

JÄRVILUODON PENGERTIEN VAIKUTUKSET VIRTAUKSIIN JA JÄTEVEDEN KULKEUTUMISEEN

Raportti

Espoossa
22.5.2014

Tilaja: Rauman Satama Oy
Timo Metsäkallas
Hakunintie 19, 26100 Rauma

Tekijä: Arto Inkala
Suomen Ympäristövaikutusten Arviointikeskus Oy
Sinimäentie 10 A, 02630 Espoo
Puhelin: (09) 70018680
Sähköposti: inkala@eia.fi

Sisällysluettelo

1. Työn tavoite ja tausta.....	3
2. Tutkimusalue ja menetelmät.....	3
2.1 Pengertien ympäristö.....	3
2.2 Virtaus- ja kulkeutumismallin yleiskuvaus.....	4
2.3 Mallialue ja -hilat.....	4
3. Vaihtoehdot.....	6
3.1 Muutokset virtauksissa.....	6
3.2 Vakiotuulitilanteet.....	12
3.3 Luonnontuulijakso.....	12
4. Yhteenveto ja johtopäätökset.....	19
Viitteet.....	20

1. Työn tavoite ja tausta

Rauman Satamaa laajennetaan ja sen yhteydessä on suunniteltu pengertien rakentaminen Iso Järviluodosta mantereelle. Pengertie tarvitaan Iso Järviluodon etelärannalle tehtävän läjitysaltaan penkereisiin tuotavan louheen ajoin, mutta se voi vaikuttaa haitallisesti jätevesien kulkeutumiseen yhteispuhdistamolta.

Työssä tutkitaan, miten pengertie vaikuttaa alueen virtauksiin, viipymiin ja jäteveden kulkeutumiseen. Samalla simuloidaan pengertien alittavien virtausaukkojen vaikutuksia ja arvioidaan riittävää mitoitusta aukoilta.

Työmenetelmänä tutkimuksessa on matemaattinen virtaus- ja kulkeutumismallia. Samaa virtaus- ja vedenlaatumallia on sovellettu alueelle aiemmin (Koponen *et. al* 1998, Virtanen 2008). Nyt tehtävässä mallissa tarkennettiin mallin erotustarkkuutta jätevedenpuhdistamon edustalle, mutta edellisen sovelluksen syöttötietoja pystyttiin hyödyntämään.

Tutkimuksen matemaattiset simuloinnit on tehnyt Arto Inkala Suomen Ympäristövaikutusten Arviointikeskus Oy:stä.

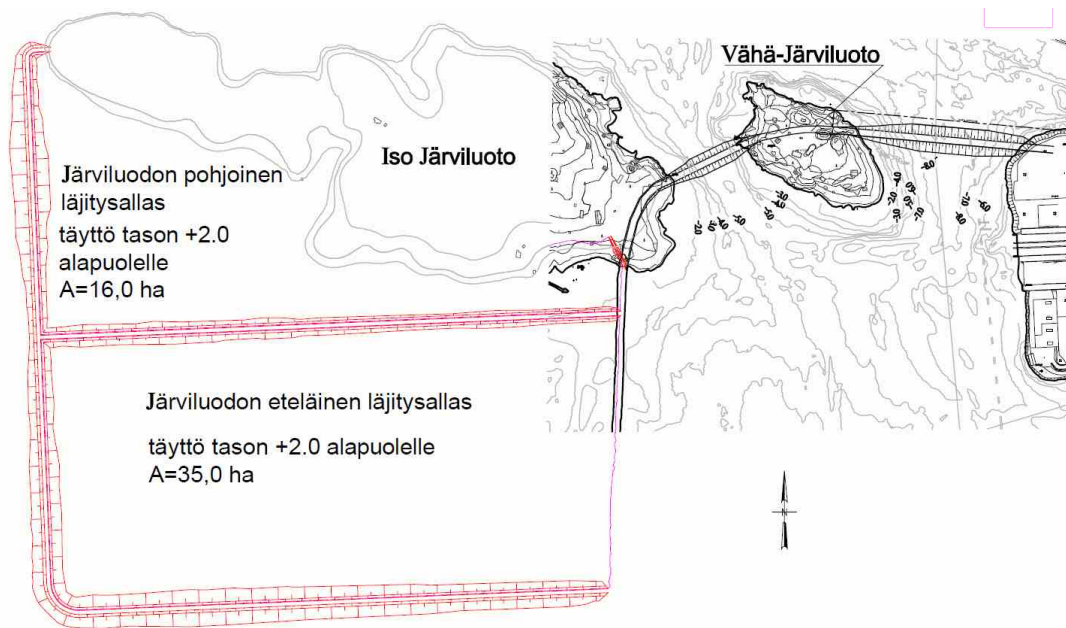
2. Tutkimusalue ja menetelmät

2.1 Pengertien ympäristö

Kuvassa 1 on esitetty suunnitellun pengertien sijainti, uusi läjitysalue ja jätevesien nykyinen purkupaikka. Suunniteltu pengertie kulkee Iso Järviluodosta Vähä Järviluodon kautta mantereelle ja toteutettaessa ilman virtausaukkoja se katkaisee täysin pohjois-eteläsuuntaisen virtauksen.

Järviluotojen, aallonmurtajan ja mantereen väliin jäävä alue on keskimäärin noin 5 metriä syvää ja suurimmat syvyydet ovat noin 9 metriä. Sampaalanlahteen laskee valtaoja, jonka keskivirtaama on alle $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ja tulvavirtaama noin $20 \text{ m}^3/\text{s}$. Järviluotojen pohjoispuolelta virtaa Raumajoen vedet, joiden keskivirtaama on myös samaa suuruusluokkaa alle $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Virtaamat ovat niin pieniä, että joissa ei ole virtaamamittareita eikä niille lasketa tulvaennusteista automaattisesti (Suomen ympäristökeskus 2015). Virtaamat on arvioitu valuma-alueen koosta (Virtanen 2008, Rauman kaupunki 2014).

Jäteveden määrä on samaa suuruusluokkaa keskimääräisten jokivirtaaminen kanssa noin $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Näin ollen tuulet ovat merkittävimpiä virtausten aiheuttajia alueella.



Kuva 1. Kartta suunnitellusta pengertiestä ja Iso Järviuodon läjitysaltaista (Rauman Satama)

2.2 Virtaus- ja kulkeutumismallin yleiskuvaus

Veden virtauksia kuvaavat matemaattiset yhtälöt voidaan johtaa massan ja liikemäärän säilymislaeista. Mallin virtauslaskenta perustuu näiden Navier-Stokesin yhtälöiden numeeriseen ratkaisemiseen.

Virtausmallin virtauksia liikkeellepanevana tekijänä ovat käytännössä tuuli ja sen aiheuttamat pinnankorkeuden muutokset. Myös joet aiheuttavat suoraan virtauksia. Epäsuorasti joet ja tuulet aiheuttavat virtauksia synnyttämällä ja liikuttamalla tiheyseroja merellä. Tiheyserot pyrkivät luonnossa tasoittumaan.

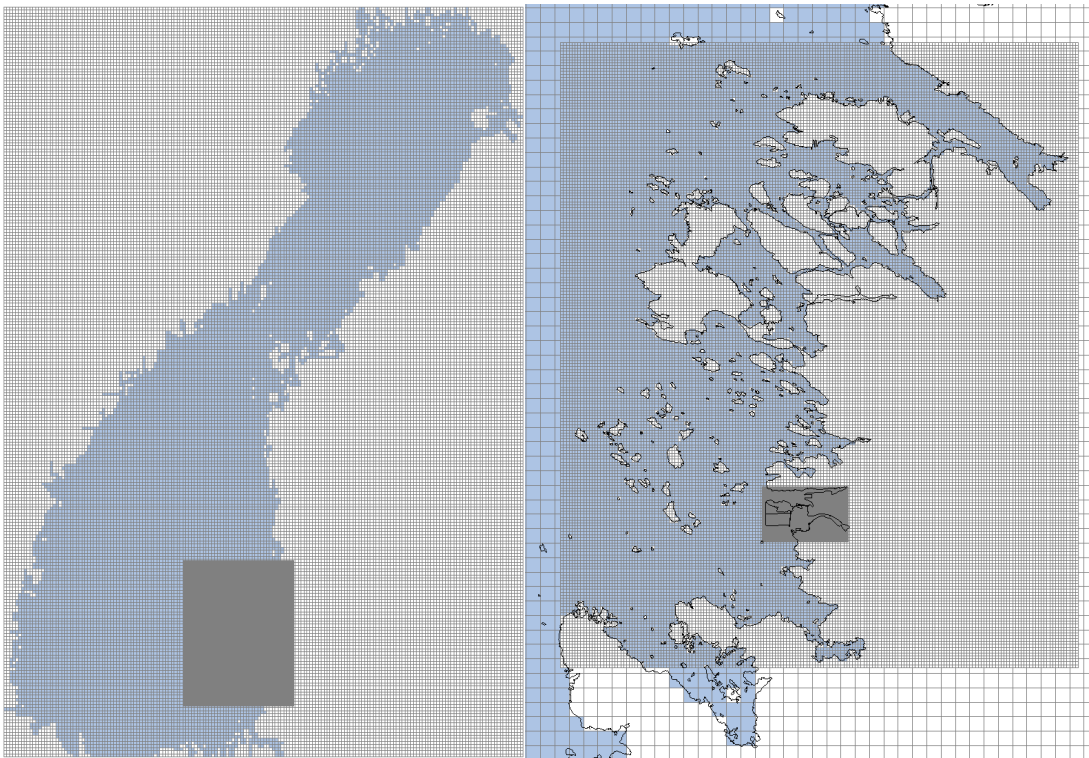
Ratkaisua varten tarkastelualue jaetaan vaakatasossa pienempiin osiin, ns. hilaruutuihin, joiden välisiä eroja seurataan laskennassa. Hilaruudun leveys ja pituus muodostavat laskennan erotustarkkuuden, jota tiheämpiä eroja ratkaisusta ei saada esiin muuten kuin lisäoletuksilla. Kunkin hilaruudun syvyydet selvitetään merenkulkulaitoksen digitaalisesta kartta-aineistosta tai tarkemmista luotausmittauksista. Hilaruutujen sisällä voi olla myös erotustarkkuutta kapeampia saaria, niemiä, kannaksia, uomia ja syvänteitä.

Syvyys suunnassa vesitulavuus on vastaavasti jaettu halutun paksuisiin kerroksiin. Kunkin hilaruudun ja vesikerroksen virtausnopeudet ratkaistaan tarkastelujaksolla vaihtelevissa sää- ja virtaamaolosuhteissa. Eri erotustarkkuudella ratkaistavat osat voidaan liittää toisiinsa sisäkkäisesti tarkentuvaksi järjestelmäksi. Näin mallissa voidaan ottaa huomioon laajan merialueen virtausten vaikutus tarkasti kuvattuun paikalliseen alueeseen.

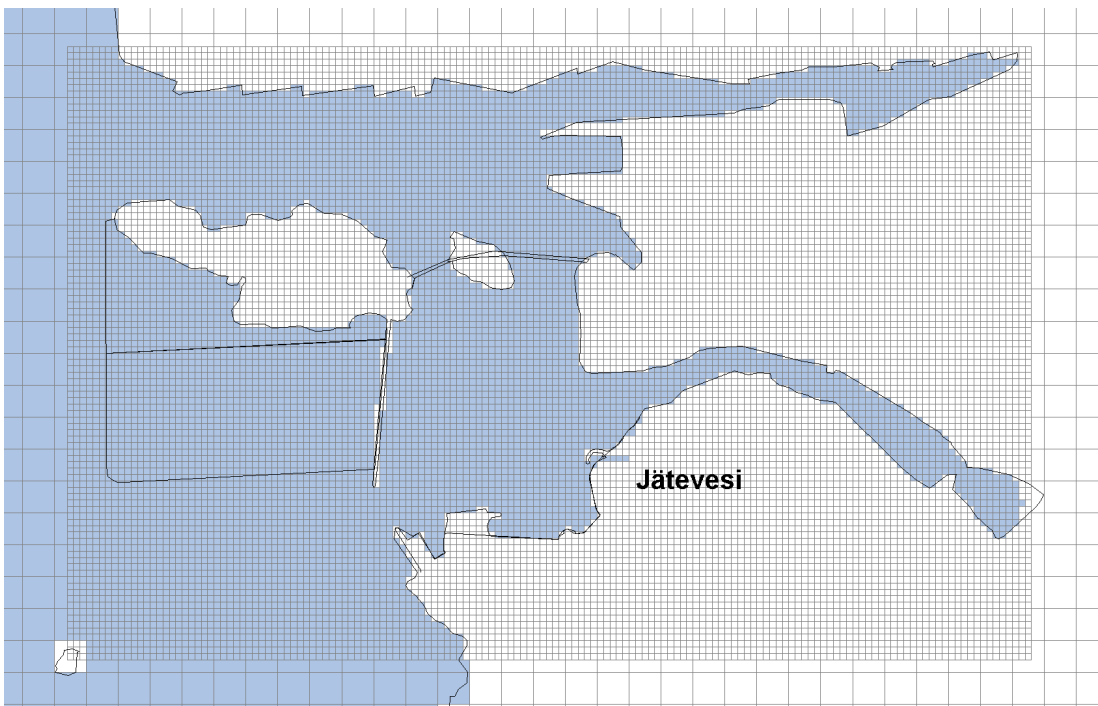
2.3 Mallialue ja -hilat

Mallilla simuloitiin koko Pohjanlahtea 2.5 km tarkkuudella (kuva 2), jolloin simulointeihin saatiin mukaan laajemman merialueen vaikutus. Pohjanlahdelta huomioitiin suurimmat virtauksia aiheuttavat joet (Kokemäenjoki, Oulujoki, Kemijoki, Tornionjoki, Kalix, Luleå, Piteå, Skellefteå,

Umeå, Angerman, Indals, Ljusnan ja Dalälven). Mallissa huomioitiin myös pienemmät Rauman lähialueelle vaikuttavat joet Kaljasjoki, Unaja, Raumajoki, Satama-alueelle laskevat kokoomaaja, Syvärauma, Eurajoki ja Olkiluodon ydinvoimalan aiheuttamat virtaukset.



Kuva 2. Vasemmalla Pohjalahden mallihila 2.5 km erotustarkkuudella ja 500 m hila-alueen sijainti ja oikealla 100 metrin ja 20 metrin hila-alueet.



Kuva 3. 20 metrin hila-alue ja jäteveden purkupaikka sekä läjitysalueen ja suunnitellun pengertien reunat.

Mallin erotustarkkuus tarkentui suhteessa 1:5 kohti satama-alueetta. 500 metrin erotustarkkuudella kuvattu alue kattoi $85 \times 117.5 \text{ km}^2$ alueen, joka Suomen rannikolla ulottui Uudestakaupungista Merikarvialle. 100 metrin resoluutiolla kuvattu alue kattoi $18 \times 21.5 \text{ km}^2$ alueen, joka ulottui Hanhisesta Olkiluotoon. Tarkimmalla 20 m resoluutiolla kuvattiin satama-altaiden ja Järviluotojen lähialue $3 \times 1.9 \text{ km}^2$. Kuvissa 2 ja 3 on esitetty eri erotustarkkuuksilla lasketut alueet. Vertikaalisuunnassa mallihilassa on 13 kerrosta, joiden kerrosrajat ovat 0.5, 1, 2, 4, 6, 9, 12, 15, 20, 30, 50, 100 m ja pohja.

3. Vaihtoehdot

Simuloinnit laskettiin nykytilan lisäksi umpiniaisella pengertiellä sekä 5 m^2 rumpuaukolla ja 20 m leveällä sillalla. Virtausmuutosten lisäksi mallilla laskettiin jäteveden kulkeutumista vakiotuulilla ja avovesijaksolla.

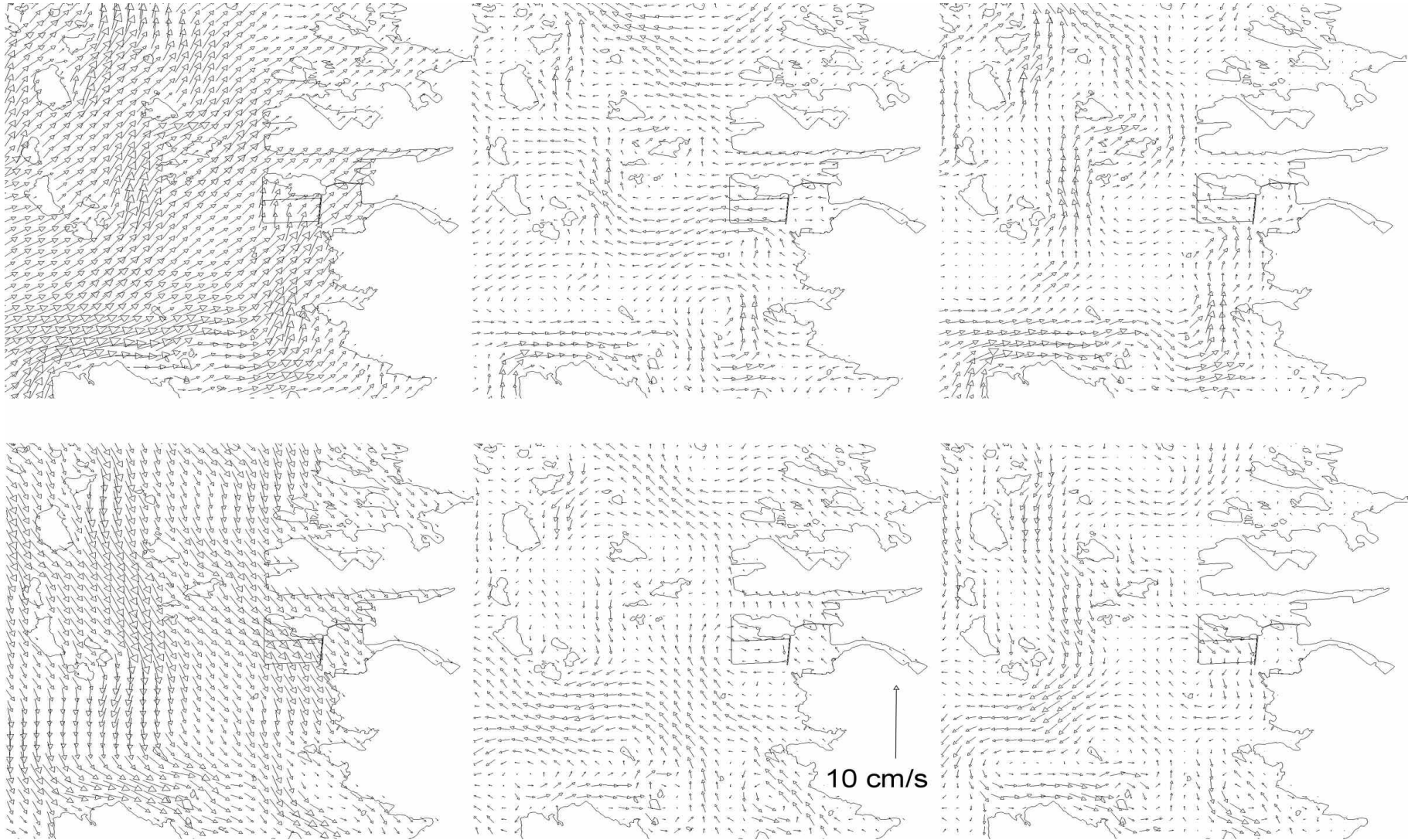
3.1 Muutokset virtauksissa

Nykytilanteen pinta-, pohja- sekä syvyyden yli keskiarvoistetut virtausnopeudet 5 m/s lounais- ja luoteistuulilla on esitetty kuvassa 4. Tyypillisesti pintavirtaus on tuulen suuntainen ja pohjalle voi syntyä paluuvirtausta syvänteitä myötäillen. Yleisimmillä lounaan suuntaisilla tuulilla virtaus kiertää Järviluodot sekä itä- että länsipuolelta. Luoteen puoleisilla tuulilla pintavirtaus on Iso Järviluodon itäpuolella tuulen suuntainen ja pohjalla vastaan. Vesi pääsee vaihtumaan satama-altaissa hyvin.

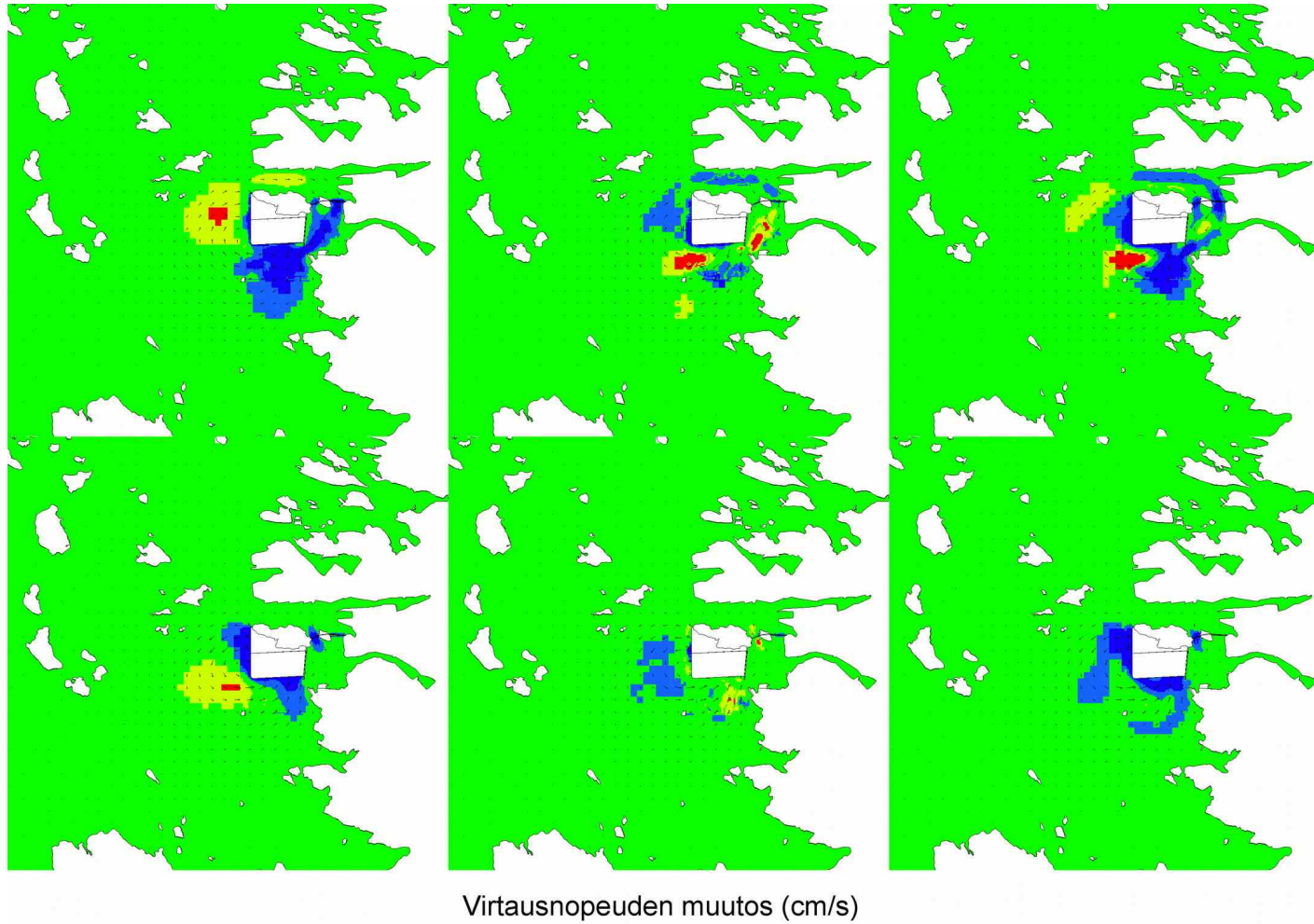
Kuvissa 5-7 on esitetty eri vaihtoehdoissa syntyvät muutokset virtauksissa. Virtausnuoli vihreällä alueelle, jossa virtausnopeuden muutos on pieni, kuvaa virtauksen kääntymistä. Umpipenger-, rumpu- ja siltavaihtoehtojen välillä on vain vähäisiä eroja virtausnopeuksissa, sillä rummun läpi vaihtuu vettä alle $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Syvemmälle ulottuvassa siltavaihtoehdossa pohjalle voi syntyä paluuvirtausta, joka pienentää aukon nettovaikutusta virtauksiin.

Kaikissa vaihtoehdoissa suurimmat muutokset tapahtuvat alle kilometrin etäisyydellä Iso Järviluodosta. Voimakkaimmat muutokset ovat noin 1 cm/s suuruusluokkaa. Keskimääräisellä tuulennopeudella pintavirtaukset Iso Järviluodon meren puolella ovat n. $5\text{-}10 \text{ cm/s}$, jolloin suhteellinen muutos on $10\text{-}20 \%$. Virtaukset hidastuvat Iso Järviluodon eteläpuolella ja aallonmurtajan takana olevassa satama-altaassa.

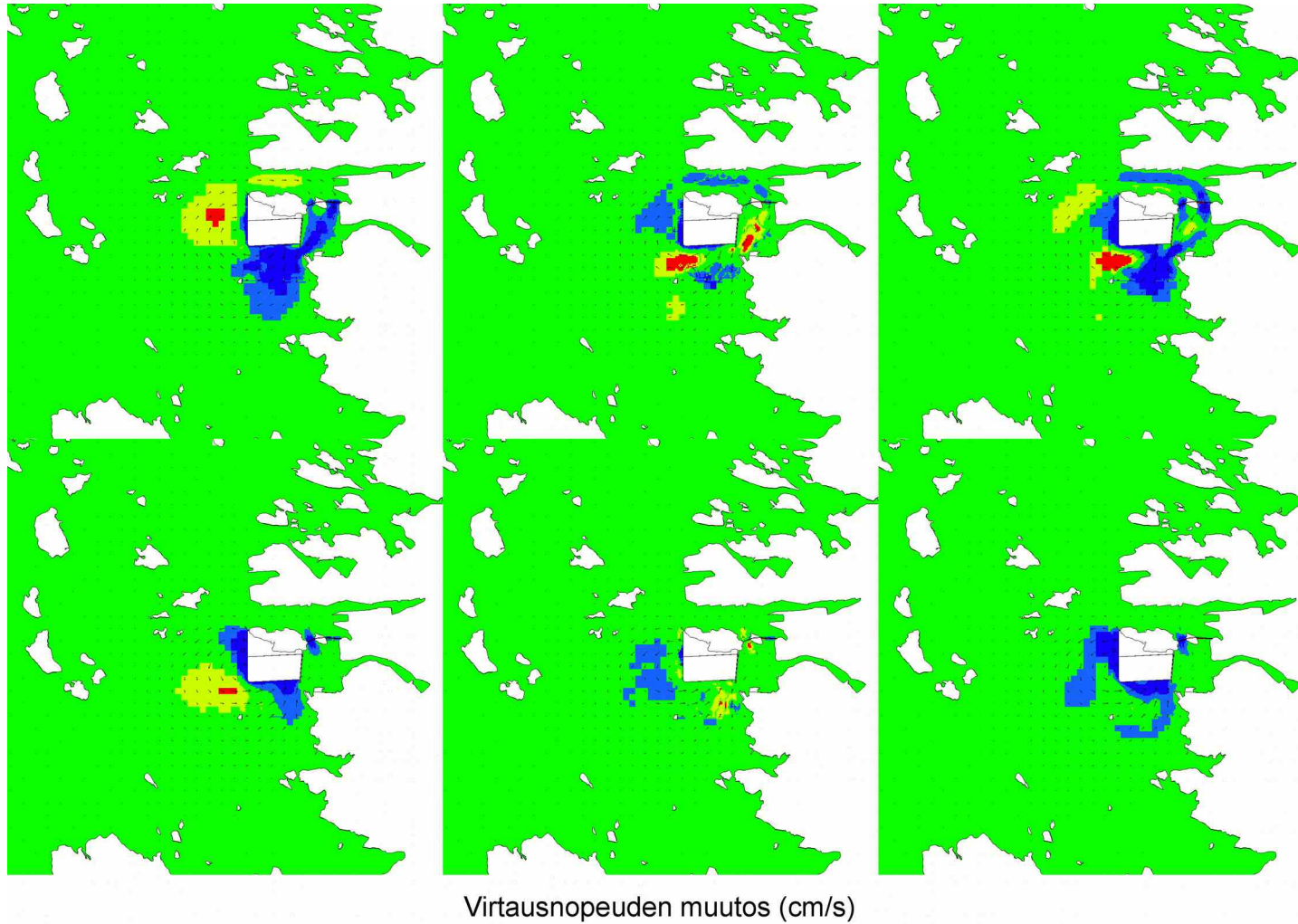
Virtausnopeuksissa tapahtuvien muutosten lisäksi virtausmuutoksia voidaan kuvata laskemalla veden vaihtuvuutta eli viipymää. Viipymä kuvaa aikaa, jolloin vesi on valitulla alueella. Kuvassa 8 on esitetty simulointitulokset keskimääräisestä viipymästä Järviluotojen kaakkoispuolisessa satama-altaassa. Nykytilanteessa vesi vaihtuu alueelta reilussa kahdessa vuorokaudessa ja umpinainen pengertie kasvattaa viipymä $2\text{-}3$ kertaiseksi. Rummun tai sillan rakentaminen pengertiehen nopeuttaa veden vaihtuvuutta noin vuorokaudella. Pengertiehen tehtävät aukot eivät nopeuta veden vaihtuvuutta lineaarisesti suhteessa aukon kokoon, vaan ensimmäisillä aukoilla on suurin vaikutus.



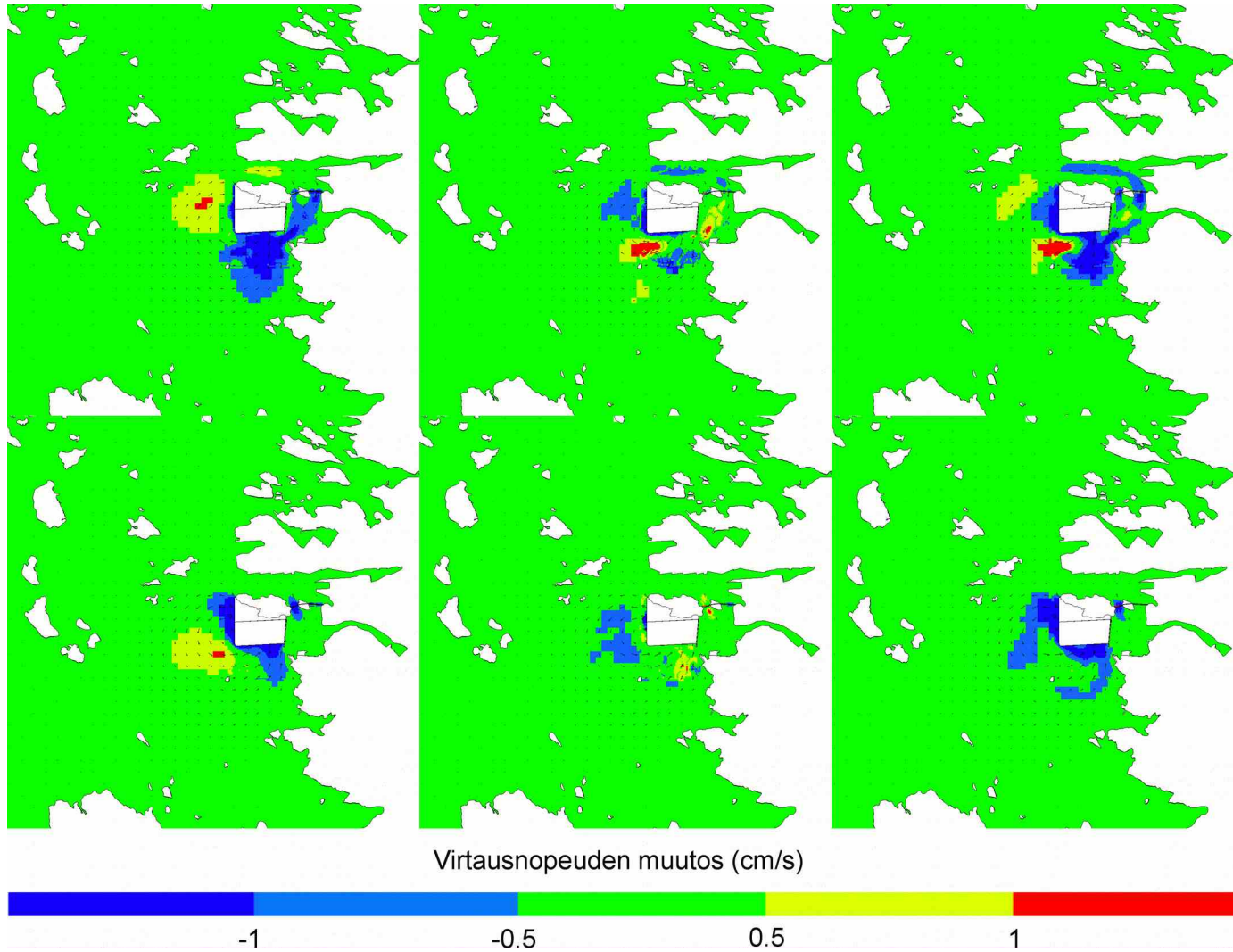
Kuva 4. Tuulen 5 m/s aiheuttamat virtaukset nykytilanteessa. Ylärivillä olevat kuvat ovat lounaistuulella ja alarivillä luoteistuulella. Vasemmanpuoleisin kuva on pintakerroksesta, keskimmäiset pohjakerroksesta ja oikeanpuoleiset koko syvyyden yli integroidut keskivirtaamat.



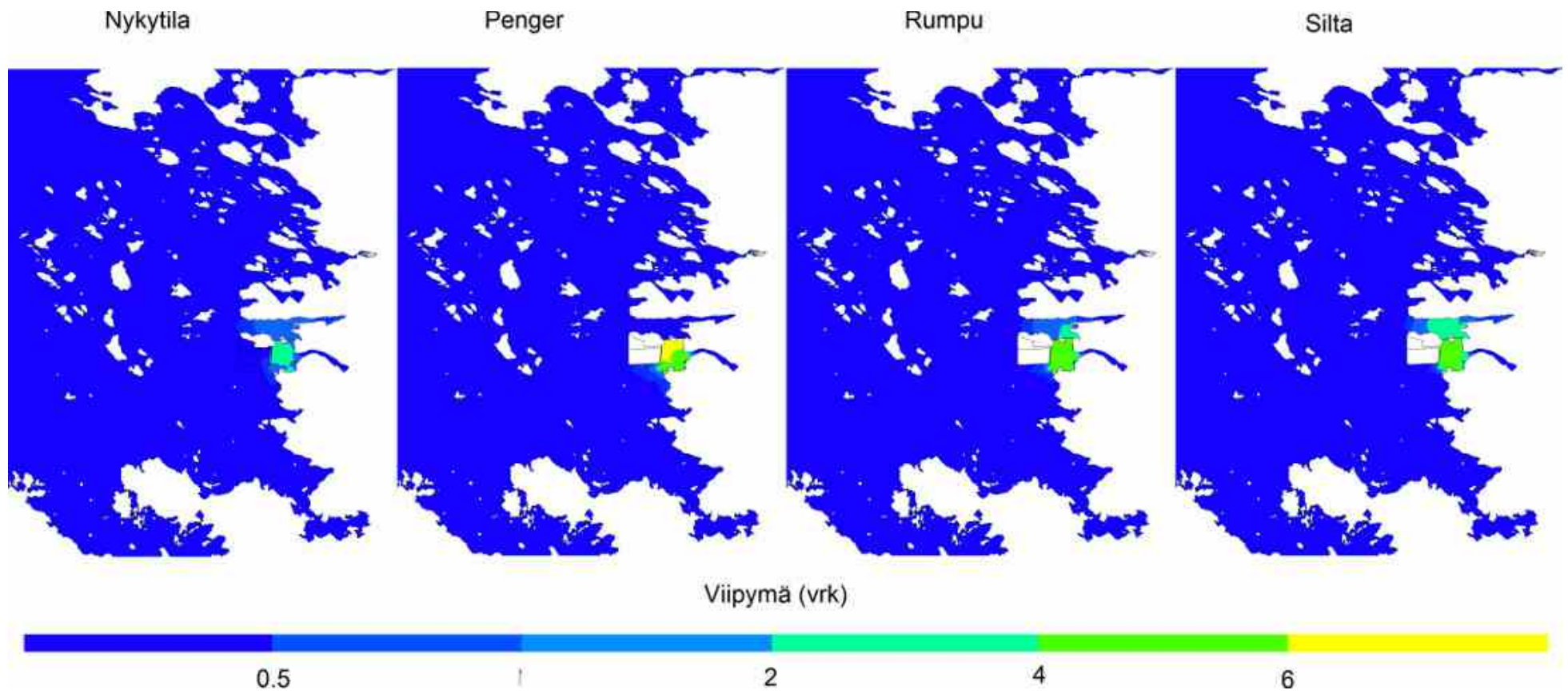
Kuva 5. Umpipengervaihtoehdossa syntyvät virtausnopeuden muutokset 5 m/s tuulella nykytilanteeseen verrattuna. Ylärivillä olevat kuvat ovat lounaistuulella ja alarivillä luoteistuulella. Vasemmanpuoleisin kuva on pintakerroksesta, keskimmäiset pohjakerroksesta ja oikeanpuoleiset koko syvyyden yli integroidut keskivirtaamat.



Kuva 6. Rumpuvaihtoehdossa syntyvät virtausnopeuden muutokset 5 m/s tuulella nykytilanteeseen verrattuna. Ylärivillä olevat kuvat ovat lounaistuulella ja alarivillä luoteistuulella. Vasemmanpuoleisin kuva on pintakerroksesta, keskimmäiset pohjakerroksesta ja oikeanpuoleiset koko syvyyden yli integroidut keskivirtaamat.



Kuva 7. Siltavaihtoehdossa syntyvät virtausnopeuden muutokset 5 m/s tuulella nykytilanteeseen verrattuna. Ylärivillä olevat kuvat ovat lounaistuulella ja alarivillä luoteistuulella. Vasemmanpuoleisin kuva on pintakerroksesta, keskimmäiset pohjakerroksesta ja oikeanpuoleiset koko syvyyden yli integroidut keskivirtaamat.



Kuva 8. Veden viipymä Järviluotojen kaakkoispuolisessa altaassa luonnontuulilla 1.6.-1.9.2012 eri vaihtoehdoissa.

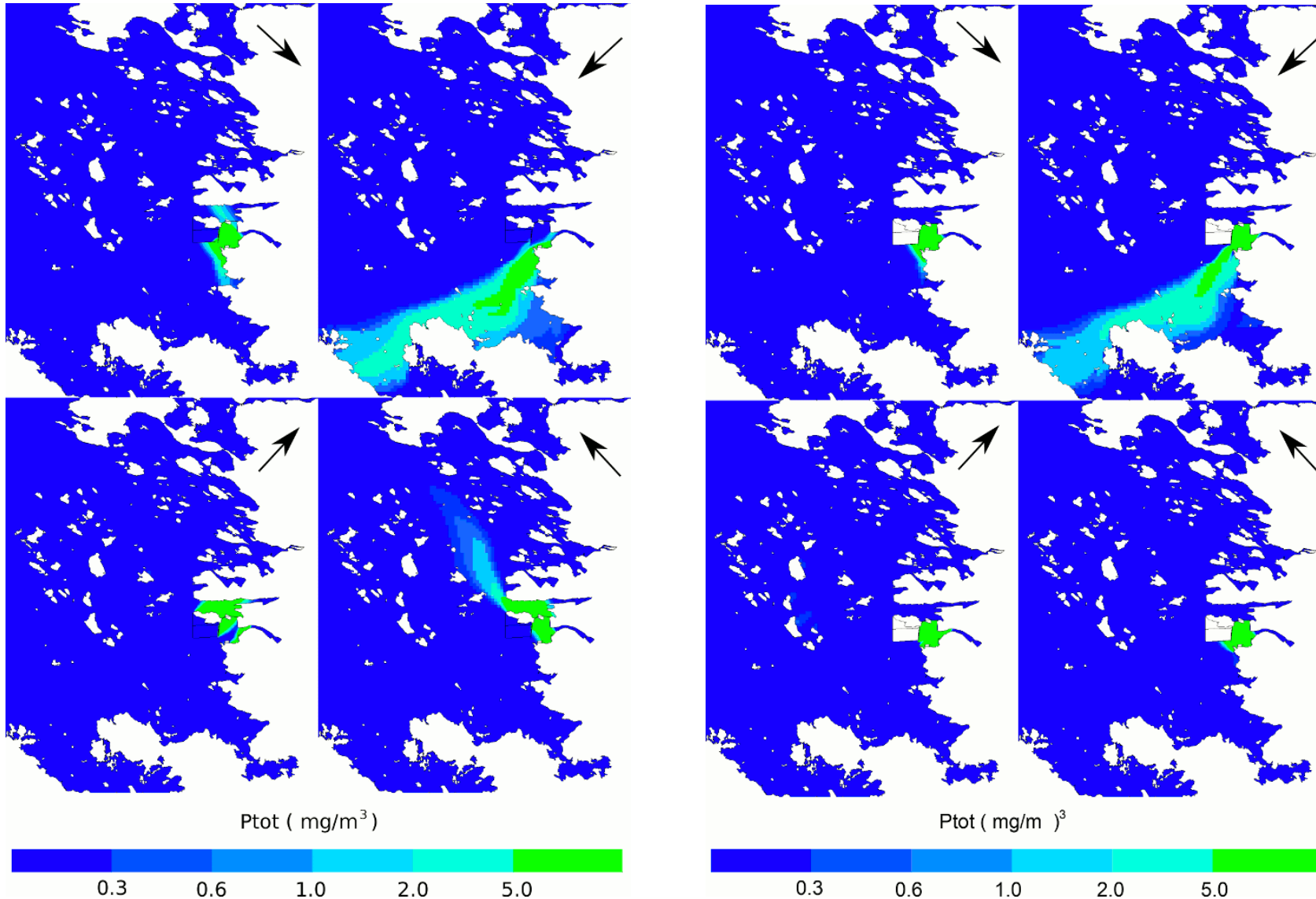
3.2 Vakiotuulitilanteet

Vakiotuulisimuloinneilla voidaan helpoiten arvioida pahimpia mahdollisia kulkeutumistilanteita. Kuvissa 9-12 on esitetty jäteveden kulkeutuminen nykytilanteessa ja umpipengervaihtoehdossa keski- ja maksimivirtaamilla. Näissä simuloinneissa laskettiin jäteveden kulkeutumista viiden vuorokauden ajan 5 m/s tuulennopeudella väli-ilmansuunnista puhaltavilla tuulilla. Kuvissa 13 ja 14 on lisäksi pääilmansuunnista 3 m/s tuulennopeudella syntyvät pitoisuudet.

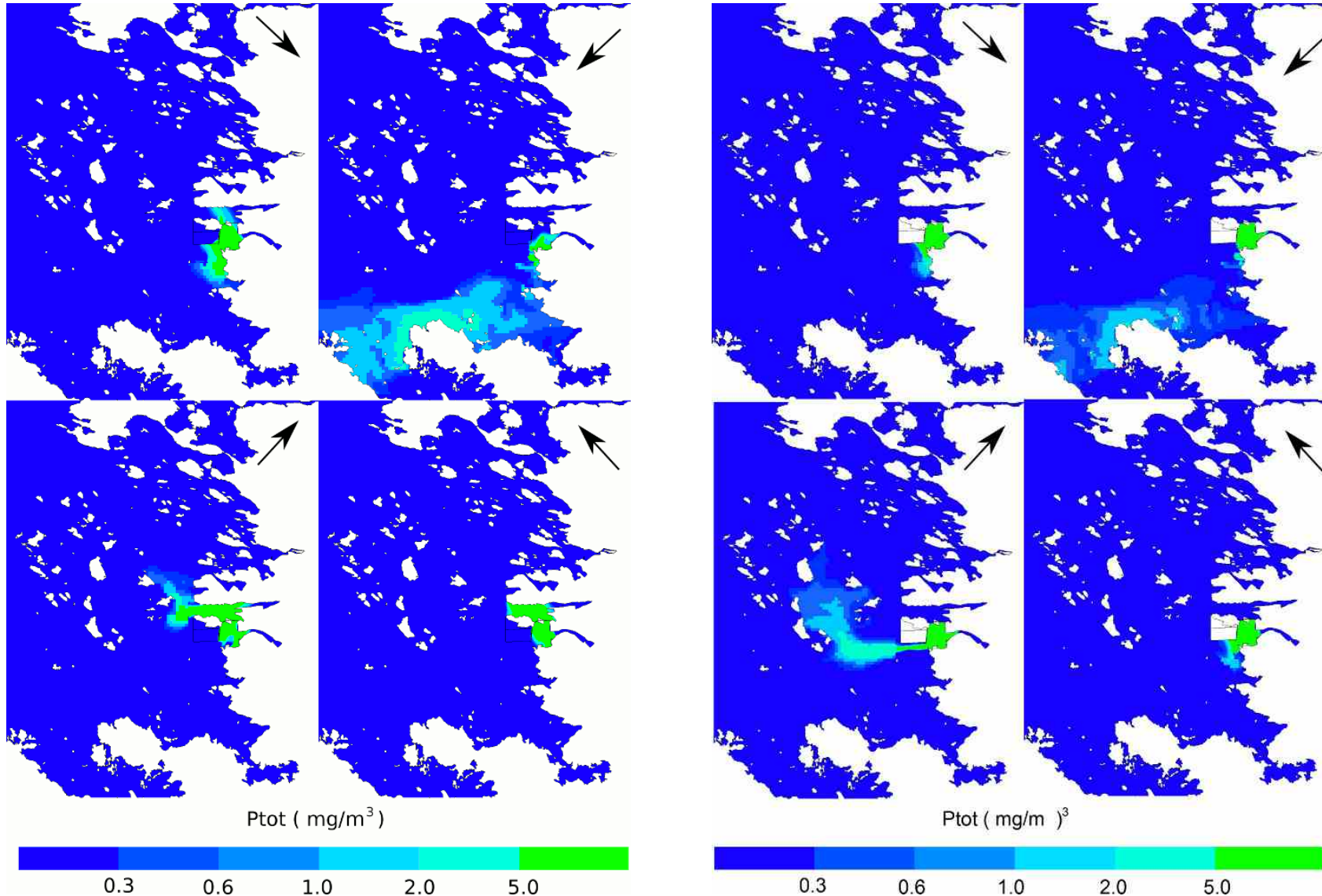
Lännen puoleisilla tuulilla jätevedet pysyvät pitkään satama-altaissa ja leviäminen merialueelle on hidasta. Lounaistuulella jätevesi leviää merialueelle pohjavirtauksen mukana Iso Järviuodon pohjoispuolelta, mutta umpipengervaihtoehdossa leviäminen tapahtuu eteläpuolelta. Molemmissa tapauksissa jätevesi kulkeutuu luoteen suuntaan satama-altaista.

Maksimivirtaamilla jokivesi työntää jätevettä tehokkaammin pois satama-altaista avomerelle. Satama-aldaiden ulkopuolella tuuli on dominoivat virtausten aiheuttaja, joten pitoisuudet ovat leviämissuuntien osalta samanlaisia kuin keskivirtaamalla.

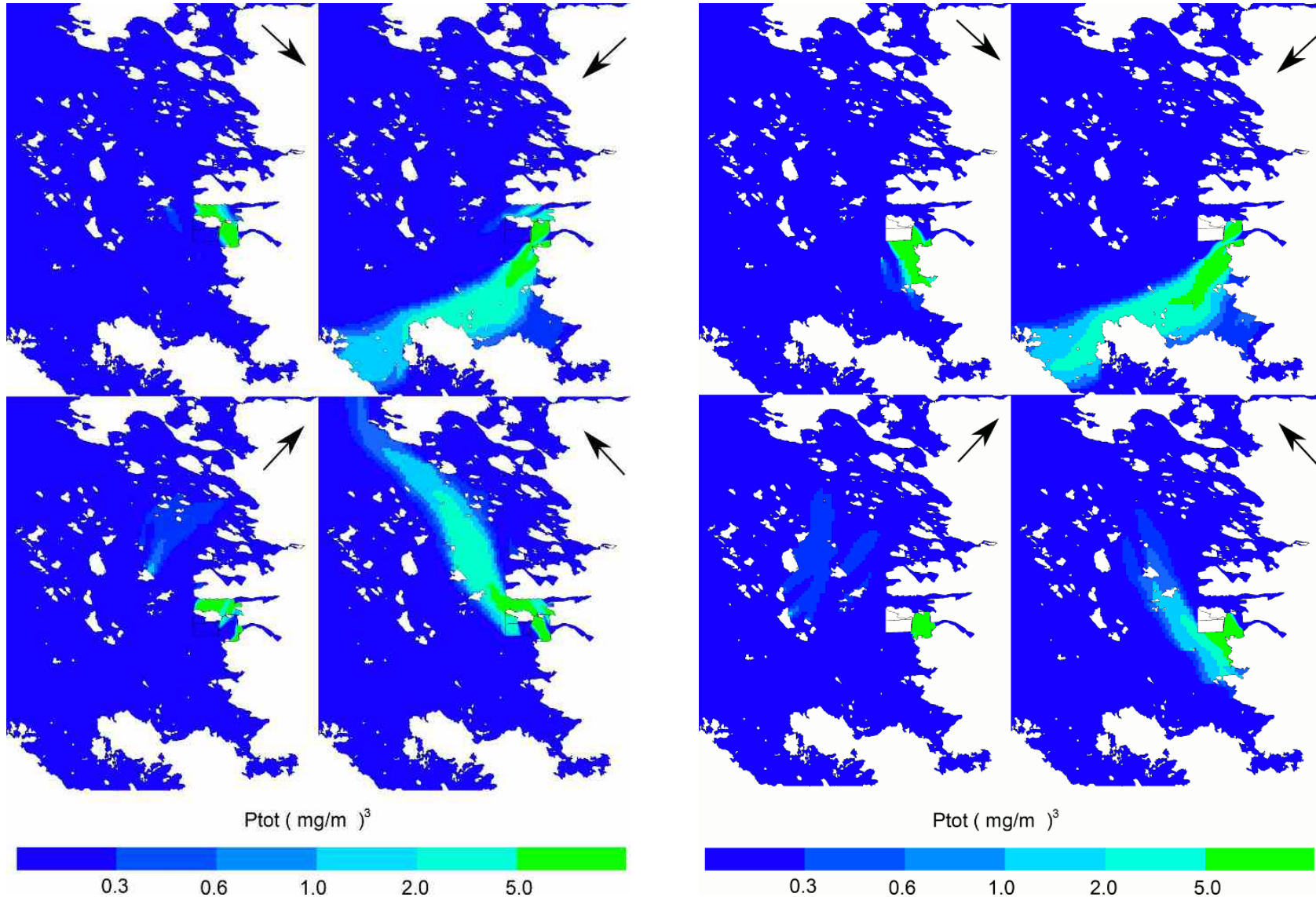
Pohjois- ja itätuulella jätevesi pääsee kulkeutumaan esteettömimmin merialueelle. Heikommalla tuulennopeudessa pitoisuudet sekoittuvat meriveteen hitaammin ja pitoisuudet Järviuotojen ympäristössä ovat hieman korkeampia. Keskimääräisesti idän puoleiset tuulet ovat heikompia kuin lounaan ja lännen suuntaiset. Eri vaihtoehtojen välillä ei ole oleellisia eroja pitoisuuksissa.



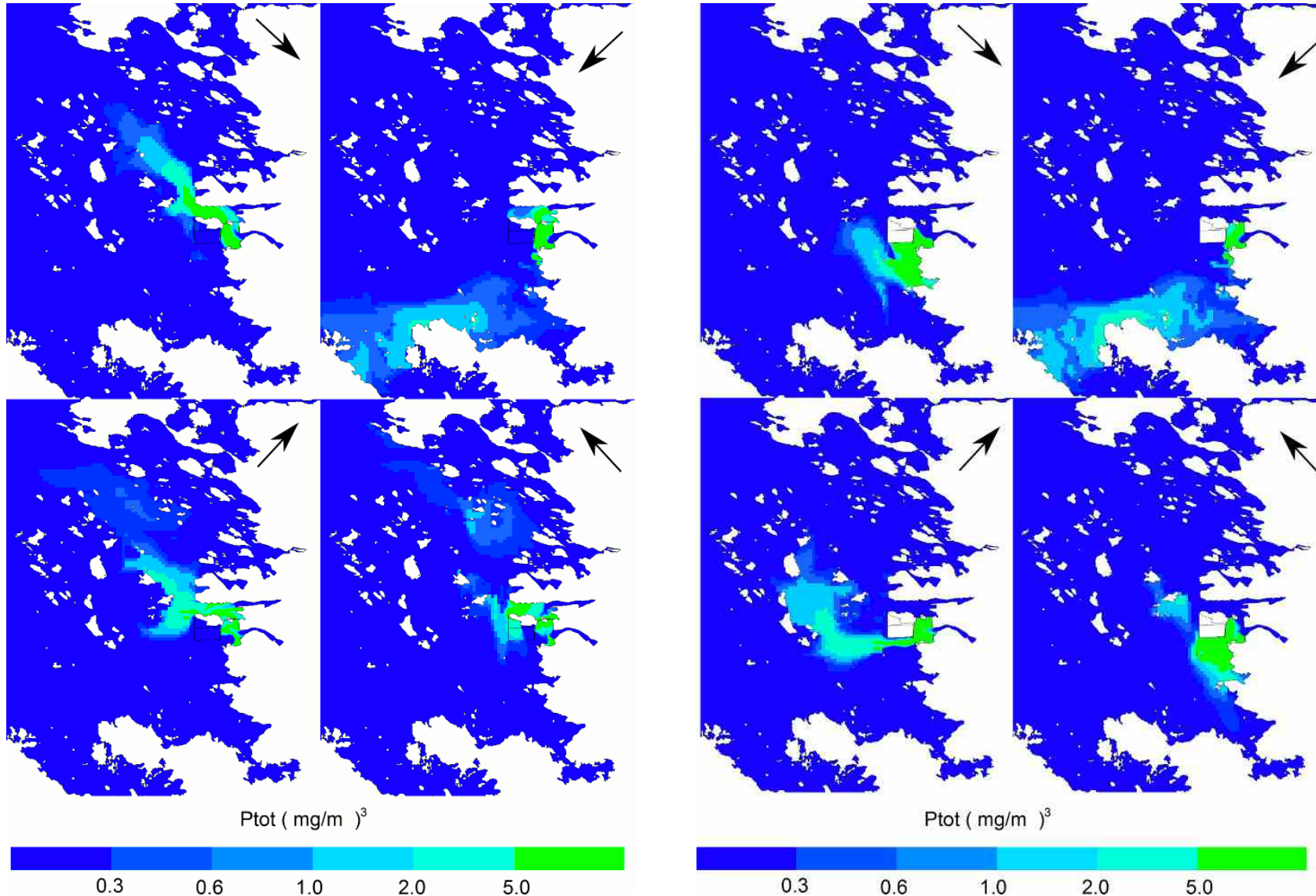
Kuva 9. Jäteveden kulkeutuminen vakiotuulilla 5 m/s. Jokivirtaamina on käytetty keskivirtaamia. Nuolet kuvissa kuvaavat tuulen suuntaa. Vasemmalla olevat neljä kuvaa ovat nykytilanteesta ja oikealla umpipengervaihtoehdosta. Kuvat ovat pintakerroksesta 0 - 0.5 m.



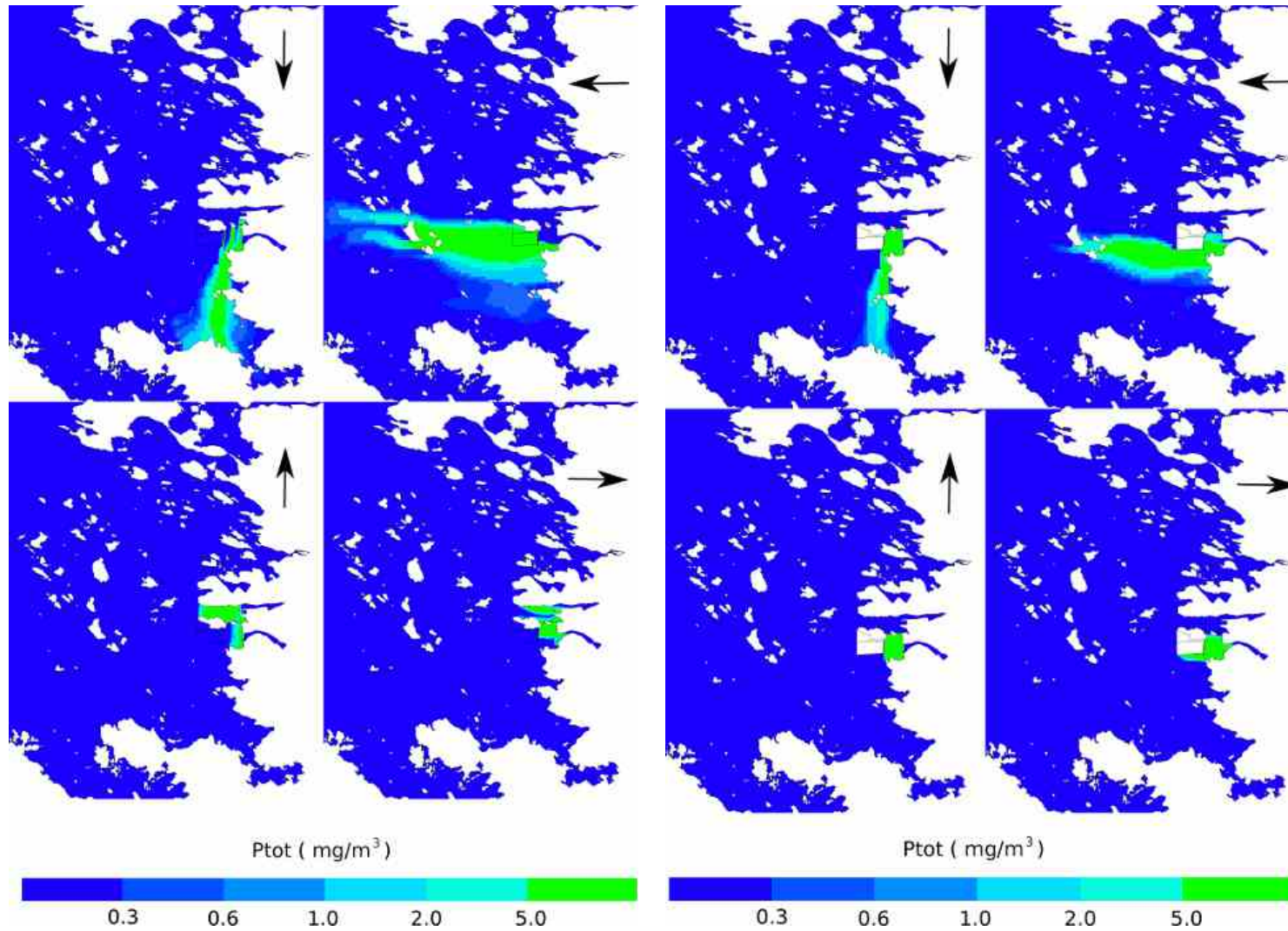
Kuva 10. Jäteveden kulkeutuminen vakiotuulilla 5 m/s. Jokivirtaamina on käytetty keskivirtaamia. Nuolet kuvissa kuvaavat tuulen suuntaa. Vasemmalla olevat neljä kuvaa ovat nykytilanteesta ja oikealla umpipengervaihtoehdosta. Kuvat ovat pohjakerroksesta, jonka paksuus vaihtelee.



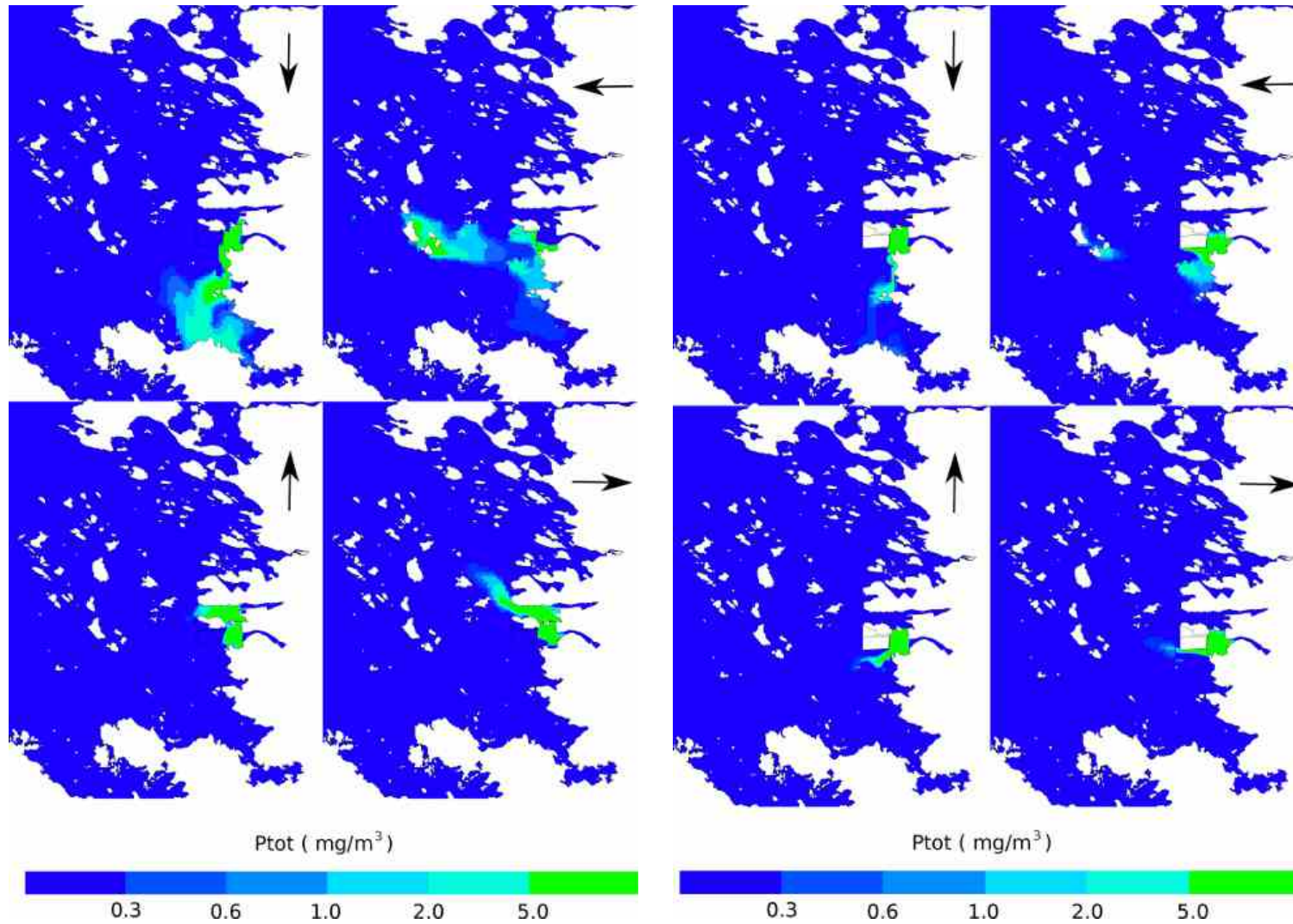
Kuva 11. Jäteveden kulkeutuminen vakiotuulilla 5 m/s. Pitkäjärvenojan ja Raumanjoen virtaamina on käytetty maksimivirtaamia. Nuolet kuvissa kuvaavat tuulen suuntaa. Vasemmalla olevat neljä kuvaa ovat nykytilanteesta ja oikealla umpipengervaihtoehdosta. Kuvat ovat pintakerroksesta .



Kuva 12. Jäteveden kulkeutuminen vakiotuulilla 5 m/s. Pitkäjärvenojan ja Raumanjoen virtaamina on käytetty maksimivirtaamia. Nuolet kuvissa kuvaavat tuulen suuntaa. Vasemmalla olevat neljä kuvaa ovat nykytilanteesta ja oikealla umpipengervaihtoehdosta. Kuvat ovat pohjakerroksesta.



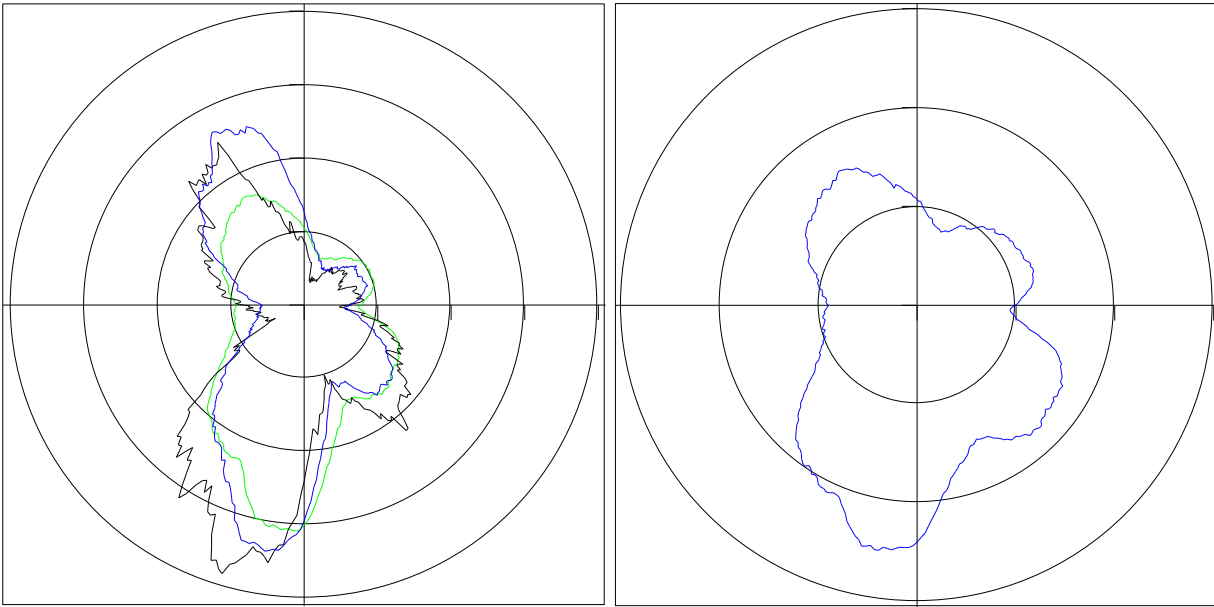
Kuva 13. Jäteveden kulkeutuminen pääilmansuunnista puhaltavilla vakiotuulilla 3 m/s. Pitkäjärvenojan ja Raumanjoen virtaamina on käytetty maksimivirtaamia. Nuolet kuvissa kuvaavat tuulen suuntaa. Vasemmalla olevat neljä kuvaa ovat nykytilanteesta ja oikealla umpipengervaihtoehdosta. Kuvat ovat pintakerroksesta 0 - 0.5 m.



Kuva 14. Jäteveden kulkeutuminen pääilmansuunnista puhaltavilla vakiotuulilla 3 m/s. Pitkäjärvenojan ja Raumanjoen virtaamina on käytetty maksimivirtaamia. Nuolet kuvissa kuvaavat tuulen suuntaa. Vasemmalla olevat neljä kuvaa ovat nykytilanteesta ja oikealla umpipengervaihtoehdosta. Kuvat ovat pohjakerroksesta.

3.3 Luonnontuulijakso

Ilmatieteenlaitoksen Avoin data-tietokannassa on saatavilla tuulen mittaustietoja vuodesta 2010 Kylmäpihlajan mittausasemalta. Kesäkauden simulointijakso valittiin vuodelta 2012, koska tällöin kesän keskimääräiset tuulenopeudet ja -suunnat olivat lähimpänä viiden vuoden keskiarvoja. Kesäkuukausien viiden vuoden keskiarvot olivat tuulen nopeudelle 6.6 m/s ja suunnalle 222 astetta ja vuonna 2012 ne olivat 6.8 m/s ja 210 astetta. Kuvassa 15 on esitetty tuuliruusu Kylmäpihlajan mittausasemalta. Tuuliruusuissa suuntia on painotettu tuulen nopeudella, jolloin ruusu kuvaa suuntien vaikutusaikaa paremmin meressä tapahtuvaa kulkeutumista.

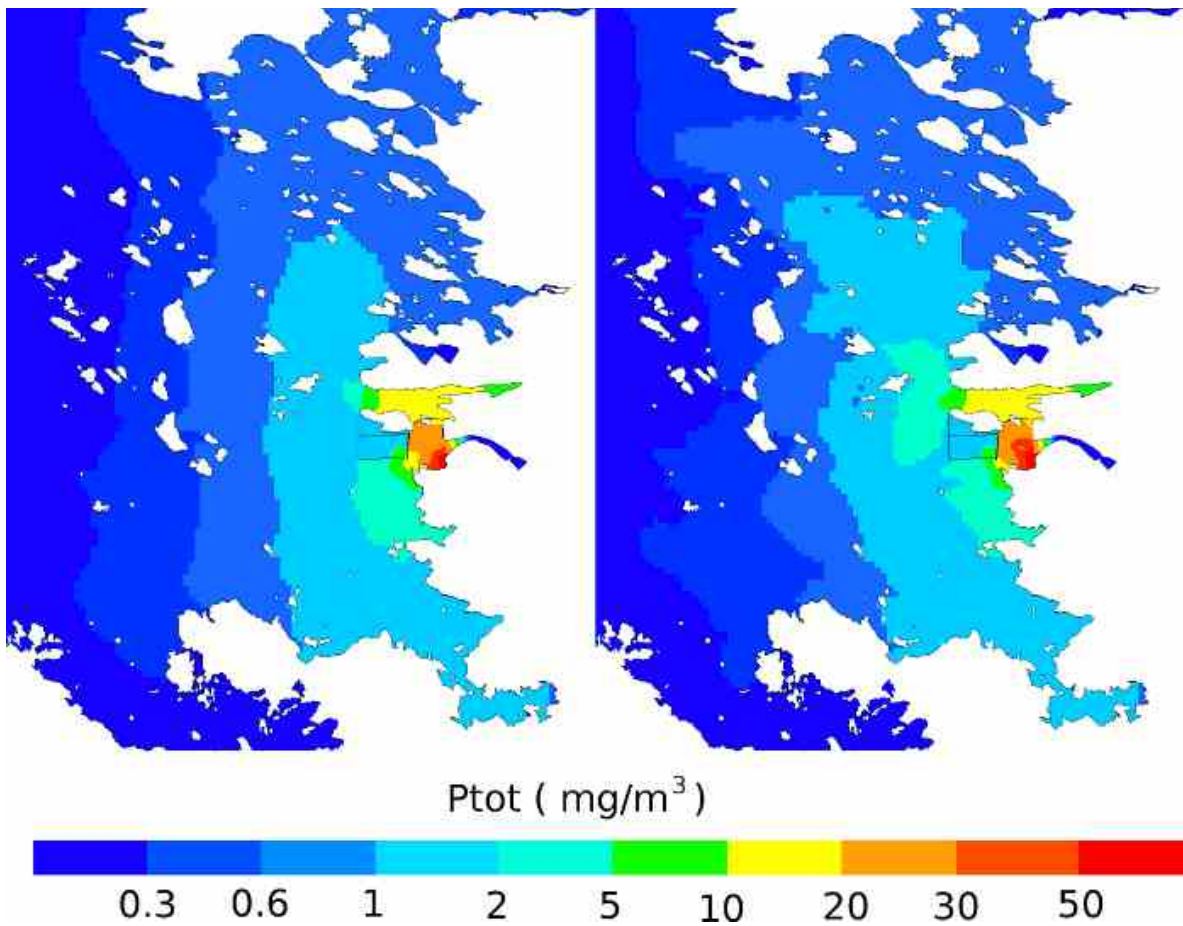


Kuva 15. Vasemmalla tuulen suuntajakaumat Kylmäpihlajan mittausasemalla. Sinisellä on vuosien 2010-2014 kaikki tuulet, vihreällä kesän (1.6-1.9) tuulet samoilta vuosilta ja mustalla vuoden tuulet 1.6.-1.9.2012. Tuulen suuntia on painotettu tuulen nopeudella. Oikealla vuosien 2010-2014 suuntajakauma, jota ei ole painotettu tuulen nopeudella.

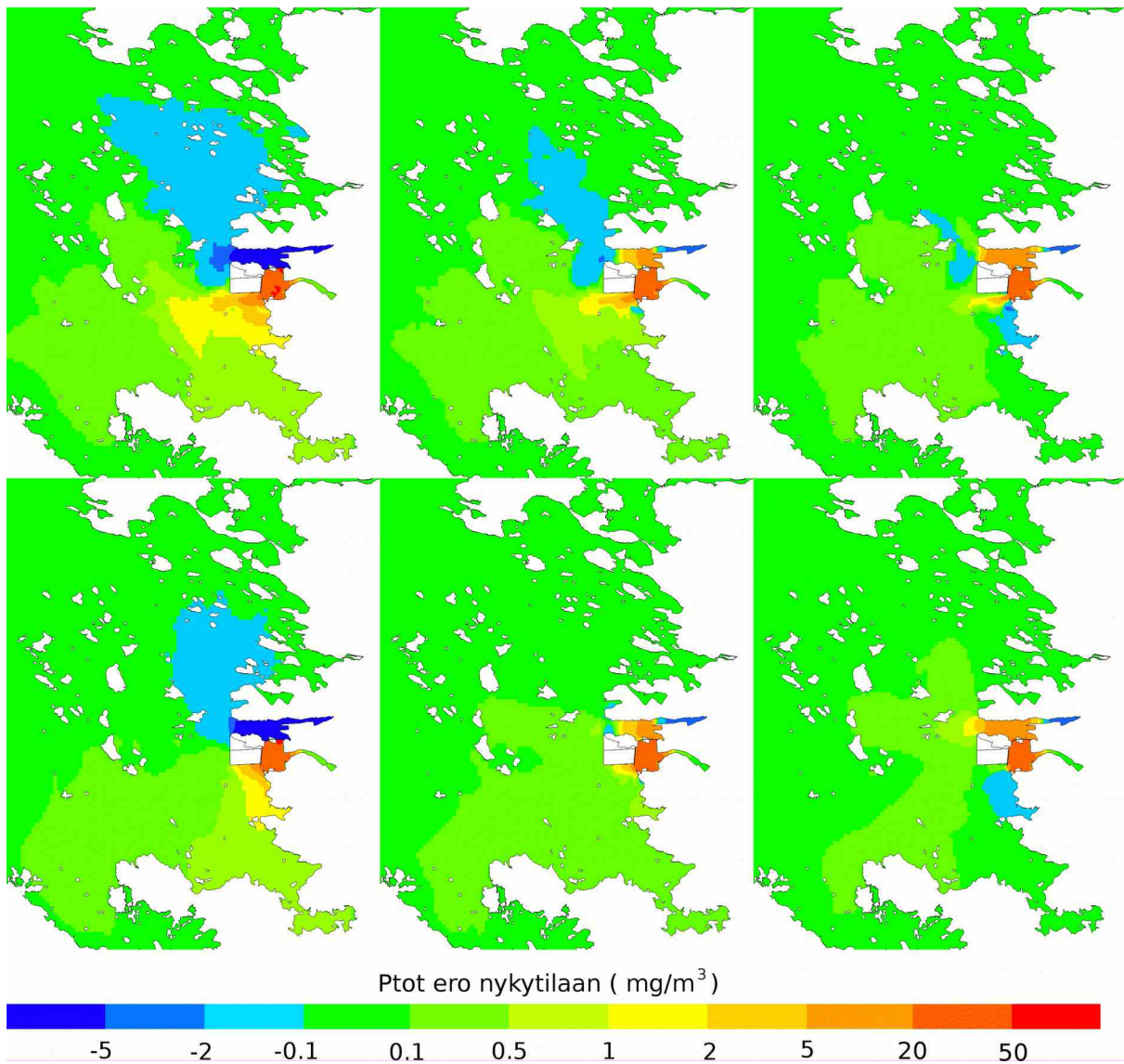
Raumanjoesta ei ole tehty virtausmittauksia, mutta keskivirtaamat pystyttiin arvioimaan valuma-alueen koosta (Virtanen 2008). Virtaaman ajallisen vaihtelun oletettiin muuttuvan samalla tavoin, kun lähijoissa. Raumanjoen virtaamana käytettiin Lapinjoki Ylisenkoski virtaamaa, jota skaalattiin suhteessa keskivirtaamiin. Muissa Pohjalahden suurissa joissa käytettiin keskivirtaamaa.

Jätevesien fosforisimuloinnissa laskettiin vain kulkeutumista. Tällä tavoin saadaan yläraja pitoisuuksille, sillä todellisuudessa ravinteita vajoaa ja sedimentoituu pohjalle. Kuvassa 16 on esitetty jätevesi vaikutus fosforipitoisuuksiin nykytilanteessa ja kuvassa 17 muutokset eri vaihtoehdoissa.

Kaikissa vaihtoehdoissa jätevettä kulkeutuu etelän ja lounaan suuntaan enemmän kuin nykytilanteessa ja luoteen ja pohjoisen suuntaan vähemmän. Mikäli penkereessä on rumpu tai suurempi aukko kokonaisfosforipitoisuuksissa tapahtuvat muutokset jäävät alle 1 mg/m³ satamaltaiden ja Iso Järviluodon lähialuetta kauempana. Satamaltaan pitoisuudet kaksinkertaistuvat, koska viipymä altaassa pitenee.



Kuva 16. Jätevesien vaikutus kokonaisfosforipitoisuuksiin nykytilanteessa. Vasemmalla on pitoisuudet pintakerroksessa 0 - 0.5 m ja oikealla pohjakerroksessa. Pohjakerroksen paksuus vaihtelee hilaruuduittain.



Kuva 17. Kokonaisfosforipitoisuuksissa tapahtuvat muutokset eri vaihtoehtoissa. Pitoisuuskuvissa ylärivillä on pintakerros ja alarivillä pohjakerros. Vasemman puoleisessa kuvaparissa on nykytilan ja umpipengervaihtoehdon synnyttämä erotus, keskellä ero rumpuvaihtoehtoon ja oikealla siltavaihtoehtoon.

4. Yhteenveto ja johtopäätökset

Tutkimuksessa selvitettiin virtaus- ja vedenlaatumallin avulla Rauman yhteispuhdistamon puhdistettujen jätevesien kulkeutumista Rauman Sataman alueelta nykytilanteessa sekä suunnitellun Järviluodon pengertien valmistuttua. Pengertiestä laskettiin umpipenkereen lisäksi kaksi vaihtoehtoa, jossa penkereeseen on tehty rummuilla tai sillalla virtausaukko.

Kaikissa pengertievaihtoehdoissa virtaus Järviluotojen itä- ja eteläpuolella heikkenee. Vaikutukset ovat 5 m/s tuulennopeudella voimakkaimmillaan suuruusluokka 1 cm/s. Yli kilometrin etäisyydellä Järviluodosta virtausnopeuksissa tapahtuvat muutokset ovat mitättömiä. Heikkenevä virtaus Iso Järviluodon aallonmurtajan itäpuolella kasvattaa viipymää tässä altaassa noin 2 - 3 kertaiseksi.

Jäteveden sisältämää kokonaisfosforipitoisuutta simuloitiin sekä vakiotuulilla että luonnontuulilla. Vakiotuulilla tehdyissä simuloinneissa pystytään kartoittamaan ongelmallisimpia tilanteita. Nykytilanteessa jätevesi pääsee parhaiten kulkeutumaan pois Järviluodon ja mantereen välisestä altaasta pohjoisen ja idän suuntaisilla tuulilla. Kaakkois- ja lounaistuulella jätevesi lähtee kulkeutumaan pohjoisen suuntaan ja luoteistuulella pysyy pisimpää altaassa. Pengertien rakentamisen jälkeen kulkeutumistilanne pysyy likimain samana itä-koillistuulella, mutta muilla tuulen suunnilla kulkeutuminen on selvästi vähäisempää joskin saman suuntaista.

Luonnontuulilla simuloitulla kolmen kuukauden jaksolla arvioitiin keskimääräistä pitoisuusmuutosta. Pengertien rakentaminen pidentää viipymää satama-altaassa, jossa kokonaisfosforipitoisuudet nousevat selvästi n. 30-50 mg/m³. Keskimäärin jätevettä kulkeutuu enemmän etelän suuntaan ja vastaavasti pohjois-luoteissuunnalla pitoisuudet pienenevät.

Noin 1 mg/m³ kokonaisfosforipitoisuuden nousua syntyy reilun kilometrin etäisyydellä Iso Järviluodon läjitysalueesta umpipengervaihtoehdossa ja vajaan kilometrin etäisyydellä, jos penkereessä on virtausaukkoja. Hanhisen rannoilla keskimääräinen kokonaisfosforipitoisuus nousee noin 0.1 - 0.5 mg/m³.

Virtausaukoissa suhteellisesti suurin hyöty saadaan ensimmäisistä neliöistä, jotka mahdollistavat läpivirtauksen penkereen toiselle puolelle. Satama-altaassa jätevesipitoisuudet ovat suurimmillaan pintakerroksessa, joten kokonaisfosforin kulkeutumisen kannalta lähellä pintaa olevat rummut ovat tehokkaimpia.

Simuloinneissa on laskettu pelkästään kokonaisfosforin kulkeutumista, joten tulokset antavat yläraja-arvion pitoisuuksille. Todellisuudessa Järviluodon ja mantereen välisen altaan pohjalle vajoaa ja sedimentoituu pengertien rakentamisen jälkeen suurempi osa ravinnekuormituksesta kuin nykytilanteessa.

Viitteet

Ilmatieteenlaitos, 2015, Avoin data 4/2015, tietokanta

Koponen J, Helminen H., Laihonen P. 1998, Rauman edustan virtaus- ja vedenlaatumalli, loppuraportti, Lounais-Suomen ympäristökeskus ja Suomen Ympäristövaikutusten Arviointikeskus Oy

Maanmittauslaitos 2015, Maastotietokanta 4/2015 aineistoa

Merenkululaitos 2015, digitaalista merikorttiaineistoa 4/2015

Rauman kaupunki 13.3.2014, Hankkarintien – UPM Kymmene välisen avo ojan kartoitus ja perkaussuunnittelu, yleissuunnitelma, AIRIX Ympäristö

Sirniö V-P, 2007, Rauman Sataman edustan luotaus 2007, Mittausraportti+data, Kemijoki Aquatic Technology Oy, Rovaniemi, 5.7.2007

Suomen ympäristökeskus, 2015, Herttatietokanta 4/2015 aineistoa

Turkki H., 15.8.2014, Rauman merialueen tarkkailututkimus, Vuosiraportti 2013, Nro 116-14-5145, Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy

Virtanen M. 2008, Rauman sataman laajentamisen vaihtoehtoista merialueen virtauksiin ja veden laatuun aiheutuvien vaikutusten laskenta, tutkimusraportti 29.6.2008, Suomen Ympäristövaikutusten Arviointikeskus Oy