3 m etäisyydelle pohjasta ylöspäin.

Läjitykseen soveltuvat yleisesti parhaiten sellaiset alueet, joilla virtausnopeuden keski- ja maksimiarvot jäävät pieniksi. Taulukossa 1 on esitetty kuvan 3 alueille laskettujen pohjanläheisten virtausnopeuksien keskiarvot (k.a), keskihajonnat (std) ja virtausnopeuksien minimi- ja maksimiarvot aikaväliltä 1.6.2019 – 31.5.2021. Kuvassa 4 nopeuksien keskiarvot on esitetty graafisesti. Kuvissa 5 ja 6 on esitetty eri alueille laskettujen virtausnopeuksien jakaumat.

Kuvassa 4 on esitetty myös yhden alueen (D) pohjaläheisten virtausnopeuksien keskiarvo eri kuukausina. Virtausnopeudet ovat kesällä selvästi talvea pienempiä, mikä johtuu suoraan siitä, että tuulen nopeudet ovat kesällä pienempiä kuin talvella. Jäätä ei talvella 2019 – 2020 Selkämerellä ollut muuten kuin sisäsaaristossa, joten jään vaikutusta ei tuloksissa ole mukana.



Kuva 3: Läjitysalueiden, voimaloiden ja laskettavien kaapelikaivantojen paikat Tahkoluodon edustalla.

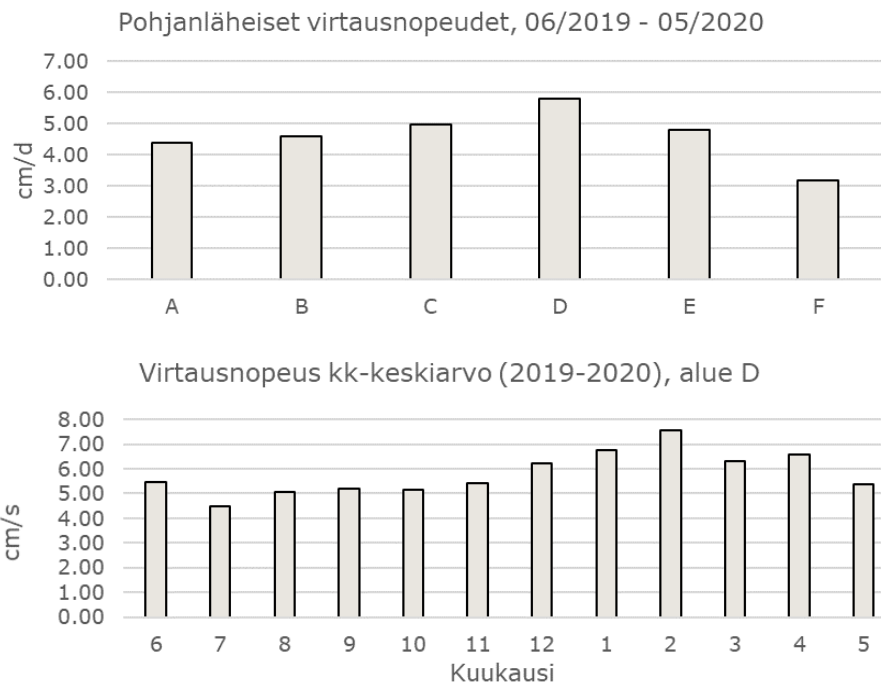
Pienimmät keskimääräiset virtausnopeudet ovat läjitysalueilla A ja F. Näissä pisteissä laskentajakson virtausnopeuden keskiarvo jää alle 4,5 cm/s. Pisteissä B, C ja E keskiarvo on alle 5 cm/s ja pisteessä D virtausnopeuden keskiarvo on 5,8 cm/s. Virtausnopeuden keskiarvon mediaaniin tai sen alle sijoittuvat pisteet A, B ja F.

Tyypillisesti syvemmillä olevissa pisteissä virtausnopeus on usein matalalla olevia pisteitä pienempi, vaikka tässä tapauksessa kyseistä riippuvuutta ei näytä juuri olevan. Yksittäisen pisteen virtausnopeuksiin vaikuttaa myös pisteen sijainti ympäröivään topografiaan verrattuna (esim. syvänteessä) ja pisteen ympärillä olevat virtausta hidastavat tekijät, kuten matalikot ja saaret.

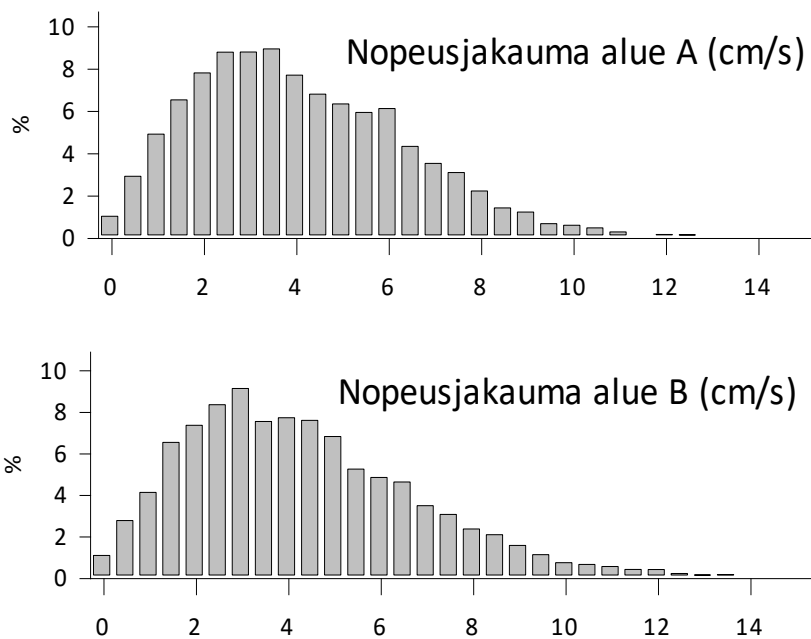
*Taulukko 1: Pohjanläheiset virtausnopeudet eri pisteissä, syvyys on tässä mallin aikasarjapisteen syvyytaso, joka on noin 1-3 m pohjan yläpuolella, jakso 1.6.2019 – 31.5.2020.*

Alue	Hilan syvyys (m)	mittaus-syvyys (m)	k.a. (cm/s)	std (cm/s)	min (cm/s)	max (cm/s)
A	56.4	55	4.37	2.31	0.03	14.91
B	50.6	49	4.60	2.54	0.01	15.86
C	42.6	41	4.97	2.85	0.02	17.11
D	42.0	41	5.79	3.32	0.03	18.33
E	31.7	29	4.80	2.77	0.05	15.17
F	28.6	27	3.19	1.99	0.03	10.70
k.a.			4.62			
mediaani			4.70			

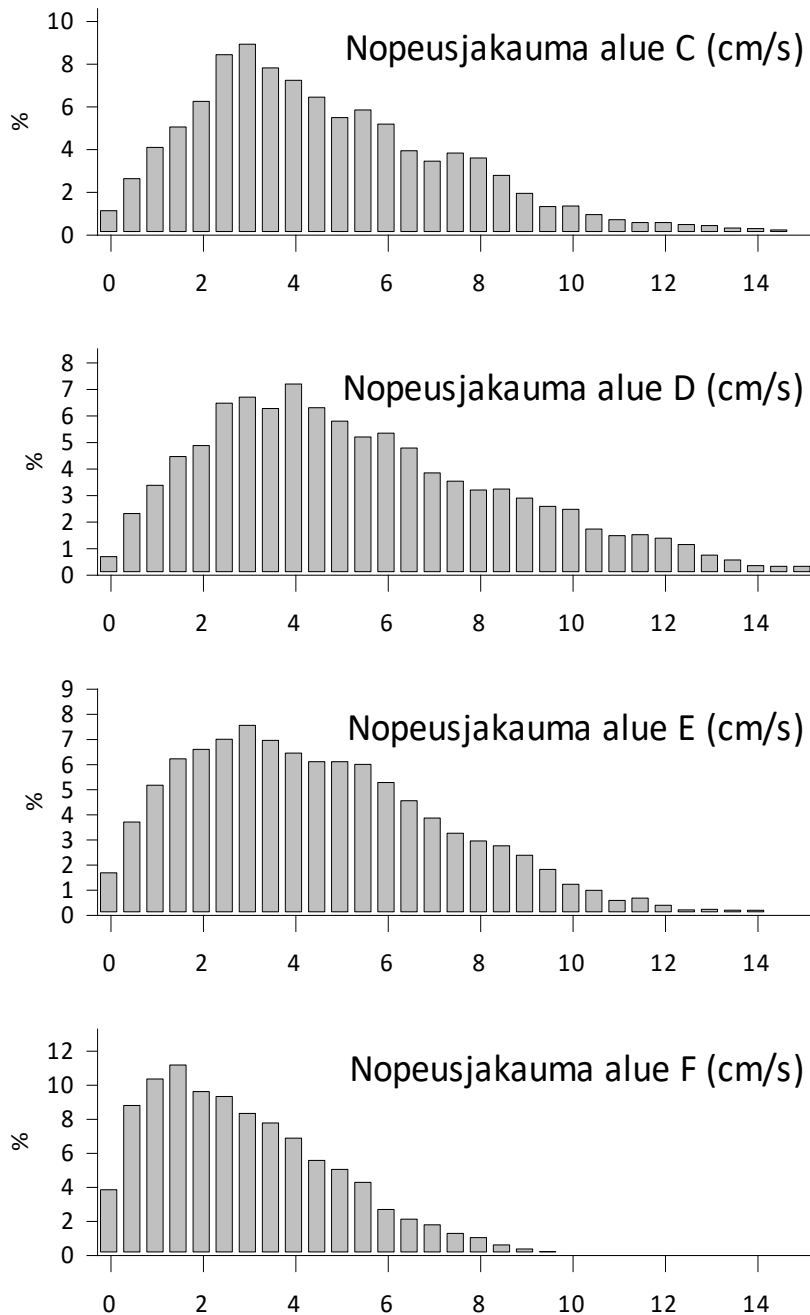




Kuva 4: Pohjanläheiset virtausnopeudet Taulukon 1 alueille, sekä pohjanläheisen virtausnopeuden kuukausikeskiarvot alueelle D.



Kuva 5: Virtausnopeuksien jakauma pohjan läheisissä pisteissä, alueet A ja B.



Kuva 6: Virtausnopeuksien jakauma pohjan läheisissä pisteissä, alueet C, D, E ja F.

#### 4.1 Tulosten tarkastelu

Läjitetty massa voi läjityksen jälkeen resuspendoitua veteen, mikäli virtausnopeus pohjan lähellä ylittää resuspensioon tarvittavan kriittisen virtausnopeuden. Pohjasedimentin resuspensio on normaali tapahtuma, jota tapahtuu kovilla tuulilla myös luonnontilaisilta pohjilta. Resuspensio riippuu pohjan läheisen virtauksen nopeudesta ja pohjan laadusta, joten sen suuruus vaihtelee merkittävästi paikasta riippuen.

Läjitettäessä ruoppausmassoja pohjalle pyritään läjityspaikka valitsemaan siten, että virtausnopeudet alueella eivät aiheuta merkittävää läjitettyjen massojen resuspendoitumista, ja siten läjitysmassojen leviämistä läjitysalueen ulkopuolelle.

Kahden aikaisemman läjitettyjen massojen käyttäytymistä tarkastelleen tutkimuksen perusteella meriläjitys ei aiheuttanut merkittävää samentumaa läjityksen päätyttyä. Vuosaaren sataman läjitysalueella (Helsingin Satama 2011) tehtiin virtausmittauksia kesällä ja marras- joulukuussa. Keskimääräinen mitattu virtausnopeus oli marras- joulukuussa 2006 3,8 cm/s, ja heinä- elokuussa 2007 4,0 cm/s. Mittausten tarkkoja syvyystietoja ei ollut raportissa ilmoitettu, mutta oletettavasti mittaukset on suoritettu pohjan läheisestä kerroksesta. Vuosien 2005 – 2008 aikana tehdyissä sameusmittauksissa ei havaittu merkittävää sameuden nousua pohjan läheisessä kerroksessa muutoin kuin läjitysten aikana.

Uudenkaupungin edustan mittauksissa (Vaittinen & Vartia 2016) läjitysalue sijaitsi noin 20 – 25 m syvyisellä alueella ulkosaaristossa. Pohjan läheiselle kerrokselle toukokuussa 2014 ja loka- marraskuussa mitatut keskimääräiset virtausnopeudet olivat 4 – 4,5 cm/s välillä. Tutkimuksessa käytettiin sedimenttikeräimiä ennen läjitystä, läjityksen aikana ja läjityksen jälkeen. Sedimentin kertymisen havaittiin kasvaneen läjityksen aikana, mutta läjityksen jälkeen sedimenttiä kertyi vain vastaavassa määrin kuin ennen läjitystä tehdyillä mittausjaksolla, kun tuloksia verrattiin todennäköisen kulkeutumisalueen ulkopuolella oleviin vertailumittauksiin.

Sedimenttien eroosioherkkyttä on tutkittu mittaamalla pohjalta otetuista näytteistä pohjasedimentin erodoitumiseen vaadittua kriittistä virtausnopeutta (Suomela 2016). Kyseissä tutkimuksessa saatiin eri sedimenttinäytteistä mitatulle kriittiselle virtausnopeudelle arvoja 10 cm/s – 35 cm/s väliltä, kun nopeus mitattiin välittömästi sedimentin pinnan yläpuolelta. Pienimmät nopeusarvot mitattiin sedimenteille, joiden vesipitoisuus oli suurin. Erie-järvellä suoraan järven pohjalta mitattuna kriittiselle virtausnopeudelle saatiin arvo 25 cm/s, joka on laboratorioissa mitattuja arvoja vastaavaa suuruusluokkaa (Valipur et al. 2017).

Tahkoluodon alueelle mallinnettujen pisteiden keskimääräiset lasketut virtausnopeudet olivat yhtä lukuun ottamatta 5 cm/s tasolla tai sen alle, joten tulokset vastaavat näiltä osin kohtalaisen hyvin Uudenkaupungin ja Helsingin edustalla mitattuja nopeuksia. Tässä mallinnettuja virtausnopeuksia vastaava mitattu virtausnopeuden keskiarvo ei Uudenkaupungin tai Vuosaaren alueilla aiheuttanut läjitysalueilla luonnontilasta poikkeavaa sedimentin resuspendoitumista, mistä päätellen mallitulosten perusteella esitettyjen läjitysalueiden voi arvioida soveltuvan meriläjitykseen.

## 5 Samentuman laskenta ja kuormitukset

Hankealueella on tarkoitus tehdä tuulivoimaloiden perustuksiin ja kaapelointiin liittyviä ruoppauksia. Kokonaisuudessa ruoppausmääräksi on arvioitu noin 700 000 m<sup>3</sup>krt (kiintokuutiota, teoreettinen kiintotilavuus). Meren pohja kohdealueella koostuu pääasiassa erilaisista moreeneista. Moreenien lisäksi alueella on myös hienoainesta sisältäviä pohjia, 12 % ruopattavasta materiaalista on luokiteltu kategoriaan siltti/savi/sekasedimentti.

Ruoppausta suunnitellaan tehtäväksi sekä kauha- että imuruoppauksena. Ruoppausnopeuden oletetaan olevan 2 500 – 5 000 m<sup>3</sup>/d (kiintokuutiota) molemmille menetelmille. Ruoppauksia voidaan suorittaa myös yhtäaikaisesti usealla aluksella.

Em. työnopeudella ja arvioidulla ruoppausmäärällä työt kestäisivät yhtäjaksoisesti toteutettuna 140 – 280 vuorokautta yhtä ruoppajaa kerrallaan käyttäen. Ruoppauskohteet ja läjityspaikat ovat hajallaan kohdealueella, joten kuormitus jakautuu käytännössä pitkälle aikavälille ja laajalle alueelle. Töitä ei voida suorittaa, jos tuuli tai merenkäynti on liian kova, ja myös siirtyminen ruoppauskohteesta toiseen vie aina hieman aikaa, joten käytännössä työn voi arvioida kestävän kauemmin enemmän kuin edellä on arvioitu. Huonon sään rajana, jota kovemmilla tuulilla töitä ei tehdä, on tässä käytetty tuulen nopeutta 10 m/s. Käytetyt tuulen nopeudet ovat Porin Tahkoluodon sääasemalta mitattuja tietoja.

### **Kiintoainefraktiot ja laskeutumisnopeudet**

Siltti ja savi ovat raekokojensa perusteella niitä materiaaleja, jotka suspendoituessaan veteen laskeutuvat hitaimmin pohjaan ja samalla kulkeutuvat kauimmaksi. Hiekkapartikkelit (läpimitta 0,06 – 2 mm) laskeutuvat pohjaan nopeasti: hiekkapartikkelille, jonka läpimitta on 0,27 mm, laskettu ja mitattu laskeutumisnopeus vedessä on noin 4 cm/s (Ferguson & Church, 2004). Esitetyllä laskeutumisnopeudella ja meriveden virtausnopeudella 15 cm/s ja 10 m putoamissyvyydellä partikkeli ehtii kulkeutua lähtöpaikaltaan alle 40 m matkan ennen kuin se törmää pohjaan.

Tässä on laskettu ainoastaan hienoaineksen, eli savi- ja silttifraktioiden aiheuttamaa samentumista ja sen leviämistä. Käytetyt laskeutumisnopeudet ovat siltille 10,6 m/d, ja (vastaa 0,012 mm kokoisen partikkelin laskeutumisnopeutta), ja savelle 0,6 m/d, (vastaa 0,0028 mm kokoisen partikkelin laskeutumisnopeutta). Savi koostuu pääosin tyypillisesti saven rajakokoa 0,002 mm suuremmista hiukkasista.

## **Ruoppauksen aiheuttama kuormitus**

Kauharuoppauksessa ruoppauspaikalla aiheutuva kuormitus johtuu pohjamateriaalin irtoamisesta ja kauhasta nostaessa poistuvasta aineksestä. Kuormitukseksi ruoppauspaikalla on arvioitu noin 14 – 17 kg ruopattavaa kuutiometriä kohti ruopattaessa pehmeitä sedimenttejä. Tämä on noin 2 – 3 % ruopattavasta materiaalista (Riipi, 1997).

Jos oletetaan, että em. arvio ( $17 \text{ kg/m}^3$ ) pätee myös moreenille ja oletetaan lisäksi tässä moreenin savi- ja silttipitoisuudeksi 50 % (silttimoreenille hienoainesosuus > 50%, hiekkamoreenille hienoainesosuus < 50 %), saadaan laskettua myös moreenin ruoppauksesta aiheutuva kuormitus. Arvioidaan vielä, että saven osuus moreenin sisältämästä hienoaineksesta on 1/6, ja siltin osuus 5/6. Tällöin ruopattaessa moreenia teholla  $5\,000 \text{ m}^3/\text{d}$  (kiintokuutiota) saadaan ruoppauspaikan kokonaiskuormitukseksi 85 tn/d moreenia, josta siis 50 % on hienoainesta. Kauharuoppauksen kuormitukseksi ruoppauspaikalla saadaan näillä oletuksilla enimmillään 7 tn/d savea ( $0,5 * 1/6$  kokonaiskuormasta) ja 36 tn/d silttiä ( $0,5 * 5/6$  kokonaiskuormituksesta). Kauharuoppauksen kuormituksen voi arvioida kohdistuvan koko vesipatsaaseen.

Leikkurilla tehtävässä imuruoppauksessa kuormitusta aiheutuu leikkuuterästä pohjalla ja toisaalta imuruopatun aineksen ylijuoksutuksesta. VTT:n raportin (Riipi, 1997) arvion mukaan imuruoppauksessa, jossa käytetään rajoitettua ylijuoksutusta, suspendoituu noin 15 kg kiintoainetta ruopattavaa kiintokuutiota kohti. Tällä laskentaperusteella teholla  $5\,000 \text{ m}^3/\text{d}$  (kiintokuutiota) hienoaineen imuruoppauksen aiheuttama kuormitus olisi 75 tn/d, joka 40/60 savi/siltti -jaolla tuottaa 30 tn/d savikuormituksen ja 45 tn/d silttikuormituksen. Kuormitusarvot voivat olla poiketa tässä esitetystä, jos ruoppaustapa on toinen kuin tietolähteessä käytetty menetelmä. Noin puolet kuormituksesta voi arvioida kohdistuvan pääasiassa pintakerrokseen (0 – 4 m pinnalta, ylivuodosta) ja puolet pohjalle (leikkuuterän aiheuttama pölytyys).

Oletetaan tässä vielä lisäksi, että ruoppauspaikalla tapahtuva sedimentin suspendoituminen ei vähennä läjitettävän materiaalin määrää ja läjityksestä aiheutuvaa kuormitusta.

## **Läjityksen aiheuttama kuormitus**

Ruopattaessa merestä nostettu maa-aines löyhtyy ja sen tilavuus suurenee, jolloin läjitettävä tilavuus on suurempi kuin ruopattu kiintokuutiomäärä. Läjitetävän tilavuuden oletetaan tässä olevan sekä hienoainekselle että moreenille 2 x kiintotilavuus. Mittayksikkö on irtokuutio ( $\text{m}^3/\text{d}$ ). Läjitetävää materiaalia syntyy näin arvioiden  $5\,000 - 10\,000 \text{ m}^3/\text{d}$  (irtokuutiota) alusta kohden. Hankkeen keskimääräisen läjitystehon arvioidaan kuitenkin jäävän noin puoleen yksittäisen ruoppauskohteen suurimmasta ruoppaustehosta.

Läjitettävät ainekset ja läjityspaikat jaotellaan tässä kahteen kategoriaan, hienoaines- ja moreeniläjäytyspaikat. Hienoainesläjityksiin viedään pääasiassa imuruoppaimella ruopattuja aineksia, joissa on tyypillisesti runsaammin hienoainesta kuin moreeniläjäytyspaikoille läjitettävissä materiaaleissa. Moreeniläjäytyspaikoille sijoitetaan kauhalla ruopattuja moreeneja, joiden hienoainespitoisuus on noin 30 %. Hienoainesläjityspaikoille on suunniteltu läjitettävän ensin hienoaineksia ja sen jälkeen moreenia.

Ruopattu materiaali kuljetetaan ruoppauspaikalta läjityspaikalle palkoproomuilla, joiden pohja on avattava. Proomun kooksi oletetaan tässä 3 333 m<sup>3</sup>ird. Läjäytystehoksi on tässä oletettu 5 000 m<sup>3</sup>ird vuorokaudessa. Edellä mainitulla proomukoolla läjityksen proomun purkuväliksi tulee 16 h. Täällä esitetyn läjäytystehon on arvioitu vastaavan käytännössä toteutuvaa keskimääräistä ruoppaus- ja läjäytystehoa.

Läjäityksessä lastin tyhjennyksen ja putoamisen pohjaan oletetaan kestävän 15 min, minkä aikana läjäytyksestä aiheutuva kuormitus sekoittuu veteen. Läjäityksessä osa läjitettävästä aineksesta suspendoituu veteen pudotessaan kohti pohjaa, lisäksi materiaalia suspendoituu kun materiaali törmää pohjaan. Täällä oletetaan, että läjäityksessä 5 % läjitettävästä massasta suspendoituu veteen välillä pinta – 4 m pohjasta ylöspäin ja toiset 5 % pohjan lähelle välillä 0 – 4 m pohjasta ylöspäin. Arvio perustuu VTT:n kirjallisuustutkimuksen tietoihin (Riipi, 1997), jonka mukaan 1 – 5 % läjitettävästä materiaalista suspendoituu ylempiin vesikerrokseen ja kokonaisuutena 90 % läjitettävästä kiintoaineksesta jää läjäityksen lähialueelle. Laskentaan on valittu täällä suurin suspendoitumisen arvo.

Ruopatun tiiviin saven irtotiheys on 1 500 kg/m<sup>3</sup>, ja kuiva-ainepitoisuus 600 kg/m<sup>3</sup> (Ympäristöministeriö 2015). Oletetaan täällä, että savi koostuu 40 % savipartikkeleista ja 60 % silttipartikkeleista. Yhdessä proomulastissa on tällöin 600 kg/m<sup>3</sup> \* 3 333 m<sup>3</sup> = 2000 tn kiintoainetta kuivapainona. Tästä läjitettäessä suspendoituu 5 % veteen ja 5 % pohjalle törmätessä, yhteensä 200 tn. Savipartikkelien osuus (40 %) on 80 tn ja silttipartikkelien osuus (60 %) 120 tn. Kun läjäytyksiä tehdään 5 000 m<sup>3</sup>ird/vrk (1,5 proomullista), saadaan täällä vuorokauden hienoainesläjäityksen kokonaiskuormitukseksi 120 tn/d savea ja 180 tn/d silttiä.

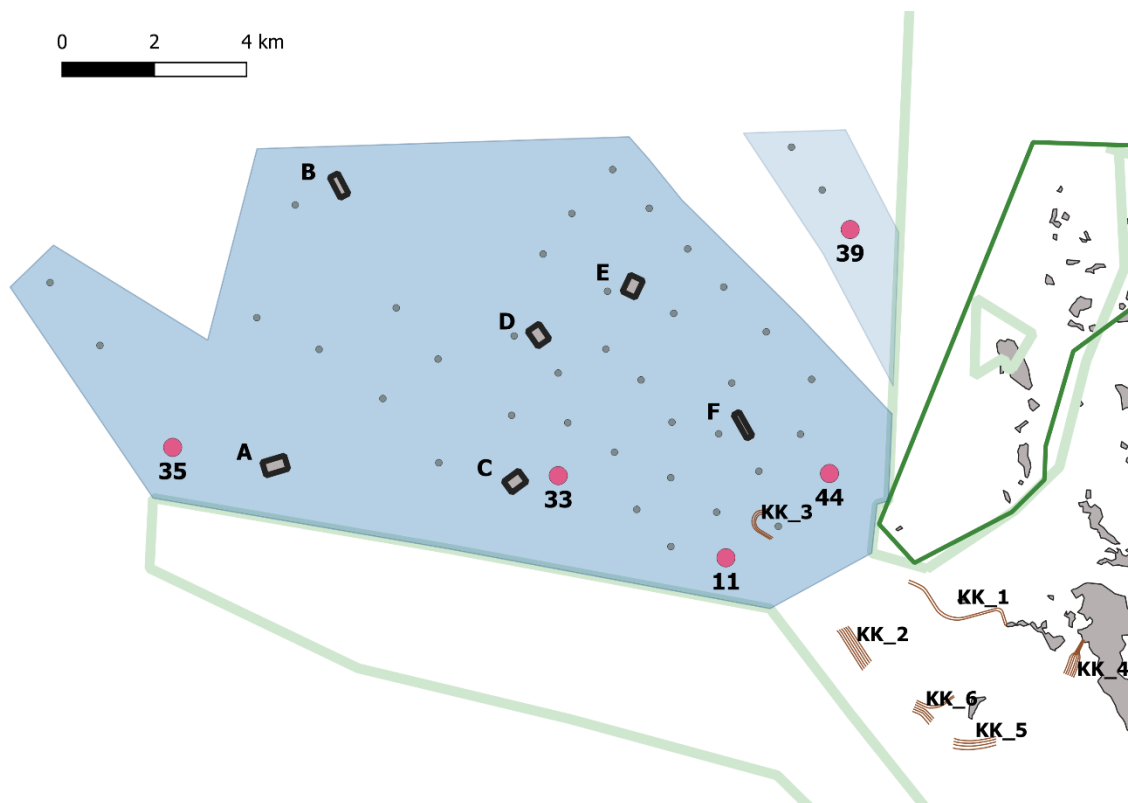
Moreenin irtotiheys on 2 200 kg/m<sup>3</sup> ja kuiva-ainepitoisuus 2 000 kg/m<sup>3</sup>. Silttiä moreenissa on 25 % ja savea 5 %. Tästä saadaan vastaavasti kuten edellä moreenin läjäityksen aiheuttamaksi kiintoaineen kokonaiskuormitukseksi 50 tn/d savea 250 tn/d silttiä.

## 6 Ruoppauksen aiheuttama samentuma, tulokset

Ruoppauksia tehdään tuulivoimalapaikoilla ja kaapelilinjoilla. Tässä ruoppauksen aiheuttamaa samentumaa tarkasteltiin viidelle eri tuulivoimalapaikalle, ja kuudelle kaapelikaivannon paikalle. Paikat valittiin siten, että ne olivat lähinnä hankealueen reunaa ja suojelualueita. Sisempänä hankealueella olevista ruoppauspaikosta kiintoaineen kulkeutuminen alueen ulkopuolelle on vähäisempää.

### 6.1 Tuulivoimalapaikkojen ruoppauksen aiheuttama samentuma

Tarkasteltavaksi valitut tuulivoimalapaikat on esitetty kuvassa 7. Paikat 33 ja 35 sijaitsevat savi/silttipohjilla ja ne ruopataan imuruoppaimella. Paikat 11, 39 ja 44 sijaitsevat moreenipohjilla ja ne ruopataan kauharuoppaimella. Ruoppauksen kuormituksena on käytetty luvussa 5 esitettyjä arvoja.

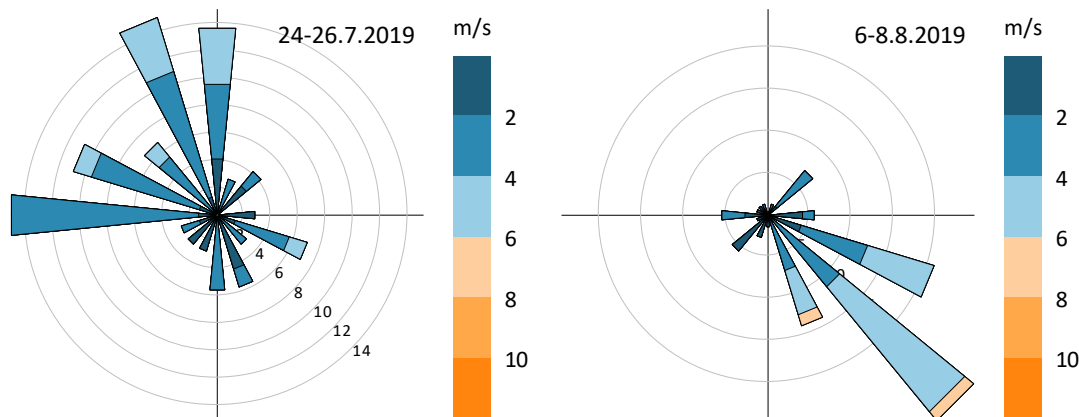


Kuva 7: Tarkastellut tuulivoimaloiden (punaiset ympyrät), kaapelikaivantojen (ruskeat viivat) ja läjitysalueiden paikat (harmaat laatikot). Kuvassa myös hankealue sinisellä ja suojelualueiden reunaviivat vihreällä.

Yksittäisen tuulivoimalapaikan ruoppausmassa vaihtelee 5 000 – 20 000 m<sup>3</sup> (kiintokuutiota) välillä, eli ruoppaus kestää tällöin 5 000 m<sup>3</sup> teholla 1 – 4 vuorokautta. Ruoppauksen aiheuttamaa samentumaa on tässä arvioitu laskemalla samentuman leviäminen kahdelle kolmen vuorokauden mittaiselle vähätuuliselle jaksolle. Jakson pituus valittiin ruoppauksen keskimääräisen keston perusteella.

Vähätuulisia jaksoja valittiin siksi, että vähätuulisella jaksolla virtausnopeudet ovat pienimmillään, jolloin samentuma sekoittuu vähiten ohi virtaavaan veteen ja samentumavaikutus on suurimmillaan.

Jaksoiksi valittiin Tahkoluodossa mitattujen tuulitietojen perusteella siten, että aikaväliltä 06/2019 – 10/2019 etsittiin ensin sellaiset jaksot joilla 3 vuorokauden keskituuli oli alle 4 m/s (alle 4 m/s keskituulia on mittauksessa noin 20 % osuus kaikista päivistä). Jaksoista valittiin kaksi, joilla tuulen suunnat pysyivät likimain samansuuntaisina, jaksolla 1 tuulen suunnat olivat pääasiassa lännestä ja koillisesta, ja jaksolla 2 enimmäkseen kaakon suunnalta. Tuuliruusuut jaksoilta on esitetty kuvassa 8. Jaksolla 1, (24.7.2019 klo 00 – 26.7.2019 klo 00) tuulet ovat pääasiassa lännestä ja luoteesta, kun taas jaksolla 2 (6.8.2019 klo 00 – 8.8.2019 klo 00) tuulet ovat pääasiassa kaakon suunnalta. Kiintoaineen leviäminen jaksolla 1 on esitetty kuvissa 9 ja 10, jakson 2 tulokset on esitetty kuvissa 11 ja 12.

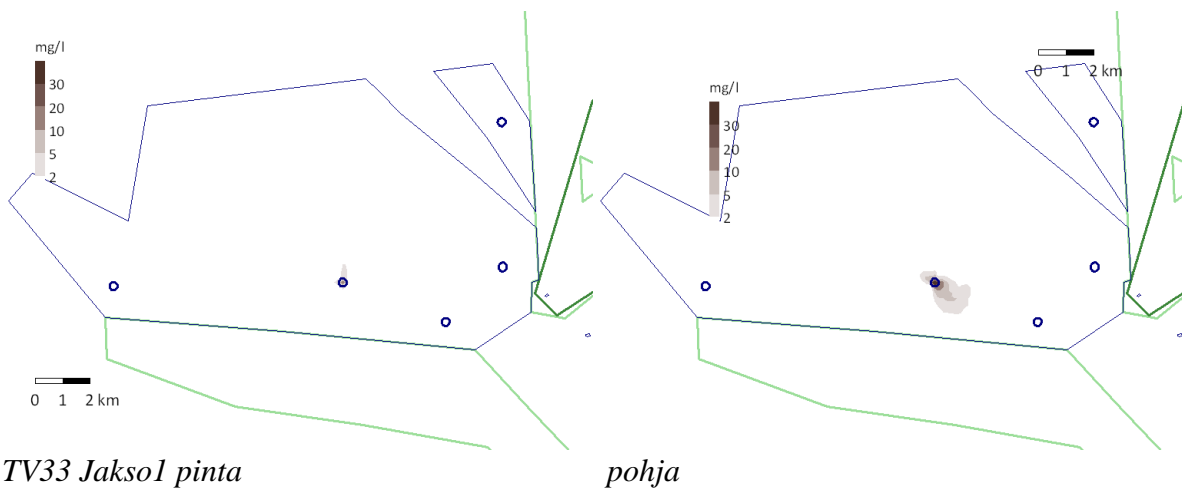
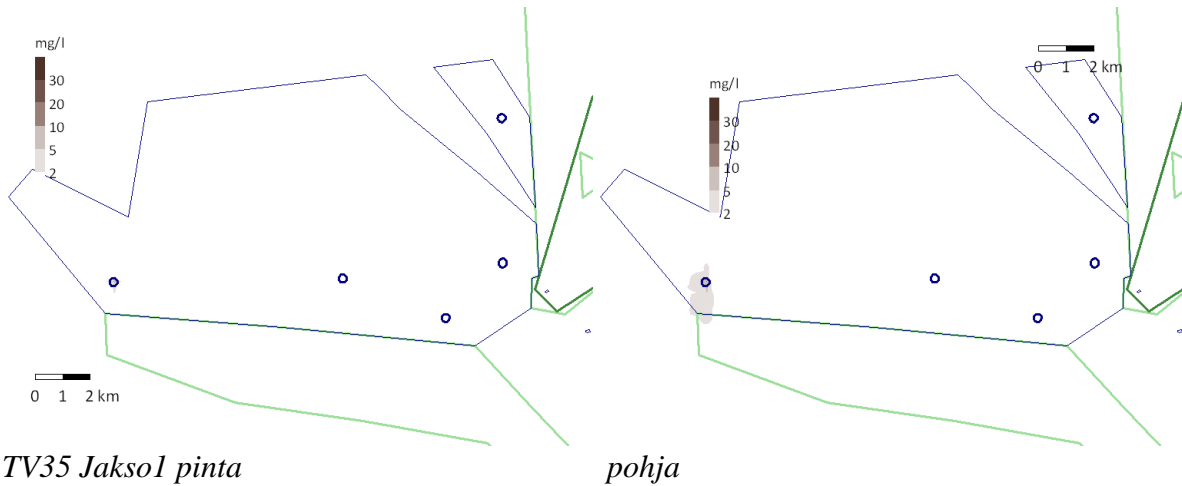


Kuva 8: Jaksojen 1 (24.7.2019 klo 00 – 26.7.2019 klo 23) ja 2 (6.8.2019 klo 00 – 8.8.2019 klo 23) tuuliruusuut. Jaksolla 1 tuulen keskinopeus 2,74 m/s, maksimi 5,3 m/s, jaksolla 2 keskinopeus 3,24 m/s, maksimi 7,8 m/s.

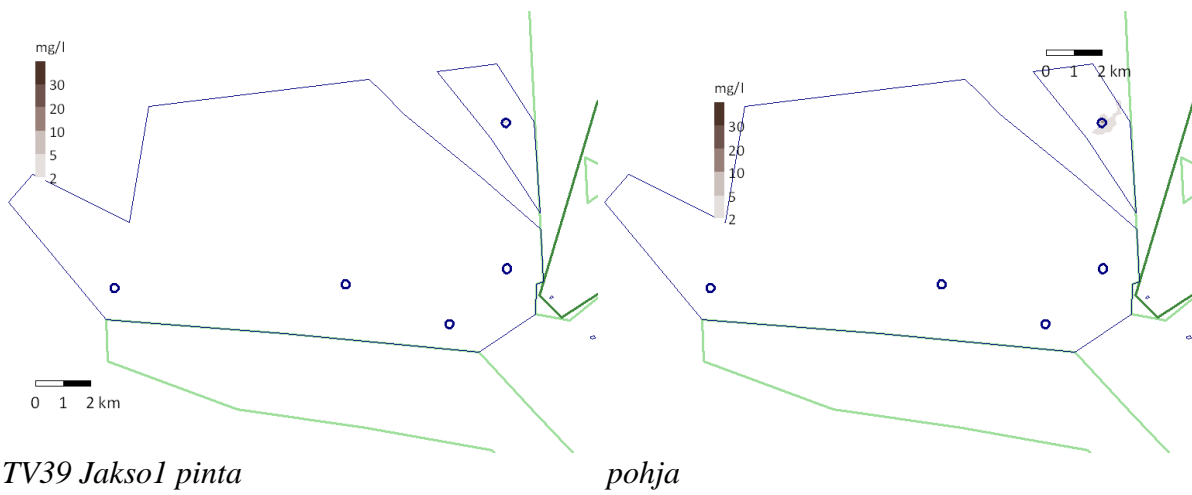
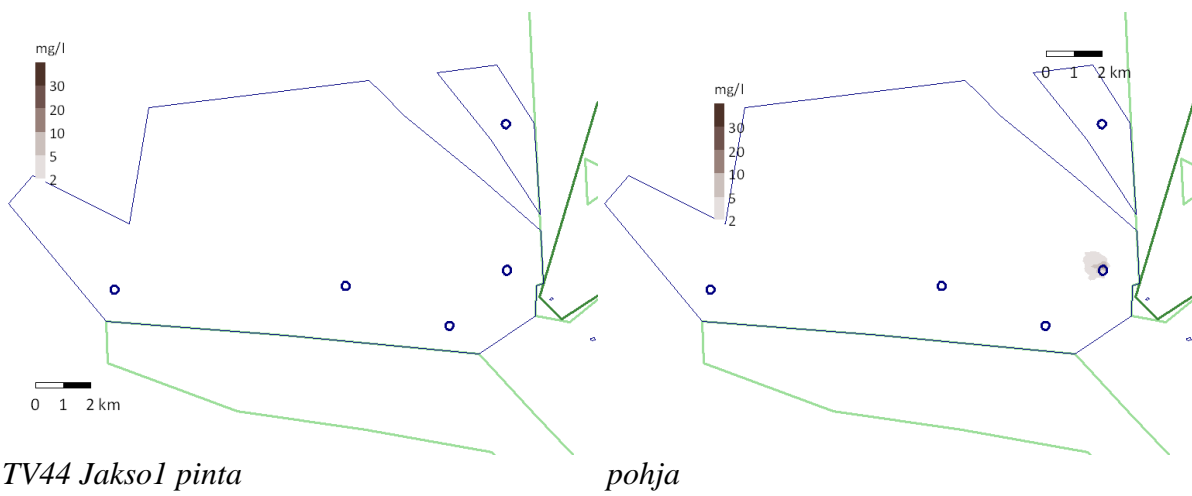
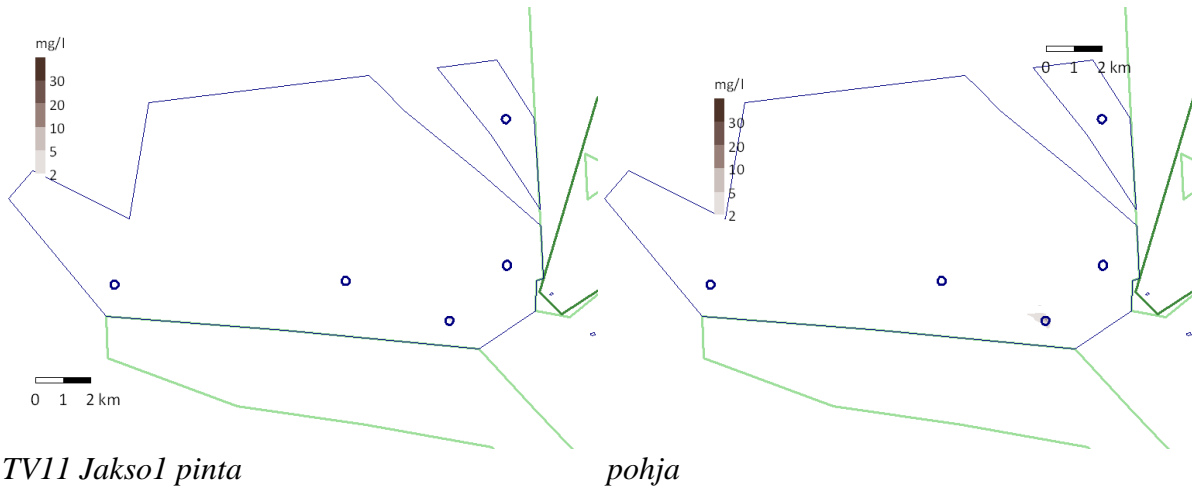
Ruoppauksen aiheuttaman samentuman päiväkeskiarvojen enimmäispitoisuudet jaksolla 1 valituissa ruoppauspisteissä (voimalapaikat 33, 35, 11, 44 ja 39) on esitetty kuvissa 9 ja 10, jakson 2 vastaavat kuvat on esitetty kuvissa 11 ja 12.

Samentuma on kaikissa pisteissä pieni ja yli 10 mg/l päiväkeskipitoisuuksia ei käytetyllä piirtotarkkuudella näy. Varsinkin pintakerroksessa samentuman päiväkeskiarvojen enimmäisarvo jää muualla kuin ruoppauskohteen välittömässä läheisyydessä alle 2 mg/l, jolloin pintakerroksen kuvissa ei samentumaa näy. Jaksolla 1 tuuli ja siten myös virtaamat ovat hieman jaksoa 2 heikompia, joten pitoisuusnousut ovat jaksoa 2 suurempia.

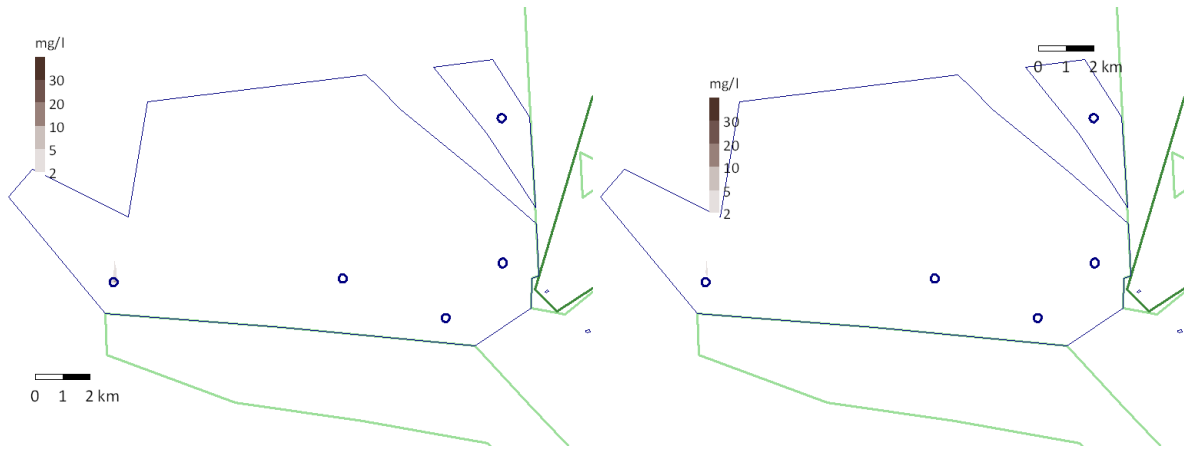




Kuva 9: Tuulivoimalapaikan ruoppauksen aiheuttama samentuma jaksolla 1, 24–26.7.2019, jakson päiväkeskiarvojen enimmäispitoisuus, paikat 33 ja 35 (lasketut tuulivoimalan paikat esitetty ympyröillä), molemmissa savi/silttipohja.

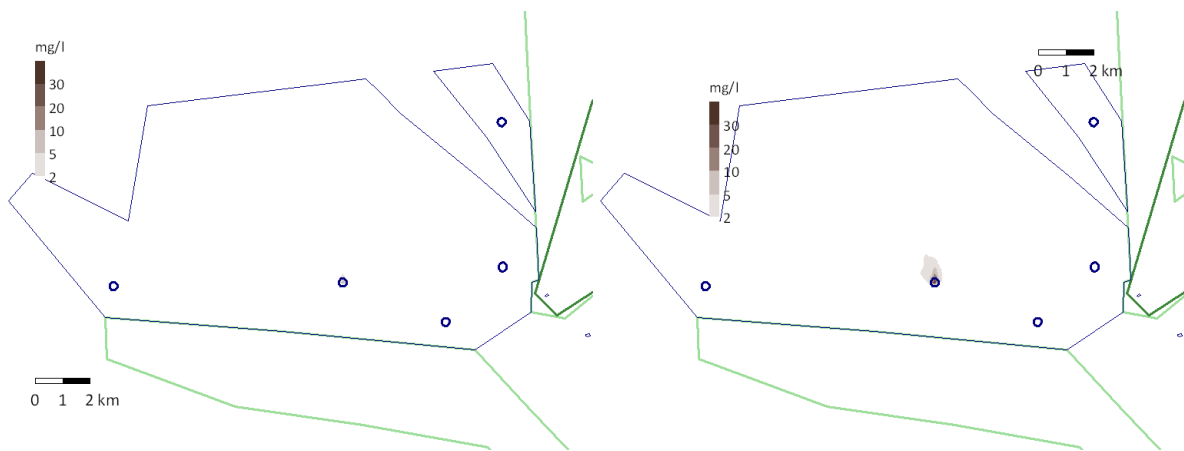


Kuva 10: Tuulivoimalapaikan ruoppauksen aiheuttama samentuma jaksolla 1, 24-26.7.2019, jakson päiväkeskiarvojen enimmäispitoisuus, paikat 11, 44 ja 39. Kailla paikoilla moreenipohja.



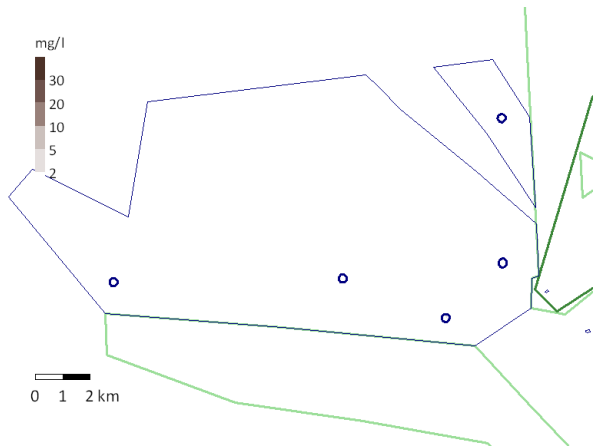
TV35 Jakso2 pinta

pohja

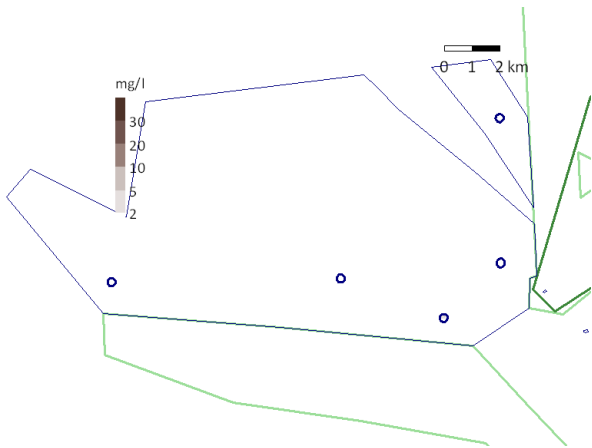


TV33 Jakso2 pinta pohja

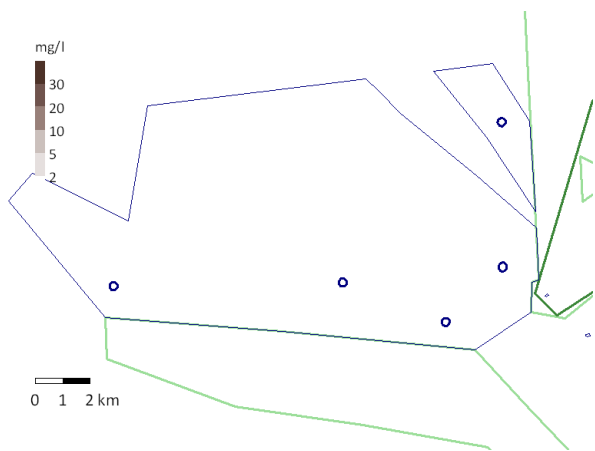
Kuva 11: Tuulivoimalapaikan ruoppauksen aiheuttama samentuma jaksolla 2, 6-8.9.2019, jakson päiväkeskiarvojen enimmäispitoisuus, paikat 33,35 (savi/silttipohja).



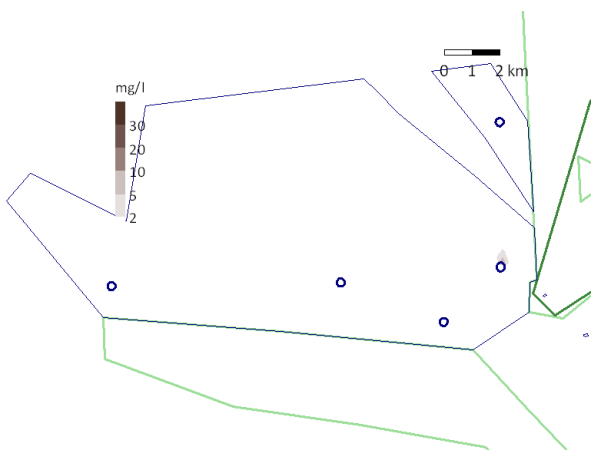
TV11 Jakso2 pinta



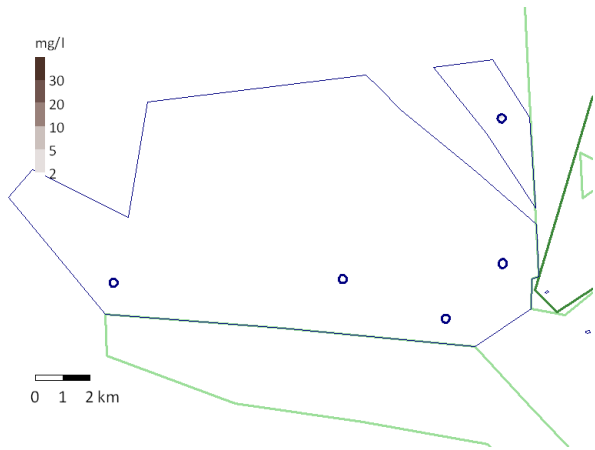
pohja



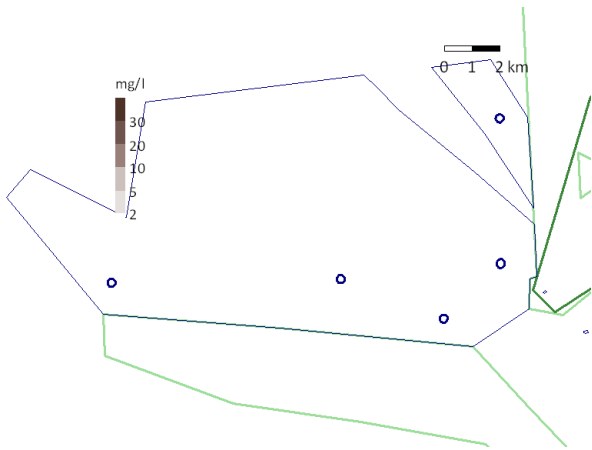
TV44 Jakso2 pinta



pohja



TV39 Jakso2 pinta



pohja

Kuva 12: Tuulivoimalapaikan ruoppauksen aiheuttama samentuma jaksolla 2, 6–8.9.2019, jakson päiväkeskiarvojen enimmäispitoisuus, paikat 11, 44 ja 39 (moreenipohja).

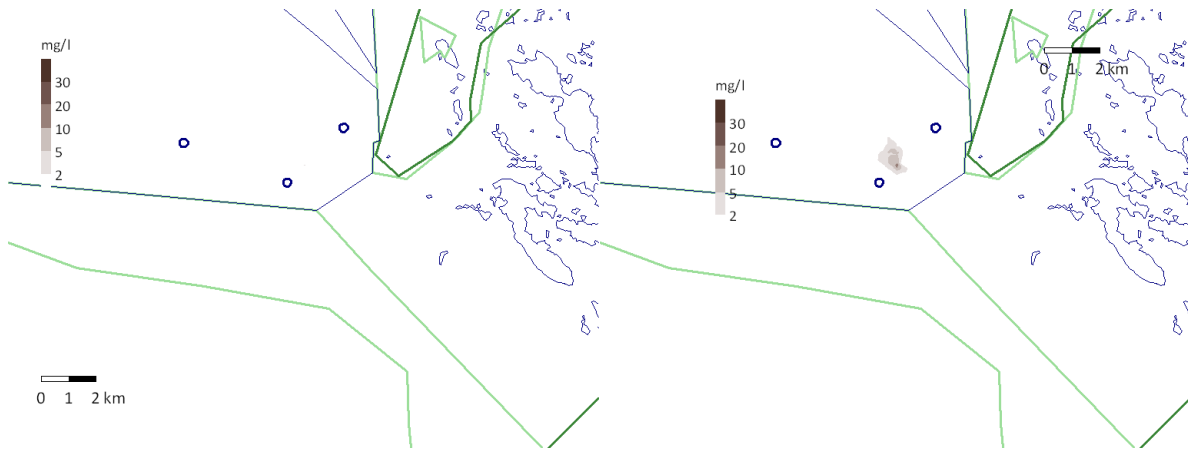
## 6.2 Kaapelikaivantojen ruoppauksen aiheuttama samentuma

Kaapelikaivannot ruopataan pääasiassa alueille, joissa syvyys on alle 20 m. Koska yhtä reittiä menee tyypillisesti useampi kaapeli, jotka on suunniteltu sijoitettavaksi eri kaivantoihin, on yhdessä ruoppauskohteessa useampi kaivanto rinnakkain. Kaikki kaivannot sijaitsevat moreenipohjilla. Yhden kaivannon poikki-leikkaukseksi oletetaan tässä 2,5 m<sup>2</sup>, jolloin 1 km kaivantoa sisältää 2 500 m<sup>3</sup> ruopattavaa massaa. 2 500 – 5 000 m<sup>3</sup>/d ruoppausnopeudella yksittäinen kaivanto etenee teoriassa noin 1 – 2 km vuorokaudessa, mutta käytännössä todennäköisesti hitaammin. Ruoppauksen kuormituksena on käytetty luvussa 5 moreenipohjan kauharuoppaukselle arvioituja kuormituksia 7 tn/d savea ja 36 tn/d silttiä ja ruoppaustehona 5 000 m<sup>3</sup>/d. Kuormitukset on sijoitettu laskennassa yhteen pisteeseen suunnilleen laskettavan kaapelikaivantoryhmän keskipisteeseen.

Kaapelikaivantojen ruoppauksen aiheuttama samentuminen laskettiin vastaaville jaksoille kuin voimalapaikkojen ruoppauksen aiheuttama samentuma. Lasketut samentuman päiväkeskiarvojen enimmäispitoisuudet ruoppauskohteille KK1 - KK6 on esitetty kuvissa 13 – 16 pinta- ja pohjakerroksille.

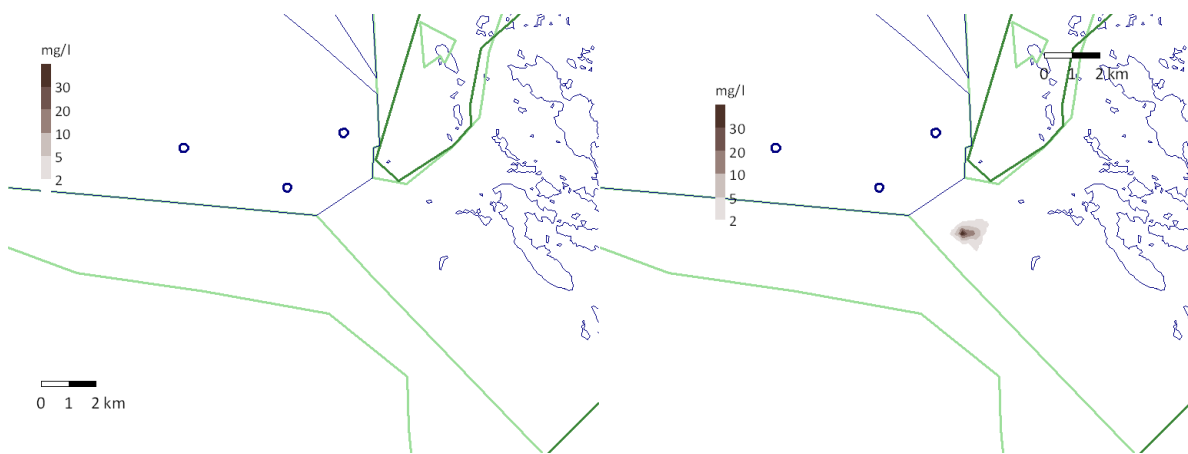
Kaapelikaivantojen ruoppaus moreenipohjaan ei laskennan mukaan aiheuta näkyvää samentumaa muualla kuin ruoppauskohteen välittömässä läheisyydessä. Matalammilla alueilla ruoppauksen aiheuttama kuormitus jakautuu syvyysuunnassa pienempään vesimäärään, mistä johtuen samentuman alue on matalalla sijaitsevilla ruoppauskohteilla suurempi kuin syvemmillä paikoilla.

Laskennassa on käytetty täyttä teoreettista ruoppaustehoa, joka on todennäköisesti yliarvio. Pienemmällä ruoppausteholla samentuma jää pienemmäksi, mutta kestää vastaavasti kauemmin.



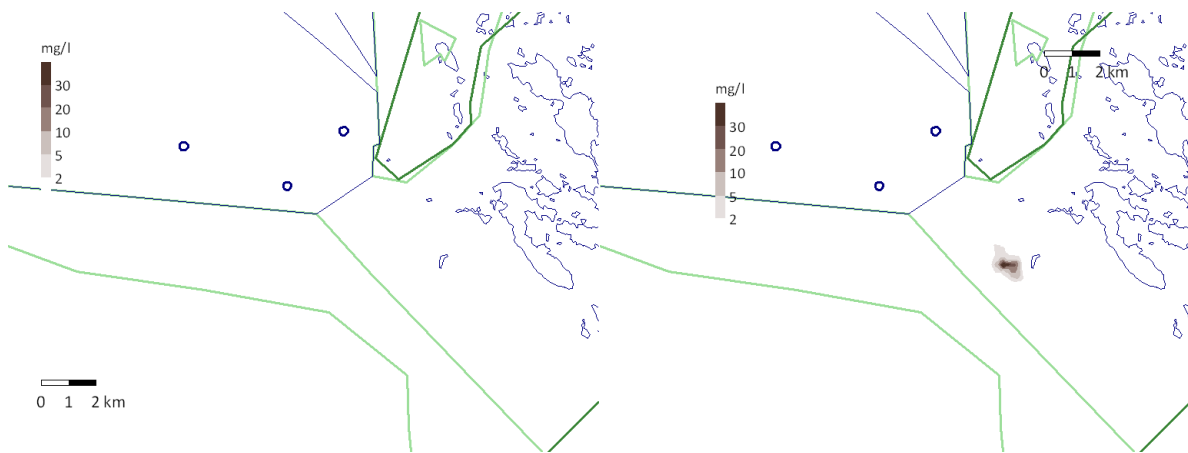
KK1 Jakso1 pinta

pohja



KK2 Jakso1 pinta

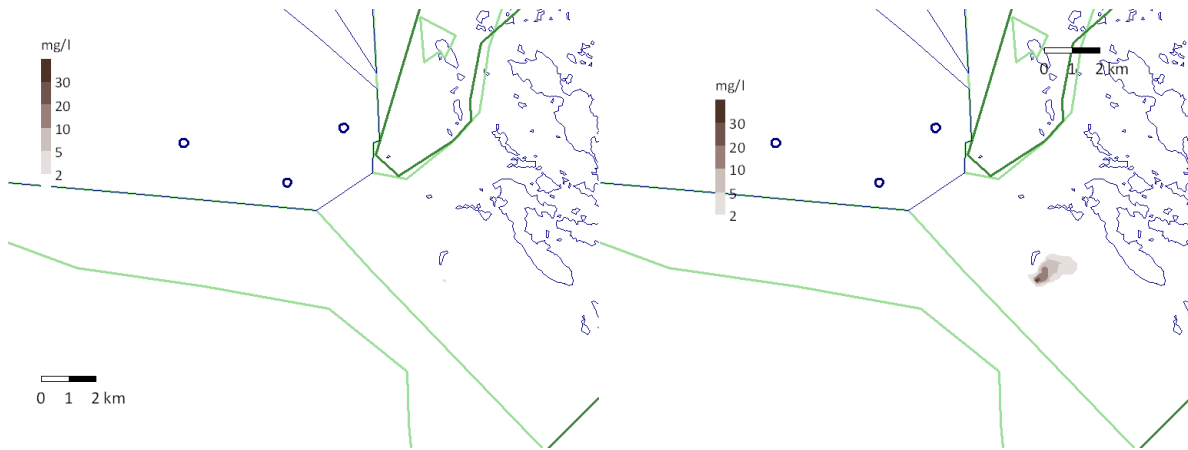
pohja



KK3 Jakso1 pinta

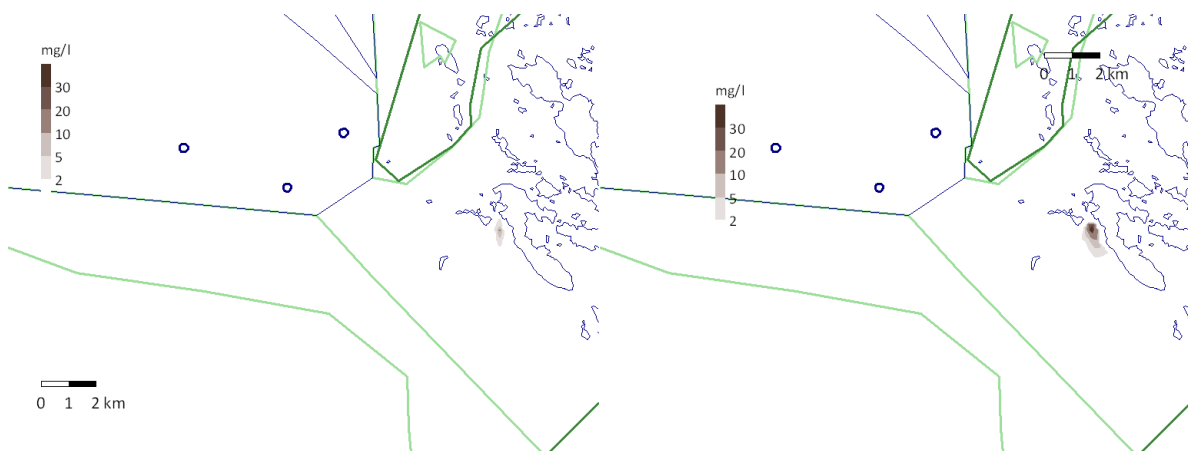
pohja

Kuva 13: Kaapelikaivannon ruoppauksen aiheuttama sementumia jaksolla 1, 24–28.7.2019, jakson päiväkeskiarvojen enimmäispitoisuus. paikat KK1, KK2 ja KK3.



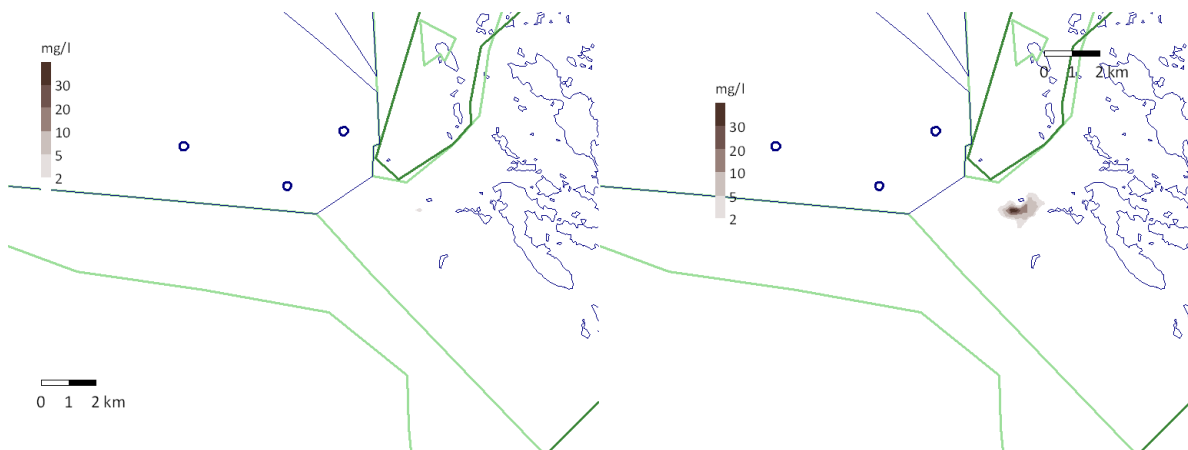
*KK4 Jakso1 pinta*

*pohja*



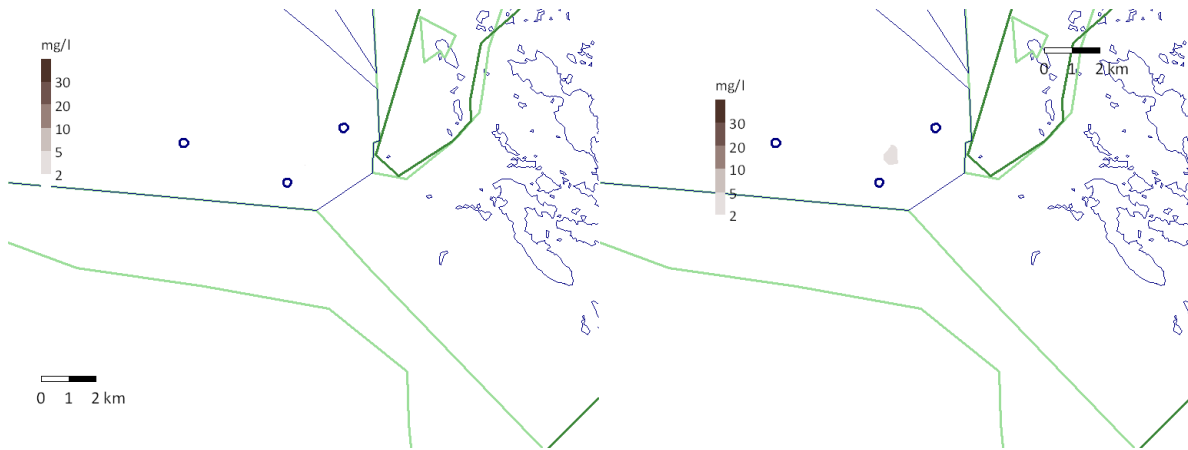
*KK5 Jakso1 pinta*

*pohja*



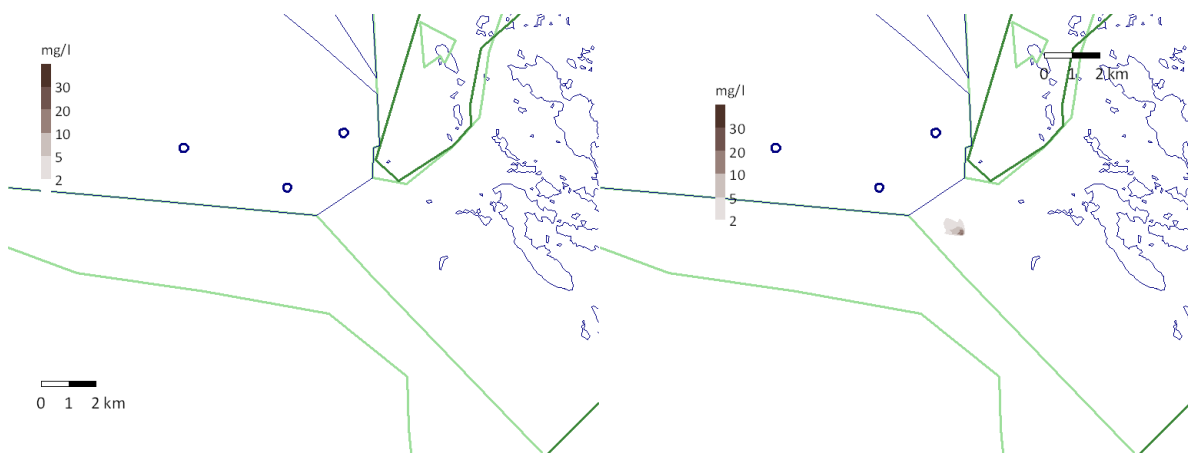
*KK6 Jakso1 pinta pohja*

*Kuva 14: Kaapelikaivannon ruoppauksen aiheuttama samentuma jaksolla 1, 24–28.7.2019, jakson päiväkeskiarvojen enimmäispitoisuus. paikat KK4, KK5 ja KK6.*



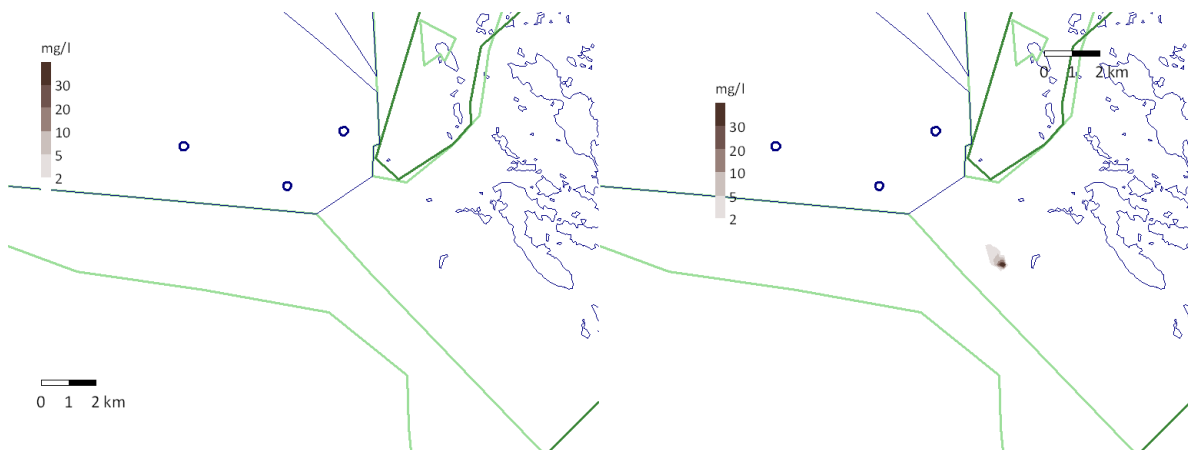
KK1 Jakso2 pinta

pohja



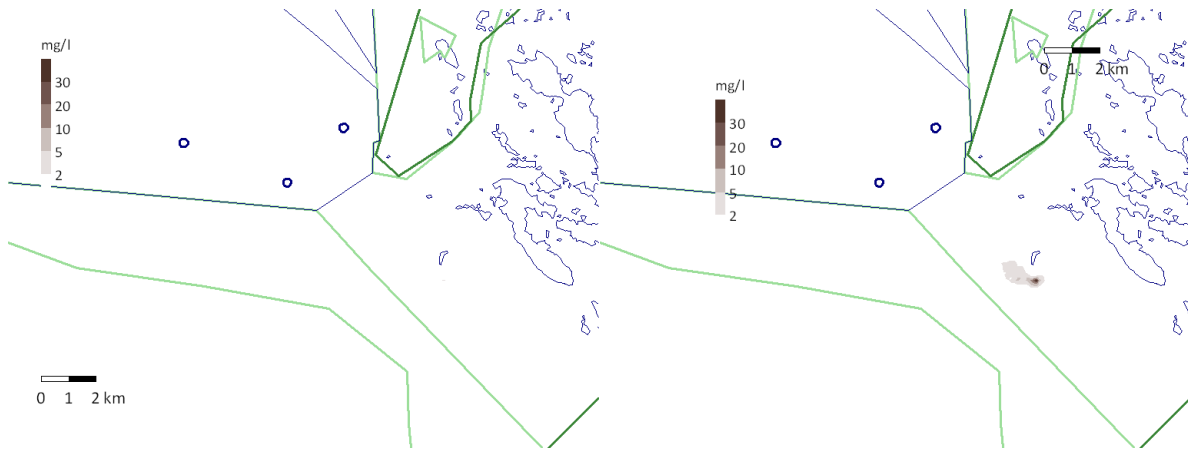
KK2 Jakso2 pinta

pohja



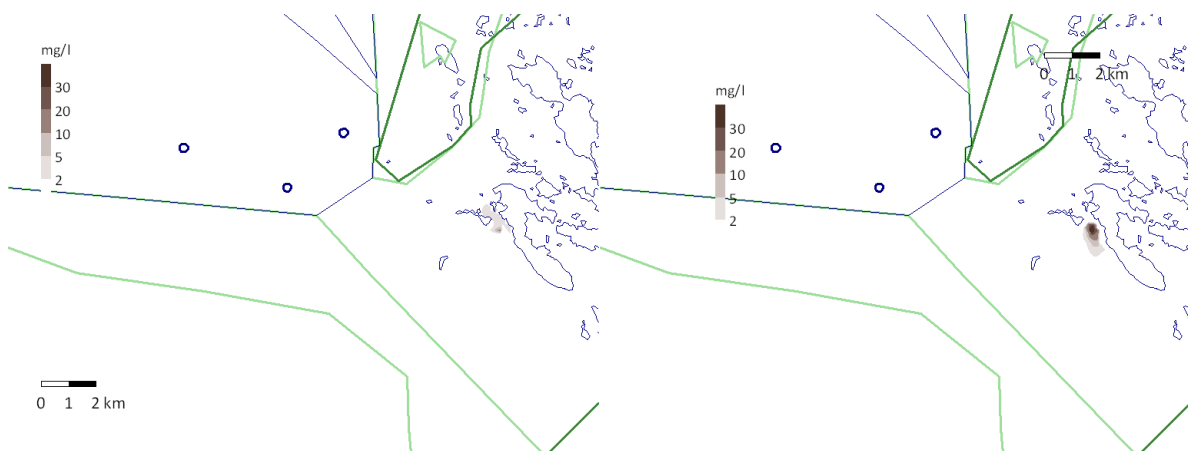
KK3 Jakso2 pinta pohja Kuva 15: Kaapelikaivannon ruoppauksen aiheuttama samentuma jaksolla 2, 6–10.8.2019, jakson päiväkeskiarvojen enimmäispitoisuus. paikat KK1, KK2 ja KK3.





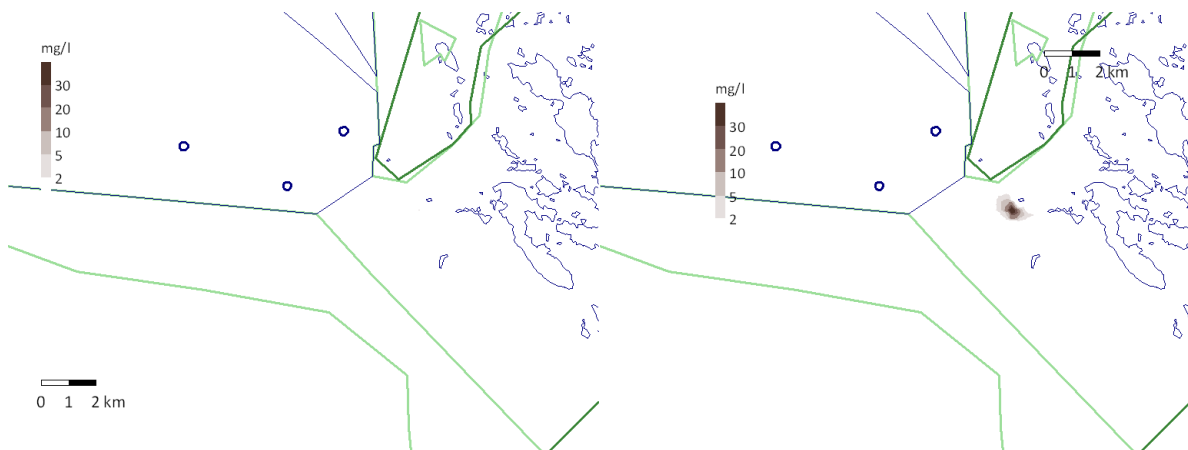
*KK4 Jakso2 pinta*

*pohja*



*KK5 Jakso2 pinta*

*pohja*



*KK6 Jakso2 pinta pohja*

*Kuva 16: Kaapelikaivannon ruoppauksen aiheuttama samentuma jaksolla 2, 6–10.8.2019, jakson päiväkeskiarvojen enimmäispitoisuus. paikat KK4, KK5 ja KK6.*

## 7 Läjityksen aiheuttama samentuma, tuloksia

### 7.1 Läjitysmaat ja laskentatapa

Läjityksen aiheuttama samentuma laskettiin läjitysmaikoille A – F (6 kpl). Paikat on esitetty kuvassa 7. Laskenta suoritettiin siten, että kullekin läjitysmaikalle sijoitettiin laskennassa kyseiselle paikalle suunniteltu läjitysmäärän ja läjitettävän materiaalin mukainen kuormitus. Mikäli kuormituksen kesto oli kuitenkin yli 1 kk, on laskennasta esitetty tilanne, jossa läjityksen oletettu alkavan kuukauden ensimmäisenä päivänä, ja jatkuvan tämän jälkeen koko kuukauden ajan. Tuloksiksi poimittiin samentuman päiväkeskiarvojen enimmäisarvot heinä-, elo- ja lokakuulta. Virtausnopeudet olivat pienimmät heinäkuussa, ja lähellä keskimääräistä elo- ja lokakuussa, eli heinäkuu edustaa tällöin samentumisen keskipitoisuuksien kannalta huonointa tilannetta, ts. kiintoaine sekoittuu vähiten ympäröivään veteen ja pitoisuudet nousevat enemmän kuin kovemmalla tuulella. Elo- ja lokakuut edustavat paremmin keskimääräistä tuulitilannetta. Toisaalta kovemmalla tuulella kiintoaines kulkeutuu kauemmas, jolloin maksimipitoisuusalue on voi olla suurempi kuin kevyellä tuulella.

Läjitysmaat jaettiin kahteen kategoriaan, hienoaines- ja moreeniläjitysmaat. Hienoainesläjitysmaikoille (alueet A ja B) läjitettiin laskennassa ensin koko ruopattava hienoainesmäärä, mistä riitti läjitystä 20 päivän mittaiselle jaksolle. Tämän jälkeen läjitystä jatkettiin moreenilla hienoaineksen päälle kuun loppuun asti. Moreeniläjitysmaikoille (alueet C, D, E ja F) läjitettiin vain moreenia. Näillä alueilla läjityksen kesto ylitti kuukauden.

Läjitys on suunniteltu tehtäväksi 16 tunnin välein proomulla, jonka tilavuus on 3 333 m<sup>3</sup>. Läjitettävä irtokuutiomäärä on tällöin 5 000 m<sup>3</sup>/d. Laskennassa läjityksen aiheuttama kuormitus lasketaan prosenttiosuutena läjitettävästä määrästä, mistä johtuen kertaläjityksen määrä ja ajoitus vaikuttaa kuormitukseen ja samentumiseen vain vähän silloin kun päivittäinen läjitysmäärä pysyy samana.

Eri alueille läjitettävät materiaalit ja läjityksen arvioitu kesto kullekin alueelle on esitetty taulukossa 2.

*Taulukko 2: Eri alueille läjitettävät materiaali ja läjityksen arvioitu kesto päivinä läjitysteholla 5 000 m<sup>3</sup>/d (irtokuutiota).*

Alue	Moreeniläjityksen kesto (d)	Savi/Siltti läjityksen kesto (d)
A	20	20
B	20	20
C	50	0
D	50	0
E	60	0
F	40	0

Kaiken ruopattavan materiaalin läjityksen voi arvioida kestävän käytetyillä läjitysteholla ilman taukoja noin 140 päivän jakson verran, olettaen että läjitystä tehdään samaan aikaan kahdelle alueelle. Esitetyt läjityspaikat ovat siten käytössä todennäköisesti alle 6 kk mittaisen jakson, joka ei välttämättä ole yhtenäinen.

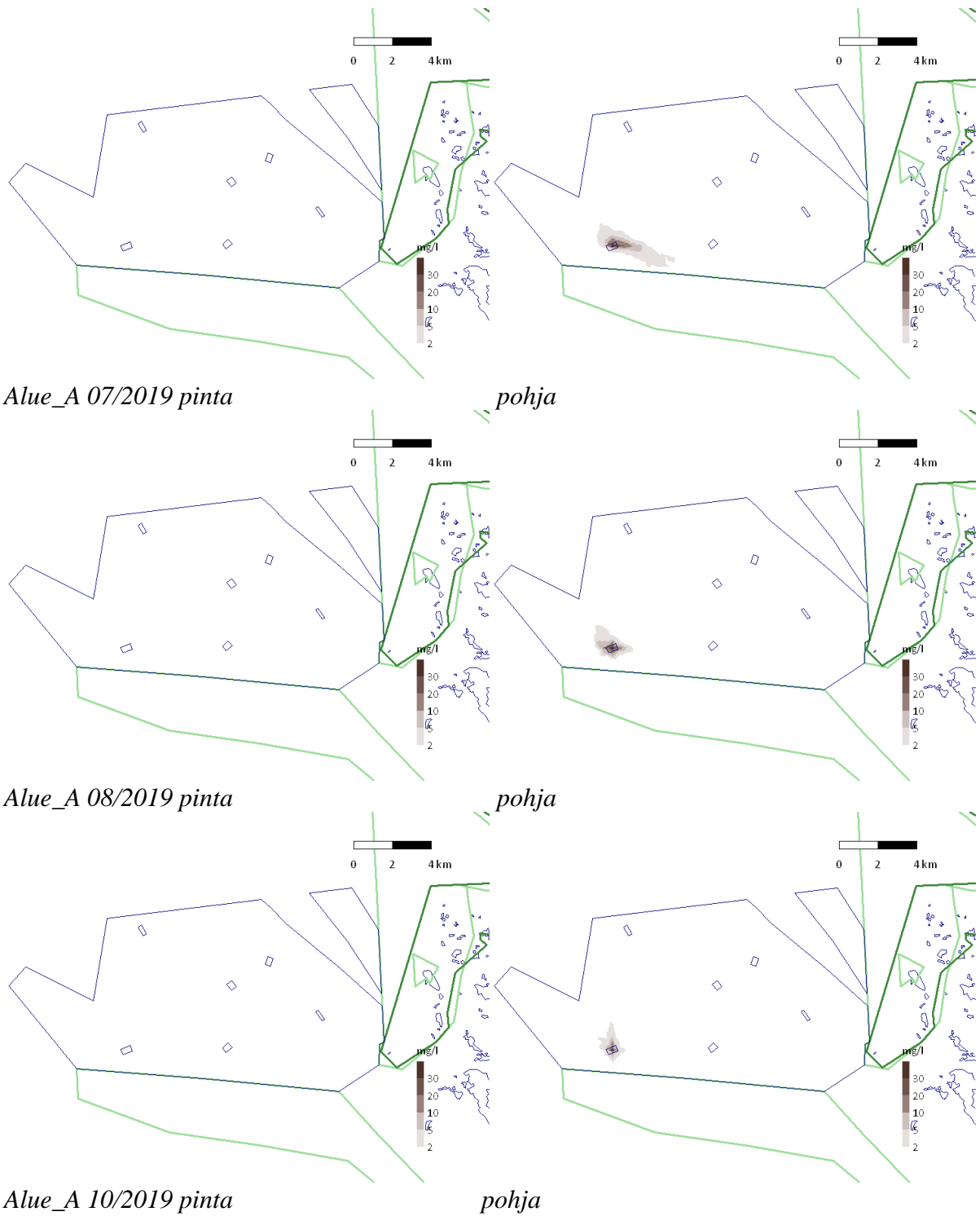
## 7.2 Samentuman kuukausikeskiarvot

Läjityksen aiheuttamalle samentumalle arvioitiin myös kuukausikeskiarvot. Lasketut samentuman kuukausittaiset keskipitoisuudet pinta- ja pohjakerroksesta on esitetty kuvissa 17 – 22. Taulukossa 3 on esitetty 5 mg/l, 10 mg/l ja 20 mg/l rajapitoisuuden ylittävän alueen koot pinta- ja pohjakerroksessa eri läjitysalueille ja kuukausille.

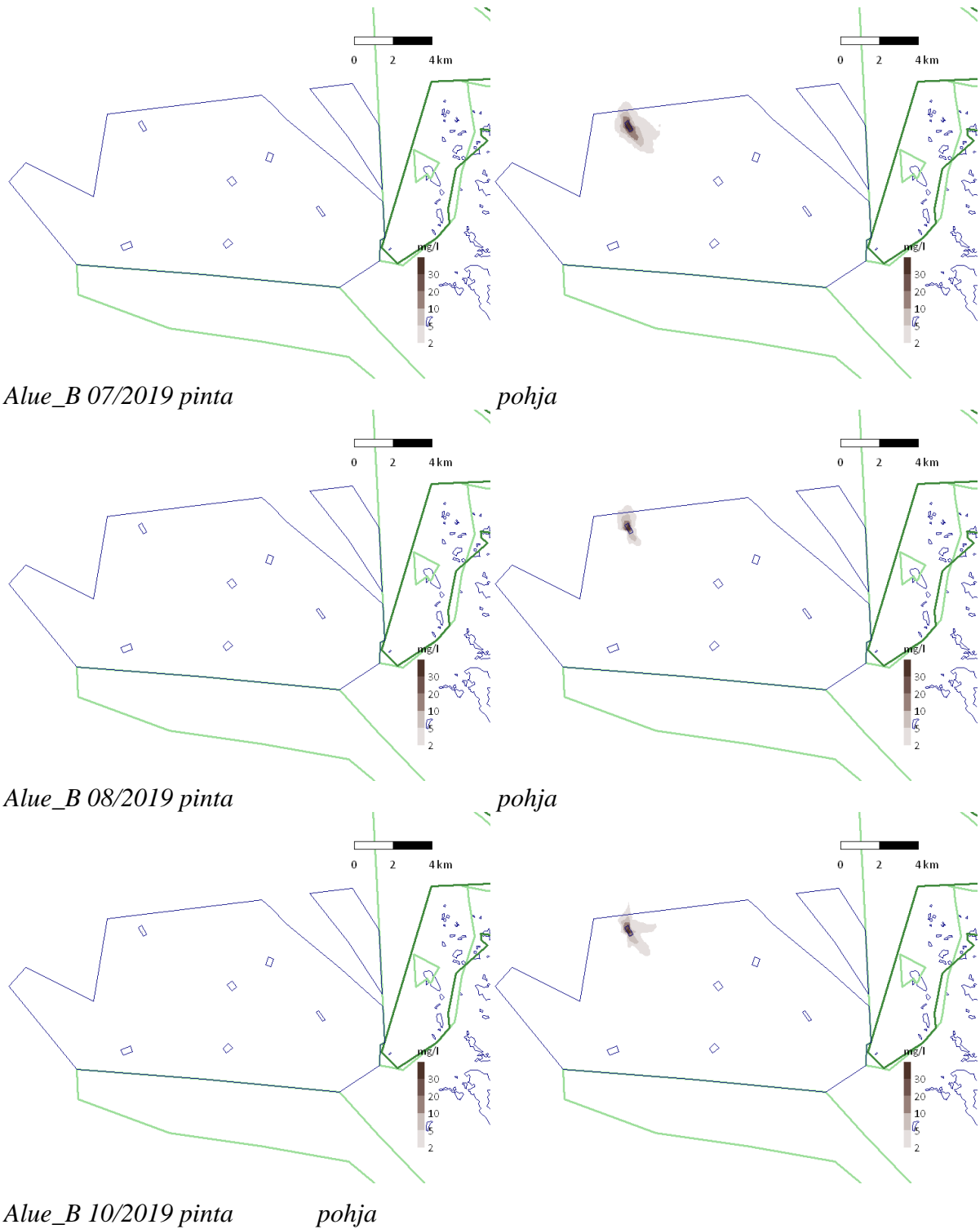
Keskipitoisuuden nousu pinnalla jää pieneksi kaikilla läjitysalueille ja kuukausilla. Pohjakerroksessa suurimmat yli 10 mg/l keskipitoisuuden nousun alueet löytyvät heinäkuulta alueilta E ja F, jossa tämän alueen koko on noin 1 km<sup>2</sup> luokkaa. Muilla läjitysalueille vastaavan pitoisuusnousun alue jää alle 0,5 km<sup>2</sup> kokoiseksi.

*Taulukko 3: 5 mg/l, 10 mg/l ja 20 mg/l keskipitoisuuden ylittävän alueen koot eri läjityspaikoille ja kuukausille pinta- ja pohjakerroksessa.*

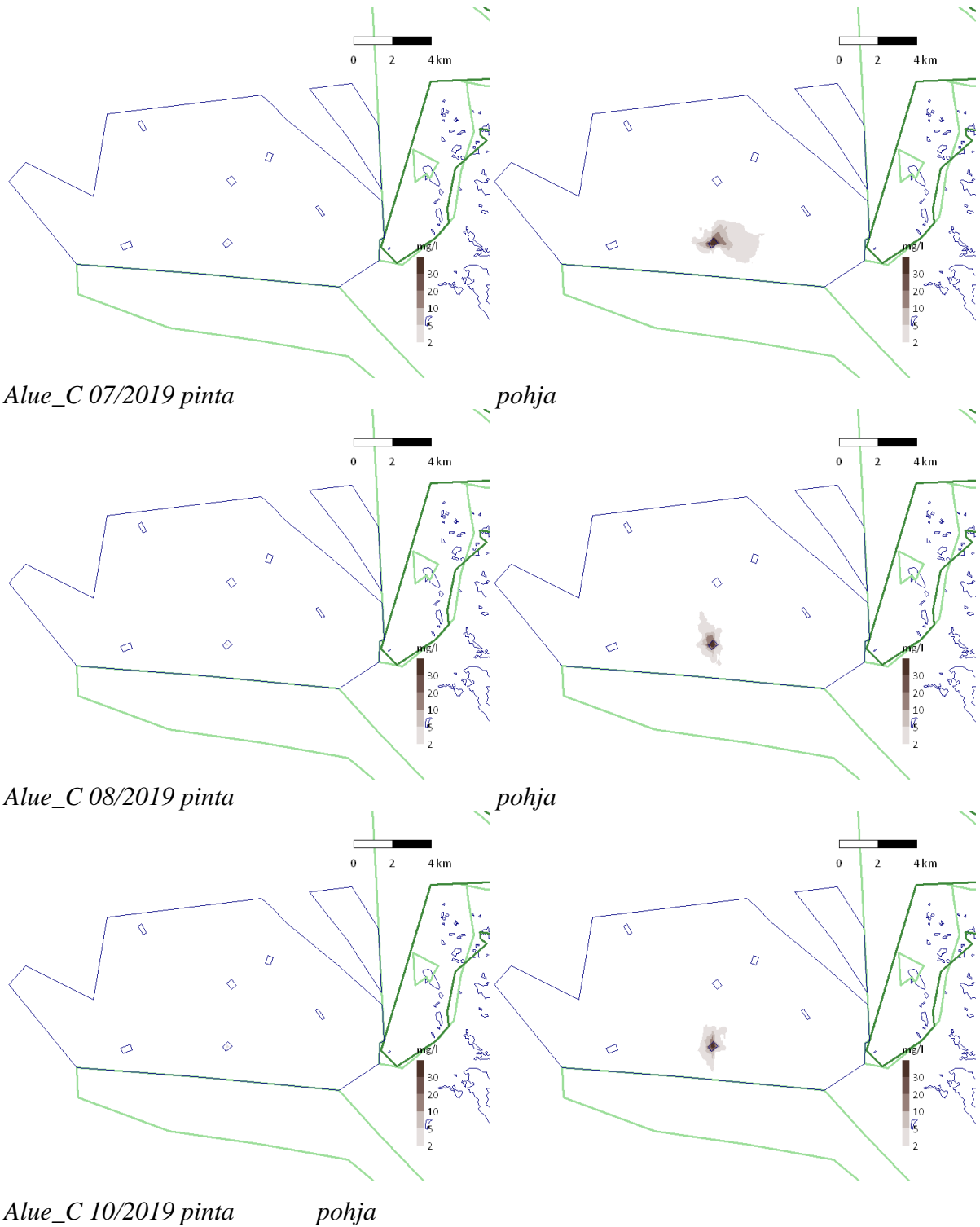
Rajapit. Alue/kk	Pintakerros			Pohjakerros		
	>5 km <sup>2</sup>	>10 km <sup>2</sup>	>20 km <sup>2</sup>	>5 km <sup>2</sup>	>10 km <sup>2</sup>	>20 km <sup>2</sup>
A/07	0	0	0	0.97	0.36	0.09
A/08	0	0	0	0.78	0.27	0.06
A/10	0	0	0	0.29	0.08	0.01
B/07	0	0	0	1.18	0.48	0.2
B/08	0	0	0	0.56	0.18	0.08
B/10	0	0	0	0.52	0.21	0.09
C/07	0	0	0	1.22	0.42	0.14
C/08	0	0	0	0.58	0.29	0.1
C/10	0.01	0	0	0.52	0.22	0.08
D/07	0	0	0	1.29	0.4	0.16
D/08	0	0	0	0.69	0.25	0.08
D/10	0.01	0	0	0.63	0.2	0.06
E/07	0.01	0	0	1.36	0.85	0.39
E/08	0.01	0	0	0.85	0.26	0.06
E/10	0.01	0.01	0	0.67	0.15	0.06
F/07	0.01	0	0	2.02	1	0.57
F/08	0.01	0	0	1.16	0.52	0.26
F/10	0.01	0	0	0.84	0.33	0.16



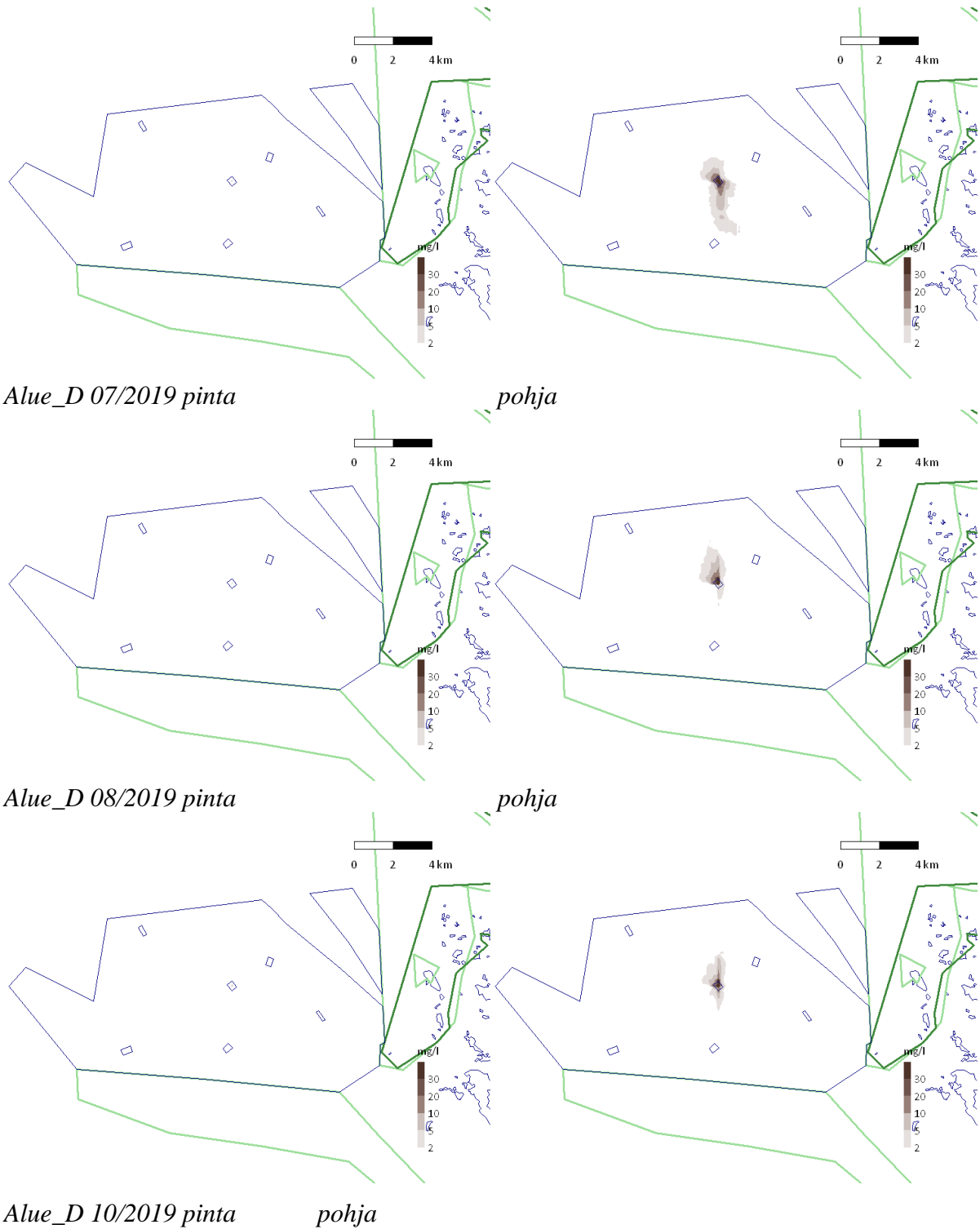
Kuva 17: Läjityksen aiheuttaman samentuman keskipitoisuus 1 kk jaksolla, läjitysalue A, moreeniläjitys.



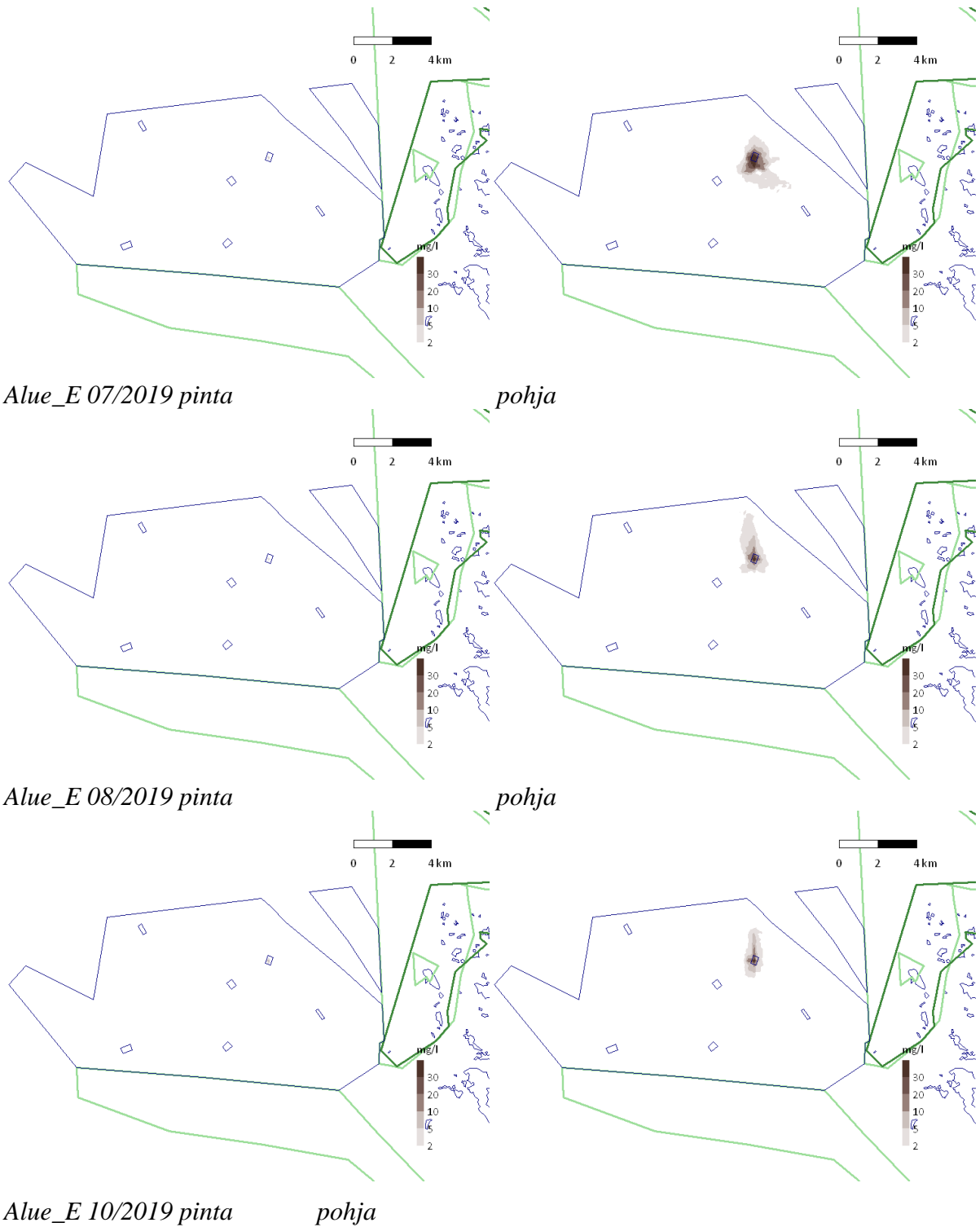
Kuva 18: Läjityksen aiheuttaman samentuman keskipitoisuus 1 kk jaksolla, läjitysalue B, moreeniläjitys.



Kuva 19: Läjityksen aiheuttaman samentuman keskipitoisuus 1 kk jaksolla, läjitysalue C, moreeniläjitys.

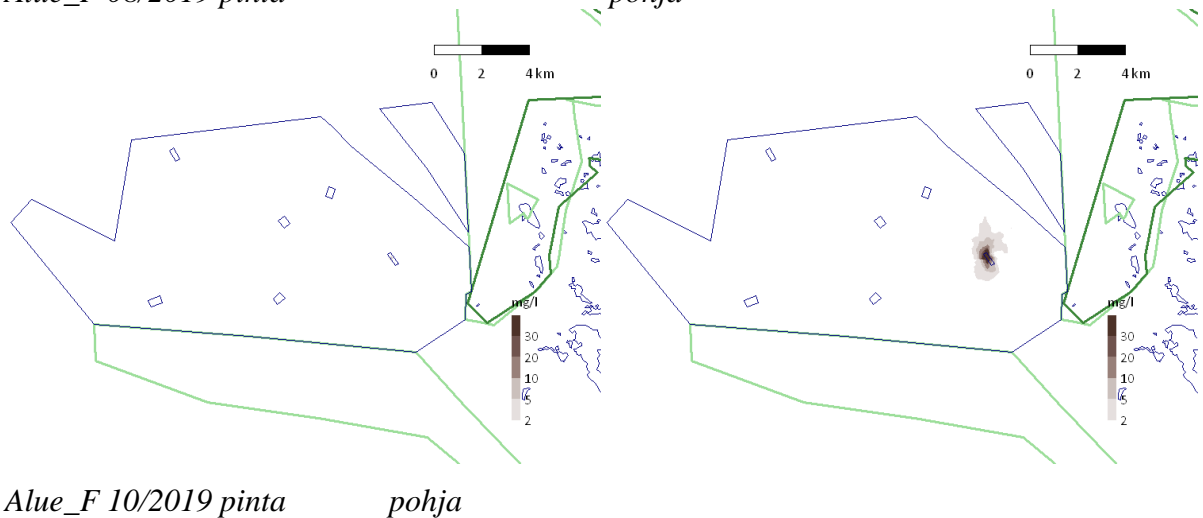
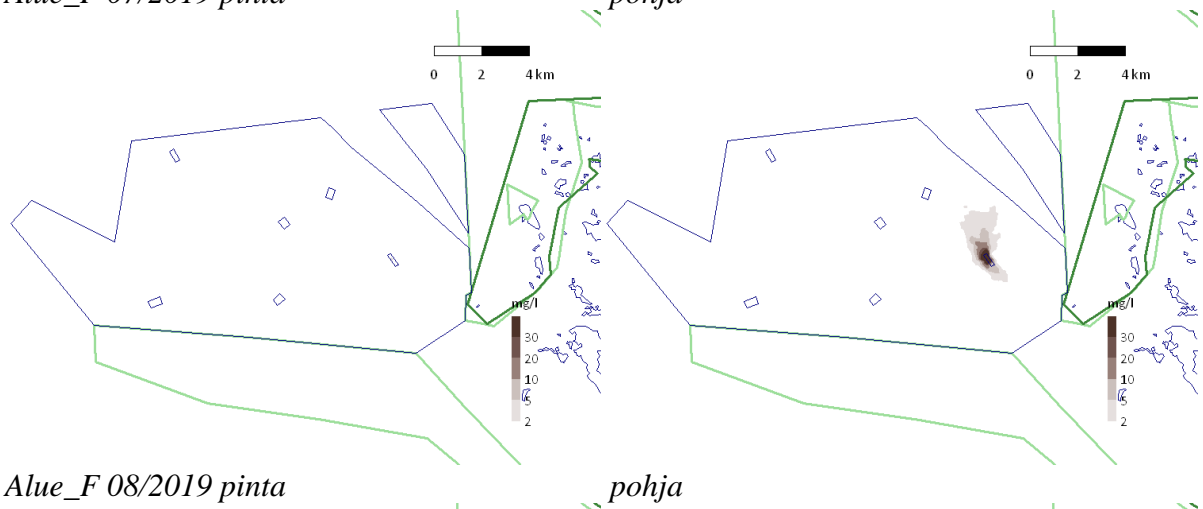
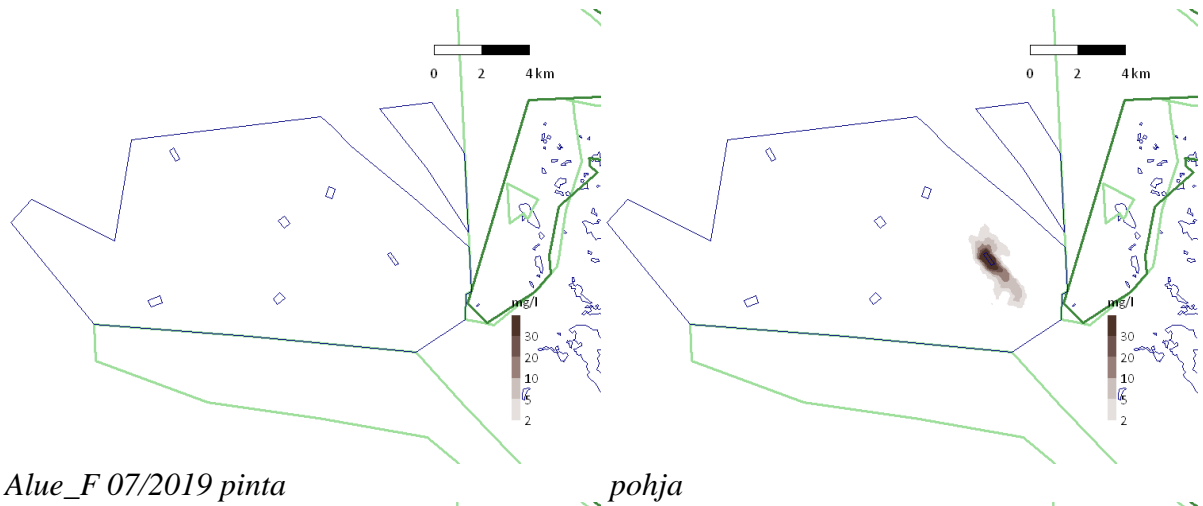


Kuva 20: Läjityksen aiheuttaman samentuman keskipitoisuus 1 kk jaksolla, läjitysalue D, moreeniläjitys.



Kuva 21: Läjityksen aiheuttaman samentuman keskipitoisuus 1 kk jaksolla, läjitysalue E, moreeniläjitys.





Kuva 22: Läjityksen aiheuttaman samentuman keskipitoisuus 1 kk jaksolla, läjitysalue F, moreeniläjitys.

### 7.3 Samentuman suurin arvioitu leviäminen

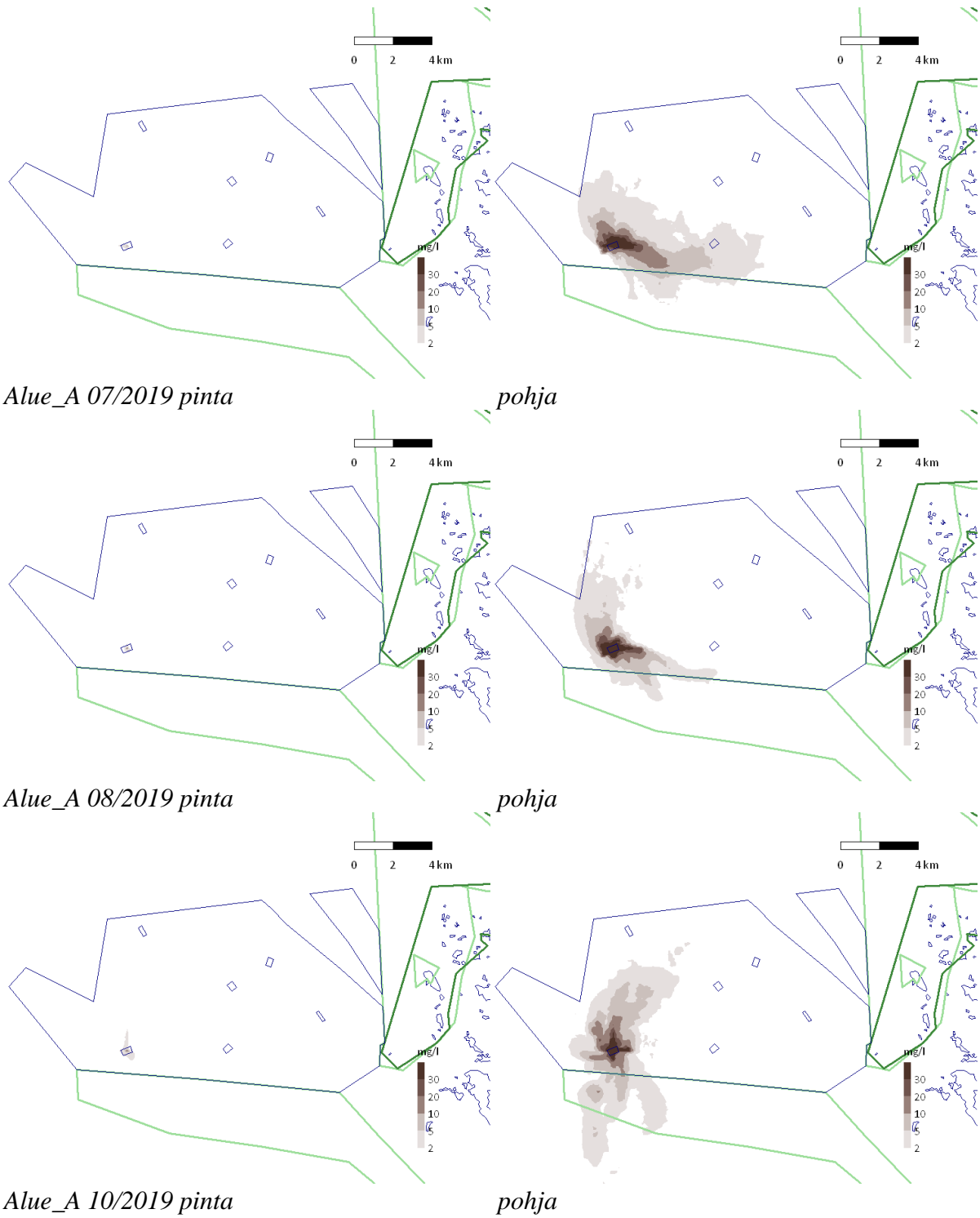
Lasketuista tuloksista on alla esitetty valituille kuukausille läjityksen aiheuttaman kuormituksen aiheuttama päiväkeskiarvojen maksimiarvot, ts. jokaiselle vuorokaudelle on laskettu ensin keskipitoisuus, ja tämän kaikkien päivien keskipitoisuuksista on kartalle valittu piirrettäväksi korkein karttapisteelle laskettu päiväkeskiarvo. Pitoisuudet on esitetty pinta- ja pohjakerroksesta. Tulokset on esitetty kuvissa 23 – 28.

Taulukossa 4 on esitetty 5 mg/l, 10 mg/l ja 20 mg/l rajapitoisuuden ylittävän alueen koot pinta- ja pohjakerroksessa eri läjitysalueille ja kuukausille.

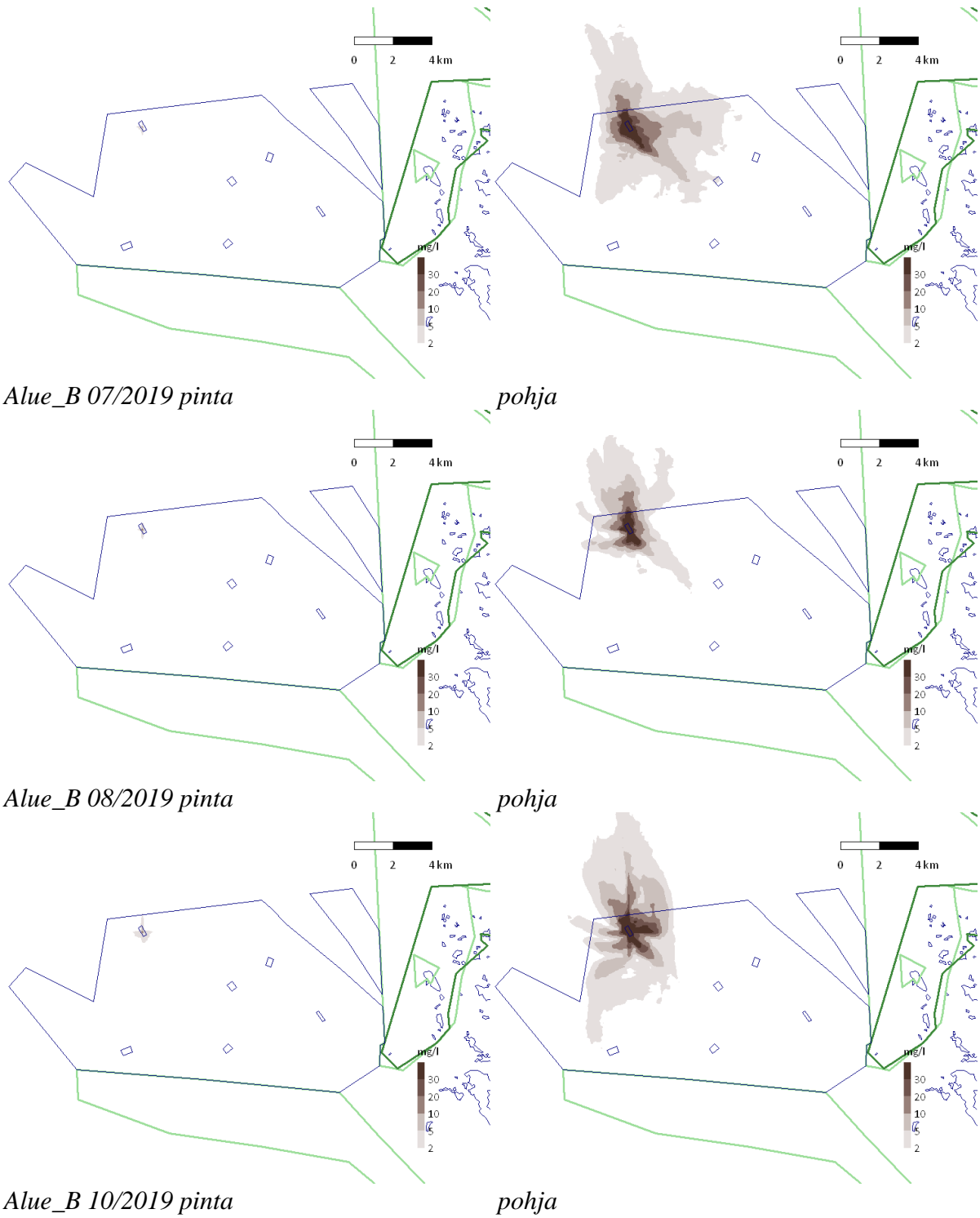
Pitoisuuden nousu pinnalla jää vähäiseksi kaikilla läjitysalueilla. Pohjakerroksessa suurimmat ylitysalueet löytyvät heinäkuulta. Pintakerroksessa näkyvän kiintoainespitoisuuden (> 10 mg/l) osalta suurimman ylityspinta-alat löytyvät alueilta E ja F lokakuulta.

*Taulukko 4: 5 mg/l, 10 mg/l ja 20 mg/l päiväkeskiarvojen enimmäispitoisuuden ylittävän alueen koot eri läjityspaikoille ja kuukausille pinta- ja pohjakerroksessa.*

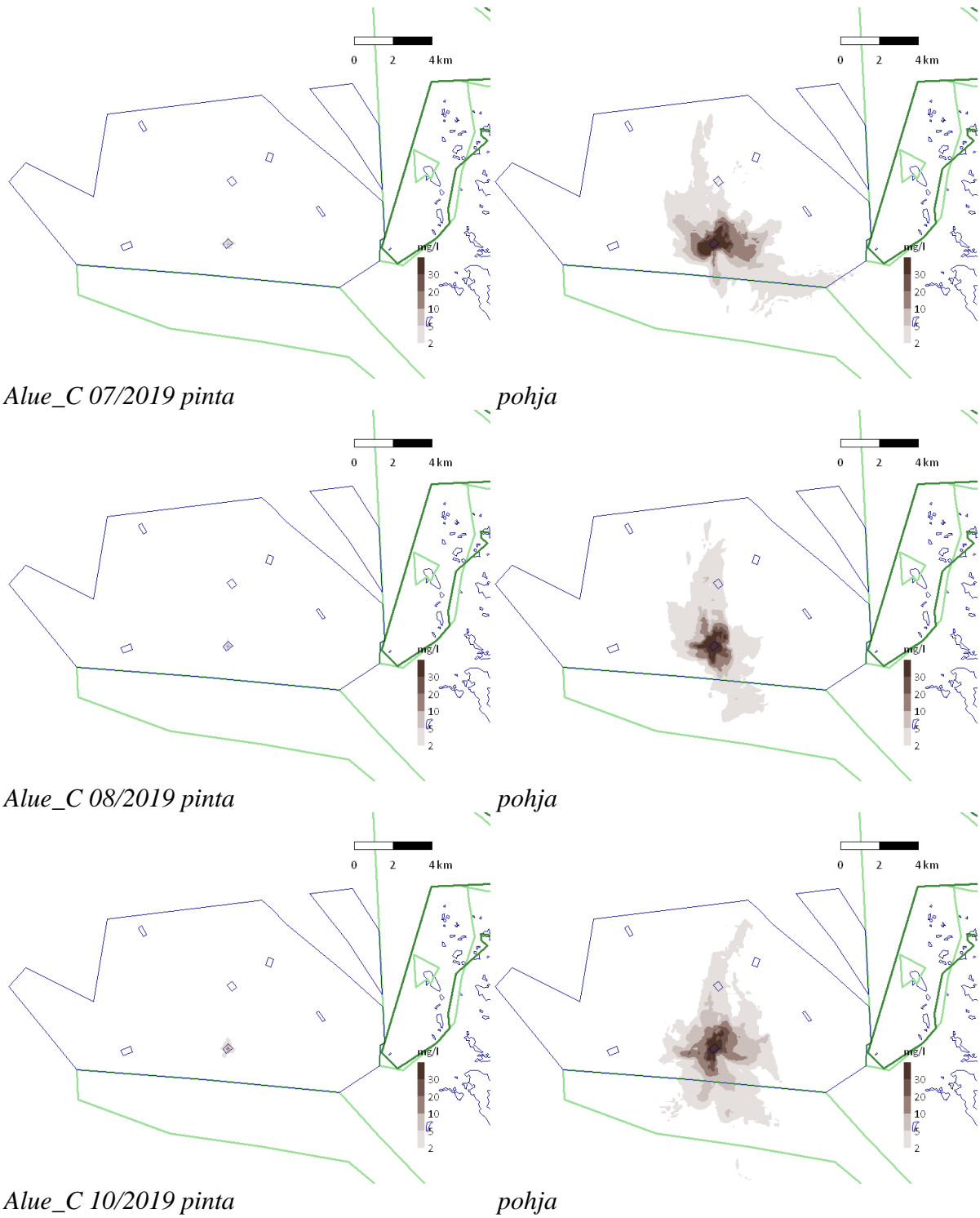
Rajapit. Alue/kk	Pintakerros			Pohjakerros		
	>5 km <sup>2</sup>	>10 km <sup>2</sup>	>20 km <sup>2</sup>	>5 km <sup>2</sup>	>10 km <sup>2</sup>	>20 km <sup>2</sup>
A/07	0.01	0.00	0.00	9.62	4.05	1.45
A/08	0.01	0.01	0.00	6.15	2.61	1.47
A/10	0.04	0.01	0.00	10.29	3.34	1.06
B/07	0.01	0.01	0.00	11.52	4.66	1.95
B/08	0.03	0.01	0.00	7.02	3.13	1.32
B/10	0.04	0.01	0.00	13.35	5.46	2.27
C/07	0.04	0.01	0.00	8.85	4.50	1.87
C/08	0.05	0.01	0.00	5.48	3.23	1.72
C/10	0.06	0.02	0.01	10.78	4.30	1.59
D/07	0.05	0.01	0.00	10.52	3.92	1.45
D/08	0.04	0.01	0.00	6.84	2.39	1.00
D/10	0.05	0.01	0.01	7.70	3.03	1.36
E/07	0.10	0.01	0.00	7.63	3.43	1.60
E/08	0.05	0.01	0.01	7.15	2.99	1.54
E/10	0.21	0.05	0.01	7.85	3.10	1.42
F/07	0.05	0.01	0.01	7.74	3.60	2.13
F/08	0.06	0.01	0.01	7.01	3.10	1.48
F/10	0.23	0.05	0.01	10.25	3.84	1.46



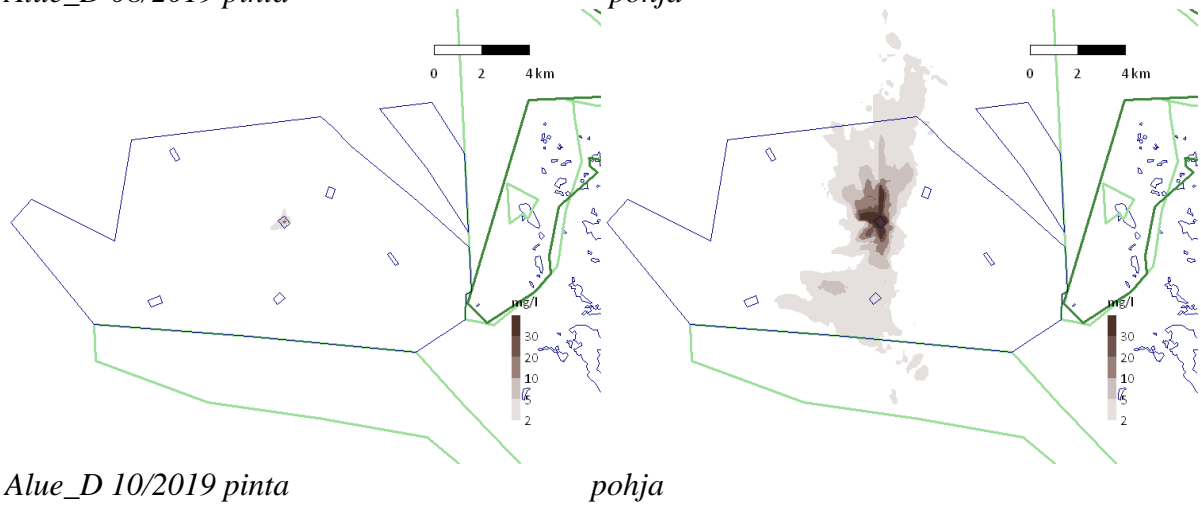
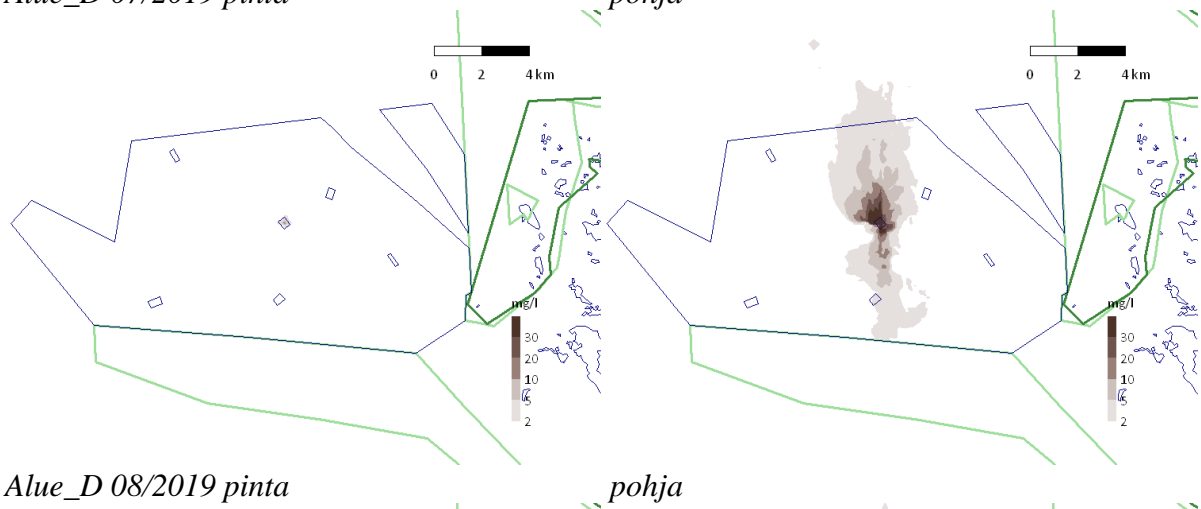
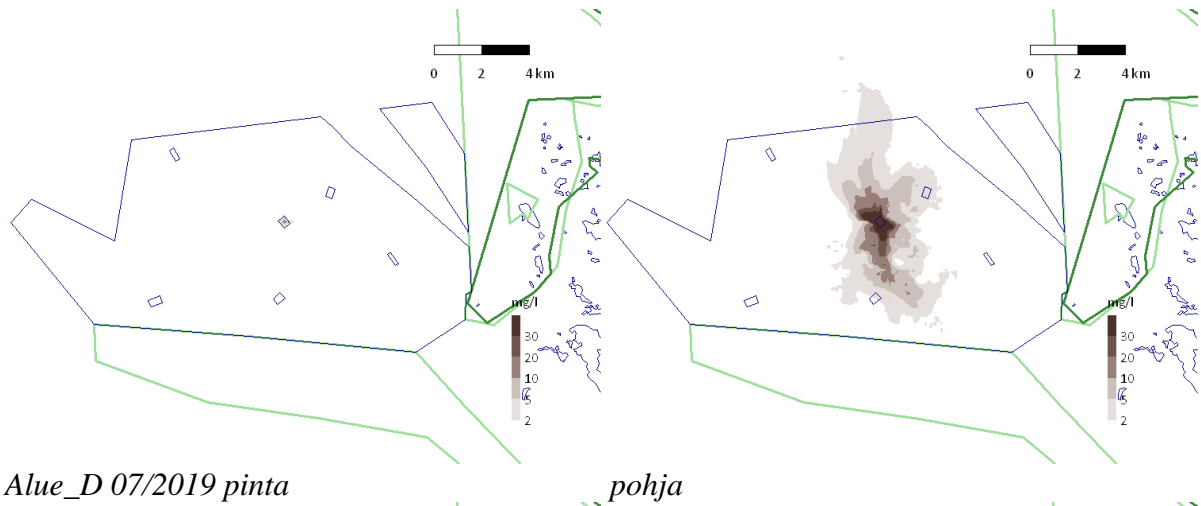
Kuva 23: Läjityksen aiheuttamat päiväkeskiarvojen enimmäispitoisuudet 1 kk mittaisella jaksolla, läjitysalue A, hienoaines- ja moreeniläjitys.



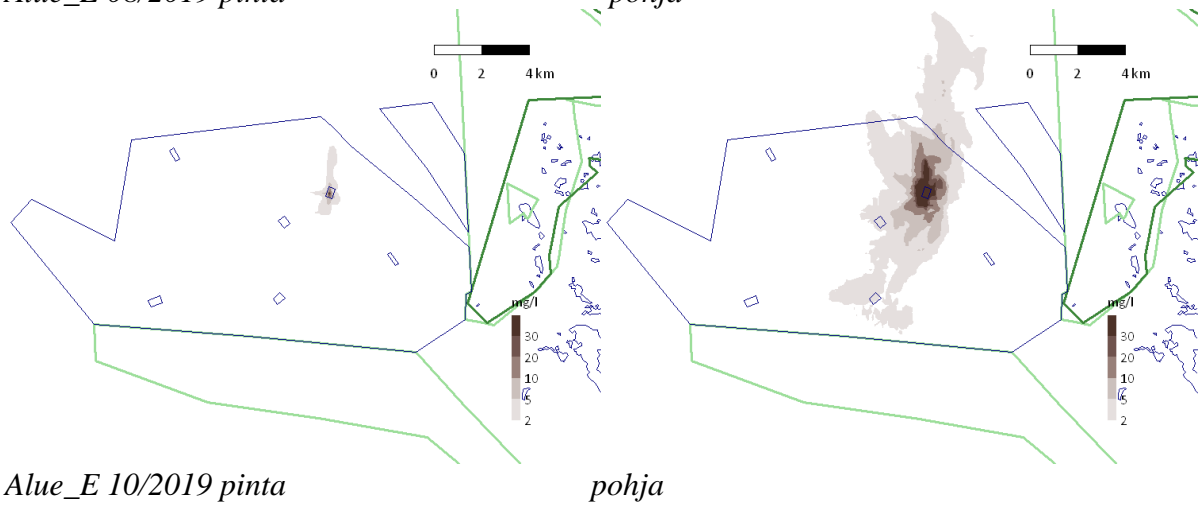
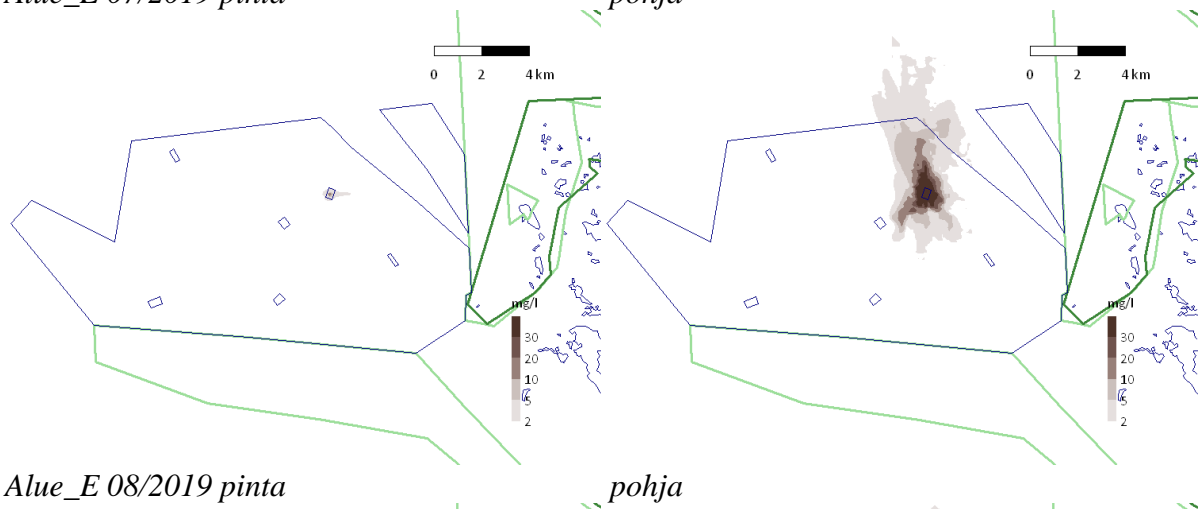
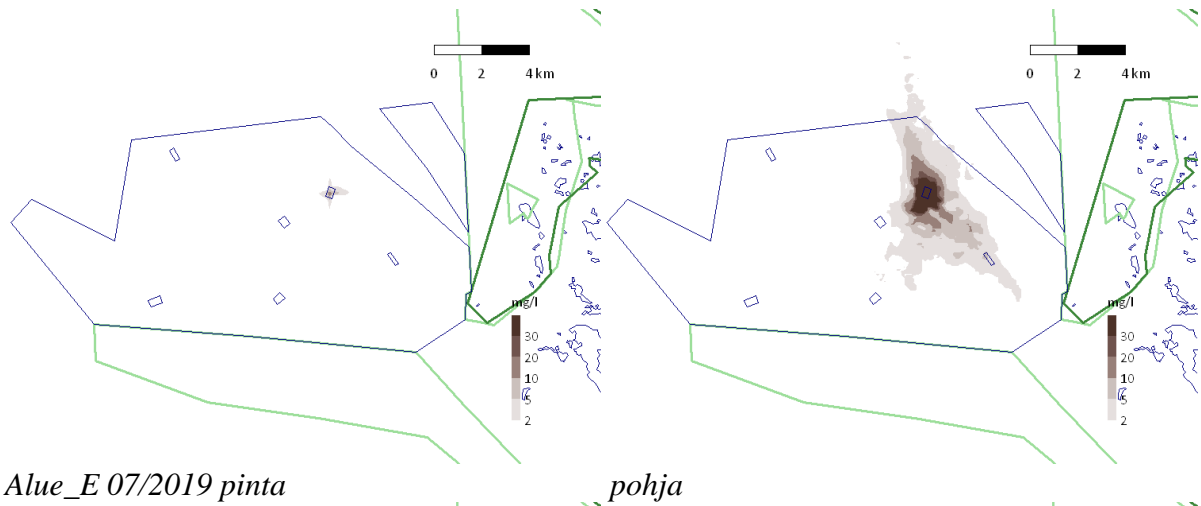
Kuva 24: Läjityksen aiheuttamat päiväkeskiarvojen enimmäispitoisuudet 1 kk jaksolla, läjitysalue B, hienoaines- ja moreeniläjitys.



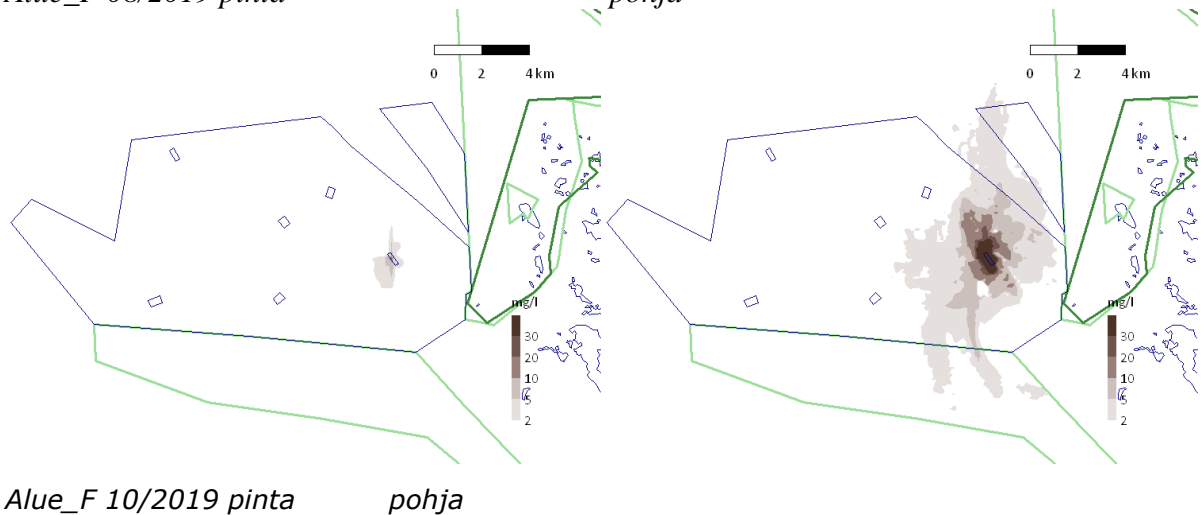
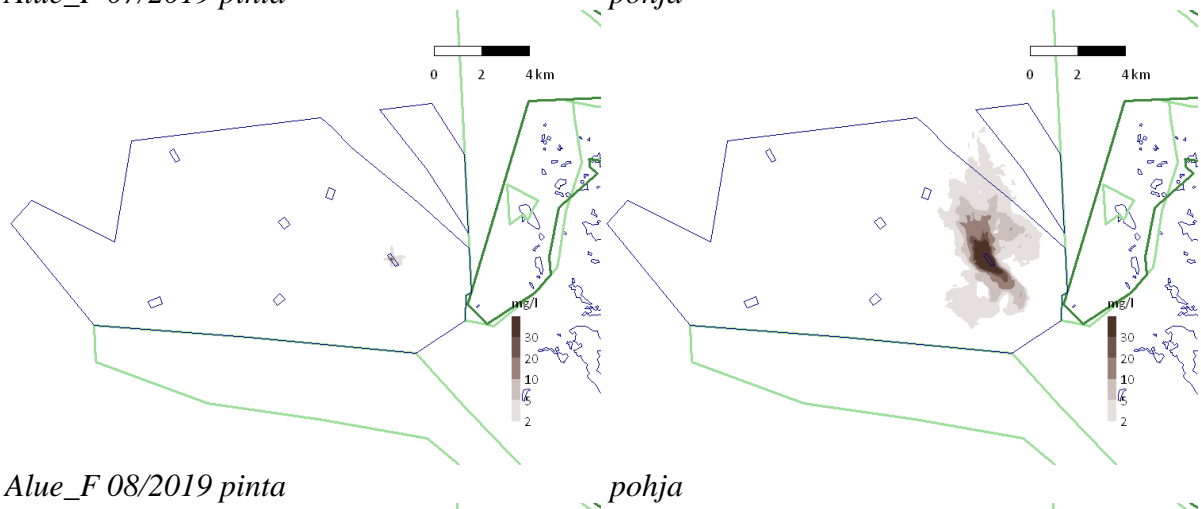
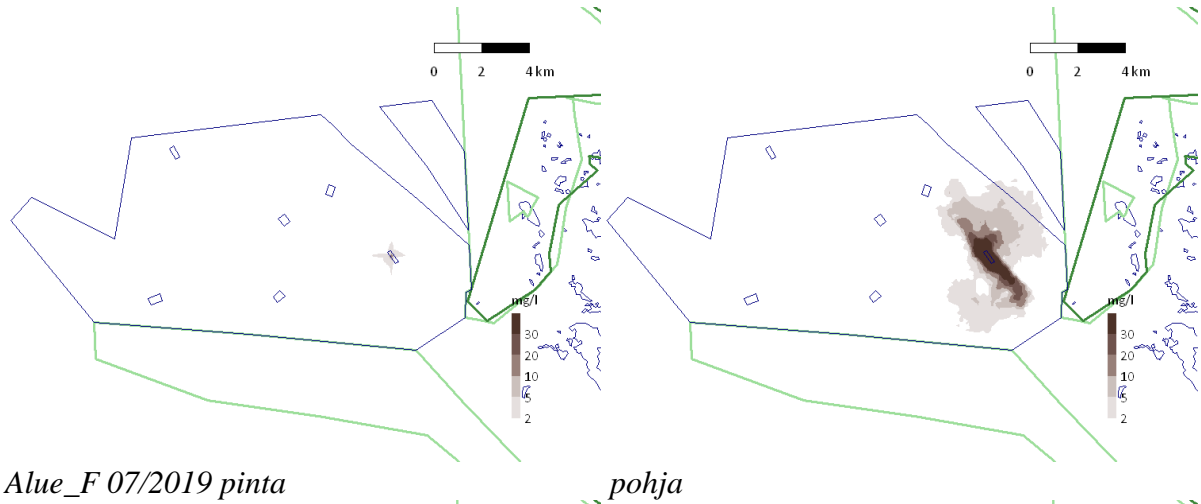
Kuva 25: Läjityksen aiheuttamat päiväkeskiarvojen enimmäispitoisuudet 1 kk jaksolla, läjitysalue C, hienoaines- ja moreeniläjitys.



Kuva 26: Läjityksen aiheuttamat päiväkeskiarvojen enimmäispitoisuudet 1 kk jaksolla, läjitysalue D, hienoaines- ja moreeniläjitys.



Kuva 27: Läjityksen aiheuttamat päiväkeskiarvojen enimmäispitoisuudet 1 kk jaksolla, läjitysalue E, moreeniläjitys.



Kuva 28: Läjityksen aiheuttamat päiväkeskiarvojen enimmäispitoisuudet 1 kk jaksolla, läjitysalue F, moreeniläjitys.



## 8 Yhteenveto

Raportissa on arvioitu Tahkoluodon edustalle suunniteltujen ruoppaustöiden aiheuttamaa samentumaa käyttäen apuna virtaus- ja vedenlaatumallinnusta. Raportissa on arvioitu sekä ruoppauksen että meriläjityksen aiheuttamaa samentumaa.

Keskeinen tekijä samentuman syntymisessä on se, miten samentuman aiheuttama kuormituksen määrä arvioidaan. Tässä on käytetty menetelmää, jonka mukaan ruoppauksen ja läjityksen aiheuttama kuormitus on suoraan verrannollinen läjitys- ja ruoppaustehoon (Riippi, 1997). Samentuman määrään vaikuttaa myös ruopattava materiaali, tässä käytetyt pohjan maalajin ominaisuudet perustuvat kohdealueelta otettuihin näytteisiin perustuviin maalajitietoihin.

Raportissa lasketut samentumat on esitetty laskentajakson samentuman päiväkeskiarvojen enimmäisarvona, ts. ensin laskentajakson päiville on laskettu samentuman päiväkeskiarvot ja karttapohjalle on tämän jälkeen piirretty korkein pitoisuuden päiväkeskiarvo. Jos tulos on esim. 10 mg/l, tarkoittaa se sitä, että laskentajakson aikana pitoisuuden yhden päivän keskiarvo kyseisessä pisteessä ei ylitä 10 mg/l pitoisuutta.

Tulosten perusteella ruoppauspaikoilla aiheutuvat samentumien päiväkeskiarvot jäävät vähäisiksi, eikä näkyvä samentuma ulotu pintakerroksessa juuri ruoppauspaikan lähialuetta kauemmas. Yleisesti samentuma on suurempi pohjakerroksessa kuin pinnalla ja suurempi matalammilla alueilla kuin syvemmillä alueilla.

Ruoppauksiin verrattuna läjitys aiheuttaa selvästi suuremmat samentumat. Pintakerroksessa pitoisuuden päiväkeskiarvot jäävät pieniksi, mutta pohjakerroksessa yli 10 mg/l tason samentuman päiväkeskiarvon alue voi ulottua ajoittain useamman kilometrin päähän läjityspaikasta.

Kuormituksissa on käytetty kirjallisuudesta löytyvien arvojen korkeimpia arvoja, ts. jos samentuman on arvioitu olevan 3 – 5 % läjitettävän maa-aineksen määrästä, on tässä käytetty korkeampaa lukua (5 %). Samentuman leviämisen laskentajaksot on valittu siten, että mukana on keskimääräistä heikompien ja keskimääräisen tuulen jaksoja. Keskimääräistä voimakkaammilla tuulilla kuormitus sekoittuu nopeasti ohi virtaavaan veteen, ja samentuma jää tällöin pienemmäksi. Em. perusteilla tässä esitetyt samentumat on arvioitu konservatiivisesti.

## 9 Lähdeluettelo

- Abbot, 2021, Stokes Sedimentation Calculator, <https://www.stevenabbott.co.uk/practical-solubility/stokes.php>.
- Copernicus Climate Change Service (C3S), 2017: ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate . Copernicus Climate Change Service Climate Data Store,10/2020. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>
- CMEMS, 2021, Copernicus Marine service Open data, <https://marine.copernicus.eu/>, Baltic Sea Physical Analysis and Forecast produces by SMHI, product identifier BALTICSEA\_ANALYSISFORECAST\_PHY\_003\_006
- Espoon Kaupunki, 2014, Finnoon satama, ruoppaus, täyttö ja läjitys, ympäristövaikutusten arviointiselostus, Ramboll Finland Oy.
- FMI 2021, Ilmatieteenlaitoksen avoin data / Havaintojen lataus, tiedot haettu 02/2021, <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>
- Helsingin Satama, 2011, Vuosaaren Meriläjitäysalueen Vesistö tarkkailuohjelma, 19.10.2011, Ari Pro Oy.
- SYKE, 2021, Suomen Ympäristökeskuksen HERTTA-tietokanta, tiedot haettu 09/2021.
- Jan Tvrdý, Markku Vähäkäkelä, Minna Takalo, Mikko Keskinen, 2020, Ruoppausmassojen kestävä läjitysvaihtoehdot, Esiselvitys 26.2.2020, FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy
- Koponen J., Kummu M., Lauri H., Virtanen M., Inkala A., Sarkkula J., Suojanen I., Veijalainen N., 2008, EIA 3D Model Manual,
- Liikennevirasto, 2021, Lataus- ja katselupalvelut, <https://julkinen.vayla.fi/oskari/>, tiedot haettu 09/2021
- Maanmittauslaitos, 2021, Avoimien aineistojen tiedostopalvelu, tiedot haettu 09/2021, lisenssi ja tietojen haku sivulta <http://www.maanmittauslaitos.fi/asioi-verkossa/avoimien-aineistojen-tiedostopalvelu>
- Mills D, Kemps H. (2016), Generation and release of sediments by hydraulic dredging: a review. Report of theme 2 – Project 2.1 prepared for the Dredging science node, Western Australia Marine Science Institution, Perth, Western Australia.
- Riipi T., 1997, Ruoppaus- ja läjitystekniikoiden valinta maalajien ominaisuuksien ja ympäristövaikutusten perusteella, VTT Valmistustekniikka, VTT tiedotteita 1853
- SMHI, 2021, SMHI data download service service, <https://www.smhi.se/data>, tiedot haettu 09/2021
- Suomela A., 2016, Pohjasedimenttien eroosioherkkyys Pohjois-Airistolla Saaristomerellä, Pro-Gradu tutkielma, kaivannaisalan tiedekunta, Oulun yliopisto.
- Vaittinen T., Vartia M., 2016, Uudenkaupungin väylän syventämishankkeen meriläjitäysten sedimentaatiotutkimus, Tutkimusraportti, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 22/2016.
- Valipour R., Boegman L., Bouffard D., Yerubadi R., 2017, Sediment resuspension mechanisms and their contributions to high-turbidity events in a large lake, Limnology and Oceanography, 62, 2017, pp. 1045-1065.
- Ympäristöministeriö, 2015, Sedimenttien ruoppaus- ja läjitysohje, ympäristöhallinnon ohjeita 1/2015, Ympäristöministeriö, Ympäristönsuojeluosasto ([www.ym.fi/julkaisut](http://www.ym.fi/julkaisut)).