



*Hannu Peltoniemi, Jorma Koponen
Jukka Tarkkala*

***Selvitys meritäyttöjen vaikutuksesta
virtausolosuhteisiin***
Koivusaaren, Hanasaaren ja Lemislahden alue





*Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston
Kaavoitusosaston selvityksiä 2001:8*

*Suomen ympäristövaikutusten Arviointikeskus Oy
Hannu Peltoniemi, Jorma Koponen
Teknistaloudellinen toimisto
Jukka Tarkkala*

***Selvitys meritäyttöjen vaikutuksesta
virtausolosuhteisiin***

Koivusaaren, Hanasaaren ja Lemislahden alue

13.12.2001

HELSINGIN KAUPUNKI
KAUPUNKISUUNNITTELUVIRASTO

Kansakoulukatu 3
00100 Helsinki

KUVAILELEHTI

Tekijä(t)	
Hannu Peltoniemi, Jorma Koponen, Jukka Tarkkala	
Nimeke	
Selvitys meritäyttöjen vaikutuksesta virtausolosuhteisiin, Koivusaaren, Hanasaaren ja Lemislahden alue	
Sarjan nimeke	
Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston kaavoitusosaston selvityksiä	
Sarjanumero	Julkaisuaika
2001:8	13.12.2001
Sivuja	Liitteitä
47	0
ISBN	ISSN
951-718-779-3	1235-4104
Kieli koko teos	Yhteenveto
FIN	FIN
Tiivistelmä	
Yleiskaavan 2002 valmisteluaineistoon kuuluvassa alueiden käyttösuunnitelman luonnoksessa on esitetty Koivusaaren ja Hanasaaren sekä Lemislahden alueille mereen täytettäviä rakennusmaa-alueita. Täytemaa-alueista muodostettiin kolme toteutusvaihtoehtoa, joiden vaikutuksia tutkittiin matemaattisena virtausmallitarkasteluna. Alueen laskentapisteväli oli 50 m ja se kytkettiin koko Suomenlahden virtausmalliin. Avovesikauden laskentajaksolta oli käytettävissä virtausmittausten tulokset alueen kahdeksasta salmesta. Kaikilla täyttövaihtoehtoilla oli vaikutusta vedenvaihduntaan. Suurimmat vaikutukset oli maksimivaihtoehtodossa ja pienimmät vaihtoehtodossa 3. Täyttöjen merkitys oli suurin Karhusalmessa, jossa virtaukset voivat pienentyä jopa 40 %. Virtaukset salmessa ovat herkkiä salmen Espoon puolen täytöille ja mikäli ne jätetään pois, pienentyvät virtaukset 10 %. Karhusalmen täyttö on määräävä tekijä myös Lehtisaarenselän ja Seurasaarenselän välisten salmien virtauksissa. Karhusalmen täyttö ei lisää veden viipymää oleellisesti Lehtisaarenselällä, mutta kylläkin oleellisesti Seurasaarenselällä. Lemislahden täytön laajuudella on suuri vaikutus veden vaihtuvuuteen. Laajemmassa täyttövaihtoehtodossa viipymän kasvu on 30-40 % ja kasvaa joka tapauksessa noin 80 %. Laskentajaksolla ei todettu oleellisia muutoksia Laajalahden veden vaihtumisessa. Koska vesi lahdessa vaihtuu hitaasti, olivat laskentajaksot liian lyhyitä luotettavien johtopäätösten tekemiseen. Munkkisaaren ja Kuusisaaren välisen salmen merkitys veden vaihdon kannalta on suuri. Täyttöjen vaikutus vedenvaihduntaan oli suurempi avovesikaudella kuin jääpeitteisellä kaudella. Pienillä talvikauden muutoksilla voi kuitenkin olla suurempi vaikutus lahtien talvi-siin happikatoihin. Veden laadun muutosten tarkempi arviointi edellyttää vedenlaatumallin soveltamista. Tämän selvityksen mukaan muutokset näyttäisivät kuitenkin jäävän pieniksi, ainakin jos täytöt toteutetaan niin, etteivät Karhusalmen virtaukset oleellisesti pienene.	
Avainsanat	
TÄYTEMAA	LEHTISAARENSELKÄ
VIRTAUSMALLI	SEURASAARENSELKÄ
VEDEN VIRTAUS JA LAATU	
LAAJALAHTI	
Asiasanat	
YLEISKAAVOITUS	
YMPÄRISTÖN VAIKUTUKSET	
MERIALUEET	
HELSINKI	
UDK	
711.4 - 711.14	504.05

Sisällysluettelo

1. Alkulause	3
2. Työn tavoite ja tausta	4
3. Tutkimusalueen kuvaus ja täyttövaihtoehdot	5
4. Alueen virtausten yleiskuvaus	8
5. Vedenlaadun kehitys alueella 70-luvulta nykypäivään	9
6. Virtaus- ja kulkeutumismallin kuvaus	10
7. Mitatut ja nykytilan mallinnetut virtaukset	11
8. Täyttöjen vaikutukset virtausolosuhteisiin ja viipymään	16
8.1 Vaikutukset avovesikaudella	16
8.2 Vaikutukset jääpeitteisellä kaudella	30
8.3 Yhteenveto täyttöjen vaikutuksista	42
9. Mahdollisuudet haitallisten vaikutusten lieventämiseen	43
10. Tutkimuksen epävarmuustekijät	44
11. Suositukset jatkotoimenpiteistä	44
12. Yhteenveto	45
Viitteet	47

1. Alkulause

Helsingin kaupungin tavoitteena on hyväksyä koko kaupungin käsittävä yleiskaava vuonna 2002. Voimassa oleva yleiskaava on hyväksytty vuonna 1992. Kaupungin asukasmäärä kasvoi 1990-luvulla huomattavasti ja kasvun oletetaan jatkuvan. Uusia asukkaita varten tarvitaan asuntoja ja työpaikkoja. Koko pääkaupunkiseudun kasvu aiheuttaa myös liikennejärjestelmän kehittämistarpeita. Yleiskaavassa määritetään kaupungin maakäytölliset päämäärät ja näkemys kaupungin tulevaisuudesta. Espoon kaupunki valmistelee omaa eteläosan yleiskaavaa samalla aikataululla.

Alueidenkäyttösuunnitelma on osa yleiskaavaa. Suunnitelmaluonnoksissa on esitetty Helsingin ja Espoon välille metroa, jonka linjaus kulkee Lauttasaaren kautta. Metron välittömään läheisyyteen on tutkittu uusia rakentamisalueita, jotka sijaitsevat mm. Pajalahdessa, Lemislahdessa, Katajaharjulla ja Koivusaareissa. Alueiden rakentaminen ei ole välttämätöntä metron rakentamiselle. Myöskään metron rakentaminen ei ole välttämätöntä näiden alueiden rakentamiselle, mutta hankkeiden yhtäaikaisella toteuttamisella voi olla paljon myönteisiä vaikutuksia kaupunkirakenteeseen.

Metron tai uusien rakentamisalueiden toteuttamisesta ei ole tehty tarkkoja suunnitelmia tai rakentamiseen tähtääviä päätöksiä. Helsingin ja Espoon kaupungit sekä liikenne- ja viestintäministeriö aloittivat vuonna 2000 Länsimetron tarve- ja toteuttamiskelpoisuusselvityksen. Selvityksen ensimmäisessä vaiheessa vertailtiin metron linjaus- ja asemavaihtoehtoja ja se raportoitiin joulukuussa 2000. Suunnittelun toisessa vaiheessa jatkosuunnitteluun valittua metrolinjausta ja asemia tarkennetaan ja järjestelmää verrataan bussijärjestelmään.

Hanasaaren, Koivusaaren ja Katajaharjun alueita palvelevan metroaseman sijoittamista on tutkittu Koivusaaren pinta- ja tunneliasemina. Asema palvelisi arviolta 8000 asukasta, 1800 työpaikkaa sekä kaukoliikenteen bussimatkustajia. Metroaseman rakentamiskustannus olisi noin 150 Mmk.

Länsimetron jatkosuunnitteluun on suositeltu vaihtoehtoa, joka rakennetaan kalliotunneliin ja linjataan Lauttasaaresta Koivusaaren kautta Keilaniemeen. Linjauksen rakentamiskustannukset ovat halvimmat ja se on yhteiskuntataloudellisesti tehokkain vaihtoehto. Kalliotunneliin rakennettavan järjestelmän haitalliset ympäristövaikutukset ovat vähäisempiä kuin osaksi maanpintaan rakennettavan järjestelmän. Aseman sijoittuminen Keilalahteen lisää paineita maankäytön tehostamiseen, mutta antaa mahdollisuuden Otaniemen ja Keilalahden kaupunkirakenteelliseen yhdistämiseen.

Yleiskaavasuunnittelun tueksi on tehty vuosina 1999-2000 Koivusaaren ja Hanasaaren alueelle sekä Lemislahden alueelle maankäyttöselvitykset, joissa alueita tutkittiin maiseman, maankäytön, palveluiden, liikenteen, satamatoimintojen, yhdyskuntatekniikan ja rakentamisen kannalta. Alueiden kehittäminen selvitysten mukaisessa laajuudessa (noin 60 ha Koivusaari-Hanasaari -alueella ja noin 25 ha Lemislahden alueella) edellyttää laajoja mereen rakennettavia täytemaa-alueita. Lisäksi Espooseen on laadittu Keilaniemi - Kehä I -yleissuunnitelma.

Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston kaavoitusosasto katsoi tarkoituksenmukaiseksi teettää virtausmallitutkimuksen siltä merialueelta, jolle meritäyttöjen vaikutusten

oletettiin kohdistuvan. Tavoitteena oli selvittää virtausten ja veden vaihtuvuuden yleispiirteet sekä meritäyttöjen alueelliset ja tasolliset vaikutukset. Mikäli joillakin täyttökohteilla olisi merkittäviä haitallisia vaikutuksia näihin tekijöihin, voitaisiin kohteita jättää pois ennen niiden esittämistä alueidenkäyttösuunnitelmassa. Toisaalta tiedettiin, että kohteiden jatkosuunnittelua varten joudutaan tekemään vielä tarkempia tutkimuksia.

Virtausmallitutkimus arvioitiin luotettavaksi menetelmäksi, sillä mallialue pystyttiin kytkemään koko Suomenlahden kattavaan virtausmalliin, jonka toiminta oli lisäksi tarkistettu suunnittelualueella tehdyillä mittauksilla. Helsingin ja Espoon kaupungit, Uudenmaan ympäristökeskus ja Euroopan Unionin aluekehitysrahasto ovat rahoittaneet virtausmallin laatimista Helsingin, Espoon ja Tallinnan väliselle merialueelle. Mallin toiminnan tarkistamiseksi tehtiin kesällä ja syksyllä 2000 virtausmittauksia useissa salmissa.

Tutkimuksen ovat laatineet Hannu Peltoniemi ja Jorma Koponen Suomen Ympäristövaikutusten Arviointikeskus Oy:stä. Tilaajan edustajana on ollut Jukka Tarkkala kaavoitusosaston teknis-taloudellisesta toimistosta. Työn aikana järjestettiin kaksi laajempaa kokousta, joissa suunnittelijoilla ja asiantuntijoilla oli mahdollisuus arvioida ja kommentoida tutkimuksen suoritustapaa ja tuloksia. Osallistujia olivat Katri Huusko, Mikko Reinikainen, Pertti Kare ja Terhi Tikkanen-Lindström Helsingin kaupunkisuunnitteluvirastosta, Ilkka Viitasalo Helsingin ympäristökeskuksesta, Vuokko Rouhiainen, Suvi Lehtoranta ja Hannu Vepsäläinen Espoon kaupunkisuunnittelukeskuksesta, Ritva Veijonen ja Sinikka Hammarberg Espoon ympäristökeskuksesta, Leena Villa ja Heidi Åkerla Uudenmaan ympäristökeskuksesta. Kaikki eivät osallistuneet molempiin kokouksiin.

2. Työn tavoite ja tausta

Helsingin ja Espoon kaupunkeihin laaditaan erillisiä yleiskaavoja ja tavoitteena on niiden hyväksyminen vuoden 2002 aikana. Yleiskaavoitusta varten on vuosina 1999-2000 tutkittu Länsimetron rakentamisen edellytyksiä. Metroon tukeutuvia uusia rakentamisalueita on harkittu esitettäväksi Lemislahden, Koivusaaren, Hanasaaren, Karhusaaren, Keilalahden, Keilaniemen, Otaniemen ja Lehtisaaren alueille. Alueiden kehittämisen mahdollisuuksia on tutkittu maankäyttöselvityksissä tai yleissuunnitelmissa ja niissä on esitetty runsaasti mereen rakennettavia täytema-alueita. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää alustavasti suunniteltujen Koivusaaren - Hanasaaren, Lemislahden, Keilalahden ja Keilaniemi - Lehtisaaren maantäyttöjen vaikutus merialueen virtauksiin, veden laatuun sekä muihin oleellisiin vesistöolosuhteisiin.

Työmenetelmänä tutkimuksessa on pääosin matemaattinen virtaus- ja kulkeutumismalli. Mallin toiminta on varmistettu vertaamalla sen antamia virtausnopeuden arvoja alueella tehtyjen virtausmittausten tuloksiin.

Vuoden 2000 alusta on käynnistynyt tutkimus, jossa Helsinki-Espoo-Tallinna-alueelle laaditaan matemaattinen virtaus- ja vedenlaatumalli. Työn erityisenä painopisteenä on öljyntorjunnan ja meripelastuksen tuki alueella. Mallityön eräänä tavoitteena on luoda alueelle perusmalli, jota voidaan käyttää pohjana erillisselvityksissä. Mallin

erotustarkkuus on 250 m Helsingin ja Espoon edustalla, 1 km Helsinki – Tallinna välillä ja 5 km koko Suomenlahdella. Virtausmallin perushila on valmiina ja sitä hyödynnetään tämän tutkimuksen pohjana.

Yleisesti matemaattiset mallit tarjoavat joustavan ja edullisen tavan arvioida vesistörakentamisen vaikutuksia. Suomessa VTT ja sen vesistömallitoiminnan jatkaja Suomen Ympäristövaikutusten Arviointikeskus Oy (YVA Oy) ovat soveltaneet malleja 1970-luvulta lähtien yli kahteensataan kohteeseen yhteistyössä esim. Suomen ympäristökeskuksen kanssa. Tuoreimpia vesistörakennusselvityksiä ovat mm. Vuosaaren satamarakenteet ja laivaväylän ruoppaus, Helsingin edustan ruoppaustyöt ja pengerrykset (Lauttasaari-Jätkäsaari), Aurajoen ruoppausmassojen läjitys, Tammisaaren siltatyö, Kivisalmen kanava, Kallansiltojen lisärakentaminen, Kalajoen venesataman edustan eroosion vähentäminen ja Niilin deltan eroosiosuojaus Rosetan haarassa.

3. Tutkimusalueen kuvaus ja täyttövaihtoehdot

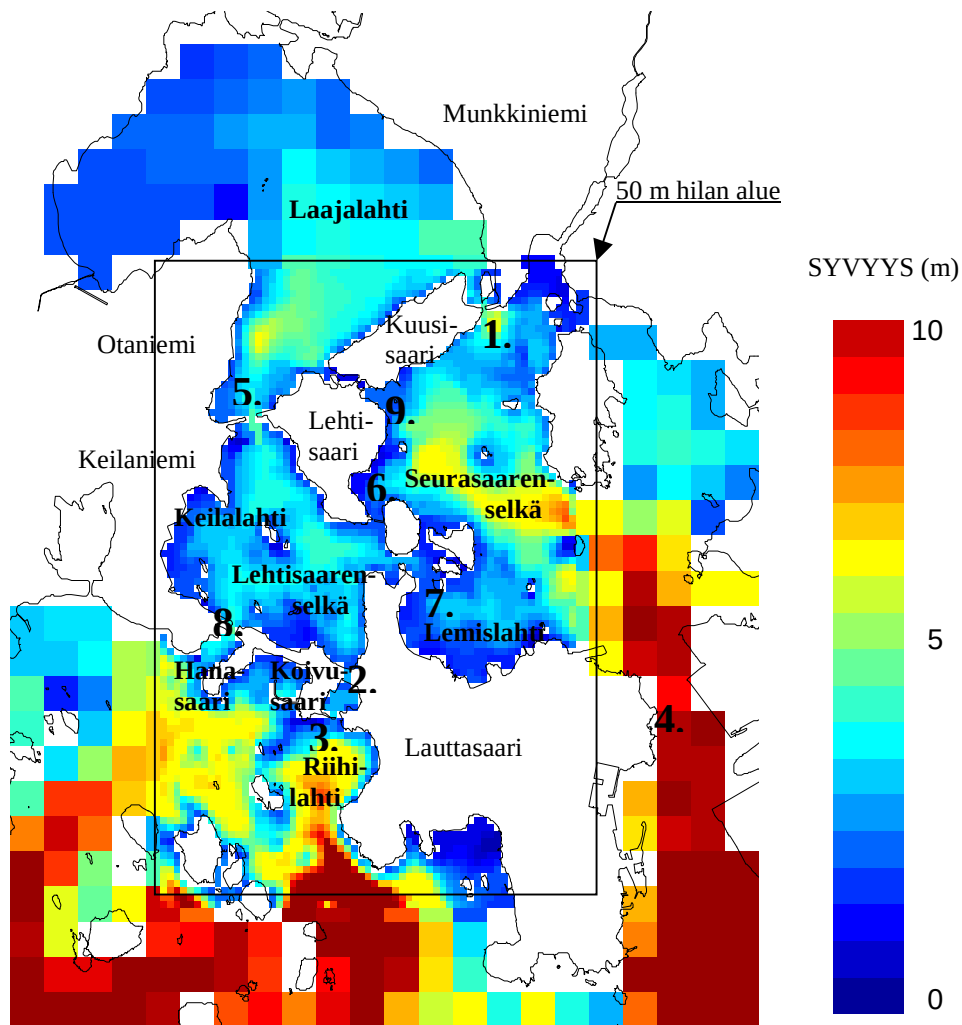
Keskeinen tarkastelualue kattaa Karhusaaren, Otaniemen, Munkkiniemen, Seurasaaren ja Lauttasaaren rajaaman vesistöalueen. Maankäyttöselvityksissä ja alueiden käyttösuunnitelmien luonnoksissa esitettyt uudet täyttömaa-alueet sijoittuvat tälle alueelle.

Keskeisen tutkimusalueen syvyydet on esitetty kuvassa 1. Myös pääosa vesistövaikutuksista kohdistuu todennäköisesti tälle alueelle. Käytettävä malli sisältää koko Suomenlahden, mutta mallituloksia tarkastellaan ko. rajauksen mukaisesti. Laajan merialueen mallia tarvitaan, koska paikallisissa tarkasteluissa tulee ottaa huomioon myös suuren mittakaavan virtausten vaikutus.

Tutkimusalueen tärkeimpien salmien leveydet, keskimääräiset syvyydet ja pinta-alat pienimmän poikkipinnan kohdalta on esitetty taulukossa 1. Salmien koot on arvioitu salmien siltojen piirustuksista. Suunniteltujen täyttöjen ei oleteta pienentävän rajoittavia poikkipinta-aloja. Kuusisaaren-Lehtisaaren välisen salmen leveys ja syvyys on arvioitu merikortista. Salmi on kuitenkin hyvin kapea ja matala eikä sillä ole käytännössä juuri merkitystä tuloksiin.

Meritäyttöjen vaikutuksia on tutkittu vertaamalla täyttövaihtoehtojen mukaista virtausmallia nykytilanteen mukaiseen virtausmalliin. Eri täyttövaihtoehdot on esitetty kuvassa 2 ja taulukossa 2.

Mallilla lasketaan salmivirtausten sekä lahtien veden viipymän muutoksia eri täyttövaihtoehtoisissa verrattuna nykytilaan. Tutkimuksessa ei sovelleta vedenlaatumallia, joten täyttöjen vaikutuksia alueen vedenlaatuun lyhyellä ja pitkällä aikavälillä voidaan arvioida ainoastaan suuntaa-antavasti viipymien ja virtausnopeuksien pohjalta. Tutkimukseen ei sisälly rakentamisen aikaisten vesistövaikutusten (esim. samennuksen ja haitallisten aineiden leviäminen) arviointia esim. ruoppausten osalta.



Kuva 1. Virtausmallin veden syvyys tarkastelualueella. Mallin hilakoko alueella on 50 tai 250 m.

Taulukko 1. Salmien leveydet ja keskimääräiset syvyydet pienimmän poikkipinnan kohdalla:

Virtausaukon	leveys (m)	syvyys (m)	pinta-ala (m ²)
1. Kuusisaarentien silta	20	4.5	90
2. Vaskilahden silta	15	3.5	53
3. Vaskilahden aallonmurtajan aukko	30	3.5	105
4. Lauttasaaren läppäsilta	317	9	2853
5. Lehtisaari-Keilaniemi	70	4.5	315
6. Lehtisaari-Kaskisaari	80	2	160
7. Kaskisaari-Lauttasaari	58	3	174
8. Karhusalmi	50	4.8	240
9. Lehtisaari-Kuusisaari *	10	1	10

* arvio

Nykytila



Maksimivaihtoehto



Vaihtoehto 2.



Vaihtoehto 3.



Kuva 2. Mallinnetut täyttövaihtoehdot, täytöt on merkitty punaisella. Kuvat ylhäältä oikealle ja alas ovat: nykytila, maksimivaihtoehto, vaihtoehto 2 ja vaihtoehto 3.

Taulukko 2. Mallinnetut täyttövaihtoehdot.

Maksimivaihtoehto Kaikki suunnitellut täytöt toteutetaan yhtäaikaan. Koivusaaren ja Keilalahden täytöt täysimääräisenä. Keilaniemi-Lehtisaari täytöt täysimääräisenä. Lemislahteen suurempi täyttövaihtoehto.
Vaihtoehto 2 Koivusaaren ja Keilalahden täytöt täysimääräisenä. Lemislahteen pienempi täyttövaihtoehto.
Vaihtoehto 3 Koivusaaren täytöt täysimääräisenä. Keilaniemi-Lehtisaari salmeen täyttöä vain Espoon puolelle. Lemislahteen pienempi täyttövaihtoehto.

4. Alueen virtausten yleiskuvaus

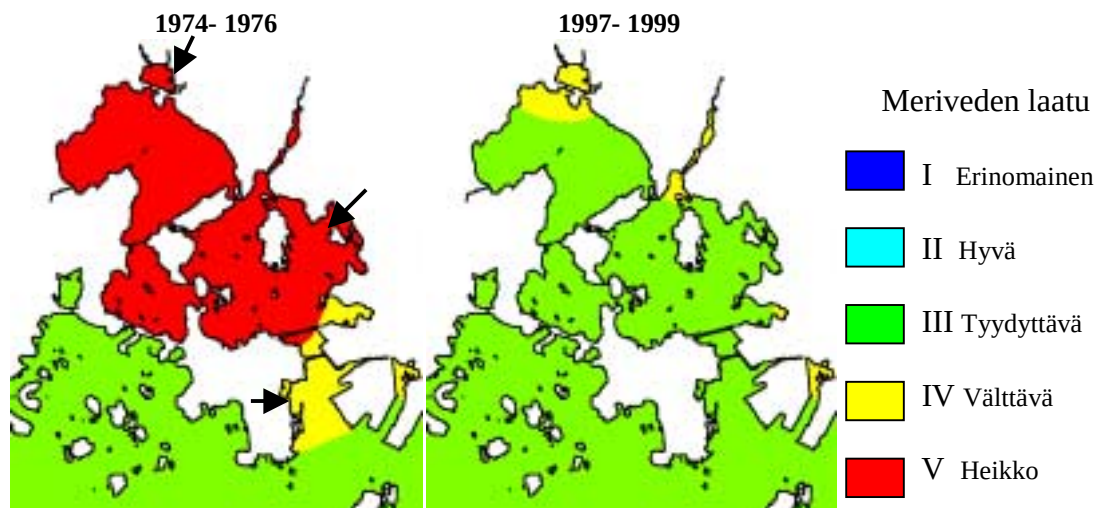
Meritäyttöjen tärkein vaikutusalue käsittää kolme kapeilla salmilla avomereen ja toisiinsa kytkettyä lahtea. Salmien kapeudesta ja mataluudesta johtuen niissä virtaussuunta on pääsääntöisesti sama yli koko salmen, eli salmissa ei esiinny kerrostunutta virtausta eikä vaakasuunnassa virtauksen kiertoa. Poikkeuksena on Lauttasaaren salmi, joka leveyden ja syvyyden johdosta on varsin merellinen. Virtaukset kapeissa salmissa ovat tyypillisesti samanvaiheista edestakaista virtausta jonka aiheuttaa ulkomereltä tulevat pinnankorkeusheilahtelut. Harin ja Sipilän (1972) mukaan heilahtelujen jakso on tyypillisesti 50-110 minuuttia, joista ainakin osan selittävät Suomenlahden pitkittäiset ja poikittaiset ominaisheilahtelut.

Selkeää lahtien kautta kiertävää virtausta ei salmissa vuonna 2000 tehtyjen virtausmittausten perusteella ole havaittavissa. Pienin kierto on Laajalahdella, mahdollisesti johtuen ahtaista salmista. Lehtisaaren- ja Seurasaarenselän välillä kiertoa esiintyy, mutta sen riippuvuus ulkoisista tekijöistä kuten tuulen suunnasta ei ole ilmeinen. Lahtien keskialueilla salmista tulevien virtauksien lisäksi tärkeä virtauksia aikaansaava tekijä on paikallinen tuuli. Keskialueiden virtausnopeudet ovat huomattavasti salmivirtauksia pienempiä. Salmivirtausten sahaavasta luonteesta johtuen lahtien vedenvaihto on pientä, näin varsinkin Laajalahdella. Yksinkertaistettuna voidaan sanoa, että sama vesi virtaa salmissa edestakaisin.

Vuoden 2000 mittauksista on tarkempi erittely kappaleessa 7.

5. Vedenlaadun kehitys alueella 70-luvulta nykypäivään

Helsingin kaupungin Ympäristökeskus seuraa vedenlaatua tutkimusalueella kahdessa intensiivimittauspisteessä, Laajalahdella ja Seurasaarenselällä. Mittauksia on keskimäärin kerran kuukaudessa. Viime vuosikymmeninä vedenlaadun kehitys on ollut positiivista, joka näkyy kuvassa 3 olevassa veden laadun kehityksessä alueella 70-luvun puolivälistä ja 90-luvun lopulle.



Kuva 3. Vedenlaadun kehitys tutkimusalueella. Vasemmanpuoleinen kuva on keskiarvo vuosilta 1974-1976 ja oikeanpuoleinen vuosilta 1997-1999. Vasemmanpuoleiseen kuvaan on merkitty silloisten jätevedenpuhdistamojen purkupaikat. (Pesonen 2000)

Helsingissä oli 70-luvun puolivälissä käytössä 11 jätevedenpuhdistamoa ja yhtä monta jätevesien purkupaikkaa. Jätevedet johdettiin kaupungin rantavesiin. Puhdistamot olivat biologisia; fosforinpoistoa oltiin vasta aloittamassa. Espoon kaupungin jätevedet johdettiin jo vuoden 1974 aikana nykyiselle purkupaikalleen ulkosaaristoon Ison Lehtisaaren eteläpuolelle. Fosforinpoisto aloitettiin 1975, biologista puhdistusta ei ollut.

Helsingin läntiset lahtialueet, Laajalahti, Lehtisaarenselkä ja Seurasaarenselkä olivat 70-luvun puolivälissä laadultaan heikkoja (laatuluokka V). Lauttasaarenselkä luokiteltiin välttäviksi (luokka IV). Suurin osa saaristosta luokiteltiin laadultaan tyydyttäväksi (luokka III). Uloimmassa saaristossa laatuluokka oli hyvä (luokka II).

Vuoden 1987 alussa otettiin Helsingissä käyttöön uusi merenalainen jätevesitunneli, jonka kautta nykyisin kaikki Helsingissä käsitellyt jätevedet johdetaan saariston ulkoreunaan Katajaluodon ulkopuolelle. Vuoden 1994 syksystä lähtien Helsingin ja eräitten Keski-Uudenmaan kuntien jätevedet on puhdistettu Viikinmäen uudessa jätevedenpuhdistamossa. Kaikki jätevedet sekä Helsingissä että Espoossa käsitellään biologis-kemiallisesti. Luokkaan 'välttävä' (IV) sijoittuvat Helsingin satama-alueet sekä Pikku-Huopalahti ja Laajalahden perukka. Veden laadun pysyminen vain välttävänä johtuu pääasiassa aikaisemmin raskaasti kuormitetun alueen pohjasedimentin aiheuttamasta sisäisestä kuormituksesta. Osasyynä Laajalahden

pohjukassa on myös valumat vanhalta Huopalahden kaatopaikalta. Laajalahti, Lehtisaarenselkä ja Seurasaarenselkä kuuluvat luokkaan 'tydyttävä' (III). Tyydyttäväksi luokitellun alueen ulkoraja kulkee suurin piirtein linjalla Pentala - Suvisaaristo - Miessaaren eteläpuoli - Melkki - Aabrahaminluoto - Suomenlinna - Santahamina - Jollas - Vartiosaari - Kallvikinniemi - Skata. Tämän rajan eteläpuolella veden yleinen laatu on 'hyvä' (luokka II). Ulkosaaristossa on suppeahkoilla alueilla nähtävissä molempien ulkosaariston purkutunneleiden vaikutus (veden laatu tyydyttävä, luokka III). Laatuluokkaan erinomainen (I) kuuluvia vesialueita ei seurannan piiriin kuuluvalla alueella tavata. (Pesonen 2000)

6. Virtaus- ja kulkeutumismallin kuvaus

Virtausmallin virtauksia liikkeellepanevana tekijänä ovat tuuli ja pinnankorkeuden muutokset. 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 kartoista, merikorteista tai lisämittauksilla. Hilaruutujen sisällä voi olla myös erotustarkkuutta kapeampia saaria, niemiä, kannaksia, uomia ja syvänteitä. Syvyys suunnassa vesitilavuus on vastaavasti jaettu halutun paksuisiin kerroksiin. Kunkin hilaruudun ja vesikerroksen virtausnopeudet ratkaistaan tarkastelujaksolla vaihtelevissa tuuli-, jääpeite-, kerrostumis- ja virtaamatilanteissa. Eri erotustarkkuudella ratkaistavat osamallit voidaan liittää toisiinsa sisäkkäisesti tarkentuvaksi järjestelmäksi. Näin mallissa voidaan ottaa huomioon laajan merialueen virtausten vaikutus tarkasti kuvattuun paikalliseen alueeseen. Käytetyn mallin erotustarkkuus on 50 m keskeisellä mallialueella. Tässä tutkimuksessa mallissa on mukana myös rantakitkatermi jolla voidaan mallintaa salmien pituudesta aiheutuvaa virtauskitkan suurenemista.

7. Mitatut ja nykytilan mallinnetut virtaukset

Kesällä 2000 Suomen Ympäristökeskus suoritti virtausmittauksia kuvan 4 salmissa. Yhteenveto mittauksista on taulukossa 3.



Mittauspisteet

- 28** Lauttasaaren salmi
- 33** Munkkiniemi-Kuusisaari salmi
- 34** Karhusalmi
- 35** Keilaniemi-Lehtisaari salmi
- 36** Kaskisaari-Lauttasaari salmi
- 37** Otsolahden salmi
- 38** Kaskisaari-Lehtisaari salmi
- 39** Vaskilahden salmi

Kuva 4. Kesän 2000 virtausmittauspisteitä Helsingin merialueella.

Taulukko 3. Yhteenveto mittauksista vuonna 2000.

Piste kartalla	Kokonais-syvyys (m)	Mittaus-syvyys (m)	Mittausaika	Regressio r^2 tuulen ja pinnankorkeuden suhteen
28A	9	2	heinä-elo	0.25-0.6
28B	9	6.5	heinä-elo	0.25-0.6
33	3.5	2.5	elokuu	0-0.22
34	3.5	2	heinä-elo	0.62-0.64
35A	3.5	1.5	heinä-elo	0.08-0.36
35B	4.5	3.5	elokuu	0-0.23
36	4.5	2.5	heinä-elo	0-0.52
37	3.5	1.8	elo-syys	0-0.11
38	3.5	1.5	heinä-elo	0.43-0.47
39	3.5	2	elokuu	0.42-0.46

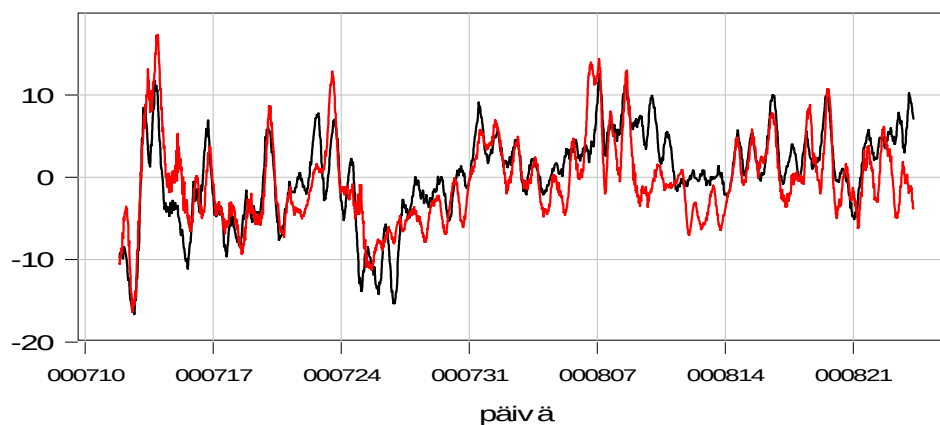
Kesän 2000 sekä vuoden 1970 (Hari 1971) virtausmittausten keskimääräiset salmivirtaukset ovat koottuna taulukossa 4. Vuoden 1970 mittaukset olivat lähes koko vuoden pituisia useimmissa mittauspisteissä. Pienimmät keskimääräiset virtausnopeudet olivat tyypillisesti loppukesällä. Loppukesän virtausnopeudet olivat vuosina 1970 ja 2000 hyvin samankaltaisia Karhusalmessa ja Lehtisaari-Keilaniemi -salmessa. Poikkeama Lauttasaaren salmessa johtunee vuodenaika ja mittarin sijaintieroista. Munkkiniemi-Kuusisaari -salmessa vuoden 1970 mitatut hetkelliset virtaukset olivat kesäaikaan noin kaksi kertaa vuoden 2000 virtauksia suurempia. Toisaalta vuoden 1970 virtausten kesäkauden resultantti oli hyvin pieni, suuruusluokkaa 1 cm/s, mutta vuoden 2000 mittauksissa resultantti oli noin 4 cm/s. Erojen syynä voi olla erot mittareiden sijainnissa.

Taulukko 4. Mitattujen hetkellisten virtausten keskiarvot vuosina 2000 ja 1970.

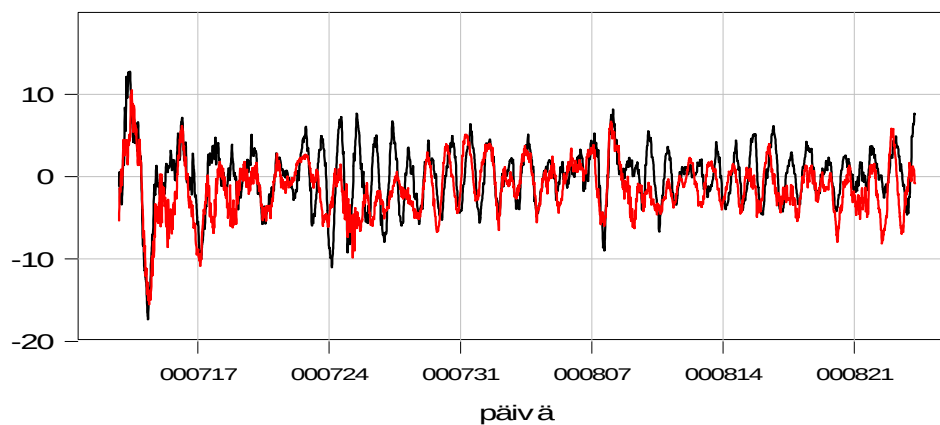
	keskiarvot	2000	Keskiarvot	1970
Lehtisaari-Keilaniemi	5.4-8.7 cm/s	heinä-elo	4-13 cm/s	9kk
Munkkiniemi-Kuusisaari	7.3 cm/s	elo	13-42 cm/s	9kk
Karhusalmi	6.9 cm/s	heinä-elo	7-12 cm/s	11kk
Lehtisaari-Kaskisaari	7.9* cm/s	heinä-elo	-	
Kaskisaari-Lauttasaari	4.1 cm/s	heinä-elo	-	
Vaskilahden salmi	5.6 cm/s	elo	-	
Lauttasaaren salmi	3-3.3 cm/s	heinä-elo	6 cm/s	marras, jouluku

* Keskiarvo on mittausjakson puoliväliin saakka, jonka jälkeen mittariin on tullut häiriö.

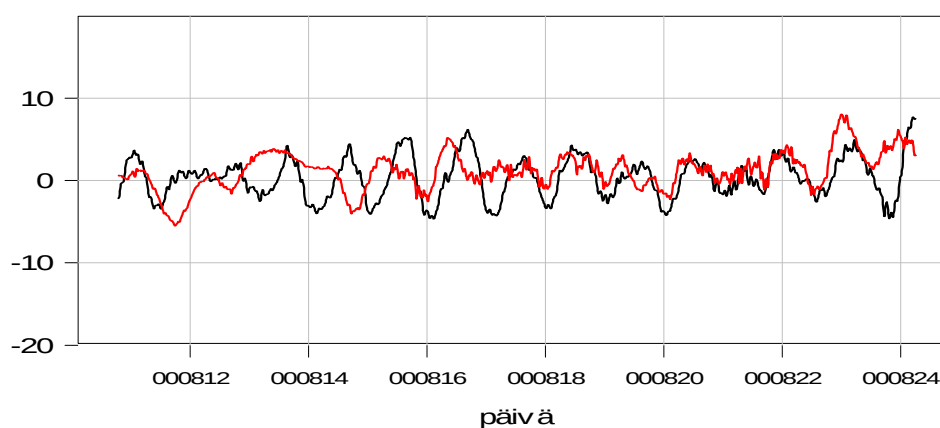
Mitattuja vuoden 2000 virtauksia on verrattu mallinnettuihin virtauksiin alueen salmissa. Laskentajakso on 45 vuorokautta, 10. 7. - 24. 8. 2000. Virtausaikasarjojen vertailut ovat kuvissa 5-13, sekä mitatun ja mallinnetun Helsingin merenpinnankorkeuden vertailu kuvassa 14. Kuvissa positiivinen virtaussuunta on pohjoiseen, paitsi Kaskisaari-Lehtisaari salmessa, jossa se on itään. Kuvien mittauksia ja malliarvoja on keskiarvostettu kahdeksan tunnin liukuvalla keskiarvostuksella. Mallissa käytetyt tuulitiedot ovat Isosaaren mittausasemalta ja mallin reunaehdoksi Suomenlahden länsipäähän on asetettu merenpinnan korkeus Hangon mittausasemalla.



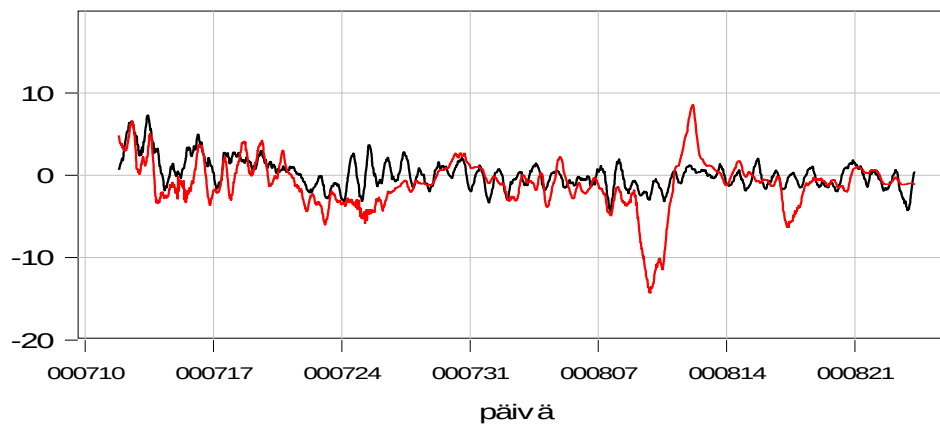
Kuva 5. Karhusalmi, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen mittaus.



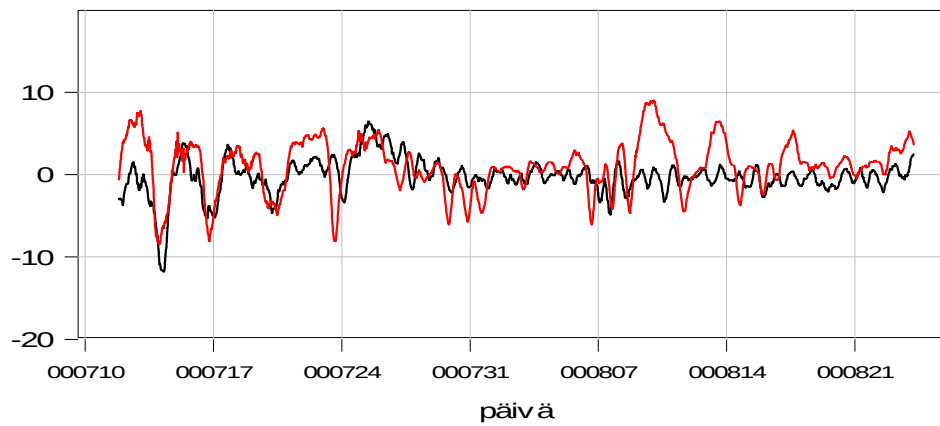
Kuva 6. Lehtisaari-Keilaniemi salmi A, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen mittaus.



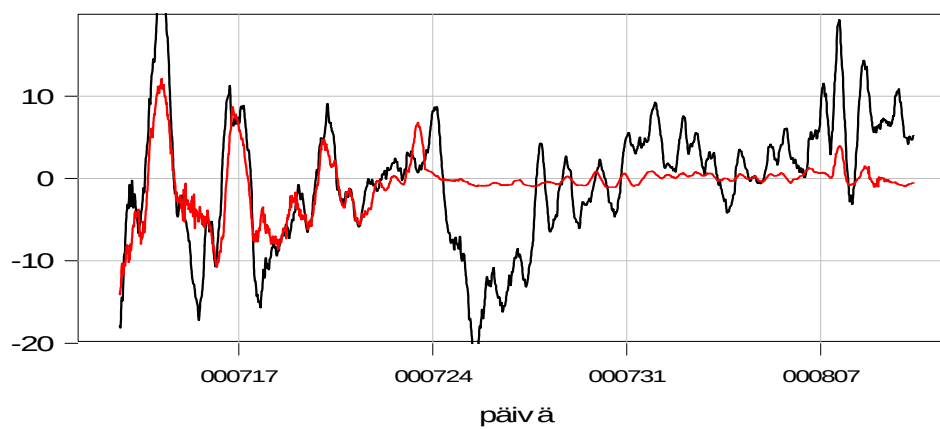
Kuva 7. Lehtisaari-Keilaniemi salmi B, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen mittaus.



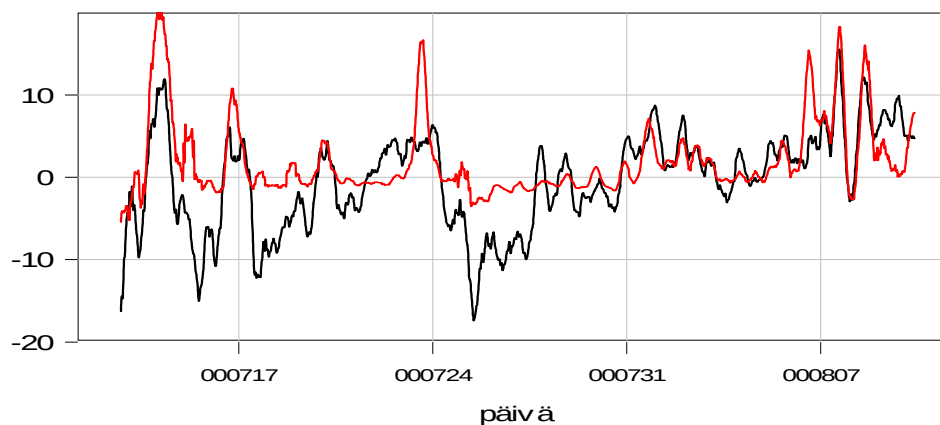
Kuva 8. Lauttasaaren silta A, virtausnopeus (cm/s) , musta malli nykytila, punainen mittaus.



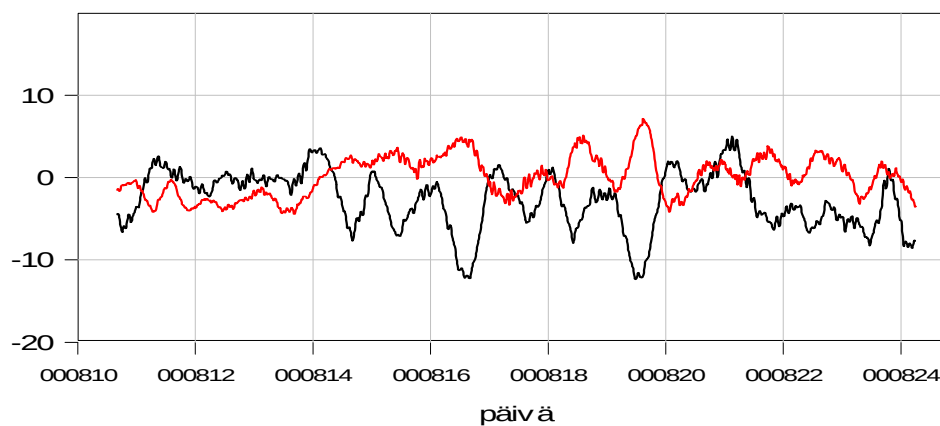
Kuva 9. Lauttasaaren silta B, virtausnopeus (cm/s) , musta malli nykytila, punainen mittaus.



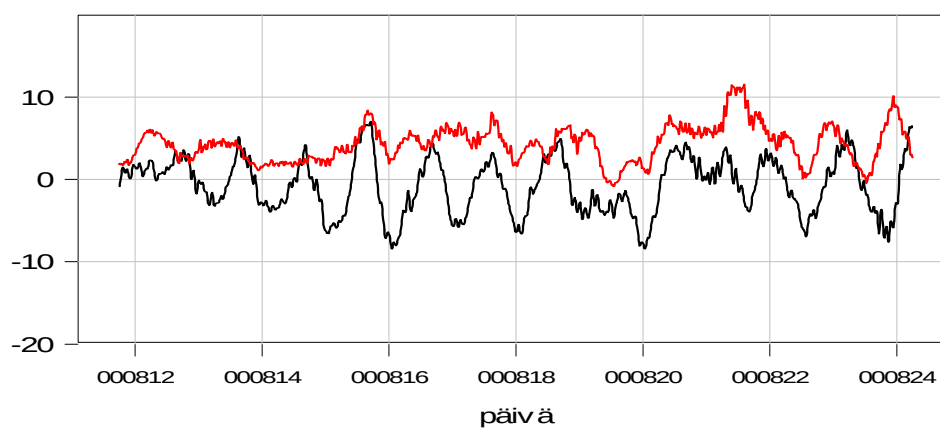
Kuva 10. Kaskisaari-Lehtisaari salmi, virtausnopeus (cm/s) , musta malli nykytila, punainen mittaus.



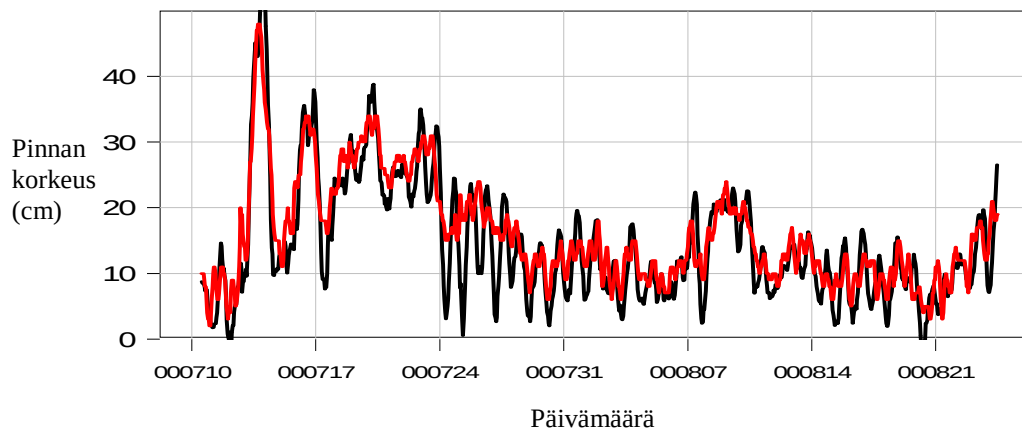
Kuva 11. Kaskisaari-Lauttasaari salmi, virtausnopeus (cm/s) , musta malli nykytila, punainen mittaus.



Kuva 12. Vaskilahden silta, virtausnopeus (cm/s) , musta malli nykytila, punainen mittaus.



Kuva 13. Munkkiniemi-Kuusisaari salmi, virtausnopeus (cm/s) , musta malli nykytila, punainen mittaus.



Kuva 14. Merenpinnankorkeus Helsingin mittausasemalla, musta malli, punainen mittaus.

Mitattujen ja mallinnettujen virtausten vertailusta saadaan seuraavat tulokset:

- Karhusalmessa mittauksen ja nykytilaa vastaavan mallin vastaavuus varsin hyvä.
- Kaskisaari-Lehtisaari salmessa vastaavuus hyvä noin mittausjakson puoliväliin saakka, jolloin mittariin on ilmeisesti tullut häiriö.
- Kaskisaari-Lauttasaari salmen mittauksissa suurimmat nopeudet ovat yksinomaan idänsuuntaisia. Mallissa yhtä suurta epäsymmetriaa ei ole, erojen taustalla voi olla mittauspaikan lähiympäristön poikkeamat.
- Lehtisaari-Keilaniemi salmessa vastaavuus on hyvä. Sekä mallissa että mittauksissa virtaukset ovat samantyyppisiä nopeita edestakaisia heilahteluja.
- Lauttasaarensalmessa virtausheilahtelut ovat pieniä, vastaavuus mittauksen alkupuolella hyvä, loppupuolella selkeästi huonompi.
- Munkkiniemen ja Kuusisaaren välisessä salmessa ja Vaskilahdensalmessa mallin ja mittauksen virtausheilahtelut ovat samaa suuruusluokkaa. Munkkiniemessä mittauksissa on selvä pohjoissuuntainen vakiokomponentti, jota ei ole mallissa. Mallissa näiden salmien virtauksia jarruttavaa pohjakitkaa on lisätty, jotta virtausnopeudet vastaisivat lähemmin mittauksia. Ilman suurempaa kitkaa mallin hetkelliset virtaukset olivat selkeästi mitattuja suurempia.

8. Täyttöjen vaikutukset virtausolosuhteisiin ja viipymään

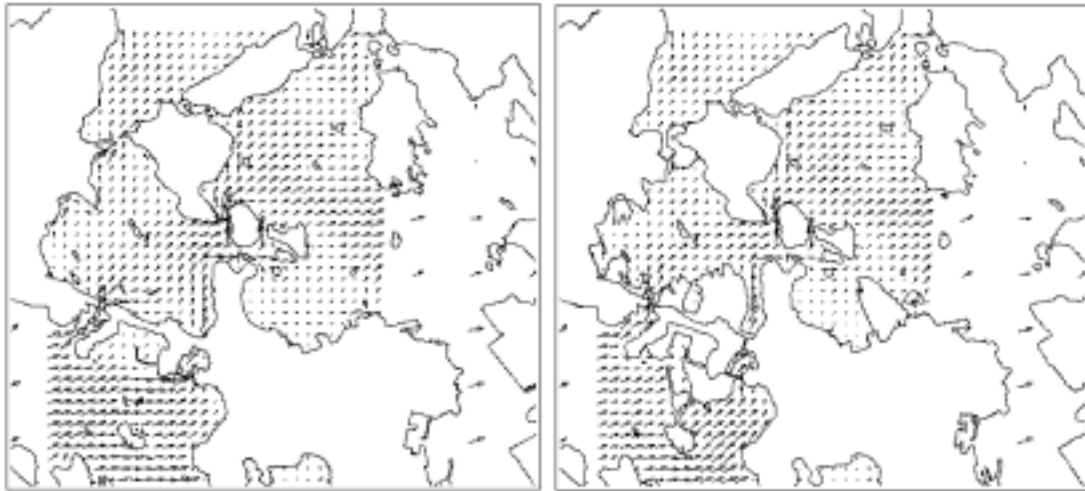
8.1 Vaikutukset avovesikaudella

Täyttöjen vaikutusta on tutkittu vertaamalla virtauskenttiä ja virtausten aikasarjoja alueen salmissa, laskemalla kulkeutumisnopeuksia virtausaikasarjoista sekä laskemalla eri merenlahtien veden viipymää.

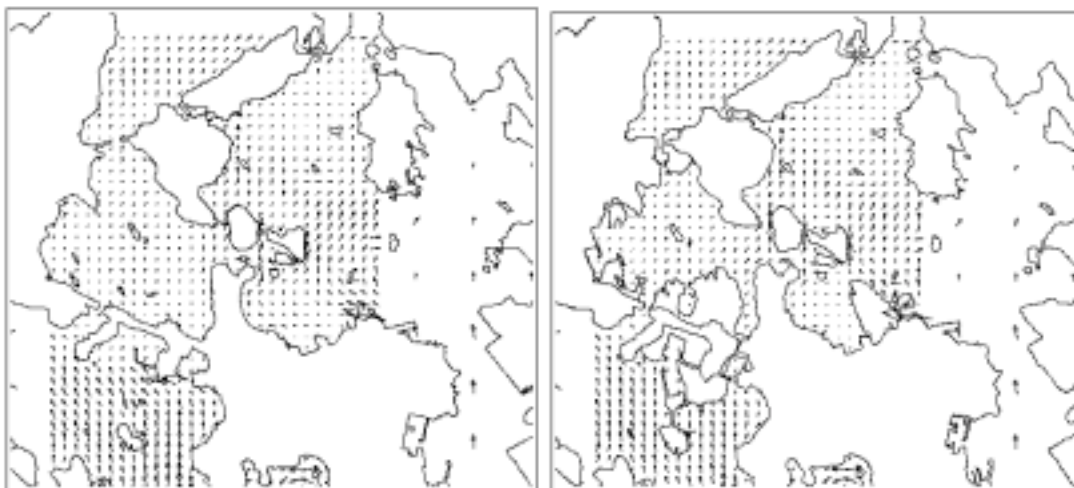
Virtauskentät vakiotuulella

Seuraavissa kuvissa (kuvat 15,16) ovat mallinnetut vakiintuneet virtauskentät kahdella tuulensuunnalla nykytilassa ja maksimivaihtoehdossa. Vakiintunut virtauskenttä tarkoittaa sitä, että mallilla on laskettu samalla tuulensuunnalla ja nopeudella niin

kauan kunnes virtaukset saavuttavat tasapainotilan. Tuulen lisäksi muita virtauksia aikaansaavia tekijöitä ei ole otettu huomioon.



Kuva 15. Virtaus pinnalla, tuuli 225°, 5 m/s. Vasen kuva nykytila, oikea maksimivaihtoehto. Selvyyden vuoksi kuviin on piirretty vain joka toinen mallin virtausnuoli.



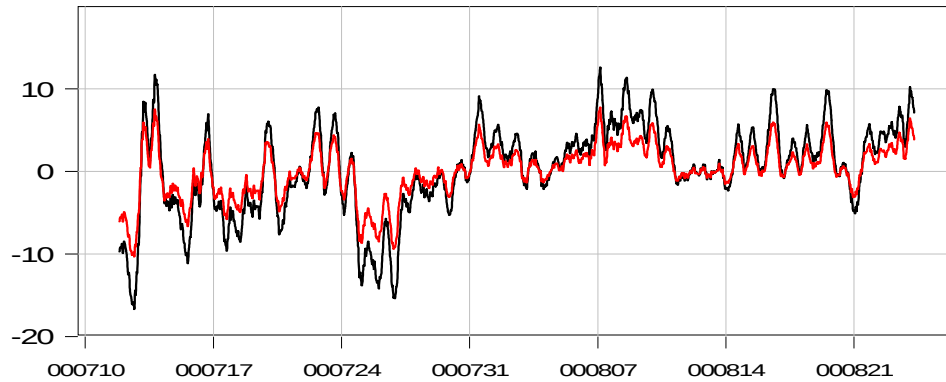
Kuva 16. Virtaus pinnalla, tuuli 135°, 5 m/s. Vasen kuva nykytila, oikea maksimivaihtoehto. Selvyyden vuoksi kuviin on piirretty vain joka toinen mallin virtausnuoli.

Kovin huomattavia eroja vakiintuneissa virtauskentissä eri vaihtoehtojen välillä ei ole havaittavissa. Selkeimmin havaittavat täyttöjen vaikutukset ovat:

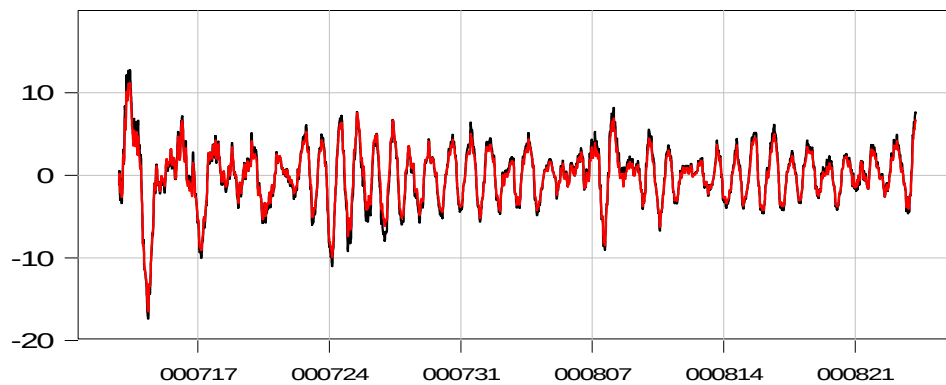
- Virtaukset Karhusalmessa ovat nykytilaa pienemmät.
- Lounaistuulella Lehtisaarenselän läpivirtaus kiertää hiukan pohjoisempaa Seurasaarenselälle.
- Virtaus Kaskisaari-Lauttasaari -salmessa on pienempi.
- Lemislahden täyttö pienentää virtauksia täytön lounaispuolisessa lahdessa.

Virtausaikaasarjat

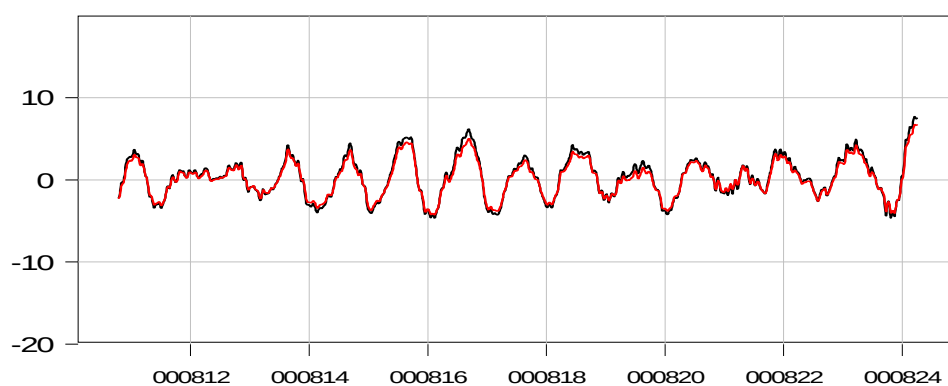
Seuraavissa kuvissa (17 – 25) on verrattu mallinnettuja nykytilan ja maksimivaihtoehtoon virtauksia alueen salmissa. Laskentajakso on 10. 7. - 24. 8. 2000. Aikasarjoja on keskiarvostettu kahdeksan tunnin liukuvalla keskiarvostuksella.



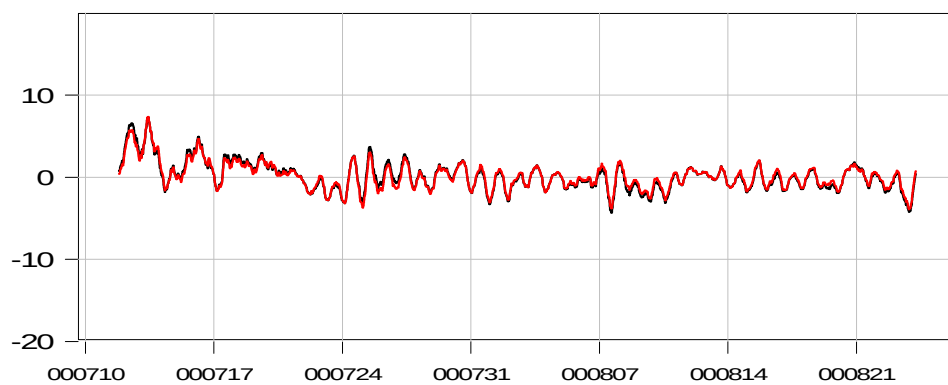
Kuva 17. Karhusalmi, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



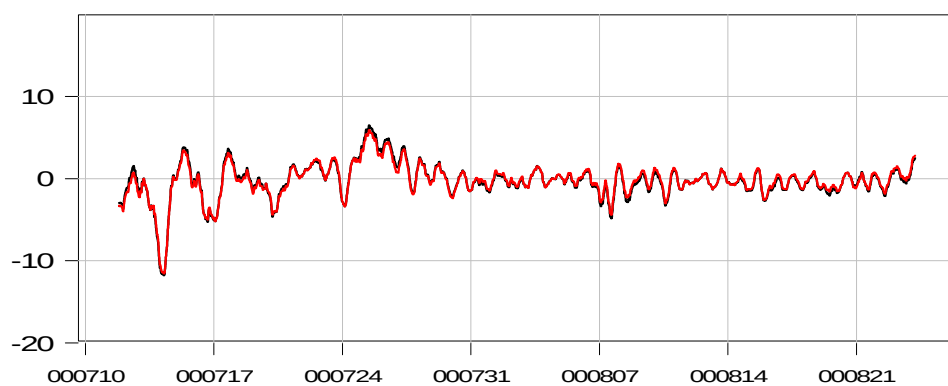
Kuva 18. Lehtisaari-Keilaniemi A, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



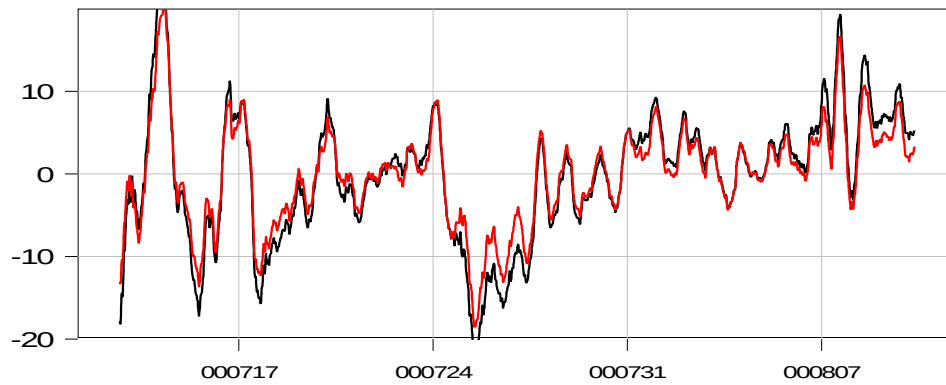
Kuva 19. Lehtisaari-Keilaniemi B, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



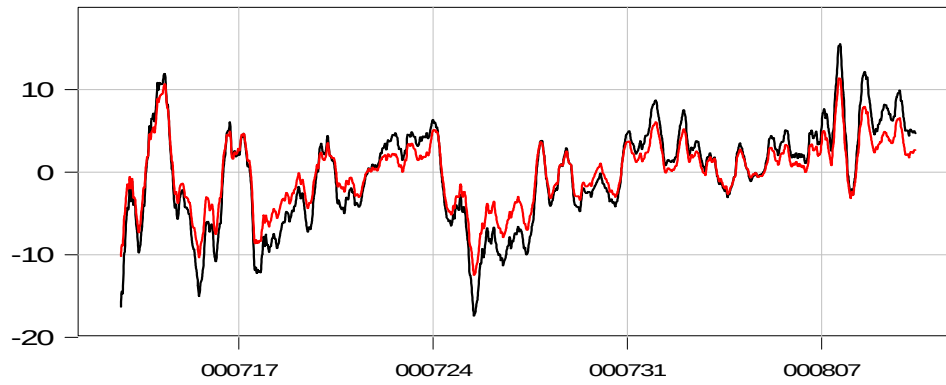
Kuva 20. Lauttasaari A, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



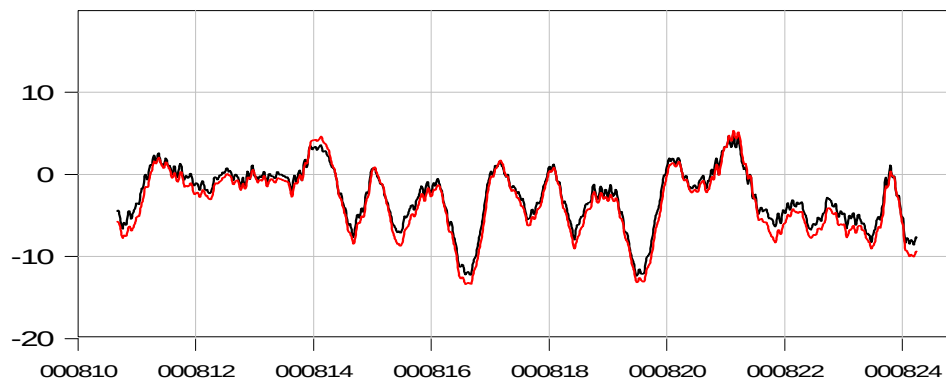
Kuva 21. Lauttasaari B, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



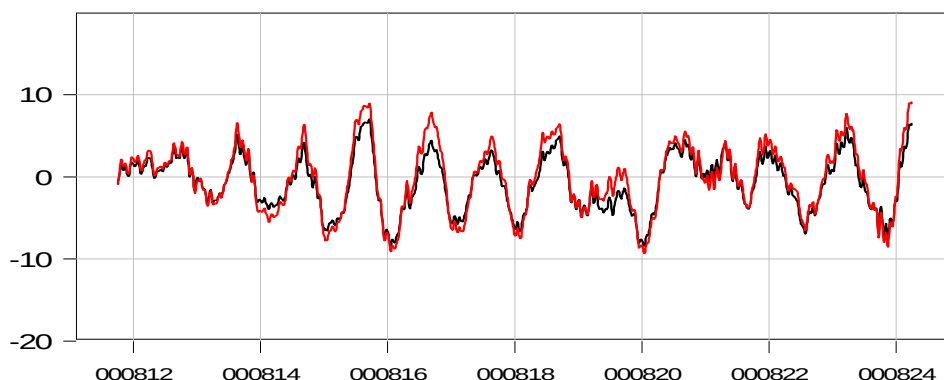
Kuva 22. Kaskisaari-Lehtisaari, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



Kuva 23. Kaskisaari-Lauttasaari, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



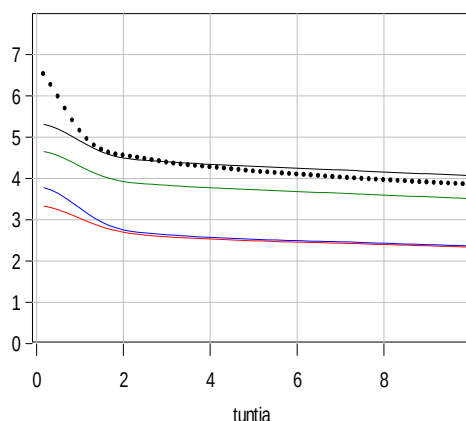
Kuva 24. Vaskilahden salmi, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



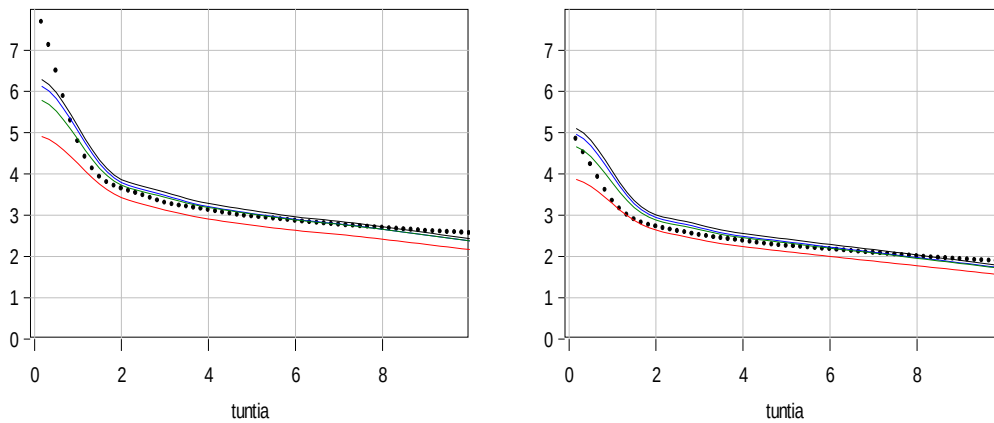
Kuva 25. Munkkiniemi-Kuusisaari, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.

Kulkeutumisnopeus

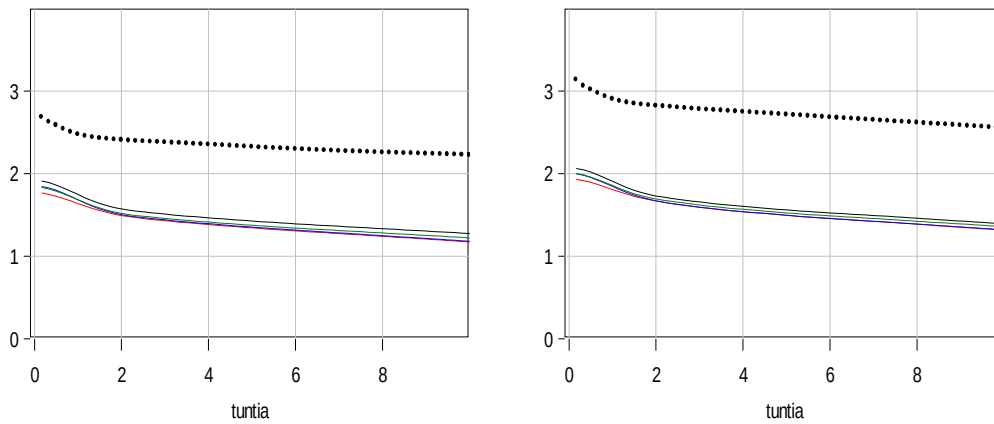
Seuraavissa kuvissa (26 – 30) on laskettu keskimääräinen kulkeutumisnopeus ajan suhteen. Esimerkiksi kuuden tunnin kulkeutumisnopeus on saatu laskemalla kuvitteellisen vedessä olevan kappaleen keskimääräinen siirtymä salmen keskipisteestä kuuden tunnin aikana. Matemaattisemmin ilmaistuna kulkeutumisnopeus on ajanjaksoa vastaavalla ikkunalla lasketun salmensuuntaisen virtausnopeuden resultantin itseisarvo keskiarvostettuna yli koko mallinnusjakson. Lyhyellä tarkasteluajalla kulkeutumisnopeudessa ovat mukana myös nopeat edestakaiset heilahtelut. Pitemmällä tarkastelujaksolla edestakaiset heilahtelut suodattuvat pois mikäli heilahteluiden jakso on tarkastelujaksoa lyhyempi, jolloin kulkeutumisnopeus kuvaa heilahteluista riippumatonta keskimääräistä virtausta.



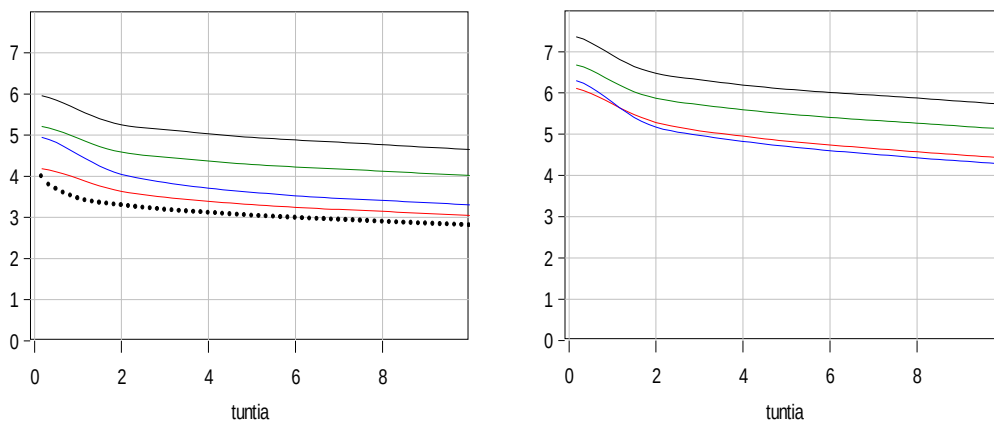
Kuva 26. Karhusalmi, keskimääräinen kulkeutumisnopeus (cm/s). Musta pisteviiva on mittaus, musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto, sininen vaihtoehto 2, ja vihreä vaihtoehto 3.



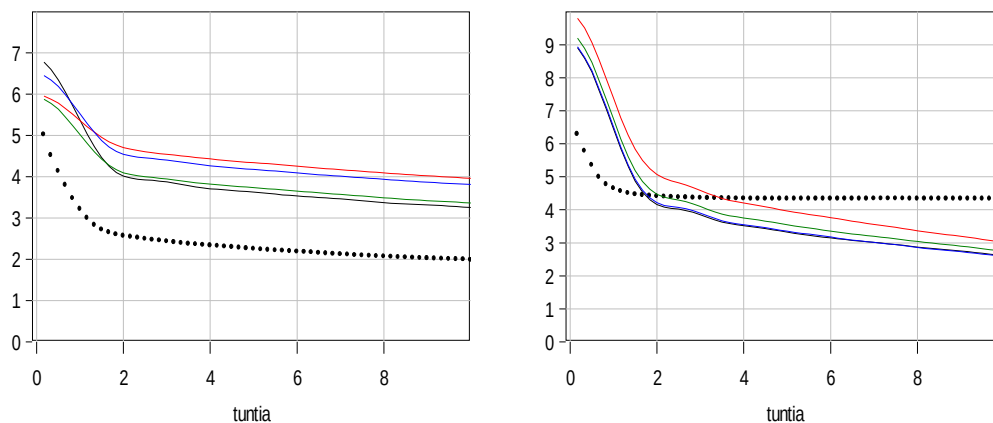
Kuva 27. Lehtisaari-Keilaniemi A (vasen kuva), Lehtisaaren-Keilaniemi B, keskimääräinen kulkeutumisnopeus (cm/s). Musta pisteviiva on mittaus, musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto, sininen vaihtoehto 2 ja vihreä vaihtoehto 3.



Kuva 28. Lauttasaari A (vasen kuva), Lauttasaari B, keskimääräinen kulkeutumisnopeus (cm/s). Musta pisteviiva on mittaus, musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto, sininen vaihtoehto 2 ja vihreä vaihtoehto 3.



Kuva 29. Kaskisaari-Lauttasaari (vasen kuva), Kaskisaari-Lehtisaari, keskimääräinen kulkeutumisnopeus (cm/s). Musta pisteviiva on mittaus, musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto, sininen vaihtoehto 2 ja vihreä vaihtoehto 3.



Kuva 30. Vaskilahdensalmi (vasen kuva), Munkkiniemi-Kuusisaari (oikea kuva), keskimääräinen kulkeutumisnopeus (cm/s). Musta pisteviiva on mittaus, musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto, sininen vaihtoehto 2 ja vihreä vaihtoehto 3.

Virtausaikasarjojen ja kulkeutumisnopeuden perusteella voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

- Karhusalmen kulkeutumisnopeus maksimivaihtoehdossa ja vaihtoehdossa 2 pienenee noin 40 %. Vaihtoehdossa 3 pienennys on noin 10%
- Lehtisaari-Keilaniemi -salmen maksimitäyttövaihtoehdossa kulkeutumisnopeus pienenee 10-20%. Vaihtoehdoissa 2 ja 3 ei ole oleellista pienennystä. Mikäli virtausta Munkkiniemessä ei rajoiteta suuremmalla mallikitkalla, on kulkeutumisnopeuden pieneminen Lehtisaari-Keilaniemi -salmessa maksimivaihtoehdossa jopa 50%.
- Lauttasaarensalmessa kulkeutumisnopeus ei pienene merkittävästi missään täyttövaihtoehdossa.
- Kaskisaari-Lehtisaari -salmen maksimivaihtoehdossa ja vaihtoehdossa 2 kulkeutumisnopeus pienenee noin 20 % . Vaihtoehdossa 3 pienennys on noin 10%.
- Kaskisaari-Lauttasaari -salmen maksimivaihtoehdossa pienennys noin 30%, vaihtoehdossa 2 noin 20% ja vaihtoehdossa 3 noin 10%.
- Munkkiniemessä maksimivaihtoehdossa kulkeutumisnopeus kasvaa 10-20%. Muissa vaihtoehdoissa ei ole oleellista muutosta.
- Vaskilahdensalmessa täytöt sekä kasvattavat että pienentävät kulkeutumisnopeutta, riippuen tarkastelujakson pituudesta. Maksimivaihtoehdossa lyhytkestoisten heilahteluiden keskimääräiset nopeudet pienenevät noin 20 % ja pitempijaksoiset kasvavat 20%. Vaihtoehdossa 2 vastaavat luvut ovat 10% ja 20% sekä vaihtoehdossa 3 20% ja 0%.

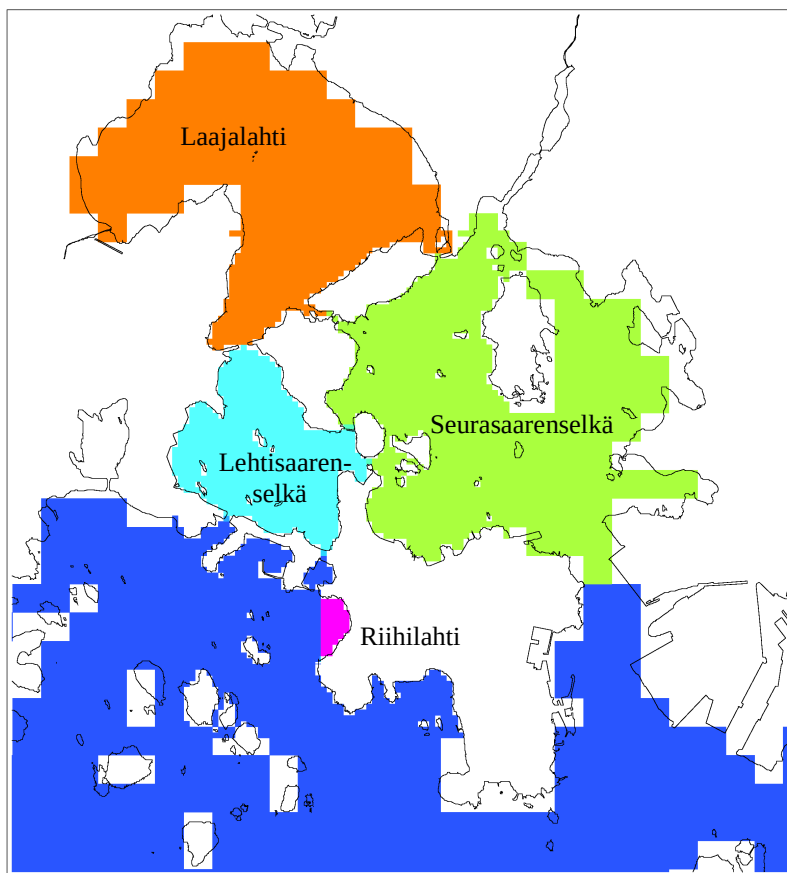
Viipymä

Viipymällä tarkoitetaan keskimääräistä aikaa, jonka vesi viipyy tarkastelualueella. Viipymää on laskettu neljässä lahdessa, Laajalahdella, Lehtisaarenselällä, Seurasaarenselällä ja Riihilahdessa. Alueiden määrittelyt ovat kuvassa 31.

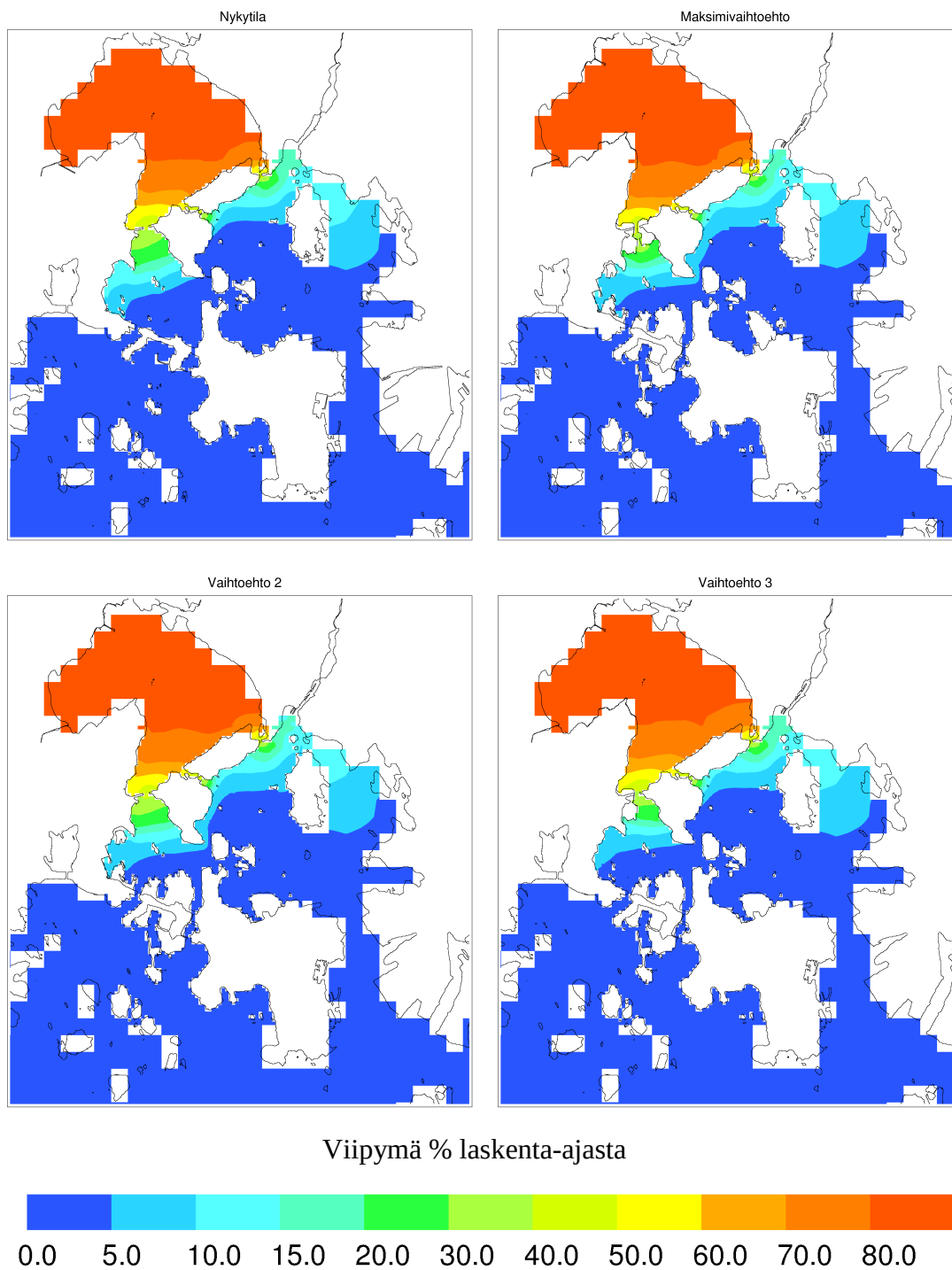
Riihilahdessa on verrattu vain nykytilaa ja maksimivaihtoehtoa, muissa alueissa kaikkia vaihtoehtoja. Laskentajakso on 10. 7. - 24. 8. 2000 eli yhteensä 45 päivää.

Tässä tutkimuksessa viipymä on saatu laskemalla veden keskimääräinen ikä kullakin tarkastelualueella (Józsa 2000). Esimerkiksi Riihilahten viipymä saadaan kasvattamalla mallinnuksen aikana Riihilahteen liittyvää ikäindeksiä lahden sisäpuolella, mutta ei ulkopuolella. Riittävän pitkän mallinnusjakson jälkeen lahdella olevan veden keskimääräinen ikä vastaa keskimääräistä viipymää.

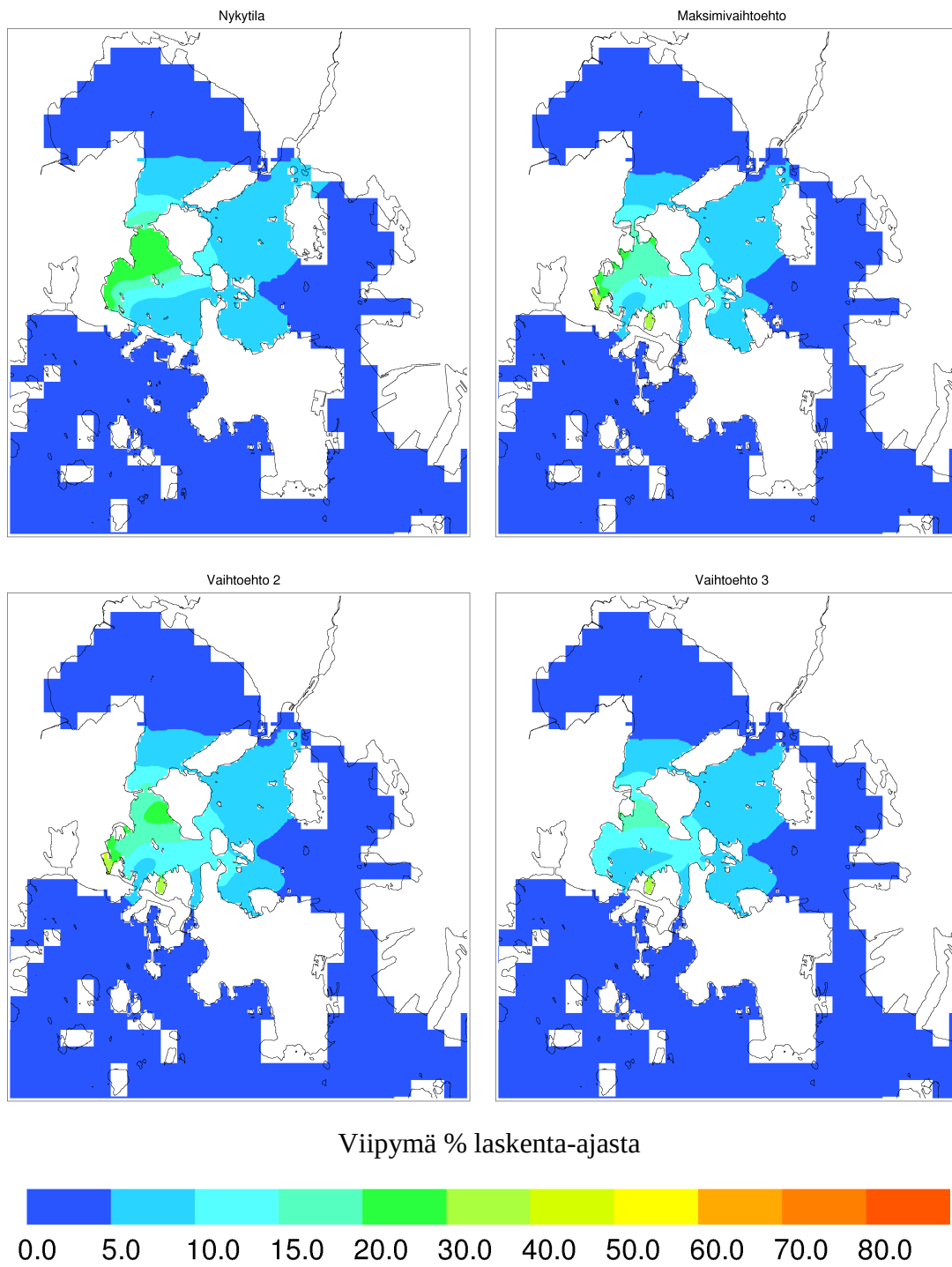
Kuvissa 32-34, 36 viipymä on annettu prosenttina laskenta-ajasta. Jos viipymä on 10% tarkoittaa se sitä, että vesi on viipynyt alueella keskimäärin 4.5 päivää. Viipymän muutokset on annettu suhteellisina muutoksina verrattuna nykytilaan. Jos muutos on 100% tarkoittaa se sitä, että vesi viipyy alueella kaksi kertaa kauemmin nykytilaan verrattuna.



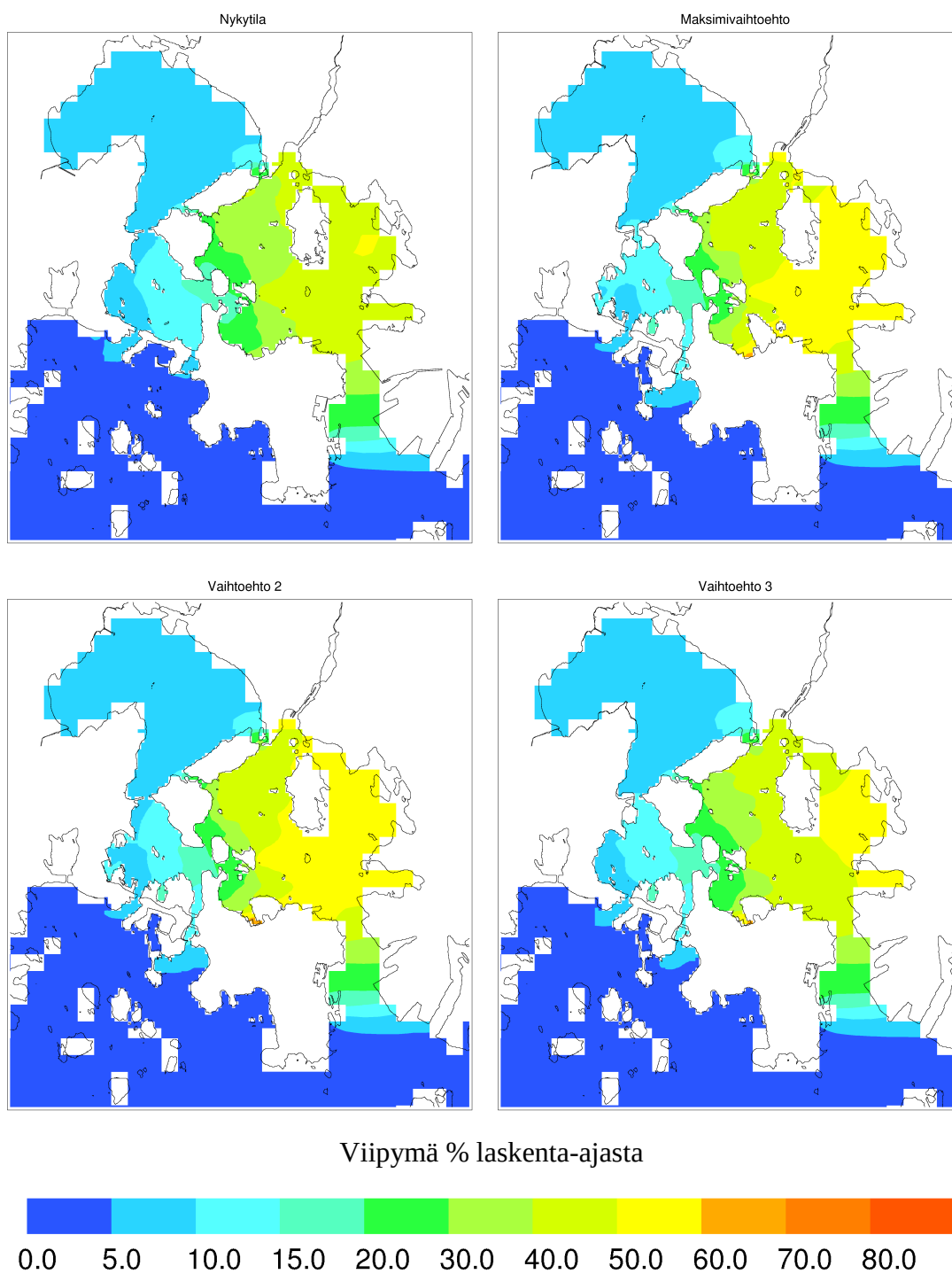
Kuva 31. Viipymäalueiden määrittely.



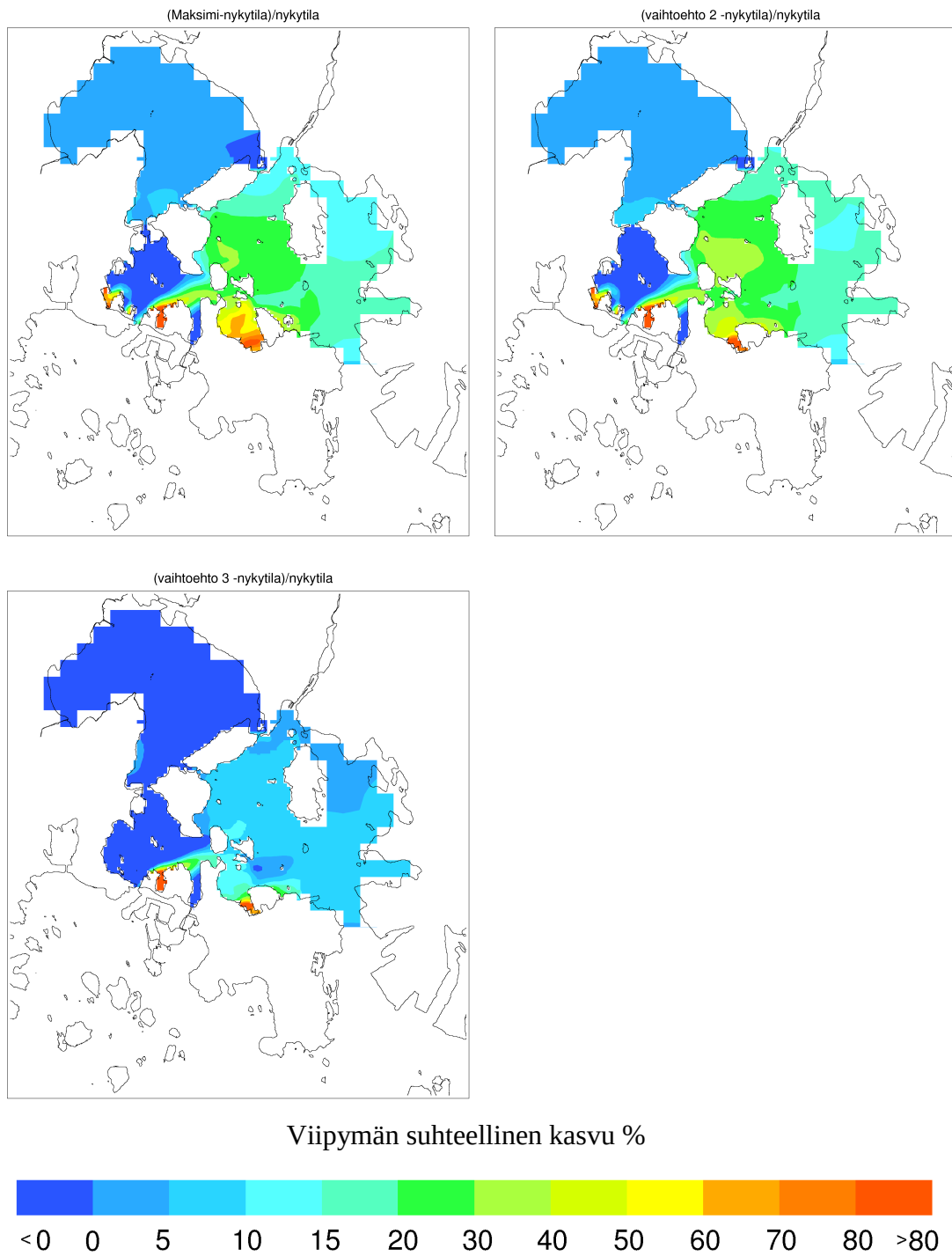
Kuva 32. Keskimääräinen viipymä Laajalahdella. Kuvat ovat nykytila, maksimivaihtoehto, vaihtoehto 2 ja vaihtoehto 3.



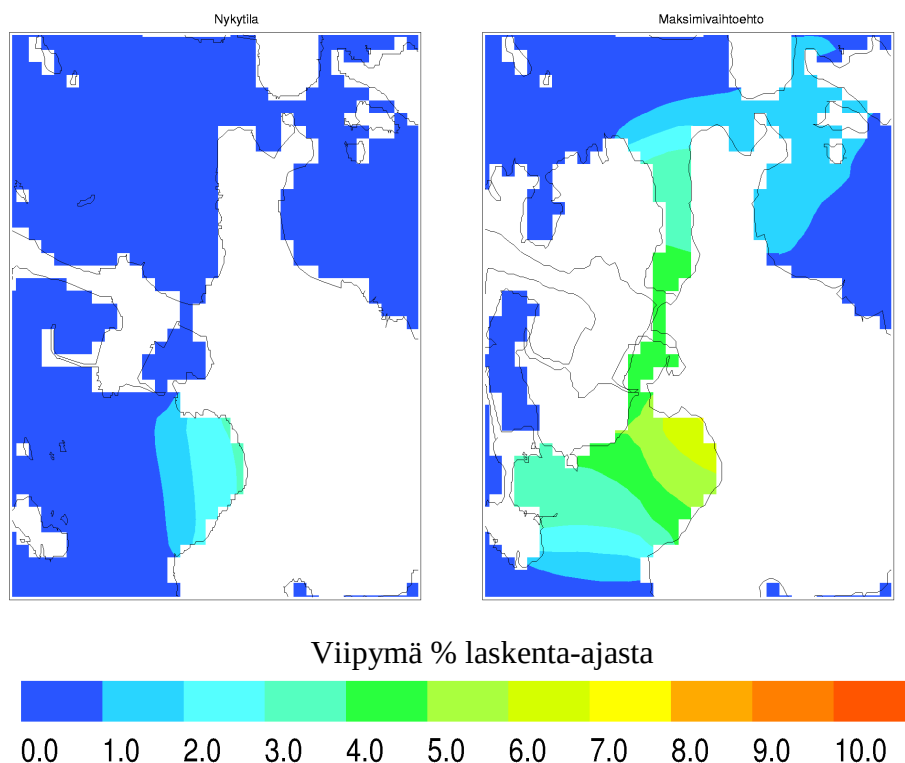
Kuva 33.. Keskimääräinen viipymä Lehtisaarenselällä. Kuvat ovat nykytila, maksimivaihtoehto, vaihtoehto 2 ja vaihtoehto 3.



Kuva 34. Keskimääräinen viipymä Seurasaarenselällä. Kuvat ovat nykytila, maksimivaihtoehto, vaihtoehto 2 ja vaihtoehto 3.



Kuva 35. Viipymän suhteellinen kasvu verrattuna nykytilaan. Kuviin on yhdistetty muutokset kunkin alueen sisäpuolisessa viipymässä. Kuvissa nykytilan viipymää on verrattu maksimivaihtoehtoon, vaihtoehtoon 2 ja vaihtoehtoon 3.



Kuva 36. Keskimääräinen kesäkauden viipymä Riihilahdessa nykytilassa ja maksimivaihtoehdossa.

Täyttöjen vaikutus viipymään voidaan tiivistää seuraaviin johtopäätöksiin:

- Laajalahden vaihdunta Lehtisaaren- ja Seurasaarenselän suuntiin on varsin pientä. Laskenta-aika ei ole riittävän pitkä, jotta keskimääräinen viipymä ehtisi saavuttaa tasapainotilan. Tällä laskenta-ajalla viipymä lisääntyy noin 5 % maksimivaihtoehdossa ja vaihtoehdossa 2. Vaihtoehtoon 3 ja nykytilan välillä ei juuri ole eroa. Laajalahden vaihdunta osoittautui olevan hyvin herkkä Munkkiniemen ja Kuusisaaren välisille virtauksille. Ilman ylimääräistä kitkaa Munkkiniemessä Laajalahden vaihdunta oli huomattavasti nopeampaa ja täytön suhteellinen vaikutus selvästi suurempi, jopa useita kymmeniä prosentteja.
- Lehtisaarenselällä suurimmat muutokset ovat täyttöjen vaikutuksesta syntyvissä pienissä lahdelmissa. Näissä veden viipymä noin kaksinkertaistuu. Täyttöjen vaikutuksesta Karhusalmesta Seurasaarenselälle kulkeva virtaus ohjautuu pohjoisemmaksi. Tämän seurauksena viipymä Koivusaaren täyttöjen pohjoisosan ja Kaskisaari-Lauttasaari -salmen välisellä alueella kasvaa noin 30%. Vastaavasti viipymä pienenee Lehtisaarenselän keski- ja pohjoisosissa. Suljettuja uusia lahdelmia lukuun ottamatta selän vedenvaihdunta on varsin voimakasta eikä täytöillä ole oleellista merkitystä. Vaihtoehdossa 3 viipymän lisäys on hiukan muita vaihtoehtoja pienempi.
- Seurasaarenselällä vaikutukset keskittyvät Lemislahteen ja Seurasaarenselän länsipuolelle. Suurin muutos on Lemislahdella, jossa viipymä kasvaa suurimmillaan 70-80%. Kaskisaaren itäpuolella viipymä kasvaa

maksimivaihtoehdossa ja vaihtoehdossa 2 noin 30 % ja vaihtoehto 3:ssa 5-10%. Selkeästi pienin muutos on vaihtoehdossa 3.

- Riihilahti sijaitsee ulomman meren puolella ja veden vaihdunta on varsin nopeaa. Keskimääräinen viipymä nykytilassa on 2% laskenta-ajasta eli alle yksi vuorokausi. Maksimitäyttövaihtoehdossa viipymä kasvaa 100-200% eli kahdesta vajaaseen kolmeen päivään.

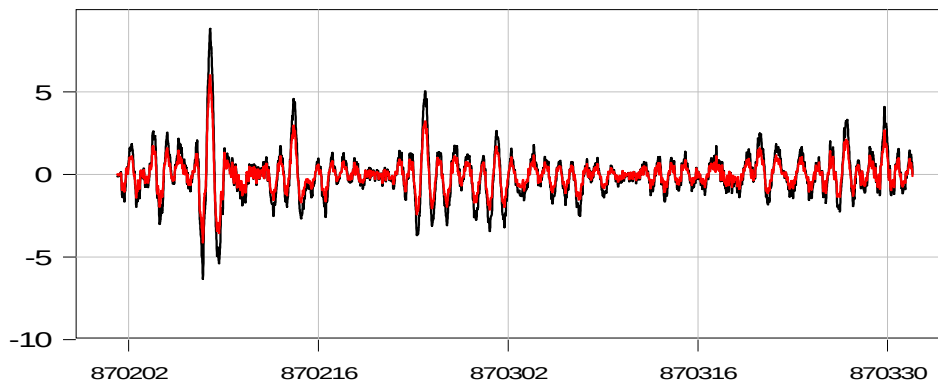
8.2 Vaikutukset jääpeitteisellä kaudella

Talvikaudeksi valittiin viimeisin ankara jäätalvi vuonna 1987. Laskentajakso on kaksi kuukautta, helmi- ja maaliskuu. Mallissa oletetaan, että Suomenlahti on kokonaan jäässä eli mallissa ovat mukana vain mitatut Hangon pinnankorkeudet eikä tuulta.

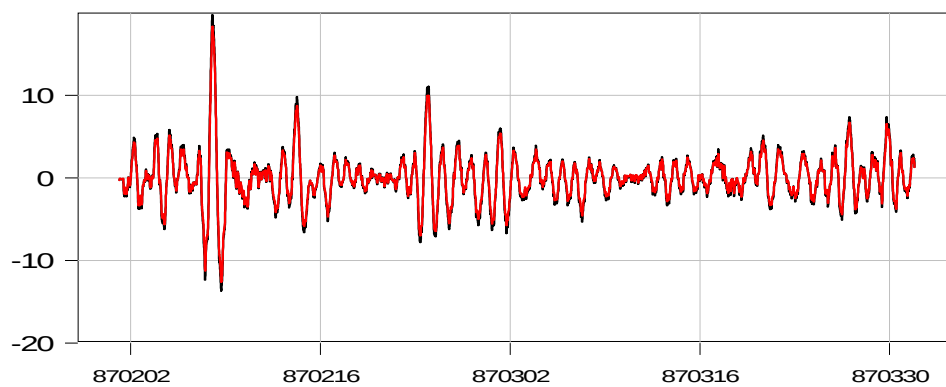
Täyttöjen vaikutusta on tutkittu vertaamalla virtausten aikasarjoja alueen salmissa, laskemalla kulkeutumismennopeuksia virtausaikasarjoista sekä laskemalla eri merenlahtien veden viipymää.

Virtausaikasarjat

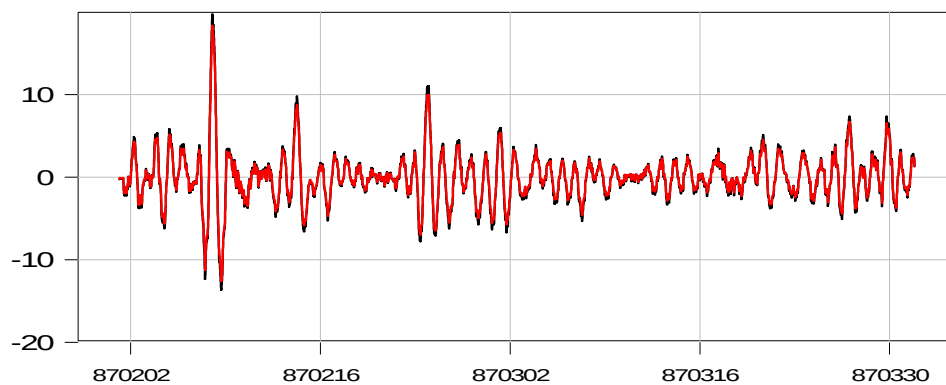
Seuraavissa kuvissa on verrattu mallinnettuja nykytilan ja maksimivaihtoehdon virtauksia alueen salmissa. Laskentajakso on 1.2. - 31. 3. 1987. Aikasarjoja on keskiarvostettu kahdeksan tunnin liukuvalla keskiarvostuksella.



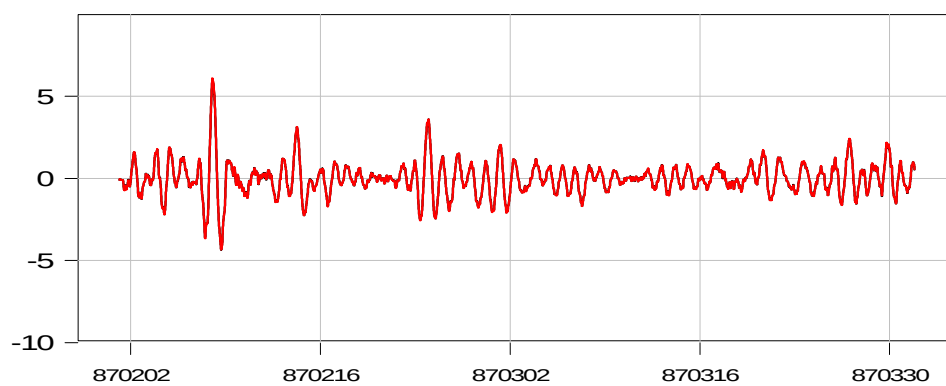
Kuva 37. Karhusalmi, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



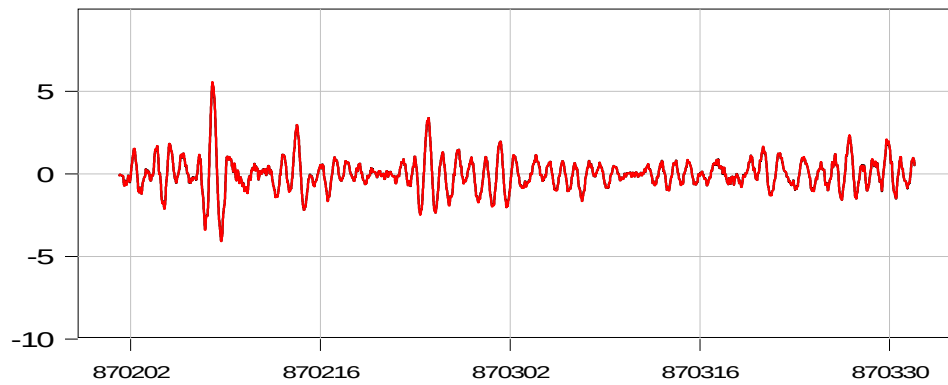
Kuva 38. Lehtisaari-Keilaniemi A, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



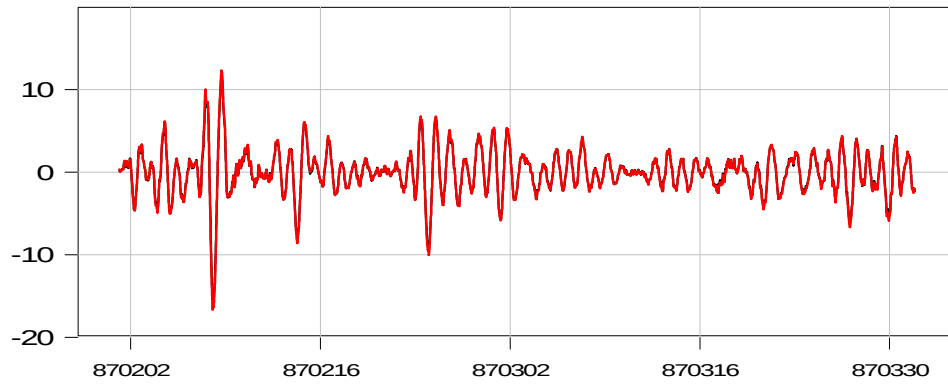
Kuva 39. Lehtisaari-Keilaniemi B, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



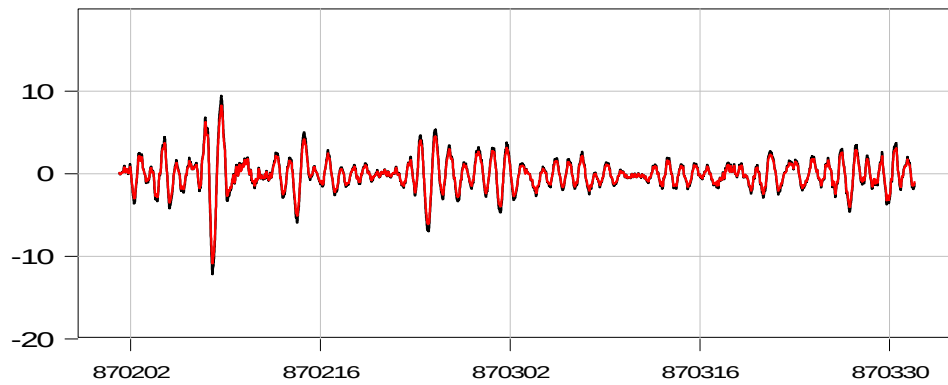
Kuva 40. Lauttasaari A, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



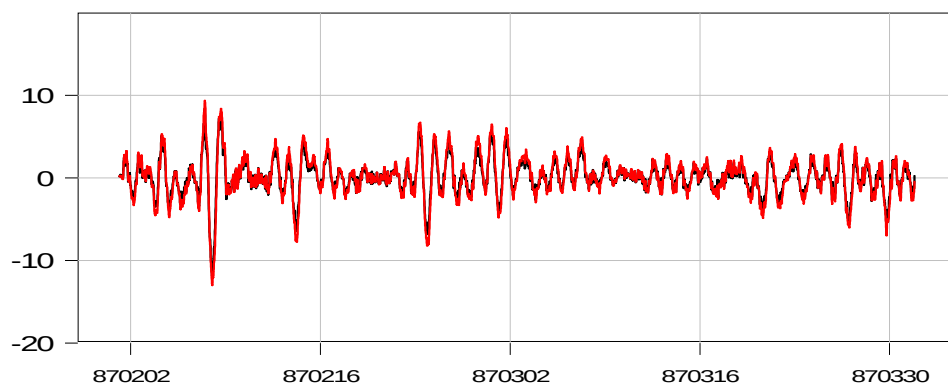
Kuva 41. Lauttasaari B, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



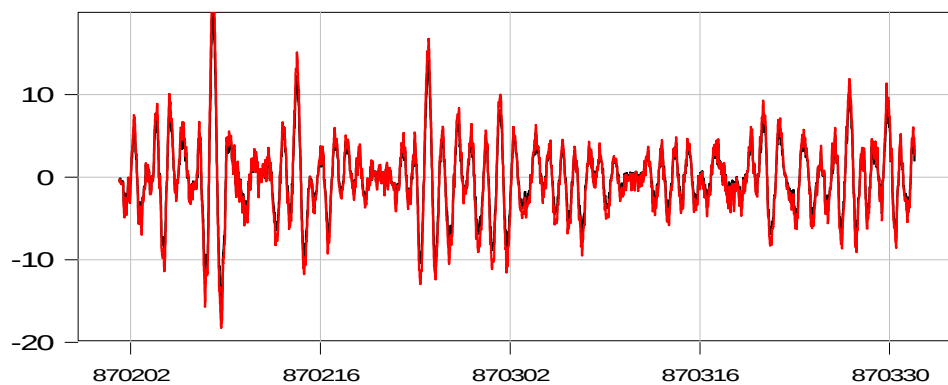
Kuva 42. Kaskisaari-Lehtisaari salmi, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



Kuva 43. Kaskisaari-Lauttasaari salmi, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



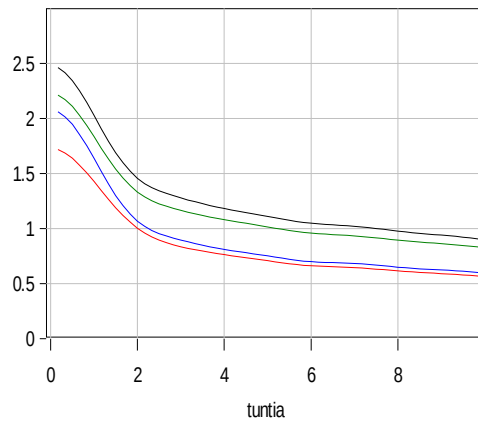
Kuva 44. Vaskilahdensalmi, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



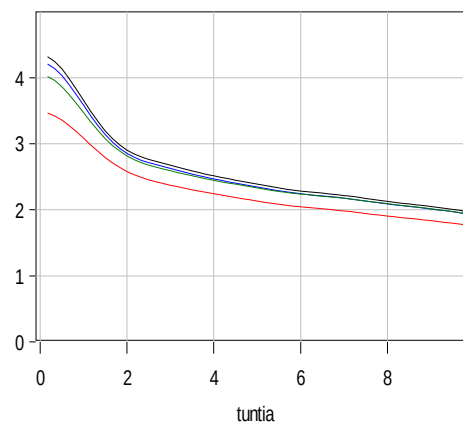
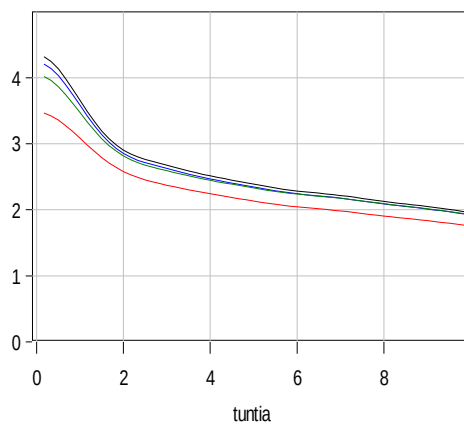
Kuva 45. Munkkiniemi-Kuusisaari, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.

Kulkeutumisnopeus

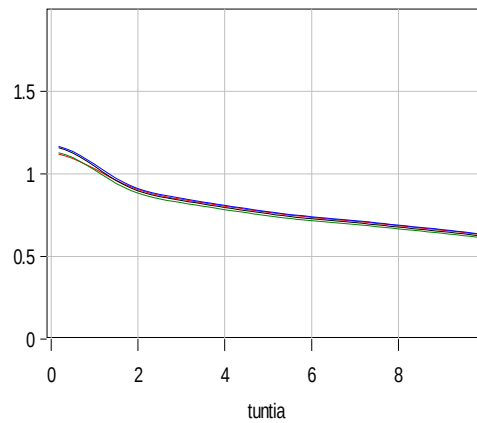
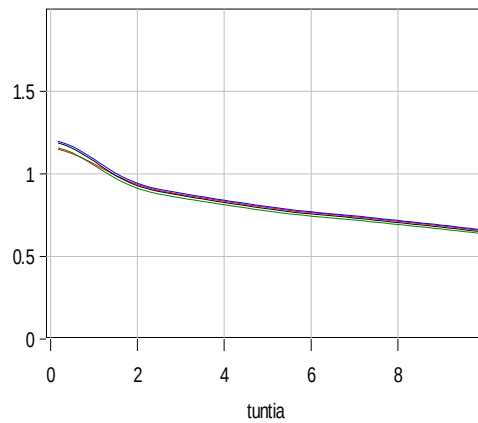
Seuraavissa kuvissa on laskettu talvikauden keskimääräinen kulkeutumisnopeus vastaavasti kuten kesäkaudella.



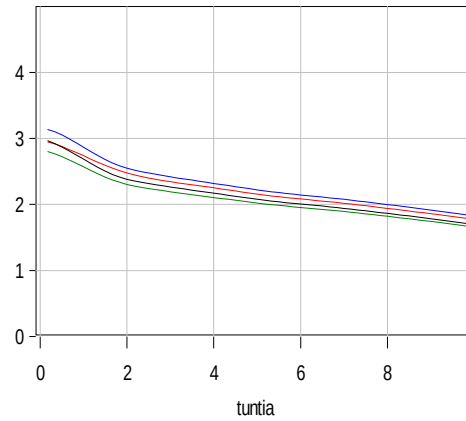
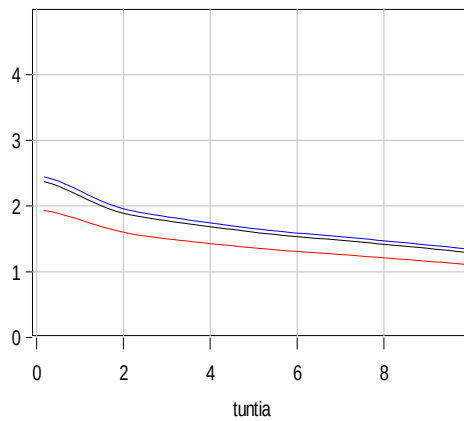
Kuva 46. Karhusalmi, keskimääräinen kulkeutumisnopeus (cm/s). Musta on malli nykytilassa, punainen maksimivaihtoehto, sininen vaihtoehto 2 ja vihreä vaihtoehto 3.



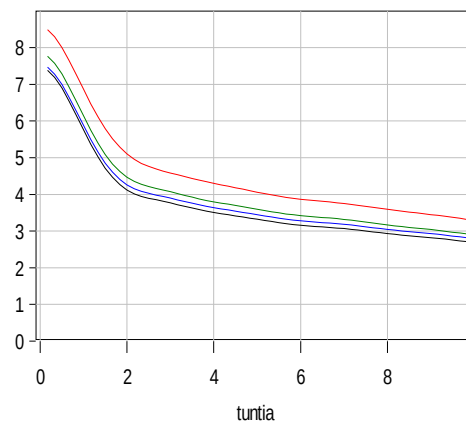
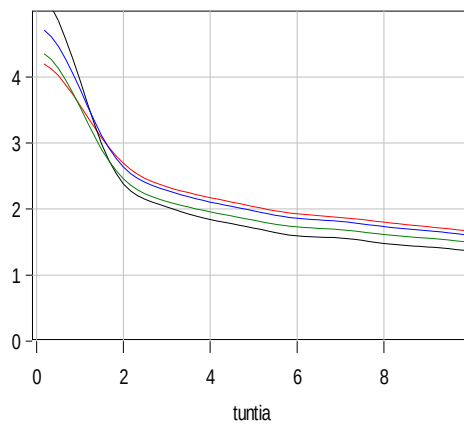
Kuva 47. Lehtisaari-Keilaniemi A, B. Musta on malli nykytilassa, punainen maksimivaihtoehto, sininen vaihtoehto 2 ja vihreä vaihtoehto 3.



Kuva 48. Lauttasaari A,B. Musta on malli nykytilassa, punainen maksimivaihtoehto, sininen vaihtoehto 2 ja vihreä vaihtoehto 3.



Kuva 49. Kaskisaari-Lauttasaari, Kaskisaari-Lehtisaari. Musta on malli nykytilassa, punainen maksimivaihtoehto, sininen vaihtoehto 2 ja vihreä vaihtoehto 3.



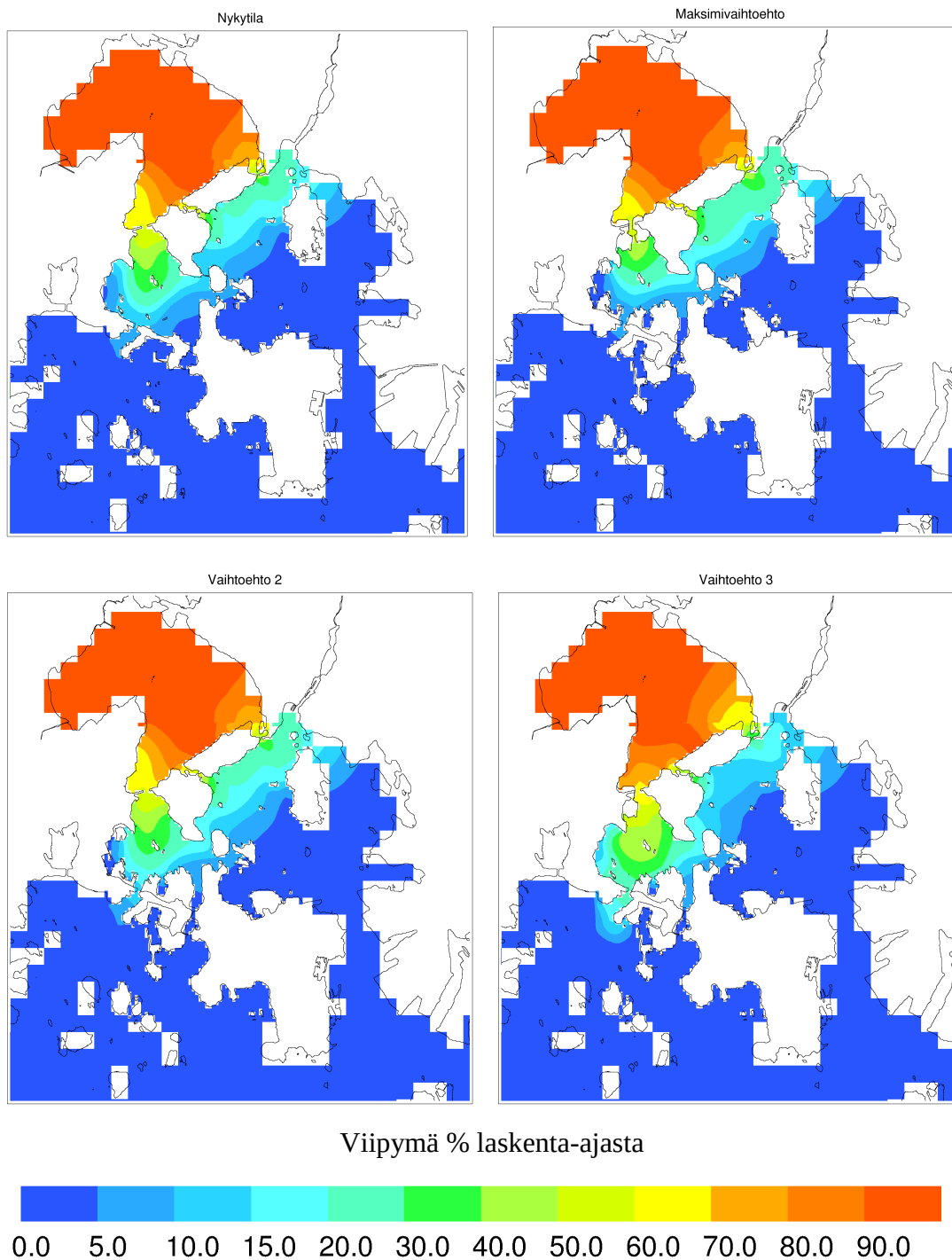
Kuva 50. Vaskilahdensalmi, Munkkiniemi-Kuusisaari. Musta on malli nykytilassa, punainen maksimivaihtoehto, sininen vaihtoehto 2 ja vihreä vaihtoehto 3.

Virtausaikasarjojen ja kulkeutumisnopeuden perusteella voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

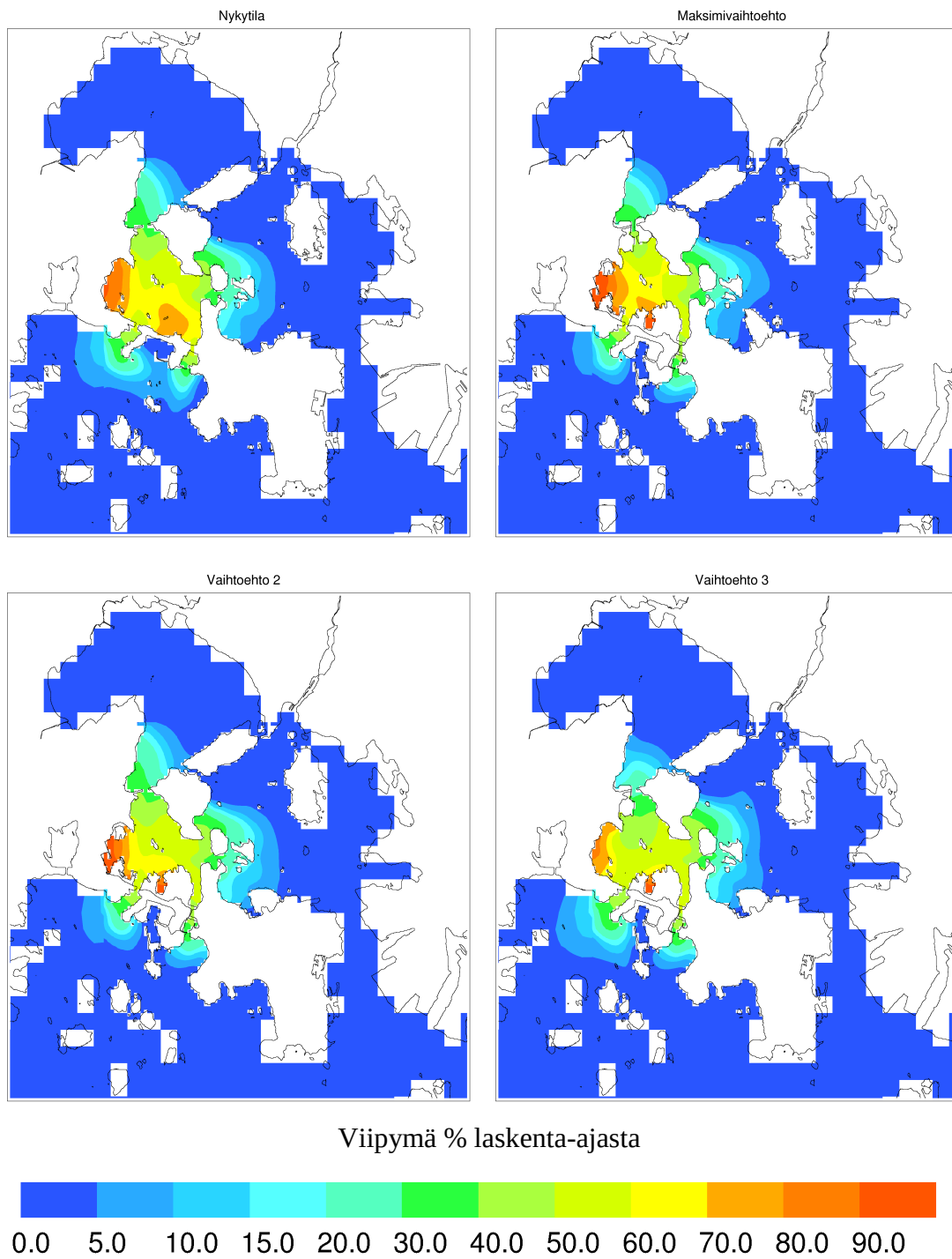
- Karhusalmessa maksimivaihtoehdossa kulkeutumisnopeus pienenee nykytilaan verrattuna keskimäärin 30 % ja virtausaikasarjoissa huippunopeudet pienenevät suurimmillaan 50%. Vaihtoehdossa 2 kulkeutumisnopeuden pieneminen on pitkällä ajanjaksolla suunnilleen sama kuin maksimitäytössä, lyhyellä jaksolla noin 15%. Vaihtoehdossa 3 pienennys on 5-10%.
- Kaskisaari-Lehtisaari -salmessa on maksimivaihtoehdossa ja vaihtoehdossa 2 pieni lisäys ja vaihtoehdossa 3 pieni vähennys kulkeutumisnopeudessa.
- Kaskisaari-Lauttasaari -salmessa maksimivaihtoehdossa kulkeutumisnopeus pienenee vajaat 20%. Muissa vaihtoehdoissa ei ole oleellista eroa nykytilaan.
- Lehtisaari-Keilaniemi -salmessa maksimivaihtoehdossa kulkeutumisnopeus pienenee lyhyellä ajanjaksolla 20% ja pitemmällä jaksolla 10%. Muissa vaihtoehdoissa ei ole oleellista eroa nykytilaan.
- Lauttasaarensalmessa kulkeutumisnopeuden pieneminen ei ole merkittävää.
- Munkkiniemessä maksimivaihtoehdossa kulkeutumisnopeus kasvaa 10-20%. Vaihtoehdoissa 2 ja 3 ei ole suurta eroa nykytilaan verrattuna, vaihtoehdossa 3 nopeuden lisäys hiukan suurempi.
- Vaskisalmessa maksimivaihtoehdossa kulkeutumisnopeus pienenee noin 20% lyhyellä jaksolla ja kasvaa noin 20% pitemmällä jaksolla. Täyttö pienentää siis nopeita virtausheilahteluja, mutta kasvattaa pitemmän aikavälin keskimääräisiä virtauksia. Vastaavasti vaihtoehdossa 2 pienennys 10% ja lisäys 20% sekä vaihtoehdossa 3 vastaavat luvut 20 % ja 10%.

Viipymä

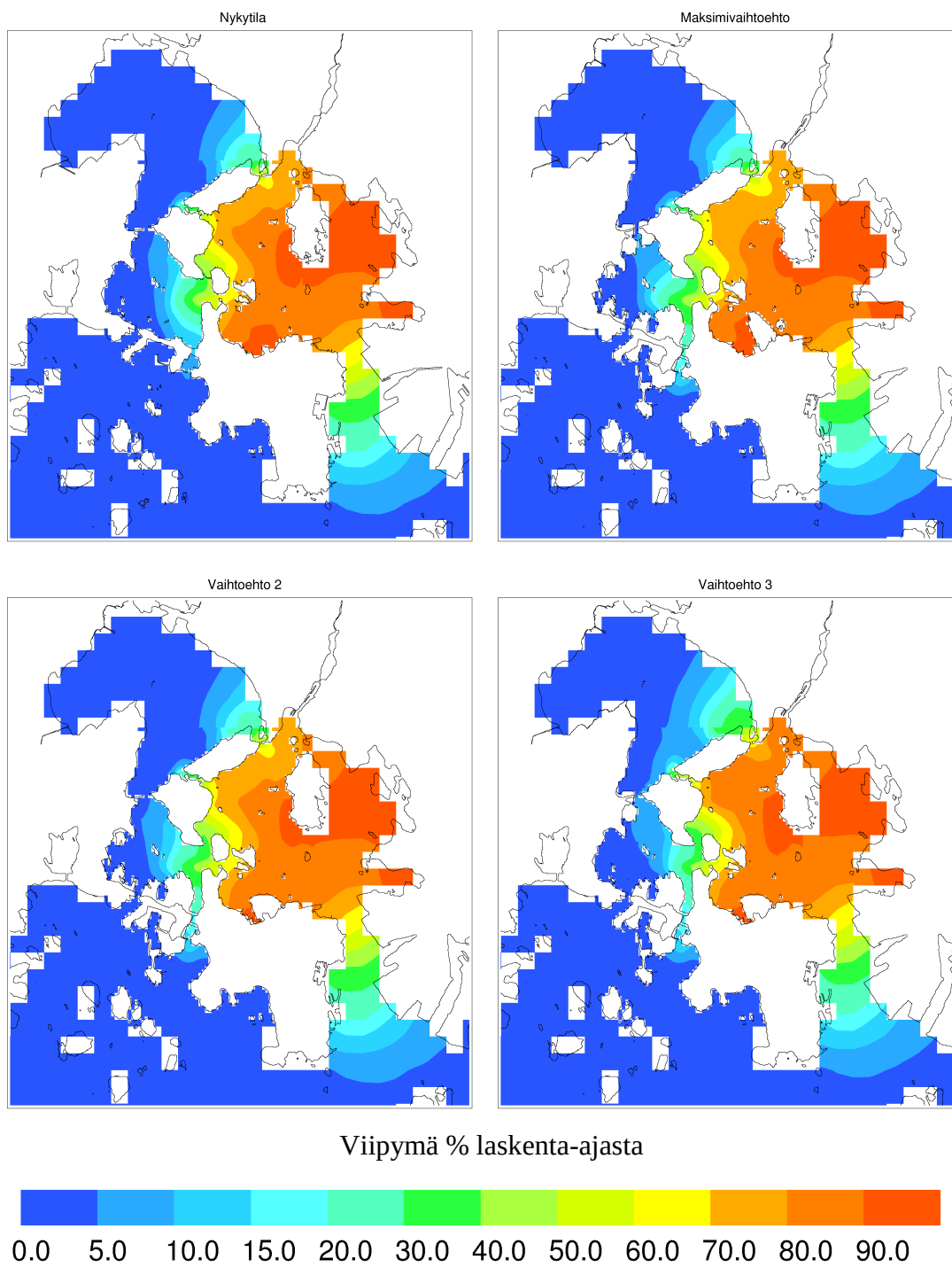
Talvikauden viipymän laskenta on määritelty kuten kesäkaudella. Laskentajakso on helmi- ja maaliskuu 1987 eli 59 vrk.



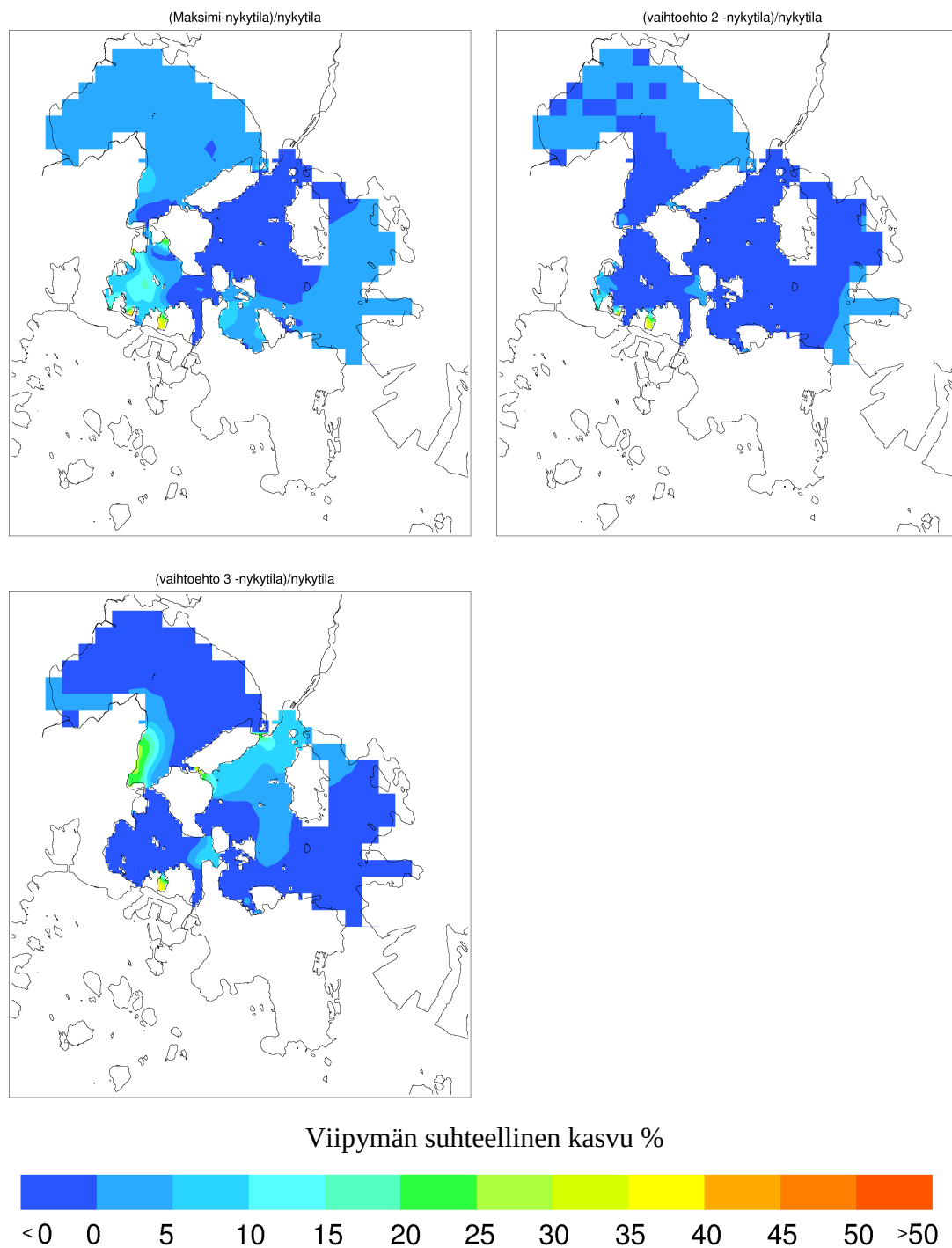
Kuva 51. Talvikauden keskimääräinen viipymä Laajalahdella. Kuvat ovat nykytila, maksimivaihtoehto, vaihtoehto 2 ja vaihtoehto 3.



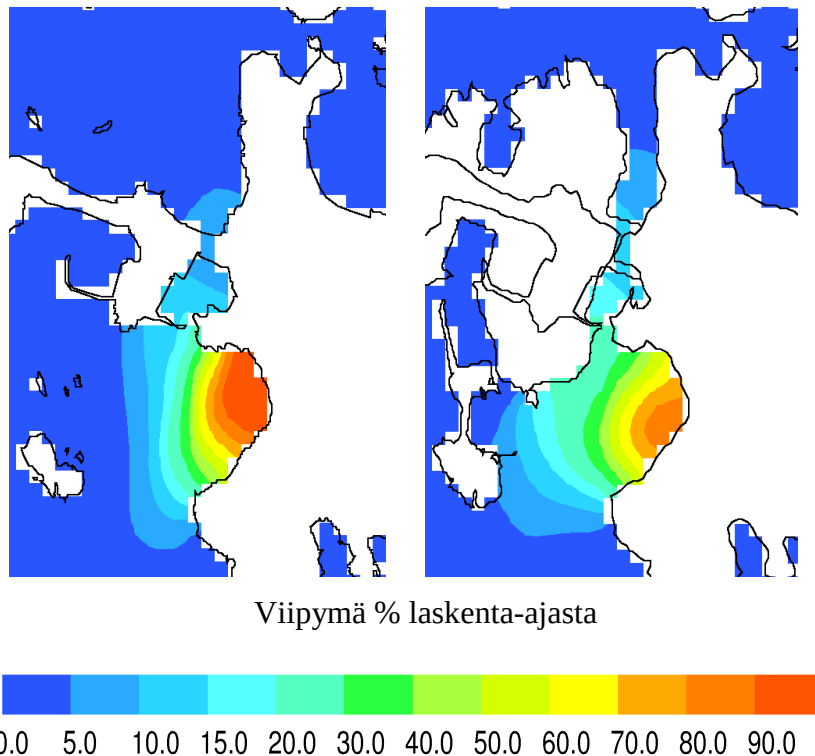
Kuva 52. Talvikauden keskimääräinen viipymä Lehtisaarenselällä. Kuvat ovat nykytila, maksimivaihtoehto, vaihtoehto 2 ja vaihtoehto 3.



Kuva 53. Talvikauden keskimääräinen viipymä Seurasaarenselällä. Kuvat ovat nykytila, maksimivaihtoehto, vaihtoehto 2 ja vaihtoehto 3.



Kuva 54. Talvikauden viipymän suhteellinen muutos verrattuna nykytilaan. Kuviin on yhdistetty muutokset kunkin alueen sisäpuolisessa viipymässä. Kuvissa nykytilaa on verrattu maksimivaihtoehtoon, vaihtoehtoon 2 ja vaihtoehtoon 3.



Kuva 55. Talvikauden keskimääräinen viipymä Riihilahdessa nykytilassa ja maksimivaihtoehdossa.

Täyttöjen vaikutus talvikauden viipymään voidaan tiivistää seuraaviin johtopäätöksiin:

- Vaihdelta Laajalahdelta Lehtisaarenselälle ja Seurasaarenselälle on selkeästi vielä kesäkautista pienempää. Lähes koko lahden vesi on pysynyt alueella koko laskenta-ajan kaikissa vaihtoehdoissa, joten laskenta-aika ei ole riittävän pitkä, jotta eri vaihtoehtojen viipymistä saisi luotettavia tuloksia.
- Lehtisaarenselällä vaihdunta on huomattavasti Laajalahtea suurempaa. Viipymät selän keskiosissa ovat keskimäärin 50% laskenta-ajasta eli noin 30 päivää. Maksimitäyttövaihtoehdossa lahden keskeisten alueiden viipymä kasvaa 5-10%. Muissa vaihtoehdoissa muutokset ovat pienempiä. Suurin viipymän lisäys 20-30% on Koivusaaren ja Hanasaaren täyttöalueiden välisessä uudessa satama-altaassa.
- Myös Seurasaarenselällä vaihdunta on liian pientä, jotta selkeitä vaikutuksia viipymän muutoksesta tulisi esiin. Lemislahden laajempi täyttövaihtoehto näyttäisi kuitenkin lisäävän viipymää Lauttasaaren pohjoispuolella.
- Riihilahdella jääpeitteisenä kautena, kun tuulen aiheuttamia virtauksia ei ole, on Vaskisalmen kautta virtaava vesi tärkeää lahden vedenvaihdon kannalta. Täyttöjen vaikutuksesta pitemmän aikavälin keskimääräiset virtaukset kasvavat Vaskisalmissa. Tämä lisää Riihilahden vesien sekoittumista, jolloin keskimääräinen viipymä lahdessa pienenee. Tähän voivat vaikuttaa myös täyttöjen muodot, jotka ohjaavat läpivirtauksen lähemmäs Riihilahtea. Lahden vesien viipymä pienenee enimmillään puoleen maksimitäyttövaihtoehdon vaikutuksesta.

Talvikaudella veden vaihdunta oli varsin pientä lähes kaikilla alueilla. Veden pinnankorkeuden vaihtelusta aiheutuvat virtaukset keskittyvät salmiin. Salmien

ulkopuolella virtausnopeudet ovat pieniä. Kun vaihto on pientä, ei eri vaihtoehtojen välille ehdi syntyä kahden kuukauden laskenta-ajan aikana merkittäviä eroja.

8.3 Yhteenveto täyttöjen vaikutuksista

Eri täyttövaihtojen vaikutukset suhteessa nykytilaan on koottu taulukoihin 5 ja 6. Taulukoihin on koottu suurimmat muutokset, jotka olivat pääsääntöisesti suurempia kesäkaudella. Mikäli virtausnopeuksissa oli eroa pitemmällä ja lyhyemmällä tarkastelujaksolla, on taulukkoon valittu pitempää jaksoa kuvaava arvo.

Taulukko 5. Täyttöjen aiheuttamat suhteelliset muutokset keskimääräisissä kesäkauden salmivirtauksissa.

	Maksimitäyttö	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3
Karhusalmi	-40%	-40%	-10%
Lehtisaari-Keilaniemi	-10%	Ei eroa	Ei eroa
Lauttasaari	Ei eroa	Ei eroa	Ei eroa
Kaskisaari-Lauttasaari	-30%	-20%	-10%
Kaskisaari-Lehtisaari	-20%	-20%	-10%
Vaskisalmi	+20%	+20%	Ei eroa
Munkkiniemi-Kuusisaari	+10%	Ei eroa	Ei eroa

Taulukko 6. Kesäkauden viipymä tarkastelualueen lahdissa.

Laajalahti	
Maksimitäyttö	Viipymä kasvaa suuruusluokaltaan noin 5%, mutta laskenta-aika on liian lyhyt tarkkojen johtopäätösten tekemiseen. Suurin vaikutus Otaniemen sillan tuntumassa.
Vaihtoehto 2, Vaihtoehto 3	Ei eroa nykytilaan.
Lehtisaarenselkä	
Maksimitäyttö, Vaihtoehto 2	Uusissa venesatama-altaissa viipymä noin kaksinkertaistuu. Viipymän kasvu Koivusaari-Kaskisaari -linjalla noin 30%. Muualla viipymä pienenee.
Vaihtoehto 3	Koivusaaren - Hanasaaren välisessä satama-altaassa viipymä noin kaksinkertaistuu. Viipymän kasvu Koivusaari-Kaskisaari -linjalla noin 20%. Muualla viipymä pienenee.
Seurasaarenselkä	
Maksimitäyttö	Lemislahdella viipymän kasvu 50-80% ja Kaskisaaren- Seurasaaren välillä 30%.
Vaihtoehto 2	Lemislahdella viipymän kasvu 30-80% ja Kaskisaaren itäpuolella 30%.
Vaihtoehto 3	Lemislahdella viipymän kasvu 10-80% ja Kaskisaaren itäpuolella 10%.

Riihilahti	
Maksimitäyttö	Kesäkaudella viipymä kasvaa 100-200%, mutta pysyy edelleen pienenä. Talvikaudella viipymä pienenee 50%.

On huomattava, että virtaukset Lehtisaari-Keilaniemi -salmessa sekä viipymä Laajalahdella olivat herkkiä virtauksille Munkkiniemen ja Kuusisaaren välisessä salmessa. Ilman mallikitkan korjausta ko. salmessa, jolla mallin antamat virtausnopeudet korjattiin mitattujen virtausnopeuksien tasolle, Keilaniemen täyttöjen vaikutus olisi huomattavasti suurempi.

Maksimitäyttövaihtoehdon ja vaihtoehdon 2 aiheuttama virtausten pieneneminen Karhusalmessa sekä veden viipymän piteneminen Lemislahdessa ja uusissa pienissä satama-altaissa on mahdollisesti merkittävää. Vaihtoehdossa 3 muutokset tuskin ovat merkittäviä, mahdollisesti lukuun ottamatta Koivusaaren ja Hanasaaren välistä satama-allasta ja aivan Lemislahden pohjukkaa.

9. Mahdollisuudet haitallisten vaikutusten lieventämiseen

Veden vaihduntaa voidaan edistää suurentamalla salmien poikkipinta-aloja ja syvyyksiä, pitämällä salmet mahdollisimman lyhyinä sekä avaamalla mahdollisuuksien mukaan uusia salmia suljettujen kannasten läpi.

Laajalahden vaihdunta on nykyiselläänkin melko pientä. Mikäli Keilaniemen ja Lehtisaaren väliin rakennetaan uusia täyttöjä niin lahden vaihduntaa voisi edistää syventämällä Munkkiniemen-Kuusisaaren salmea tai kasvattamalla sen poikkipinta-alaa. Nykyisellään salmi on melkoisen ahdas ja mallilaskelmien perusteella poikkipinta-alan kasvattaminen lisäisi oleellisesti Laajalahden vedenvaihduntaa. Myös aikaisemmissa tutkimuksissa on ehdotettu salmen ruoppaamista ja muotoilemista veden vaihdunnan tehostamiseksi (Hari 1972).

Karhusalmen pohjoispuolisilla täytöillä on merkitsevä vaikutus Seurasaarenselän ja osin myös Laajalahden vedenvaihduntaan. Lasketuista vaihtoehdoista ratkaisevimpia ovat Espoon puolen täytöt Karhusalmen luoteispuolella. Myös Karhusalmen ruoppausta ja muotoilemista on ehdotettu aiemmin (Hari 1972), tämä voisi olla hyvinkin kannatettavaa täyttöjen haittavaikutusten pienentämiseksi.

Täyttöjen vaikutuksesta Koivusaareen syntyy uusi pieni lahdelma, jota käytetään satama-altaana. Tämän vedenvaihduntaa tulisi parantaa puhkaisemalla uusi kanava Länsiväylän ali lahdelmalle.

Lemislahden täyttövaihtoehdoista pienempi jarruttaa vähemmän läpivirtausta Seurasaarenselällä ja aikaansaa pienemmän katvealueen. Veden vaihduntaan vaikuttaa lisäksi oleellisesti virtaus Karhusalmessa.

10. Tutkimuksen epävarmuustekijät

Munkkiniemen ja Kuusisaaren välisessä salmessa mallin virtauksia on vaimennettu lisäämällä mallin pohjakitkaa, jotta vastaavuus mittauksiin olisi parempi. Mittauksissa on kuitenkin selkeä keskimääräinen noin 4 cm/s virtausnopeus, joka ei näy mallissa. Lisäksi mitatut virtausheilahtelut ovat melko pieniä. On mahdollista, että mitatut virtaukset eivät ole edustavia, eli ne eivät kuvaa hyvin salmen läpäisevää kokonaisvirtausta. Vuonna 1970 salmessa tehdyissä mittauksissa (Hari 1971) virtaukset olivat selkeästi enemmän edestakaista heilahtelua. Hetkellisten virtausten nopeus oli suurempi ja keskimääräinen virtaus pienempi. Laajalahden veden viipymän ja Keilaniemi-Lehtisaari salmen virtausten epävarmuutta lisää se, että ne ovat herkkiä Munkkiniemen ja Kuusisaaren välisen salmen virtauksille.

Toinen mahdollinen epävarmuus liittyy laskentajakson edustavuuteen. Mallinnettu kesäkauden 1,5 kk ajanjakso on suhteellisen lyhyt, joten ei ole täyttä varmuutta kuinka hyvin se kuvaa keskimääräisiä olosuhteita. Kyseiselle jaksolle kuitenkin sisältyi monen suuntaisia, nopeuksiltaan vaihdelleita tuulia ja erilaisia vedenkorkeusvaihteluita, joten ei ole luultavaa, että varsinkaan vaihtoehtojen väliset erot kohtuuttomasti muuttuisivat pitemmilläkään jaksoilla laskettuina. Talvikauden ongelmana on pienistä virtausnopeuksista johtuva pieni vedenvaihto. Etenkin Laajalahden viipymä osoittautui valtaosin tarkasteltua laskentajaksoa pitemmäksi, jolloin vaihtoehtojen väliset erot eivät ehkä ehtineet esiin täysimääräisinä

Mallin erotustarkkuus eli hilajako oli paikoin karkeahko verrattuna kapeimpien salmien leveyksiin. Tällä saattaa olla merkitystä esimerkiksi Karhusalmessa. Mallin syvyystiedoissa voi muutenkin olla poikkeamia alueen todellisiin syvyyksiin. Tämä johtuu siitä että, mallin syvyydet on saatu alueen merikorteista, joissa tyypillisesti matalat syvyydet painottuvat syviä enemmän. Käytännössä tällä ei yleensä kuitenkaan ole merkitystä mallitulosten kannalta.

Käytännön mallilaskelmissa mallinnettavaa systeemiä joudutaan aina yksinkertaistamaan. Tässä yhteydessä mahdollisesti merkittävin malliin sisällymätön tekijä ovat veden tiheyserot ja niistä aiheutuvat virtaukset. Alueelle ei kuitenkaan laske yhtään merkittävää jokea, joka aiheuttaisi huomattavaa suolaisuuseroa. Toisaalta matalat lahdet lämpenevät kesäisin huomattavasti. Tiheyseroista johtuvat virtaukset näkyvät luultavimmin lähinnä pieninä keskimääräisinä virtauksina alueen salmissa.

Malli- ja mittaustulosten vertailulla voidaan useimmat virhelähteet eliminoida tai niiden merkitystä arvioida. Mallin edustavuudesta johtuvat virheet ovat tässä suhteessa kriittisempiä. Malli- ja mittaustulosten vertailun perusteella vastaavuus oli huomattavan läheistä useammissa salmissa.

11. Suositukset jatkotoimenpiteistä

Tarvittavia jatkotoimenpiteitä ovat mallissa olevien epävarmuustekijöiden poistaminen tai niiden merkityksen tarkempi arviointi. Tällaisia ovat valitun laskentajakson pituus, mallin erotustarkkuuden merkitys salmissa ja ongelmallisten salmipaikkojen tarkempi analyysi. Suositeltavaa olisi myös salmivirtausten kokonaisuudessaan yksityiskohtaisempi mallinnus, jossa olisi mahdollista huomioida salmen ja eri täyttövaihtoehtojen salmensisäiset yksityiskohdat.

Uusia virtausmittauksia tulisi tehdä mahdollisuuksien mukaan, varsinkin paikoissa joissa mallissa tai mittauksissa oli ongelmia, kuten Munkkiniemi-Kuusisaari, Lehtisaari-Kaskisaari ja Kaskisaari-Lauttasaari -salmissa. Uusia mittauksia tarvittaisiin lisäksi myös talvikaudelta. Vuonna 2000 tehdyt mittaukset olivat kaikki avovesikaudelta, eli mallin toimintaa ei voitu varmentaa jääpeitteisellä kaudella.

Alueen luonnon ja virkistyskäytön kannalta oleellisimpia eivät ole virtaukset sinänsä vaan niiden vaikutus veden laatuun. Tähän ei tällä tutkimuksella saada suoria vastauksia kuin tilanteissa joissa ei veden virtaama eikä viipymä oleellisesti muutu jolloin ei myöskään veden laatu. Vedenlaadun tarkempi arviointi vaatii mallilaskelmia joissa on mukana myös veden laatua ilmentäviä tekijöitä, ravinnekuormituksista mahdollisesti aina levien kasvuun saakka. Tuloksena saataisiin täyttöjen vaikutus alueen rehevöitymiseen ja happipitoisuuksiin. Veden laadun mallinnukseen voidaan samalla sisällyttää myös täyttöjen ja mahdollisten ruoppausten rakennusaikaiset vaikutukset veden sameuteen ja haitallisten aineiden leviämiseen. Mahdollista tulevaa vedenlaatulaskentaa ajatellen tämä tutkimus toimii hyvänä pohjana mallinnukselle.

12. Yhteenveto

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää suppealla mallitarkastelulla onko suunnitelluilla täytöillä merkitystä alueen veden vaihduntaan. Mallissa on keskeinen tarkastelualue 50 metrin erotustarkkuudella kuvattuna sekä tähän kytkettynä koko Suomenlahden malli. Mallin toiminta varmennettiin ja mallin parametrejä kalibroitiin vertaamalla nykytilan mallilla saatuja virtauksia alueella loppukesästä 2000 tehtyihin mittauksiin.

Mallinnettuja täyttövaihtoehtoja oli kolme:

- Maksimitäyttövaihtoehto, jossa kaikki suunnitellut täytöt Lemislahdella, Koivusaarella, Hanasaarella, Karhusaarella, Keilalahdessa, Keilaniemessä ja Lehtisaarella toteutetaan täysimääräisinä ja yhtäaikaan.
- Vaihtoehto 2, jossa Lemislahdessa on pienempi täyttövaihtoehto eikä Keilaniemi-Lehtisaari täyttöjä rakenneta.
- Vaihtoehto 3, jossa Lemislahdessa on pienempi täyttövaihtoehto, Keilalahden täyttöjä ei rakenneta ja Keilaniemi-Lehtisaari täytöistä rakennetaan vain Keilaniemen puoli.

Täyttöjen vaikutuksia verrattiin nykytilan mallilla saatuihin tuloksiin. Mallilaskelmien perusteella kaikilla täyttövaihtoehdoilla on vaikutusta vedenvaihduntaan, mutta selkeästi pienimmät kokonaisvaikutukset olivat vaihtoehdossa 3 ja suurimmat vaikutukset maksimitäyttövaihtoehdossa.

Täyttöjen vaikutus oli suurin kesäkaudella. Mallinnetulla talvikaudella, jolloin koko Suomenlahden oletetaan olevan jäässä, suhteellinen muutos oli jonkin verran kesäkautta pienempi.

Täyttöjen merkitys oli suuri varsinkin Karhusalmessa, jossa virtaukset voivat pienentyä jopa 40%. Virtaukset salmessa osoittautuivat olevat herkkiä salmen Espoon puolen täytöille. Mikäli salmen länsireunaa ei rakenneta, virtaukset pienenevät vain

10%. Karhusalmen täyttö oli myös määräävä tekijä Lehtisaarenselän ja Seurasaarenselän välisten salmien virtauksissa. Karhusalmen täyttö ei lisää huomattavasti veden viipymää Lehtisaarenselällä, mutta kylläkin oleellisesti Seurasaarenselällä. Seurasaaren keskeisillä alueilla veden viipymän lisäys oli noin 30% sekä ilman Karhusalmen länsireunan rakentamista noin 10%.

Mikäli Lemislahden suurempi täyttövaihtoehto toteutetaan, lisää se viipymää lahdessa oleellisesti. Viipymä lahden keskeisessä osassa kasvaa 50-65% jos myös Karhusalmen alueella tehdään täyttöjä. Pienemmällä täyttövaihtoehdolla viipymän kasvu on 30-40% ja ilman Karhusalmen länsipuolen täyttöä 10-15%. Kaikissa vaihtoehdoissa viipymän kasvu Lemislahden pohjukassa on noin 80%.

Keilaniemi-Lehtisaari salmessa virtaukset pienenevät noin 10%, mikäli salmen ympäristö täytetään kokonaisuudessaan. Täyttöjen vaikutus Laajalahden veden viipymän laskentaan oli ongelmallista johtuen lahden pienestä vedenvaihdosta. Varsinkin talvikaudella lahden vesi ei juuri ehtinyt vaihtua. Tällä laskenta-ajalla ei lahden veden viipymässä syntynyt oleellista eroa nykytilan ja eri täyttövaihtoehtojen välillä. Täyttöjen merkitys on kuitenkin herkkä veden vaihdunnalle Munkkiniemen ja Kuusisaaren välisessä salmessa. Mikäli virtaukset tässä salmessa ovat suurempia, vaihtuu vesi Laajalahdessa selkeästi enemmän, mutta samalla myös Keilaniemen-Lehtisaaren täytön vaikutus kasvaa oleellisesti.

Riihilahdessa veden viipymää laskettiin vain nykytilassa ja maksimivaihtoehdossa. Täyttö lisäsi viipymää jopa 100-200%, mutta koska veden vaihdunta on nykytilassa varsin suurta, ei viipymän muutos oletettavasti vaikuta veden laatuun. Talvikaudella veden viipymä saattaa täyttöjen vaikutuksesta jopa pienetä Vaskisalmen lisääntyneestä virtauksesta johtuen.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin suunniteltujen täyttöjen vaikutusta salmien virtaamaan ja lahtien veden viipymään. Mahdollisten vedenlaadun muutosten tarkempi arviointi vaatisi mallilaskelmia vedenlaatumallilla, jossa virtausten lisäksi on mallinnettu myös vedenlaatuun vaikuttavat tekijät. Tämän tutkimuksen mukaan muutokset näyttäisivät kuitenkin jäävän pieniksi, ainakin jos täytöt toteutetaan niin etteivät Karhusalmen virtaukset oleellisesti pienene. Poikkeuksena voivat olla vedenvaihdoltaan heikot, satama-altaina käytettävät uudet lahdelmat Koivusaaressa ja Keilalahdessa sekä Lemislahden pohjukka. Vedenlaadun kannalta ongelmallisin ajanjakso on kuitenkin talvikausi. Vaikka laskelmien mukaan täyttöjen vaikutus veden vaihtoon ei ole suuri, voi pienillä muutoksilla olla vaikutusta lahtien talvisiin happikatoihin.

Suositteluvia toimenpiteitä haittavaikutusten pienentämiseksi ovat varsinkin Karhusalmen ja Munkkiniemi-Kuusisaari -salmen veden vaihdunnan edistäminen salmien ruoppauksella ja uudelleen muotoilulla. Näiden parhaan teknisen toteutuksen määrittäminen sekä saavutettavan hyödyn arviointi vaatisi kuitenkin mallilaskelmia erotustarkkuudeltaan paremmalla mallilla.

Viitteet

Hari, J., Hari, P., Mälkki, P. (1971), Vedenvirtausten jatkuvat mittaukset Helsingin merialueella vuonna 1970. Vesiensuojelulaboratorion tiedonantoja 3(9), Helsinki

Hari, J., Sipilä, A. (1972), Vuorovesi ja ominaisheilahtelut Helsingin rannikolla. Vesiensuojelulaboratorion tiedonantoja 4(10), Helsinki.

Józsa, J., Krámer, T. (2000), Modelling residence time as advection-diffusion with zero-order reaction kinetics. Proc. Hydroinformatics 2000, Cedar Rapids, Iowa, USA

Koponen, J., Alasaarela, E., Lehtinen, K., Sarkkula, J., Simbierowicz, P., Vepsä, H., Virtanen, M. (1992), Modelling the Dynamics of a Large Sea Area, Bothnian Bay Research Project 1988 - 90, Publications of the Water and Environment Research Institute, 7, National Board of Waters and the Environment, Finland, Helsinki, 91 p.

Pesonen, L. (2000), Helsingin ja Espoon merialueiden velvoitetarkkailu vuonna 1999, Helsingin kaupungin Ympäristökeskuksen moniste n:o 5, 2000.

Ympäristökeskuksen internetsivut, <http://www.hel.fi/ymk/tila.html>

Sisällysluettelo

1. Alkulause	3
2. Työn tavoite ja tausta	4
3. Tutkimusalueen kuvaus ja täyttövaihtoehdot	5
4. Alueen virtausten yleiskuvaus	8
5. Vedenlaadun kehitys alueella 70-luvulta nykypäivään	9
6. Virtaus- ja kulkeutumismallin kuvaus	10
7. Mitatut ja nykytilan mallinnetut virtaukset	11
8. Täyttöjen vaikutukset virtausolosuhteisiin ja viipymään	16
8.1 Vaikutukset avovesikaudella	16
8.2 Vaikutukset jääpeitteisellä kaudella	30
8.3 Yhteenveto täyttöjen vaikutuksista	42
9. Mahdollisuudet haitallisten vaikutusten lieventämiseen	43
10. Tutkimuksen epävarmuustekijät	44
11. Suositukset jatkotoimenpiteistä	44
12. Yhteenveto	45
Viitteet	47

1. Alkulause

Helsingin kaupungin tavoitteena on hyväksyä koko kaupungin käsittävä yleiskaava vuonna 2002. Voimassa oleva yleiskaava on hyväksytty vuonna 1992. Kaupungin asukasmäärä kasvoi 1990-luvulla huomattavasti ja kasvun oletetaan jatkuvan. Uusia asukkaita varten tarvitaan asuntoja ja työpaikkoja. Koko pääkaupunkiseudun kasvu aiheuttaa myös liikennejärjestelmän kehittämistarpeita. Yleiskaavassa määritetään kaupungin maakäytölliset päämäärät ja näkemys kaupungin tulevaisuudesta. Espoon kaupunki valmistelee omaa eteläosan yleiskaavaa samalla aikataululla.

Alueidenkäyttösuunnitelma on osa yleiskaavaa. Suunnitelmaluonnoksissa on esitetty Helsingin ja Espoon välille metroa, jonka linjaus kulkee Lauttasaaren kautta. Metron välittömään läheisyyteen on tutkittu uusia rakentamisalueita, jotka sijaitsevat mm. Pajalahdessa, Lemislahdessa, Katajaharjulla ja Koivusaareissa. Alueiden rakentaminen ei ole välttämätöntä metron rakentamiselle. Myöskään metron rakentaminen ei ole välttämätöntä näiden alueiden rakentamiselle, mutta hankkeiden yhtäaikaisella toteuttamisella voi olla paljon myönteisiä vaikutuksia kaupunkirakenteeseen.

Metron tai uusien rakentamisalueiden toteuttamisesta ei ole tehty tarkkoja suunnitelmia tai rakentamiseen tähtääviä päätöksiä. Helsingin ja Espoon kaupungit sekä liikenne- ja viestintäministeriö aloittivat vuonna 2000 Länsimetron tarve- ja toteuttamiskelpoisuusselvityksen. Selvityksen ensimmäisessä vaiheessa vertailtiin metron linjaus- ja asemavaihtoehtoja ja se raportoitiin joulukuussa 2000. Suunnittelun toisessa vaiheessa jatkosuunnitteluun valittua metrolinjausta ja asemia tarkennetaan ja järjestelmää verrataan bussijärjestelmään.

Hanasaaren, Koivusaaren ja Katajaharjun alueita palvelevan metroaseman sijoittamista on tutkittu Koivusaaren pinta- ja tunneliasemina. Asema palvelisi arviolta 8000 asukasta, 1800 työpaikkaa sekä kaukoliikenteen bussimatkustajia. Metroaseman rakentamiskustannus olisi noin 150 Mmk.

Länsimetron jatkosuunnitteluun on suositeltu vaihtoehtoa, joka rakennetaan kalliotunneliin ja linjataan Lauttasaaresta Koivusaaren kautta Keilaniemeen. Linjauksen rakentamiskustannukset ovat halvimmat ja se on yhteiskuntataloudellisesti tehokkain vaihtoehto. Kalliotunneliin rakennettavan järjestelmän haitalliset ympäristövaikutukset ovat vähäisempiä kuin osaksi maanpintaan rakennettavan järjestelmän. Aseman sijoittuminen Keilalahteen lisää paineita maankäytön tehostamiseen, mutta antaa mahdollisuuden Otaniemen ja Keilalahden kaupunkirakenteelliseen yhdistämiseen.

Yleiskaavasuunnittelun tueksi on tehty vuosina 1999-2000 Koivusaaren ja Hanasaaren alueelle sekä Lemislahden alueelle maankäyttöselvitykset, joissa alueita tutkittiin maiseman, maankäytön, palveluiden, liikenteen, satamatoimintojen, yhdyskuntatekniikan ja rakentamisen kannalta. Alueiden kehittäminen selvitysten mukaisessa laajuudessa (noin 60 ha Koivusaari-Hanasaari -alueella ja noin 25 ha Lemislahden alueella) edellyttää laajoja mereen rakennettavia täytemaa-alueita. Lisäksi Espooseen on laadittu Keilaniemi - Kehä I -yleissuunnitelma.

Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston kaavoitusosasto katsoi tarkoituksenmukaiseksi teettää virtausmallitutkimuksen siltä merialueelta, jolle meritäyttöjen vaikutusten

oletettiin kohdistuvan. Tavoitteena oli selvittää virtausten ja veden vaihtuvuuden yleispiirteet sekä meritäyttöjen alueelliset ja tasolliset vaikutukset. Mikäli joillakin täyttökohteilla olisi merkittäviä haitallisia vaikutuksia näihin tekijöihin, voitaisiin kohteita jättää pois ennen niiden esittämistä alueidenkäyttösuunnitelmassa. Toisaalta tiedettiin, että kohteiden jatkosuunnittelua varten joudutaan tekemään vielä tarkempia tutkimuksia.

Virtausmallitutkimus arvioitiin luotettavaksi menetelmäksi, sillä mallialue pystyttiin kytkemään koko Suomenlahden kattavaan virtausmalliin, jonka toiminta oli lisäksi tarkistettu suunnittelualueella tehdyillä mittauksilla. Helsingin ja Espoon kaupungit, Uudenmaan ympäristökeskus ja Euroopan Unionin aluekehitysrahasto ovat rahoittaneet virtausmallin laatimista Helsingin, Espoon ja Tallinnan väliselle merialueelle. Mallin toiminnan tarkistamiseksi tehtiin kesällä ja syksyllä 2000 virtausmittauksia useissa salmissa.

Tutkimuksen ovat laatineet Hannu Peltoniemi ja Jorma Koponen Suomen Ympäristövaikutusten Arviointikeskus Oy:stä. Tilaajan edustajana on ollut Jukka Tarkkala kaavoitusosaston teknis-taloudellisesta toimistosta. Työn aikana järjestettiin kaksi laajempaa kokousta, joissa suunnittelijoilla ja asiantuntijoilla oli mahdollisuus arvioida ja kommentoida tutkimuksen suoritustapaa ja tuloksia. Osallistujia olivat Katri Huusko, Mikko Reinikainen, Pertti Kare ja Terhi Tikkanen-Lindström Helsingin kaupunkisuunnitteluvirastosta, Ilkka Viitasalo Helsingin ympäristökeskuksesta, Vuokko Rouhiainen, Suvi Lehtoranta ja Hannu Vepsäläinen Espoon kaupunkisuunnittelukeskuksesta, Ritva Veijonen ja Sinikka Hammarberg Espoon ympäristökeskuksesta, Leena Villa ja Heidi Åkerla Uudenmaan ympäristökeskuksesta. Kaikki eivät osallistuneet molempiin kokouksiin.

2. Työn tavoite ja tausta

Helsingin ja Espoon kaupunkeihin laaditaan erillisiä yleiskaavoja ja tavoitteena on niiden hyväksyminen vuoden 2002 aikana. Yleiskaavoitusta varten on vuosina 1999-2000 tutkittu Länsimetron rakentamisen edellytyksiä. Metroon tukeutuvia uusia rakentamisalueita on harkittu esitettäväksi Lemislahden, Koivusaaren, Hanasaaren, Karhusaaren, Keilalahden, Keilaniemen, Otaniemen ja Lehtisaaren alueille. Alueiden kehittämisen mahdollisuuksia on tutkittu maankäyttöselvityksissä tai yleissuunnitelmissa ja niissä on esitetty runsaasti mereen rakennettavia täytemaa-alueita. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää alustavasti suunniteltujen Koivusaaren - Hanasaaren, Lemislahden, Keilalahden ja Keilaniemi - Lehtisaaren maantäyttöjen vaikutus merialueen virtauksiin, veden laatuun sekä muihin oleellisiin vesistöolosuhteisiin.

Työmenetelmänä tutkimuksessa on pääosin matemaattinen virtaus- ja kulkeutumismalli. Mallin toiminta on varmistettu vertaamalla sen antamia virtausnopeuden arvoja alueella tehtyjen virtausmittausten tuloksiin.

Vuoden 2000 alusta on käynnistynyt tutkimus, jossa Helsinki-Espoo-Tallinna-alueelle laaditaan matemaattinen virtaus- ja vedenlaatumalli. Työn erityisenä painopisteenä on öljyntorjunnan ja meripelastuksen tuki alueella. Mallityön eräänä tavoitteena on luoda alueelle perusmalli, jota voidaan käyttää pohjana erillisselvityksissä. Mallin

erotustarkkuus on 250 m Helsingin ja Espoon edustalla, 1 km Helsinki – Tallinna välillä ja 5 km koko Suomenlahdella. Virtausmallin perushila on valmiina ja sitä hyödynnetään tämän tutkimuksen pohjana.

Yleisesti matemaattiset mallit tarjoavat joustavan ja edullisen tavan arvioida vesistörakentamisen vaikutuksia. Suomessa VTT ja sen vesistömallitoiminnan jatkaja Suomen Ympäristövaikutusten Arviointikeskus Oy (YVA Oy) ovat soveltaneet malleja 1970-luvulta lähtien yli kahteensataan kohteeseen yhteistyössä esim. Suomen ympäristökeskuksen kanssa. Tuoreimpia vesistörakennusselvityksiä ovat mm. Vuosaaren satamarakenteet ja laivaväylän ruoppaus, Helsingin edustan ruoppaustyöt ja pengerrykset (Lauttasaari-Jätkäsaari), Aurajoen ruoppausmassojen läjitys, Tammisaaren siltatyö, Kivisalmen kanava, Kallansiltojen lisärakentaminen, Kalajoen venesataman edustan eroosion vähentäminen ja Niilin deltan eroosiosuojaus Rosetan haarassa.

3. Tutkimusalueen kuvaus ja täyttövaihtoehdot

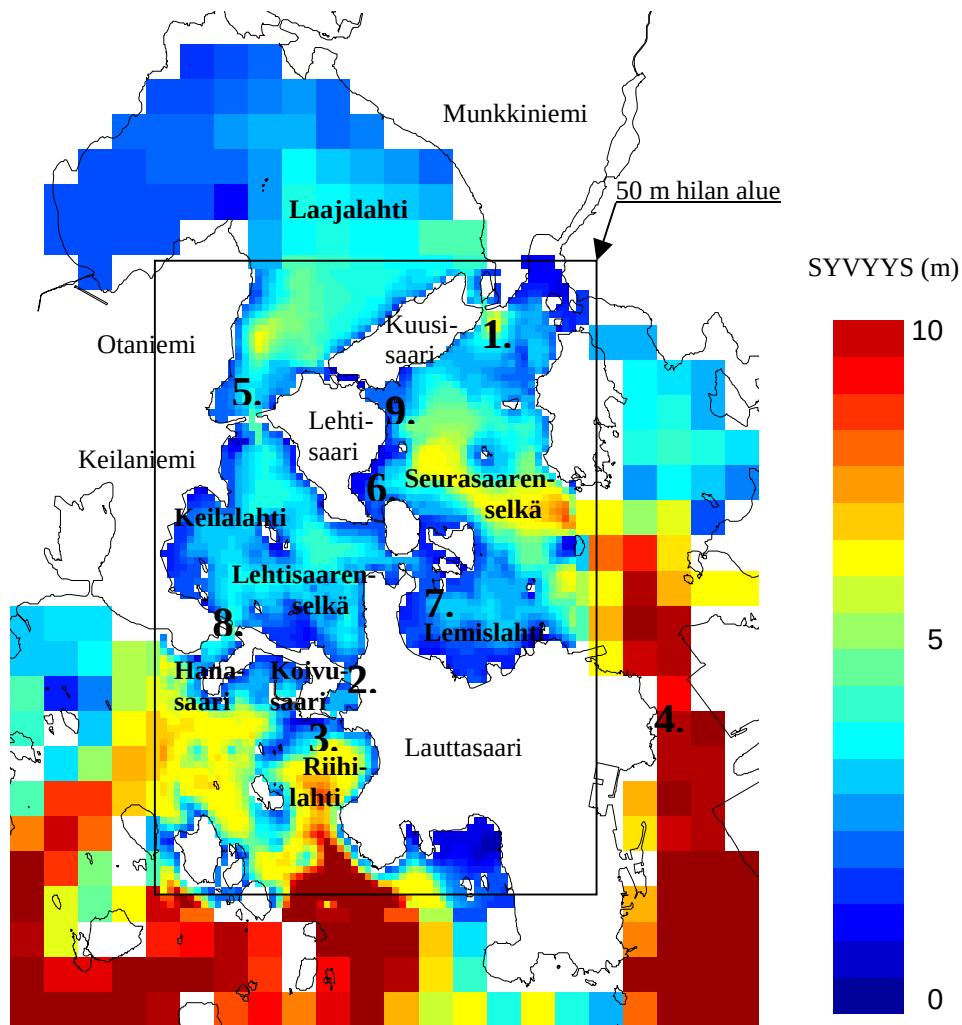
Keskeinen tarkastelualue kattaa Karhusaaren, Otaniemen, Munkkiniemen, Seurasaaren ja Lauttasaaren rajaaman vesistöalueen. Maankäyttöselvityksissä ja alueiden käyttösuunnitelmien luonnoksissa esitettyt uudet täyttömaa-alueet sijoittuvat tälle alueelle.

Keskeisen tutkimusalueen syvyydet on esitetty kuvassa 1. Myös pääosa vesistövaikutuksista kohdistuu todennäköisesti tälle alueelle. Käytettävä malli sisältää koko Suomenlahden, mutta mallituloksia tarkastellaan ko. rajauksen mukaisesti. Laajan merialueen mallia tarvitaan, koska paikallisissa tarkasteluissa tulee ottaa huomioon myös suuren mittakaavan virtausten vaikutus.

Tutkimusalueen tärkeimpien salmien leveydet, keskimääräiset syvyydet ja pinta-alat pienimmän poikkipinnan kohdalta on esitetty taulukossa 1. Salmien koot on arvioitu salmien siltojen piirustuksista. Suunniteltujen täyttöjen ei oleteta pienentävän rajoittavia poikkipinta-aloja. Kuusisaaren-Lehtisaaren välisen salmen leveys ja syvyys on arvioitu merikortista. Salmi on kuitenkin hyvin kapea ja matala eikä sillä ole käytännössä juuri merkitystä tuloksiin.

Meritäyttöjen vaikutuksia on tutkittu vertaamalla täyttövaihtoehtojen mukaista virtausmallia nykytilanteen mukaiseen virtausmalliin. Eri täyttövaihtoehdot on esitetty kuvassa 2 ja taulukossa 2.

Mallilla lasketaan salmivirtausten sekä lahtien veden viipymän muutoksia eri täyttövaihtoehtoisissa verrattuna nykytilaan. Tutkimuksessa ei sovelleta vedenlaatumallia, joten täyttöjen vaikutuksia alueen vedenlaatuun lyhyellä ja pitkällä aikavälillä voidaan arvioida ainoastaan suuntaa-antavasti viipymien ja virtausnopeuksien pohjalta. Tutkimukseen ei sisälly rakentamisen aikaisten vesistövaikutusten (esim. samennuksen ja haitallisten aineiden leviäminen) arviointia esim. ruoppausten osalta.



Kuva 1. Virtausmallin veden syvyys tarkastelualueella. Mallin hilakoko alueella on 50 tai 250 m.

Taulukko 1. Salmien leveydet ja keskimääräiset syvyydet pienimmän poikkipinnan kohdalla:

Virtausaukon	leveys (m)	syvyys (m)	pinta-ala (m ²)
1. Kuusisaarentien silta	20	4.5	90
2. Vaskilahden silta	15	3.5	53
3. Vaskilahden aallonmurtajan aukko	30	3.5	105
4. Lauttasaaren läppäsilta	317	9	2853
5. Lehtisaari-Keilaniemi	70	4.5	315
6. Lehtisaari-Kaskisaari	80	2	160
7. Kaskisaari-Lauttasaari	58	3	174
8. Karhusalmi	50	4.8	240
9. Lehtisaari-Kuusisaari *	10	1	10

* arvio

Nykytila



Maksimivaihtoehto



Vaihtoehto 2.



Vaihtoehto 3.



Kuva 2. Mallinnetut täyttövaihtoehdot, täytöt on merkitty punaisella. Kuvat ylhäältä oikealle ja alas ovat: nykytila, maksimivaihtoehto, vaihtoehto 2 ja vaihtoehto 3.

Taulukko 2. Mallinnetut täyttövaihtoehdot.

Maksimivaihtoehto Kaikki suunnitellut täytöt toteutetaan yhtäaikaa. Koivusaaren ja Keilalahden täytöt täysimääräisenä. Keilaniemi-Lehtisaari täytöt täysimääräisenä. Lemislahteen suurempi täyttövaihtoehto.
Vaihtoehto 2 Koivusaaren ja Keilalahden täytöt täysimääräisenä. Lemislahteen pienempi täyttövaihtoehto.
Vaihtoehto 3 Koivusaaren täytöt täysimääräisenä. Keilaniemi-Lehtisaari salmeen täyttöjä vain Espoon puolelle. Lemislahteen pienempi täyttövaihtoehto.

4. Alueen virtausten yleiskuvaus

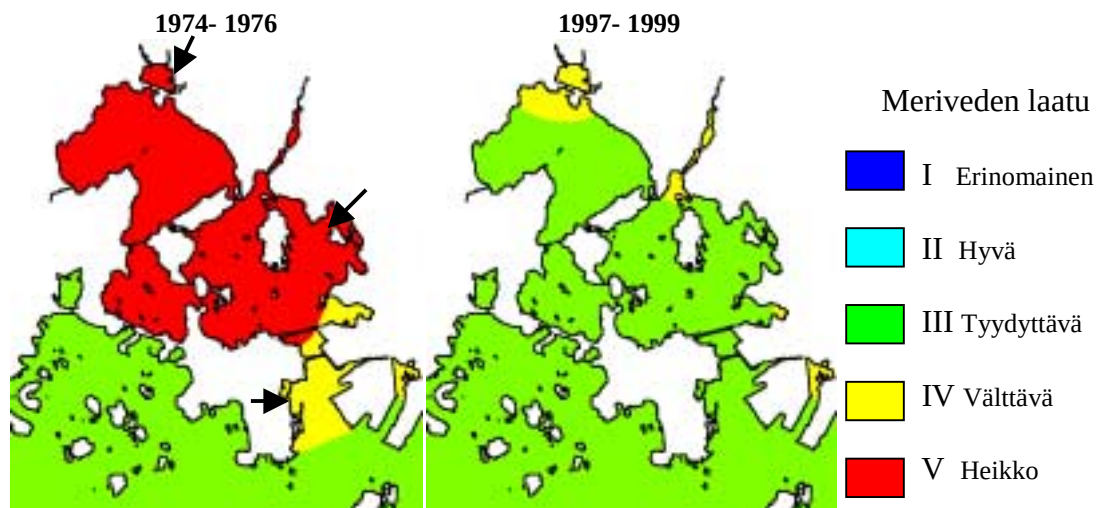
Meritäyttöjen tärkein vaikutusalue käsittää kolme kapeilla salmilla avomereen ja toisiinsa kytkettyä lahtea. Salmien kapeudesta ja mataluudesta johtuen niissä virtaussuunta on pääsääntöisesti sama yli koko salmen, eli salmissa ei esiinny kerrostunutta virtausta eikä vaakasuunnassa virtauksen kiertoa. Poikkeuksena on Lauttasaaren salmi, joka leveyden ja syvyyden johdosta on varsin merellinen. Virtaukset kapeissa salmissa ovat tyypillisesti samanvaiheista edestakaista virtausta jonka aiheuttaa ulkomereltä tulevat pinnankorkeusheilahtelut. Harin ja Sipilän (1972) mukaan heilahtelujen jakso on tyypillisesti 50-110 minuuttia, joista ainakin osan selittävät Suomenlahden pitkittäiset ja poikittaiset ominaisheilahtelut.

Selkeää lahtien kautta kiertävää virtausta ei salmissa vuonna 2000 tehtyjen virtausmittausten perusteella ole havaittavissa. Pienin kierto on Laajalahdella, mahdollisesti johtuen ahtaista salmista. Lehtisaaren- ja Seurasaarenselän välillä kiertoa esiintyy, mutta sen riippuvuus ulkoisista tekijöistä kuten tuulen suunnasta ei ole ilmeinen. Lahtien keskialueilla salmista tulevien virtauksien lisäksi tärkeä virtauksia aikaansaava tekijä on paikallinen tuuli. Keskialueiden virtausnopeudet ovat huomattavasti salmivirtauksia pienempiä. Salmivirtausten sahaavasta luonteesta johtuen lahtien vedenvaihto on pientä, näin varsinkin Laajalahdella. Yksinkertaistettuna voidaan sanoa, että sama vesi virtaa salmissa edestakaisin.

Vuoden 2000 mittauksista on tarkempi erittely kappaleessa 7.

5. Vedenlaadun kehitys alueella 70-luvulta nykypäivään

Helsingin kaupungin Ympäristökeskus seuraa vedenlaatua tutkimusalueella kahdessa intensiivimittauspisteessä, Laajalahdella ja Seurasaarenselällä. Mittauksia on keskimäärin kerran kuukaudessa. Viime vuosikymmeninä vedenlaadun kehitys on ollut positiivista, joka näkyy kuvassa 3 olevassa veden laadun kehityksessä alueella 70-luvun puolivälistä ja 90-luvun lopulle.



Kuva 3. Vedenlaadun kehitys tutkimusalueella. Vasemmanpuoleinen kuva on keskiarvo vuosilta 1974-1976 ja oikeanpuoleinen vuosilta 1997-1999. Vasemmanpuoleiseen kuvaan on merkitty silloisten jätevedenpuhdistamojen purkupaikat. (Pesonen 2000)

Helsingissä oli 70-luvun puolivälissä käytössä 11 jätevedenpuhdistamoa ja yhtä monta jätevesien purkupaikkaa. Jätevedet johdettiin kaupungin rantavesiin. Puhdistamot olivat biologisia; fosforinpoistoa oltiin vasta aloittamassa. Espoon kaupungin jätevedet johdettiin jo vuoden 1974 aikana nykyiselle purkupaikalleen ulkosaaristoon Ison Lehtisaaren eteläpuolelle. Fosforinpoisto aloitettiin 1975, biologista puhdistusta ei ollut.

Helsingin läntiset lahtialueet, Laajalahti, Lehtisaarenselkä ja Seurasaarenselkä olivat 70-luvun puolivälissä laadultaan heikkoja (laatuluokka V). Lauttasaarenselkä luokiteltiin välttäviksi (luokka IV). Suurin osa saaristosta luokiteltiin laadultaan tyydyttäväksi (luokka III). Uloimmassa saaristossa laatuluokka oli hyvä (luokka II).

Vuoden 1987 alussa otettiin Helsingissä käyttöön uusi merenalainen jätevesitunneli, jonka kautta nykyisin kaikki Helsingissä käsitellyt jätevedet johdetaan saariston ulkoreunaan Katajaluodon ulkopuolelle. Vuoden 1994 syksystä lähtien Helsingin ja eräitten Keski-Uudenmaan kuntien jätevedet on puhdistettu Viikinmäen uudessa jätevedenpuhdistamossa. Kaikki jätevedet sekä Helsingissä että Espoossa käsitellään biologis-kemiallisesti. Luokkaan 'välttävä' (IV) sijoittuvat Helsingin satama-alueet sekä Pikku-Huopalahti ja Laajalahden perukka. Veden laadun pysyminen vain välttävänä johtuu pääasiassa aikaisemmin raskaasti kuormitetun alueen pohjasedimentin aiheuttamasta sisäisestä kuormituksesta. Osasyynä Laajalahden

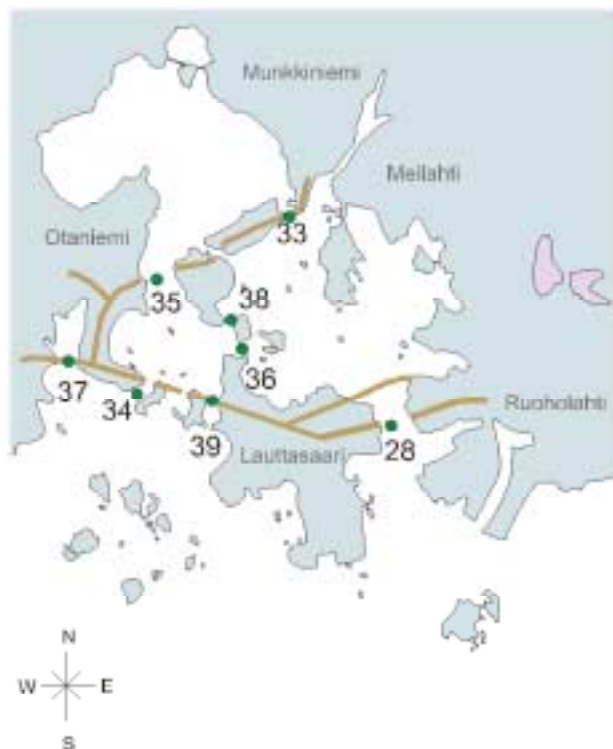
pohjukassa on myös valumat vanhalta Huopalahden kaatopaikalta. Laajalahti, Lehtisaarenselkä ja Seurasaarenselkä kuuluvat luokkaan 'tydyttävä' (III). Tyydyttäväksi luokitellun alueen ulkoraja kulkee suurin piirtein linjalla Pentala - Suvisaaristo - Miessaaren eteläpuoli - Melkki - Aabrahaminluoto - Suomenlinna - Santahamina - Jollas - Vartiosaari - Kallvikinniemi - Skata. Tämän rajan eteläpuolella veden yleinen laatu on 'hyvä' (luokka II). Ulkosaaristossa on suppeahkoilla alueilla nähtävissä molempien ulkosaariston purkutunneleiden vaikutus (veden laatu tyydyttävä, luokka III). Laatuluokkaan erinomainen (I) kuuluvia vesialueita ei seurannan piiriin kuuluvalla alueella tavata. (Pesonen 2000)

6. Virtaus- ja kulkeutumismallin kuvaus

Virtausmallin virtauksia liikkeellepanevana tekijänä ovat tuuli ja pinnankorkeuden muutokset. 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 kartoista, merikorteista tai lisämittauksilla. Hilaruutujen sisällä voi olla myös erotustarkkuutta kapeampia saaria, niemiä, kannaksia, uomia ja syvänteitä. Syvyys suunnassa vesitilavuus on vastaavasti jaettu halutun paksuisiin kerroksiin. Kunkin hilaruudun ja vesikerroksen virtausnopeudet ratkaistaan tarkastelujaksolla vaihtelevissa tuuli-, jääpeite-, kerrostumis- ja virtaamatilanteissa. Eri erotustarkkuudella ratkaistavat osamallit voidaan liittää toisiinsa sisäkkäisesti tarkentuvaksi järjestelmäksi. Näin mallissa voidaan ottaa huomioon laajan merialueen virtausten vaikutus tarkasti kuvattuun paikalliseen alueeseen. Käytetyn mallin erotustarkkuus on 50 m keskeisellä mallialueella. Tässä tutkimuksessa mallissa on mukana myös rantakitkatermi jolla voidaan mallintaa salmien pituudesta aiheutuvaa virtauskitkan suurenemista.

7. Mitatut ja nykytilan mallinnetut virtaukset

Kesällä 2000 Suomen Ympäristökeskus suoritti virtausmittauksia kuvan 4 salmissa. Yhteenveto mittauksista on taulukossa 3.



Mittauspisteet

- 28** Lauttasaaren salmi
- 33** Munkkiniemi-Kuusisaari salmi
- 34** Karhusalmi
- 35** Keilaniemi-Lehtisaari salmi
- 36** Kaskisaari-Lauttasaari salmi
- 37** Otsolahden salmi
- 38** Kaskisaari-Lehtisaari salmi
- 39** Vaskilahden salmi

Kuva 4. Kesän 2000 virtausmittauspisteitä Helsingin merialueella.

Taulukko 3. Yhteenveto mittauksista vuonna 2000.

Piste kartalla	Kokonais-syvyys (m)	Mittaus-syvyys (m)	Mittausaika	Regressio r^2 tuulen ja pinnankorkeuden suhteen
28A	9	2	heinä-elo	0.25-0.6
28B	9	6.5	heinä-elo	0.25-0.6
33	3.5	2.5	elokuu	0-0.22
34	3.5	2	heinä-elo	0.62-0.64
35A	3.5	1.5	heinä-elo	0.08-0.36
35B	4.5	3.5	elokuu	0-0.23
36	4.5	2.5	heinä-elo	0-0.52
37	3.5	1.8	elo-syys	0-0.11
38	3.5	1.5	heinä-elo	0.43-0.47
39	3.5	2	elokuu	0.42-0.46

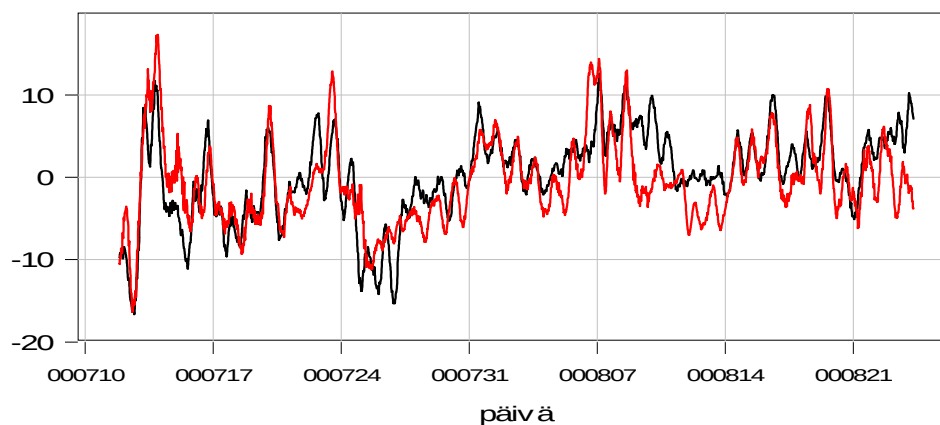
Kesän 2000 sekä vuoden 1970 (Hari 1971) virtausmittausten keskimääräiset salmivirtaukset ovat koottuna taulukossa 4. Vuoden 1970 mittaukset olivat lähes koko vuoden pituisia useimmissa mittauspisteissä. Pienimmät keskimääräiset virtausnopeudet olivat tyypillisesti loppukesällä. Loppukesän virtausnopeudet olivat vuosina 1970 ja 2000 hyvin samankaltaisia Karhusalmessa ja Lehtisaari-Keilaniemi -salmessa. Poikkeama Lauttasaaren salmessa johtunee vuodenaika ja mittarin sijaintieroista. Munkkiniemi-Kuusisaari -salmessa vuoden 1970 mitatut hetkelliset virtaukset olivat kesäaikaan noin kaksi kertaa vuoden 2000 virtauksia suurempia. Toisaalta vuoden 1970 virtausten kesäkauden resultantti oli hyvin pieni, suuruusluokkaa 1 cm/s, mutta vuoden 2000 mittauksissa resultantti oli noin 4 cm/s. Erojen syynä voi olla erot mittareiden sijainnissa.

Taulukko 4. Mitattujen hetkellisten virtausten keskiarvot vuosina 2000 ja 1970.

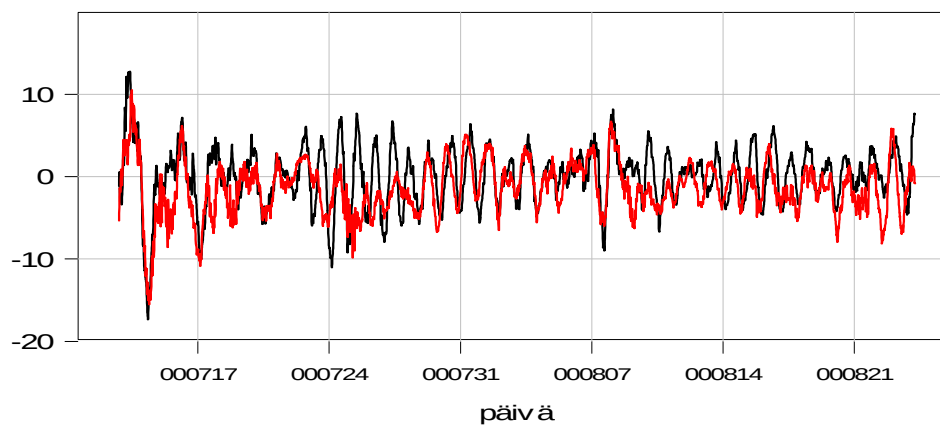
	keskiarvot	2000	Keskiarvot	1970
Lehtisaari-Keilaniemi	5.4-8.7 cm/s	heinä-elo	4-13 cm/s	9kk
Munkkiniemi-Kuusisaari	7.3 cm/s	elo	13-42 cm/s	9kk
Karhusalmi	6.9 cm/s	heinä-elo	7-12 cm/s	11kk
Lehtisaari-Kaskisaari	7.9* cm/s	heinä-elo	-	
Kaskisaari-Lauttasaari	4.1 cm/s	heinä-elo	-	
Vaskilahden salmi	5.6 cm/s	elo	-	
Lauttasaaren salmi	3-3.3 cm/s	heinä-elo	6 cm/s	marras, jouluku

* Keskiarvo on mittausjakson puoliväliin saakka, jonka jälkeen mittariin on tullut häiriö.

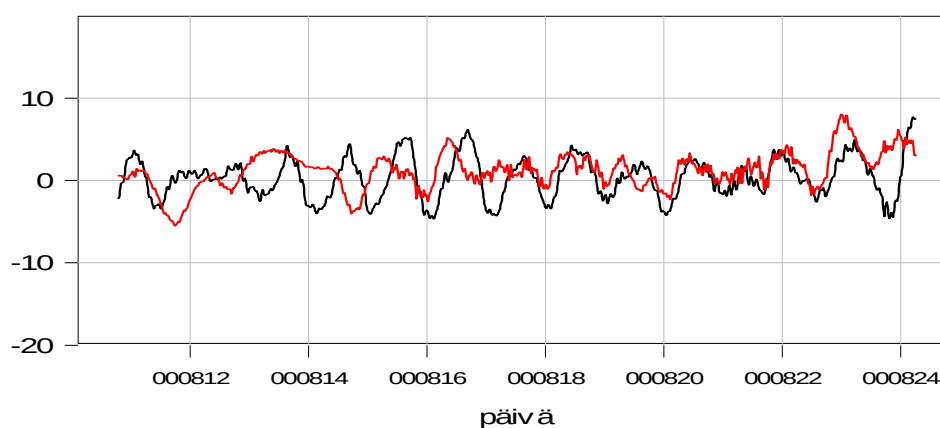
Mitattuja vuoden 2000 virtauksia on verrattu mallinnettuihin virtauksiin alueen salmissa. Laskentajakso on 45 vuorokautta, 10. 7. - 24. 8. 2000. Virtausaikasarjojen vertailut ovat kuvissa 5-13, sekä mitatun ja mallinnetun Helsingin merenpinnankorkeuden vertailu kuvassa 14. Kuvissa positiivinen virtaussuunta on pohjoiseen, paitsi Kaskisaari-Lehtisaari salmessa, jossa se on itään. Kuvien mittauksia ja malliarvoja on keskiarvostettu kahdeksan tunnin liukuvalla keskiarvostuksella. Mallissa käytetyt tuulitiedot ovat Isosaaren mittausasemalta ja mallin reunaehdoksi Suomenlahden länsipäähän on asetettu merenpinnan korkeus Hangon mittausasemalla.



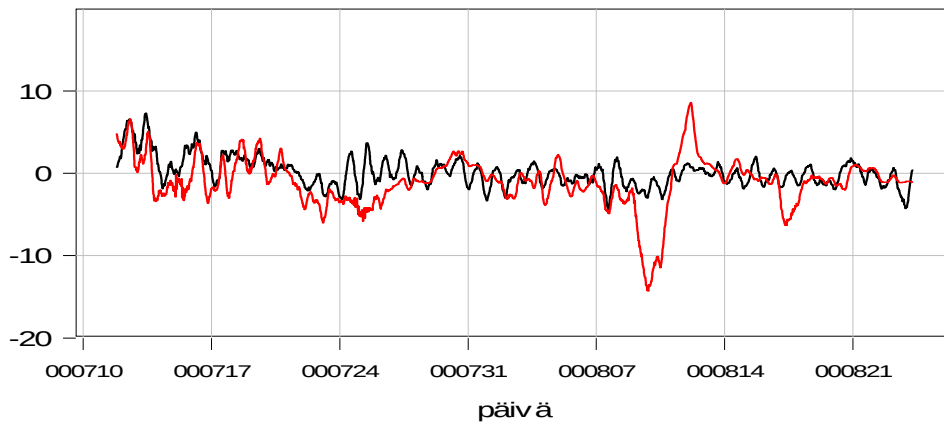
Kuva 5. Karhusalmi, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen mittaus.



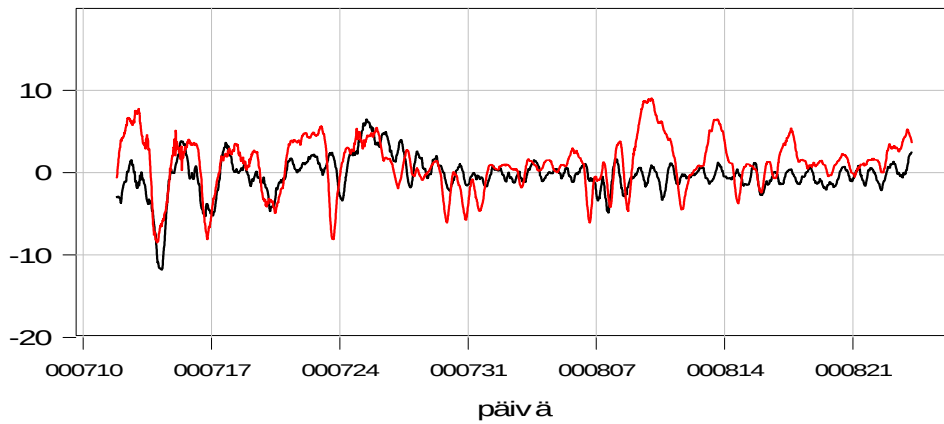
Kuva 6. Lehtisaari-Keilaniemi salmi A, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen mittaus.



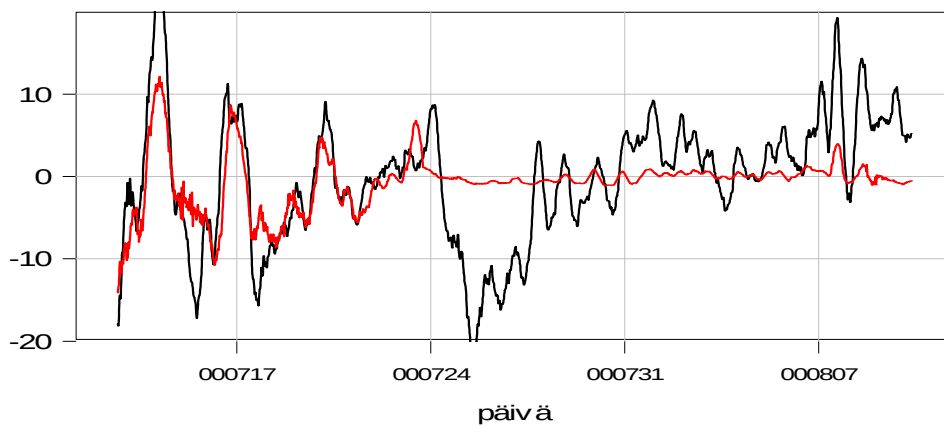
Kuva 7. Lehtisaari-Keilaniemi salmi B, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen mittaus.



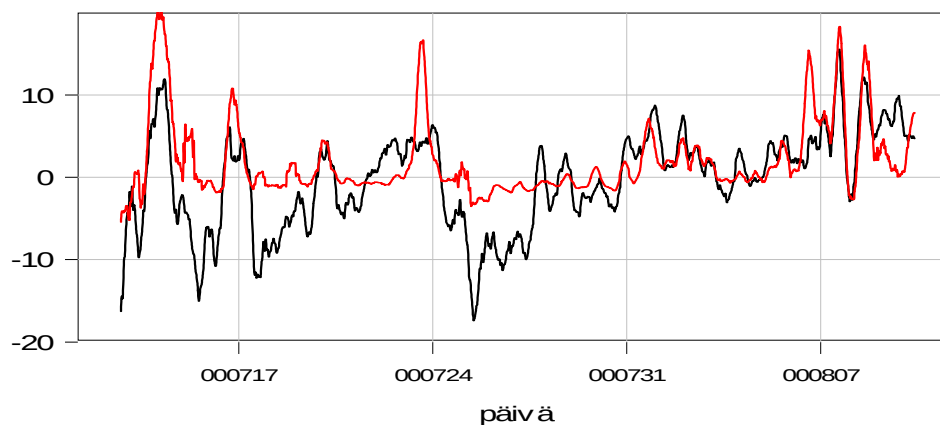
Kuva 8. Lauttasaaren silta A, virtausnopeus (cm/s) , musta malli nykytila, punainen mitta.



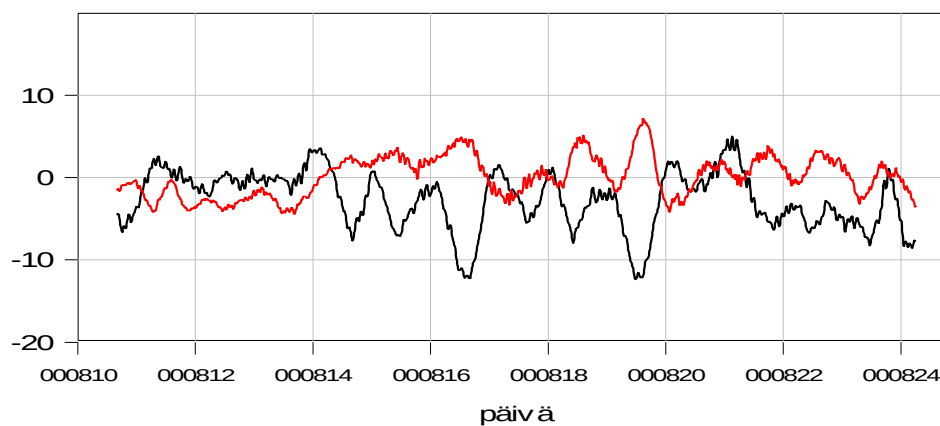
Kuva 9. Lauttasaaren silta B, virtausnopeus (cm/s) , musta malli nykytila, punainen mitta.



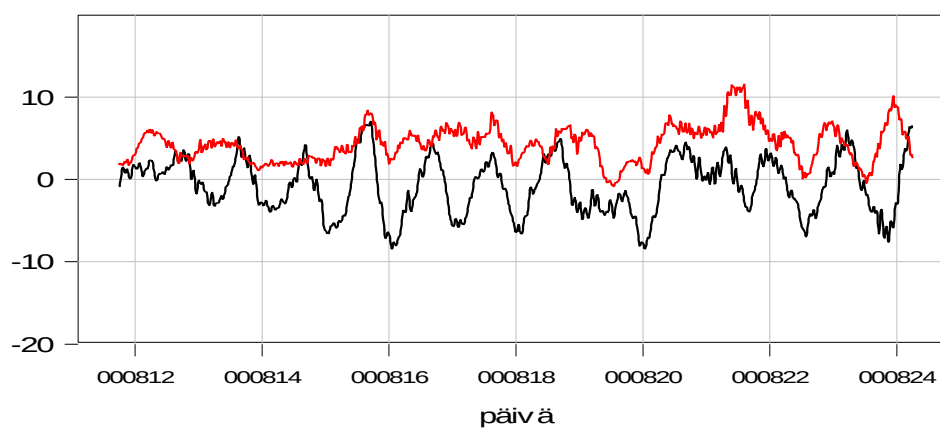
Kuva 10. Kaskisaari-Lehtisaari salmi, virtausnopeus (cm/s) , musta malli nykytila, punainen mitta.



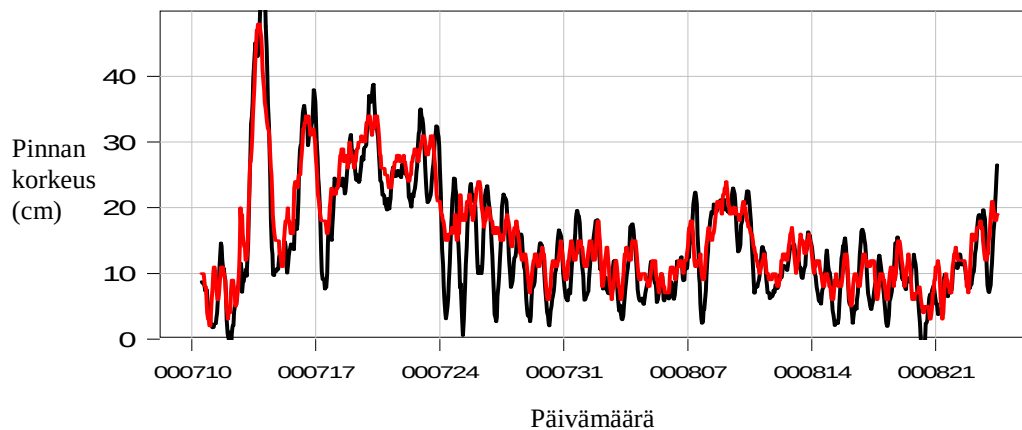
Kuva 11. Kaskisaari-Lauttasaari salmi, virtausnopeus (cm/s) , musta malli nykytila, punainen mittaus.



Kuva 12. Vaskilahden silta, virtausnopeus (cm/s) , musta malli nykytila, punainen mittaus.



Kuva 13. Munkkiniemi-Kuusisaari salmi, virtausnopeus (cm/s) , musta malli nykytila, punainen mittaus.



Kuva 14. Merenpinnankorkeus Helsingin mittausasemalla, musta malli, punainen mittaus.

Mitattujen ja mallinnettujen virtausten vertailusta saadaan seuraavat tulokset:

- Karhusalmessa mittauksen ja nykytilaa vastaavan mallin vastaavuus varsin hyvä.
- Kaskisaari-Lehtisaari salmessa vastaavuus hyvä noin mittausjakson puoliväliin saakka, jolloin mittariin on ilmeisesti tullut häiriö.
- Kaskisaari-Lauttasaari salmen mittauksissa suurimmat nopeudet ovat yksinomaan idänsuuntaisia. Mallissa yhtä suurta epäsymmetriaa ei ole, erojen taustalla voi olla mittauspaikan lähiympäristön poikkeamat.
- Lehtisaari-Keilaniemi salmessa vastaavuus on hyvä. Sekä mallissa että mittauksissa virtaukset ovat samantyyppisiä nopeita edestakaisia heilahteluja.
- Lauttasaarensalmessa virtausheilahtelut ovat pieniä, vastaavuus mittauksen alkupuolella hyvä, loppupuolella selkeästi huonompi.
- Munkkiniemen ja Kuusisaaren välisessä salmessa ja Vaskilahdensalmessa mallin ja mittauksen virtausheilahtelut ovat samaa suuruusluokkaa. Munkkiniemessä mittauksissa on selvä pohjoissuuntainen vakiokomponentti, jota ei ole mallissa. Mallissa näiden salmien virtauksia jarruttavaa pohjakitkaa on lisätty, jotta virtausnopeudet vastaisivat lähemmin mittauksia. Ilman suurempaa kitkaa mallin hetkelliset virtaukset olivat selkeästi mitattuja suurempia.

8. Täyttöjen vaikutukset virtausolosuhteisiin ja viipymään

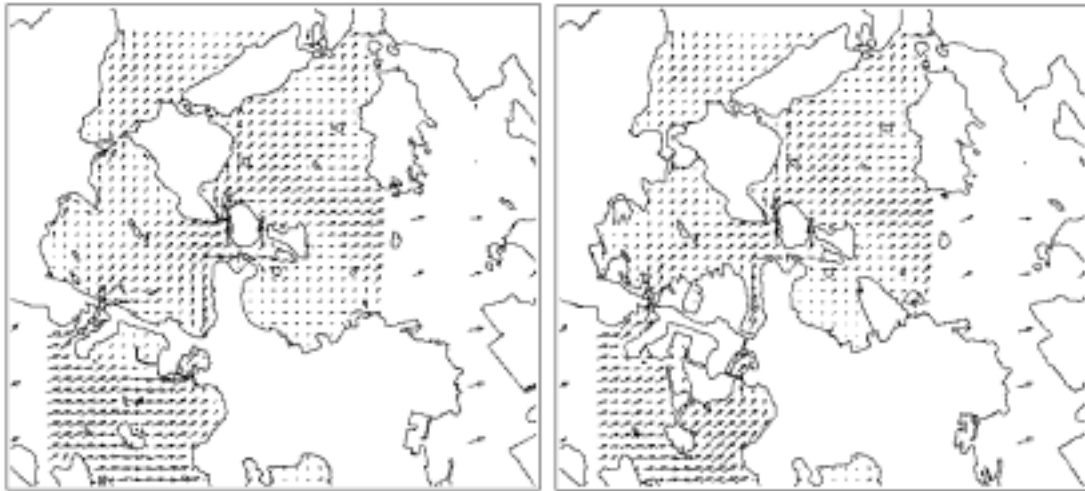
8.1 Vaikutukset avovesikaudella

Täyttöjen vaikutusta on tutkittu vertaamalla virtauskenttiä ja virtausten aikasarjoja alueen salmissa, laskemalla kulkeutumisnopeuksia virtausaikasarjoista sekä laskemalla eri merenlahtien veden viipymää.

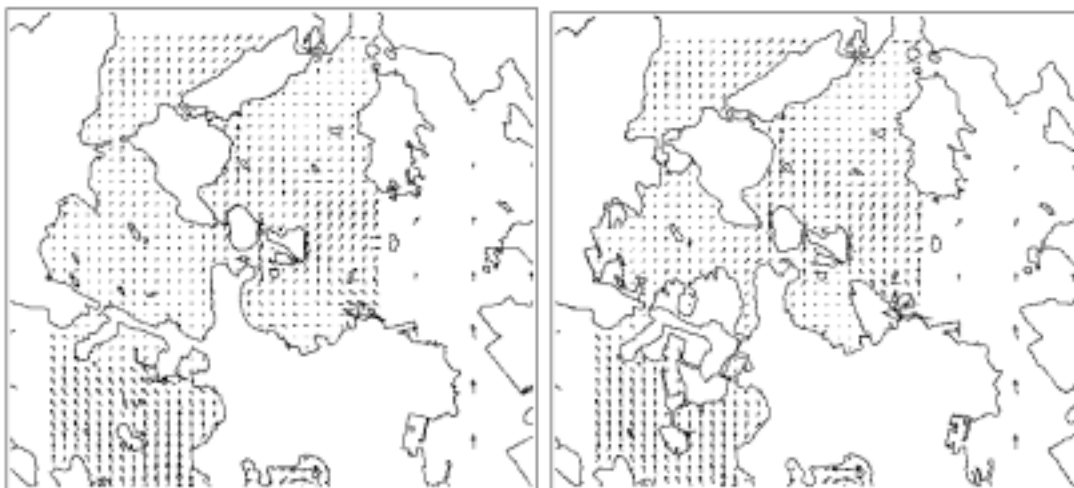
Virtauskentät vakiotuulella

Seuraavissa kuvissa (kuvat 15,16) ovat mallinnetut vakiintuneet virtauskentät kahdella tuulensuunnalla nykytilassa ja maksimivaihtoehdossa. Vakiintunut virtauskenttä tarkoittaa sitä, että mallilla on laskettu samalla tuulensuunnalla ja nopeudella niin

kauan kunnes virtaukset saavuttavat tasapainotilan. Tuulen lisäksi muita virtauksia aikaansaavia tekijöitä ei ole otettu huomioon.



Kuva 15. Virtaus pinnalla, tuuli 225°, 5 m/s. Vasen kuva nykytila, oikea maksimivaihtoehto. Selvyyden vuoksi kuviin on piirretty vain joka toinen mallin virtausnuoli.



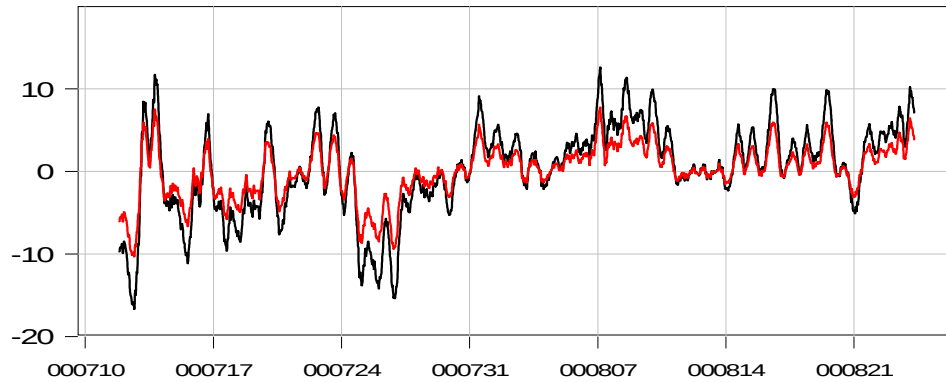
Kuva 16. Virtaus pinnalla, tuuli 135°, 5 m/s. Vasen kuva nykytila, oikea maksimivaihtoehto. Selvyyden vuoksi kuviin on piirretty vain joka toinen mallin virtausnuoli.

Kovin huomattavia eroja vakiintuneissa virtauskentissä eri vaihtoehtojen välillä ei ole havaittavissa. Selkeimmin havaittavat täyttöjen vaikutukset ovat:

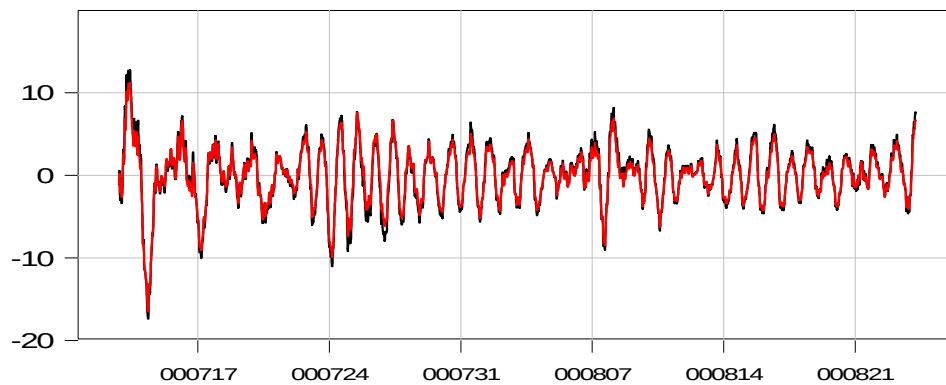
- Virtaukset Karhusalmessa ovat nykytilaa pienemmät.
- Lounaistuulella Lehtisaarenselän läpivirtaus kiertää hiukan pohjoisempaa Seurasaarenselälle.
- Virtaus Kaskisaari-Lauttasaari -salmessa on pienempi.
- Lemislahden täyttö pienentää virtauksia täytön lounaispuolisessa lahdessa.

Virtausaikaasarjat

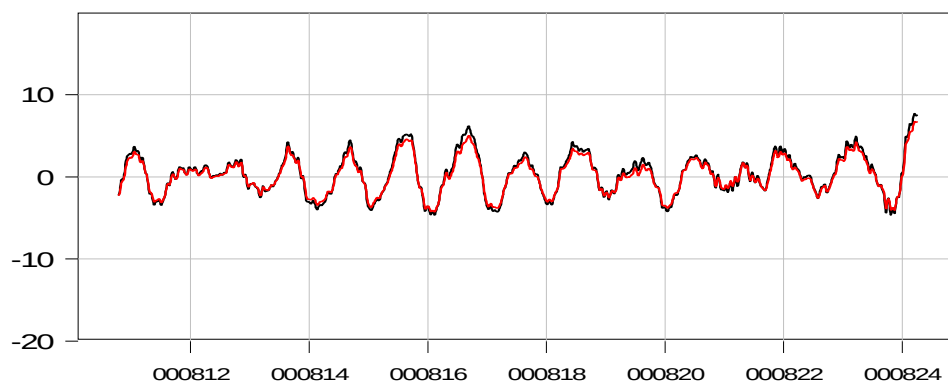
Seuraavissa kuvissa (17 – 25) on verrattu mallinnettuja nykytilan ja maksimivaihtoehtoon virtauksia alueen salmissa. Laskentajakso on 10. 7. - 24. 8. 2000. Aikasarjoja on keskiarvostettu kahdeksan tunnin liukuvalla keskiarvostuksella.



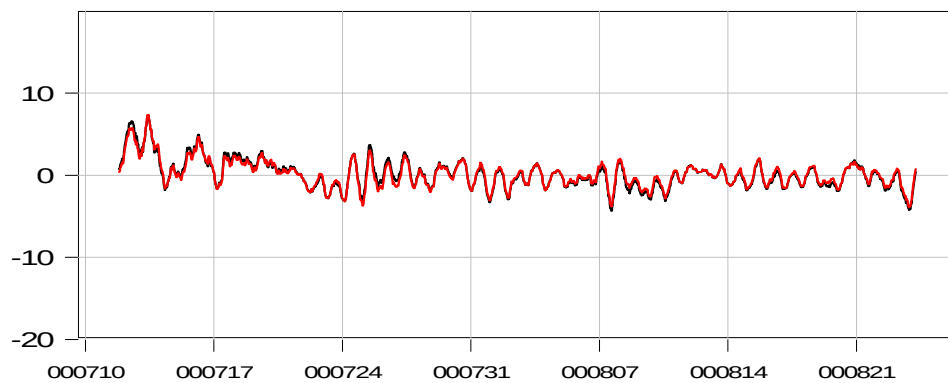
Kuva 17. Karhusalmi, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



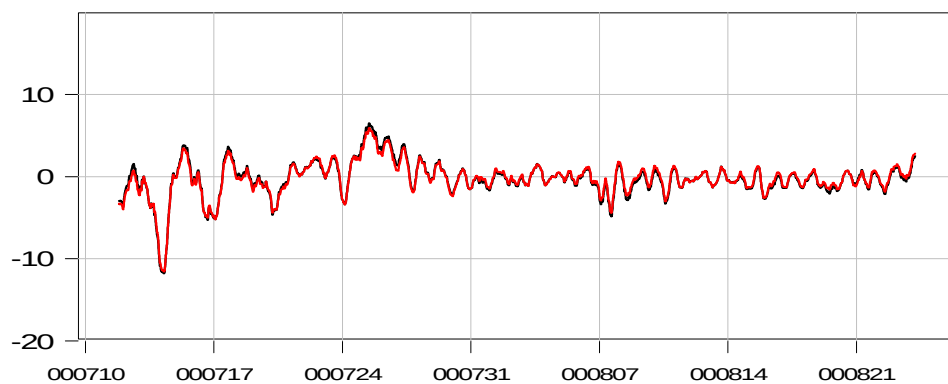
Kuva 18. Lehtisaari-Keilaniemi A, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



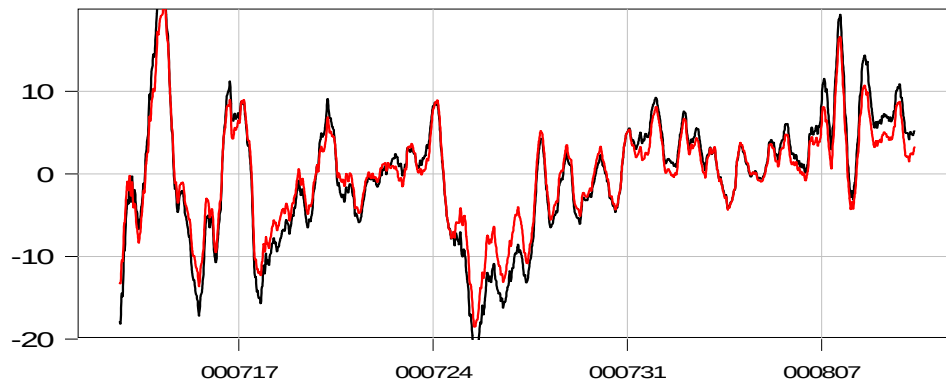
Kuva 19. Lehtisaari-Keilaniemi B, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



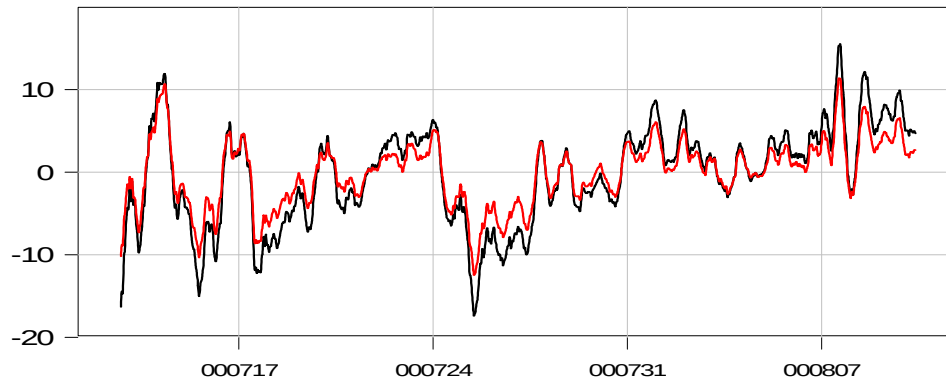
Kuva 20. Lauttasaari A, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



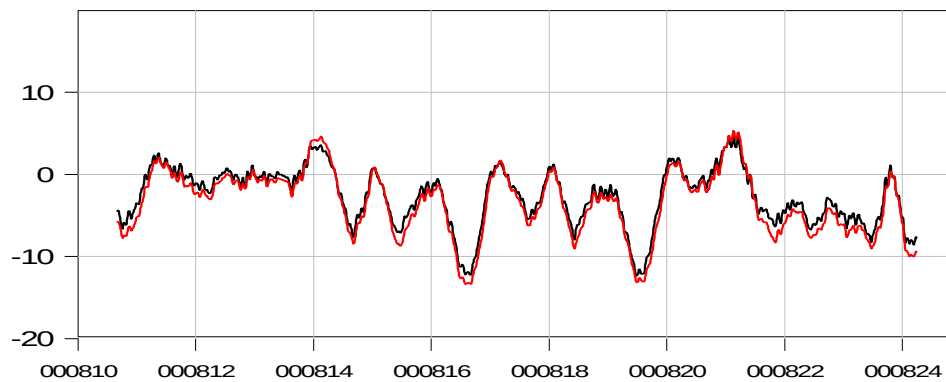
Kuva 21. Lauttasaari B, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



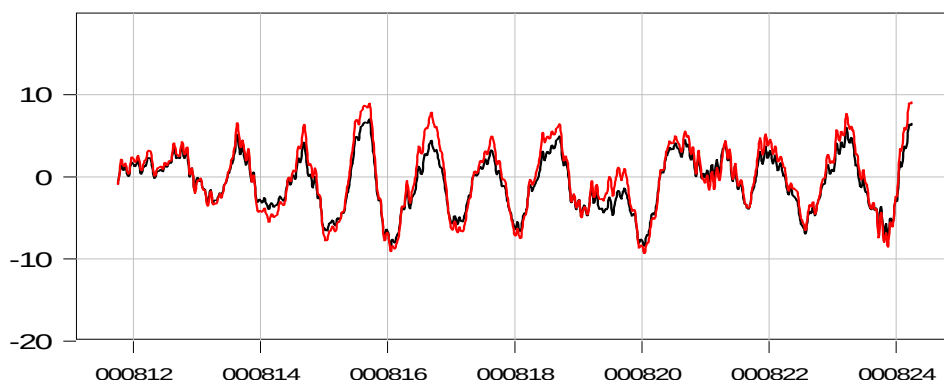
Kuva 22. Kaskisaari-Lehtisaari, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



Kuva 23. Kaskisaari-Lauttasaari, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



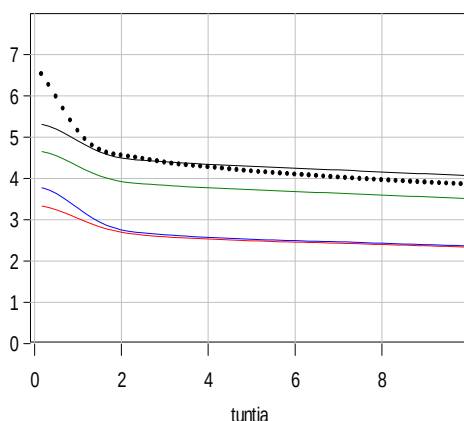
Kuva 24. Vaskilahden salmi, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



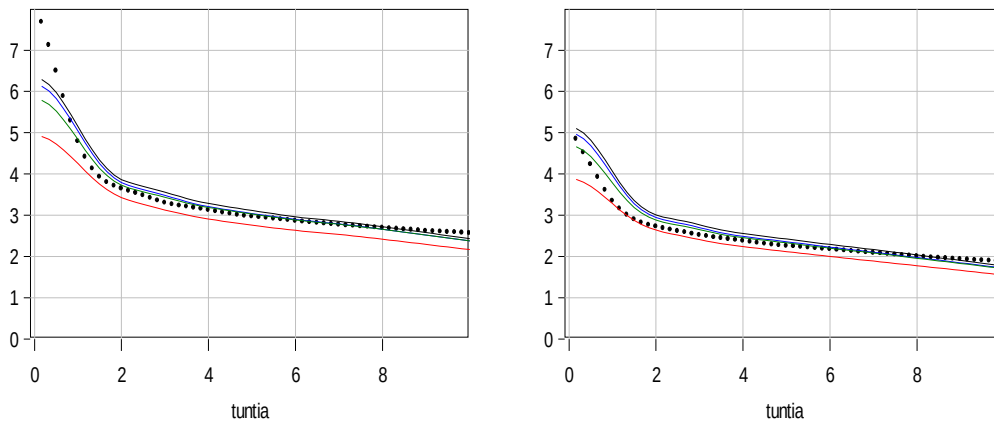
Kuva 25. Munkkiniemi-Kuusisaari, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.

Kulkeutumisnopeus

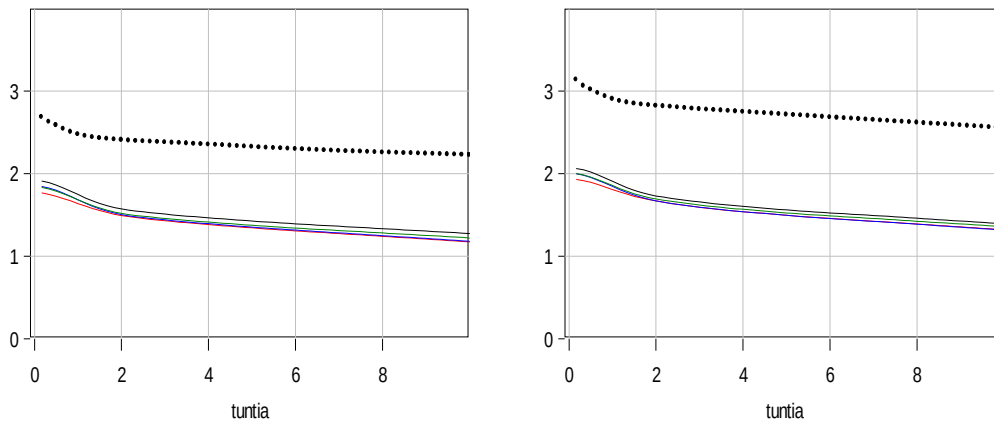
Seuraavissa kuvissa (26 – 30) on laskettu keskimääräinen kulkeutumisnopeus ajan suhteen. Esimerkiksi kuuden tunnin kulkeutumisnopeus on saatu laskemalla kuvitteellisen vedessä olevan kappaleen keskimääräinen siirtymä salmen keskipisteestä kuuden tunnin aikana. Matemaattisemmin ilmaistuna kulkeutumisnopeus on ajanjaksoa vastaavalla ikkunalla lasketun salmensuuntaisen virtausnopeuden resultantin itseisarvo keskiarvostettuna yli koko mallinnusjakson. Lyhyellä tarkasteluajalla kulkeutumisnopeudessa ovat mukana myös nopeat edestakaiset heilahtelut. Pitemmällä tarkastelujaksolla edestakaiset heilahtelut suodattuvat pois mikäli heilahteluiden jakso on tarkastelujaksoa lyhyempi, jolloin kulkeutumisnopeus kuvaa heilahteluista riippumatonta keskimääräistä virtausta.



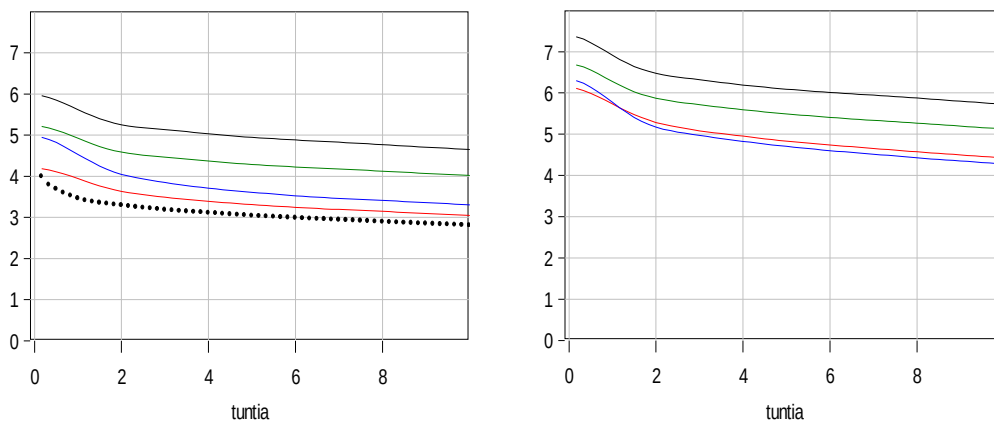
Kuva 26. Karhusalmi, keskimääräinen kulkeutumisnopeus (cm/s). Musta pisteviiva on mittaus, musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto, sininen vaihtoehto 2, ja vihreä vaihtoehto 3.



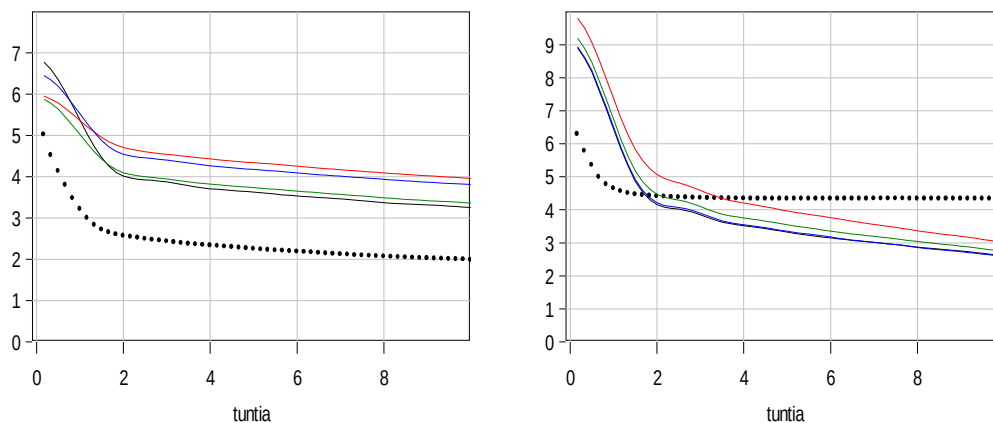
Kuva 27. Lehtisaari-Keilaniemi A (vasen kuva), Lehtisaaren-Keilaniemi B, keskimääräinen kulkeutumisnopeus (cm/s). Musta pisteviiva on mittaus, musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto, sininen vaihtoehto 2 ja vihreä vaihtoehto 3.



Kuva 28. Lauttasaari A (vasen kuva), Lauttasaari B , keskimääräinen kulkeutumisnopeus (cm/s). Musta pisteviiva on mittaus, musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto, sininen vaihtoehto 2 ja vihreä vaihtoehto 3.



Kuva 29. Kaskisaari-Lauttasaari (vasen kuva), Kaskisaari-Lehtisaari , keskimääräinen kulkeutumisnopeus (cm/s). Musta pisteviiva on mittaus, musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto, sininen vaihtoehto 2 ja vihreä vaihtoehto 3.



Kuva 30. Vaskilahdensalmi (vasen kuva), Munkkiniemi-Kuusisaari (oikea kuva), keskimääräinen kulkeutumisnopeus (cm/s). Musta pisteviiva on mittaus, musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto, sininen vaihtoehto 2 ja vihreä vaihtoehto 3.

Virtausaikasarjojen ja kulkeutumisnopeuden perusteella voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

- Karhusalmen kulkeutumisnopeus maksimivaihtoehdossa ja vaihtoehdossa 2 pienenee noin 40 %. Vaihtoehdossa 3 pienennys on noin 10%
- Lehtisaari-Keilaniemi -salmen maksimitäyttövaihtoehdossa kulkeutumisnopeus pienenee 10-20%. Vaihtoehtoisissa 2 ja 3 ei ole oleellista pienennystä. Mikäli virtausta Munkkiniemessä ei rajoiteta suuremmalla mallikitkalla, on kulkeutumisnopeuden pieneminen Lehtisaari-Keilaniemi -salmessa maksimivaihtoehdossa jopa 50%.
- Lauttasaarensalmessa kulkeutumisnopeus ei pienene merkittävästi missään täyttövaihtoehdossa.
- Kaskisaari-Lehtisaari -salmen maksimivaihtoehdossa ja vaihtoehdossa 2 kulkeutumisnopeus pienenee noin 20 % . Vaihtoehdossa 3 pienennys on noin 10%.
- Kaskisaari-Lauttasaari -salmen maksimivaihtoehdossa pienennys noin 30%, vaihtoehdossa 2 noin 20% ja vaihtoehdossa 3 noin 10%.
- Munkkiniemessä maksimivaihtoehdossa kulkeutumisnopeus kasvaa 10-20%. Muissa vaihtoehtoisissa ei ole oleellista muutosta.
- Vaskilahdensalmessa täytöt sekä kasvattavat että pienentävät kulkeutumisnopeutta, riippuen tarkastelujakson pituudesta. Maksimivaihtoehdossa lyhytkestoisten heilahteluiden keskimääräiset nopeudet pienenevät noin 20 % ja pitempijaksoiset kasvavat 20%. Vaihtoehdossa 2 vastaavat luvut ovat 10% ja 20% sekä vaihtoehdossa 3 20% ja 0%.

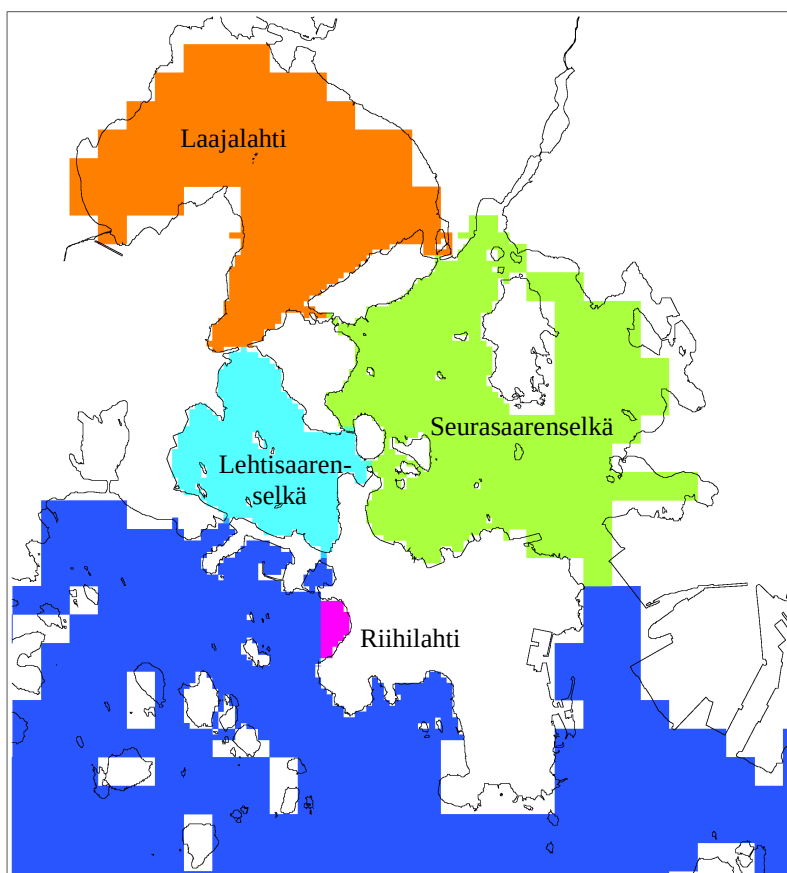
Viipymä

Viipymällä tarkoitetaan keskimääräistä aikaa, jonka vesi viipyy tarkastelualueella. Viipymää on laskettu neljässä lahdessa, Laajalahdella, Lehtisaarenselällä, Seurasaarenselällä ja Riihilahdessa. Alueiden määrittelyt ovat kuvassa 31.

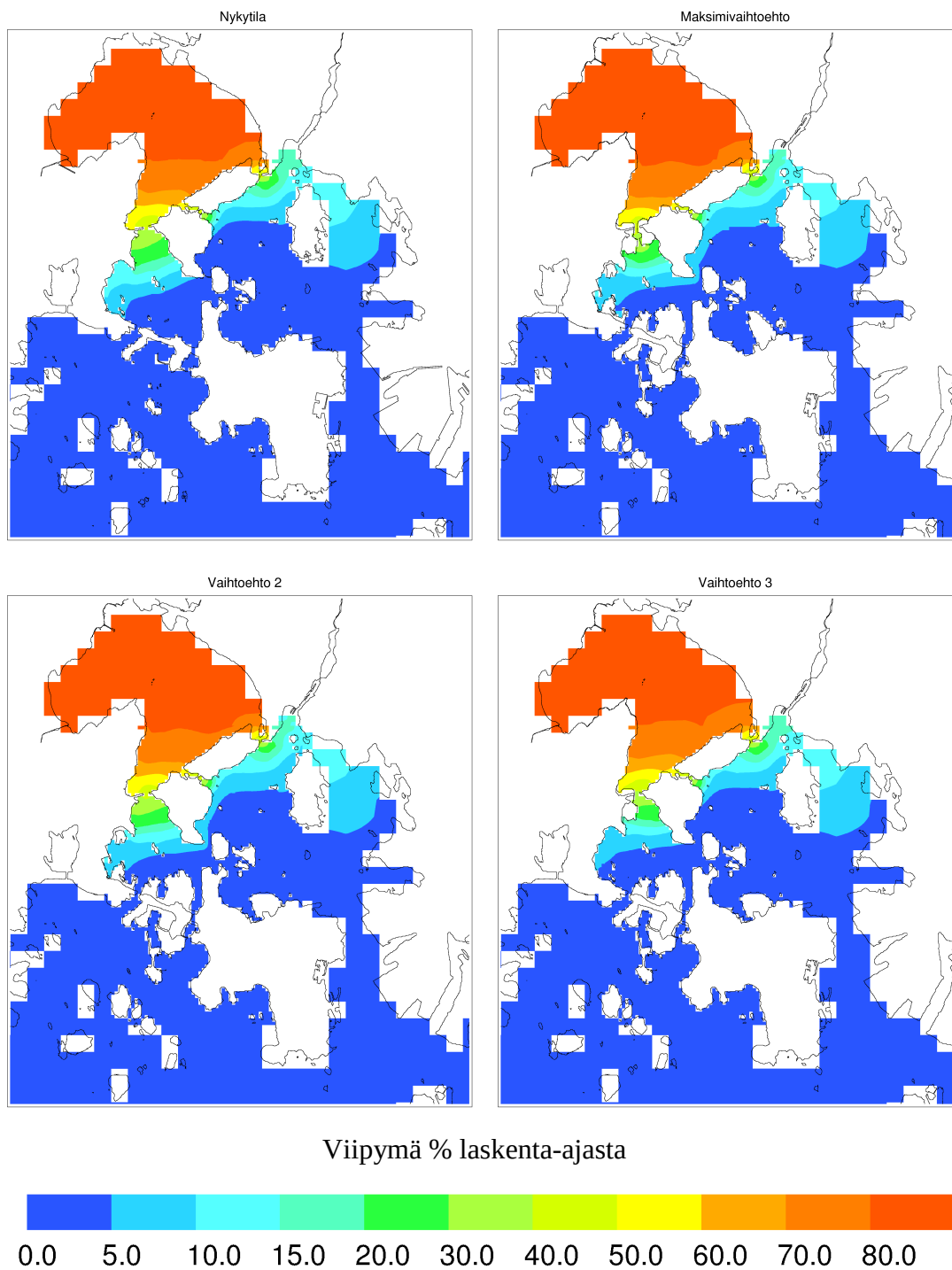
Riihilahdessa on verrattu vain nykytilaa ja maksimivaihtoehtoa, muissa alueissa kaikkia vaihtoehtoja. Laskentajakso on 10. 7. - 24. 8. 2000 eli yhteensä 45 päivää.

Tässä tutkimuksessa viipymä on saatu laskemalla veden keskimääräinen ikä kullakin tarkastelualueella (Józsa 2000). Esimerkiksi Riihilahten viipymä saadaan kasvattamalla mallinnuksen aikana Riihilahteen liittyvää ikäindeksiä lahden sisäpuolella, mutta ei ulkopuolella. Riittävän pitkän mallinnusjakson jälkeen lahdella olevan veden keskimääräinen ikä vastaa keskimääräistä viipymää.

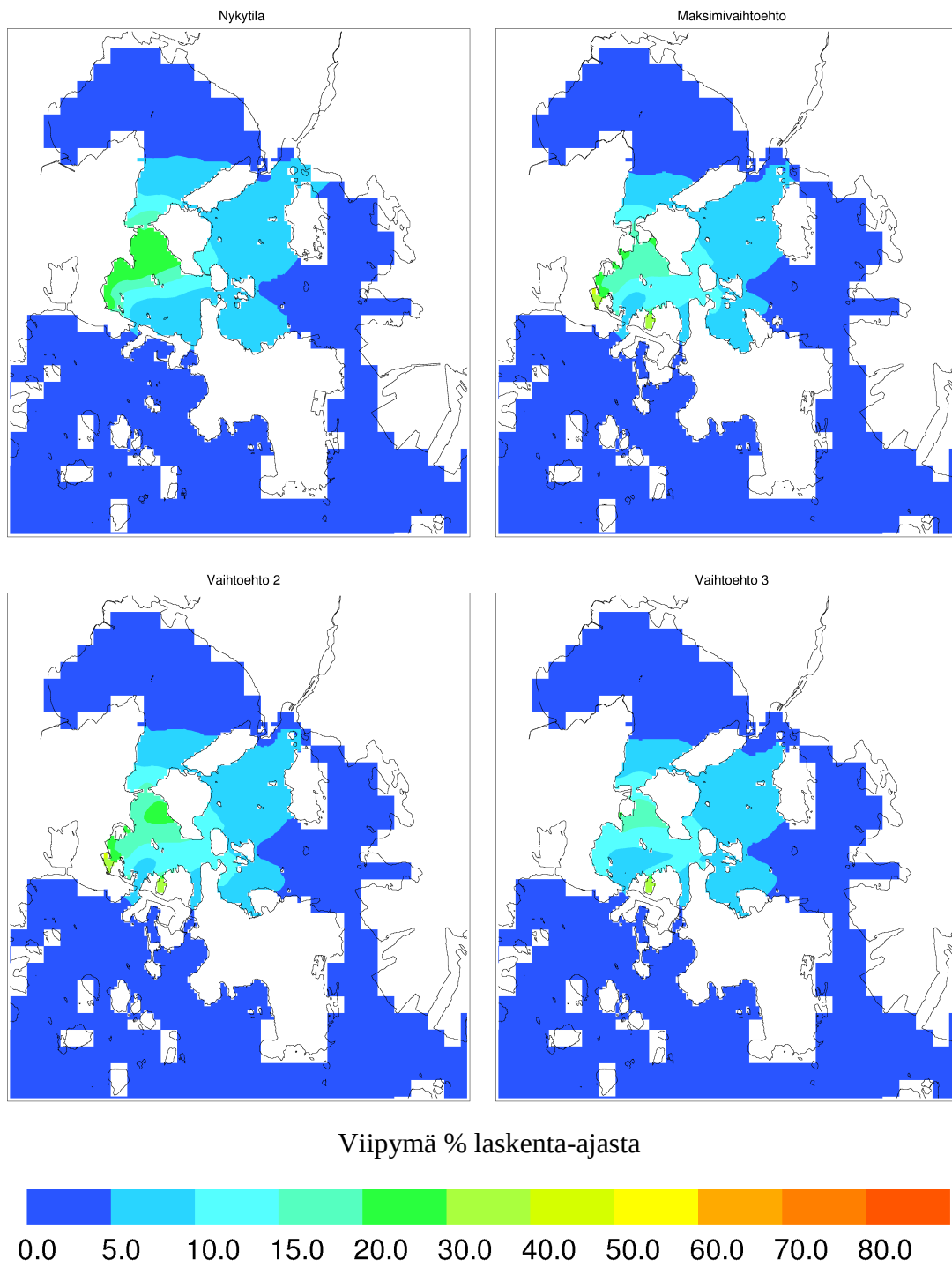
Kuvissa 32-34, 36 viipymä on annettu prosenttina laskenta-ajasta. Jos viipymä on 10% tarkoittaa se sitä, että vesi on viipynyt alueella keskimäärin 4.5 päivää. Viipymän muutokset on annettu suhteellisina muutoksina verrattuna nykytilaan. Jos muutos on 100% tarkoittaa se sitä, että vesi viipyy alueella kaksi kertaa kauemmin nykytilaan verrattuna.



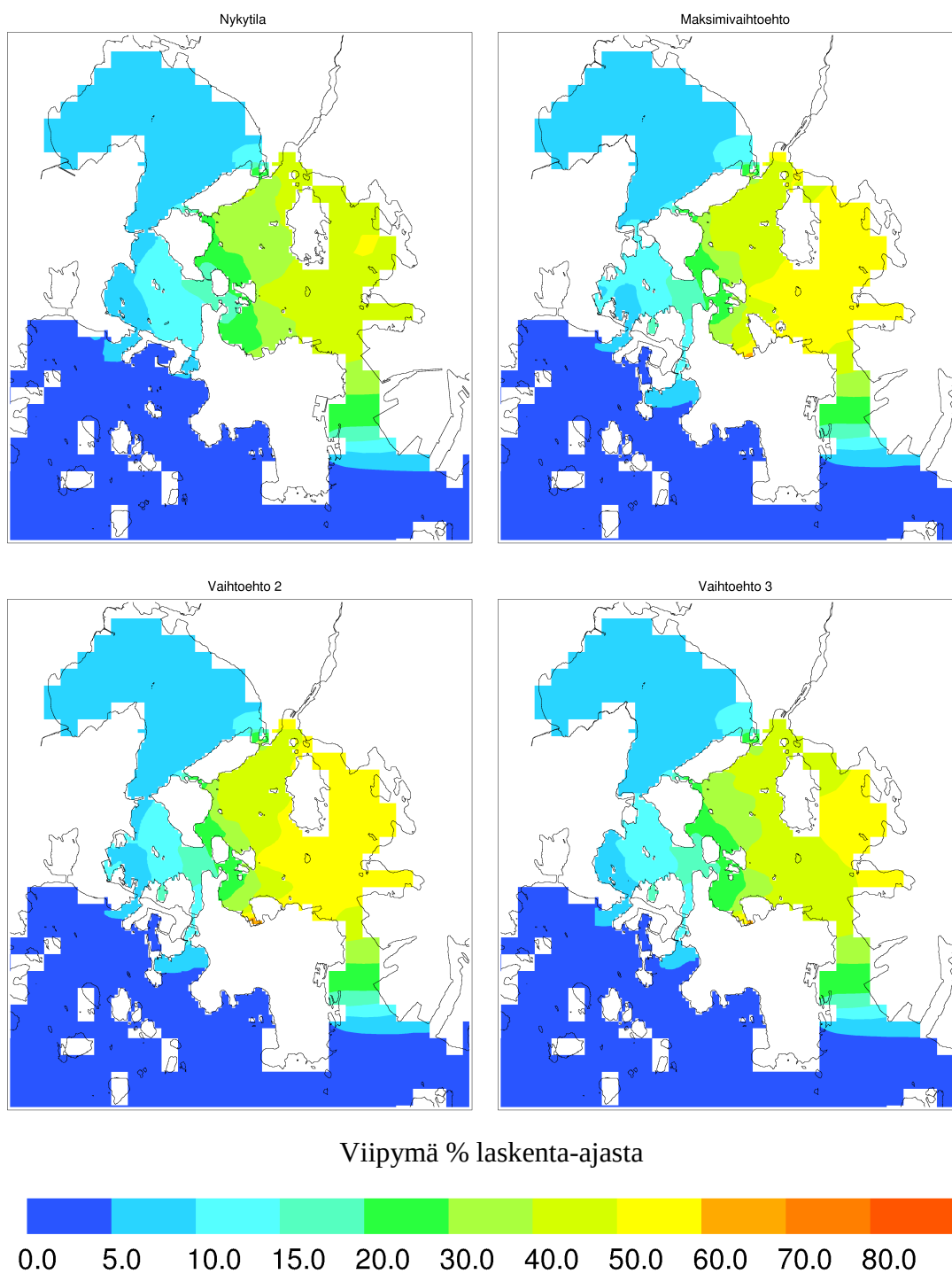
Kuva 31. Viipymäalueiden määrittely.



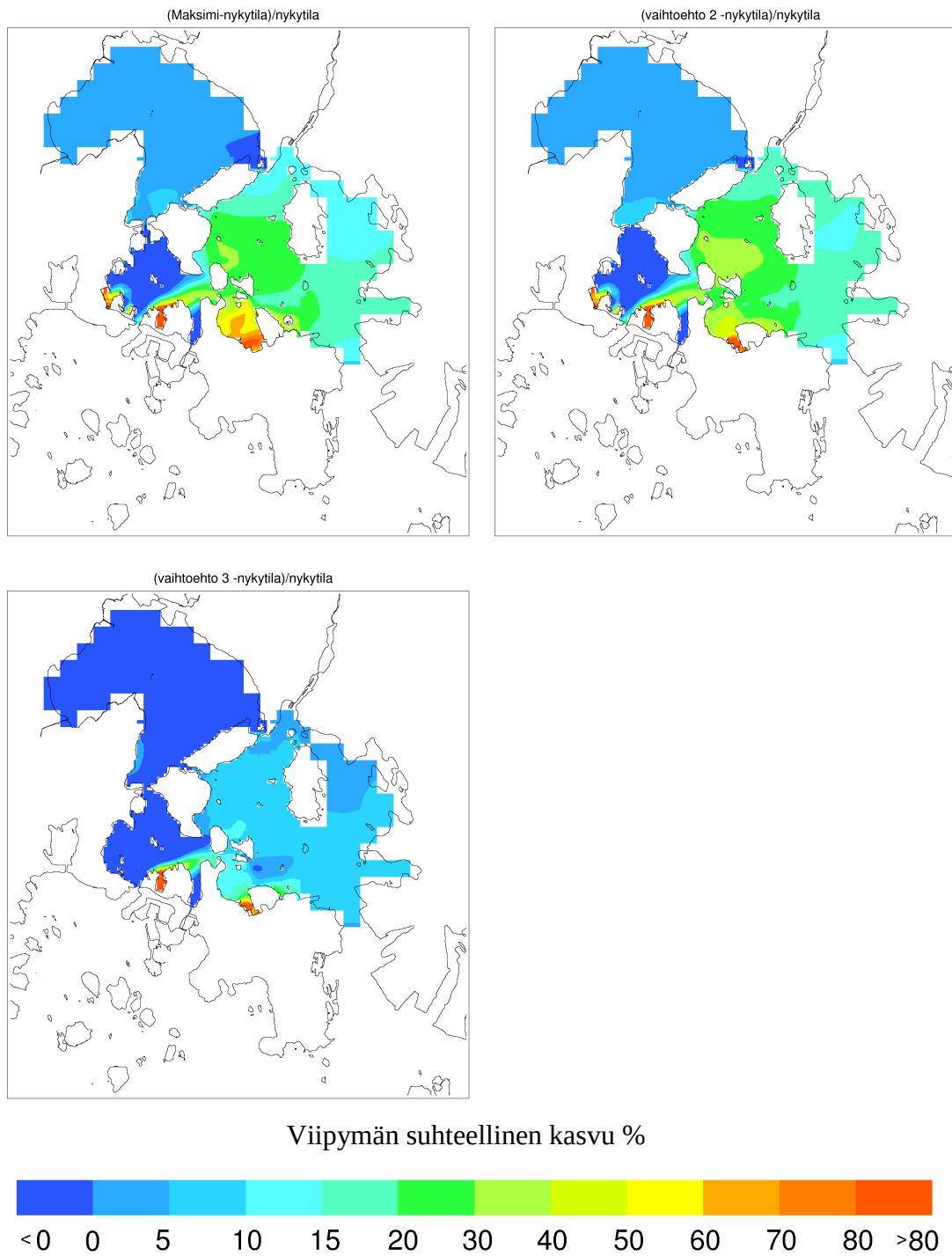
Kuva 32. Keskimääräinen viipymä Laajalahdella. Kuvat ovat nykytila, maksimivaihtoehto, vaihtoehto 2 ja vaihtoehto 3.



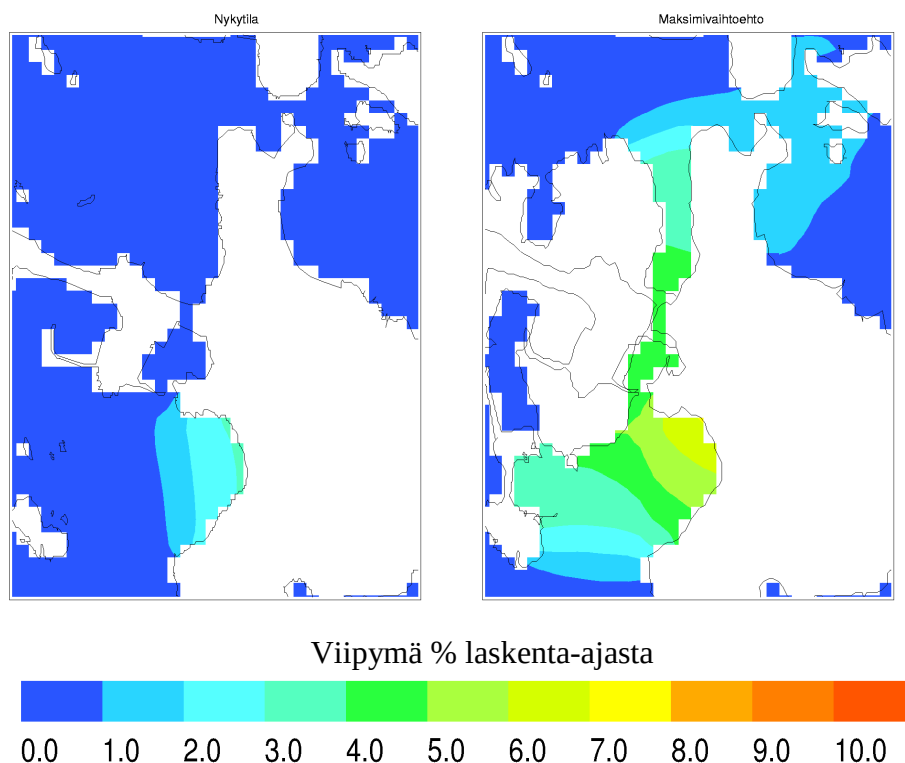
Kuva 33.. Keskimääräinen viipymä Lehtisaarenselällä. Kuvat ovat nykytila, maksimivaihtoehto, vaihtoehto 2 ja vaihtoehto 3.



Kuva 34. Keskimääräinen viipymä Seurasaarenselällä. Kuvat ovat nykytila, maksimivaihtoehto, vaihtoehto 2 ja vaihtoehto 3.



Kuva 35. Viipymän suhteellinen kasvu verrattuna nykytilaan. Kuviin on yhdistetty muutokset kunkin alueen sisäpuolisessa viipymässä. Kuvissa nykytilan viipymää on verrattu maksimivaihtoehtoon, vaihtoehtoon 2 ja vaihtoehtoon 3.



Kuva 36. Keskimääräinen kesäkauden viipymä Riihilahdessa nykytilassa ja maksimivaihtoehdossa.

Täyttöjen vaikutus viipymään voidaan tiivistää seuraaviin johtopäätöksiin:

- Laajalahden vaihdunta Lehtisaaren- ja Seurasaarenselän suuntiin on varsin pientä. Laskenta-aika ei ole riittävän pitkä, jotta keskimääräinen viipymä ehtisi saavuttaa tasapainotilan. Tällä laskenta-ajalla viipymä lisääntyy noin 5 % maksimivaihtoehdossa ja vaihtoehdossa 2. Vaihtoehtoon 3 ja nykytilan välillä ei juuri ole eroa. Laajalahden vaihdunta osoittautui olevan hyvin herkkä Munkkiniemen ja Kuusisaaren välisille virtauksille. Ilman ylimääräistä kitkaa Munkkiniemessä Laajalahden vaihdunta oli huomattavasti nopeampaa ja täytön suhteellinen vaikutus selvästi suurempi, jopa useita kymmeniä prosentteja.
- Lehtisaarenselällä suurimmat muutokset ovat täyttöjen vaikutuksesta syntyvissä pienissä lahdelmissa. Näissä veden viipymä noin kaksinkertaistuu. Täyttöjen vaikutuksesta Karhusalmesta Seurasaarenselälle kulkeva virtaus ohjautuu pohjoisemmaksi. Tämän seurauksena viipymä Koivusaaren täyttöjen pohjoisosan ja Kaskisaari-Lauttasaari -salmen välisellä alueella kasvaa noin 30%. Vastaavasti viipymä pienenee Lehtisaarenselän keski- ja pohjoisosissa. Suljettuja uusia lahdelmia lukuun ottamatta selän vedenvaihdunta on varsin voimakasta eikä täytöillä ole oleellista merkitystä. Vaihtoehdossa 3 viipymän lisäys on hiukan muita vaihtoehtoja pienempi.
- Seurasaarenselällä vaikutukset keskittyvät Lemislahteen ja Seurasaarenselän länsipuolelle. Suurin muutos on Lemislahdella, jossa viipymä kasvaa suurimmillaan 70-80%. Kaskisaaren itäpuolella viipymä kasvaa

maksimivaihtoehdossa ja vaihtoehdossa 2 noin 30 % ja vaihtoehto 3:ssa 5-10%. Selkeästi pienin muutos on vaihtoehdossa 3.

- Riihilahti sijaitsee ulomman meren puolella ja veden vaihdunta on varsin nopeaa. Keskimääräinen viipymä nykytilassa on 2% laskenta-ajasta eli alle yksi vuorokausi. Maksimitäyttövaihtoehdossa viipymä kasvaa 100-200% eli kahdesta vajaaseen kolmeen päivään.

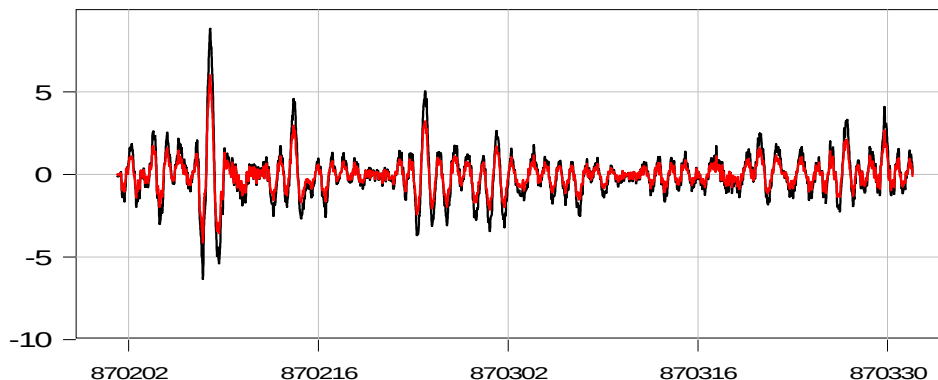
8.2 Vaikutukset jääpeitteisellä kaudella

Talvikaudeksi valittiin viimeisin ankara jäätalvi vuonna 1987. Laskentajakso on kaksi kuukautta, helmi- ja maaliskuu. Mallissa oletetaan, että Suomenlahti on kokonaan jäässä eli mallissa ovat mukana vain mitatut Hangon pinnankorkeudet eikä tuulta.

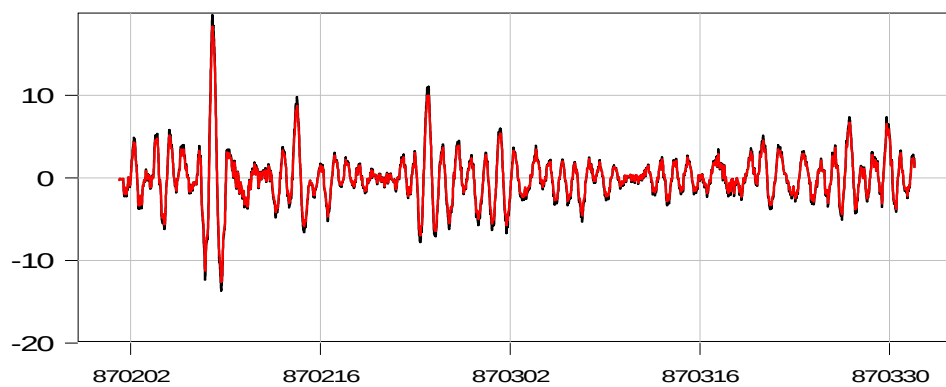
Täyttöjen vaikutusta on tutkittu vertaamalla virtausten aikasarjoja alueen salmissa, laskemalla kulkeutumisnopeuksia virtausaikasarjoista sekä laskemalla eri merenlahtien veden viipymää.

Virtausaikasarjat

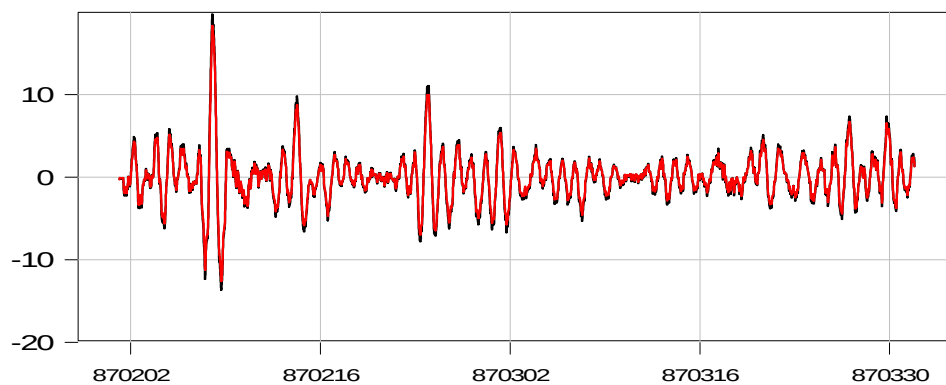
Seuraavissa kuvissa on verrattu mallinnettuja nykytilan ja maksimivaihtoehdon virtauksia alueen salmissa. Laskentajakso on 1.2. - 31. 3. 1987. Aikasarjoja on keskiarvostettu kahdeksan tunnin liukuvalla keskiarvostuksella.



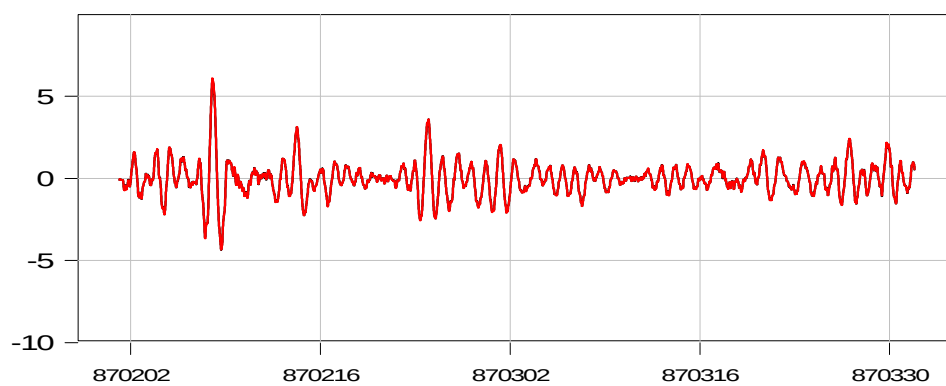
Kuva 37. Karhusalmi, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



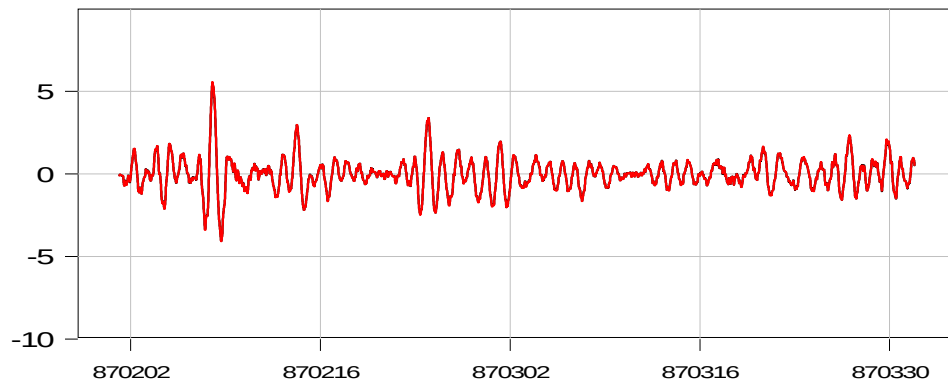
Kuva 38. Lehtisaari-Keilaniemi A, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



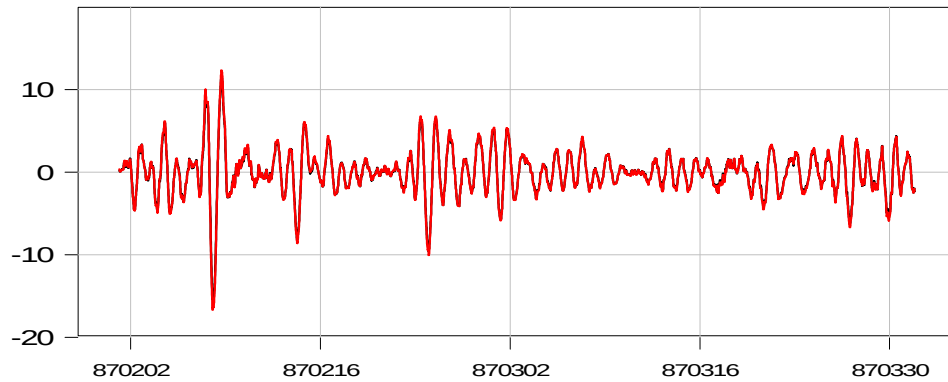
Kuva 39. Lehtisaari-Keilaniemi B, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



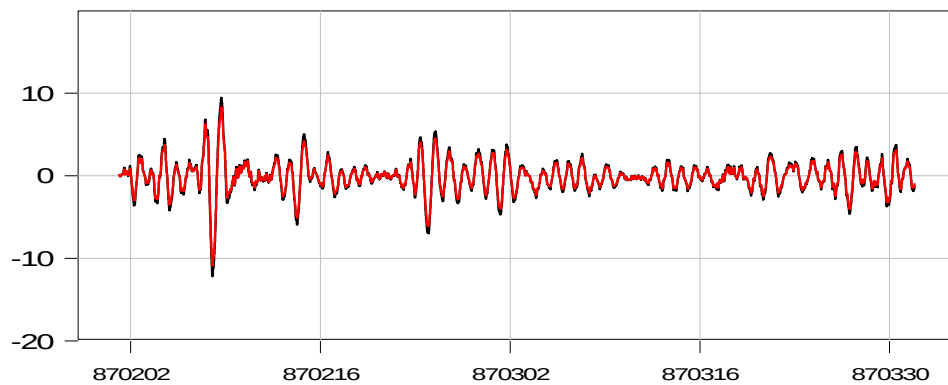
Kuva 40. Lauttasaari A, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



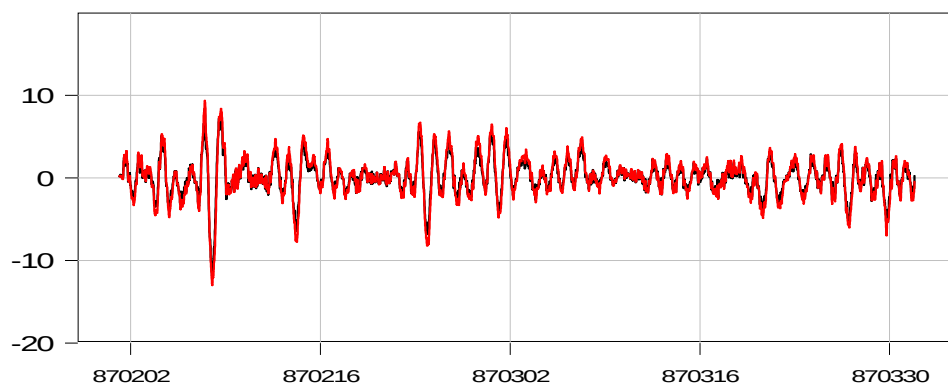
Kuva 41. Lauttasaari B, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



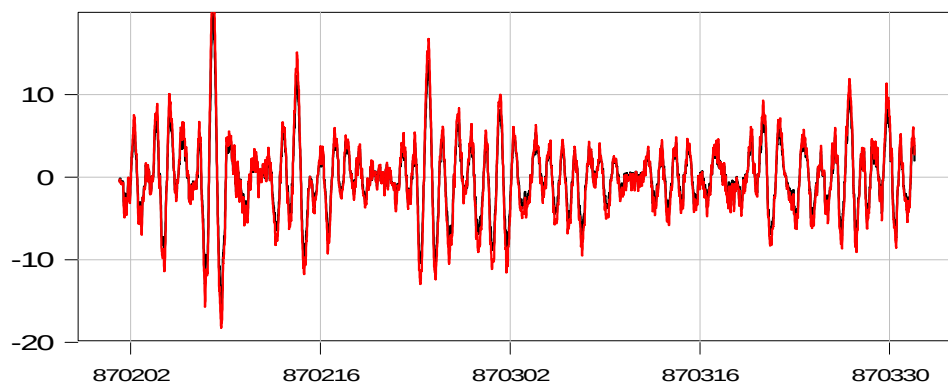
Kuva 42. Kaskisaari-Lehtisaari salmi, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



Kuva 43. Kaskisaari-Lauttasaari salmi, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



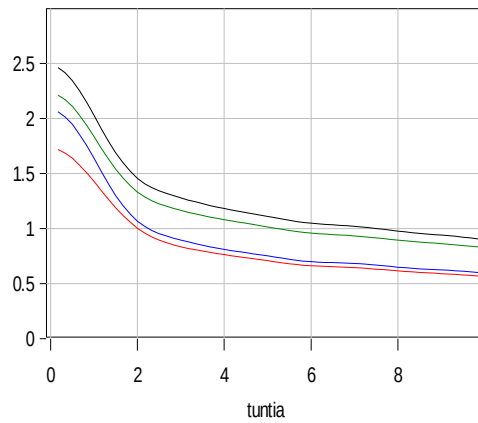
Kuva 44. Vaskilahdensalmi, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.



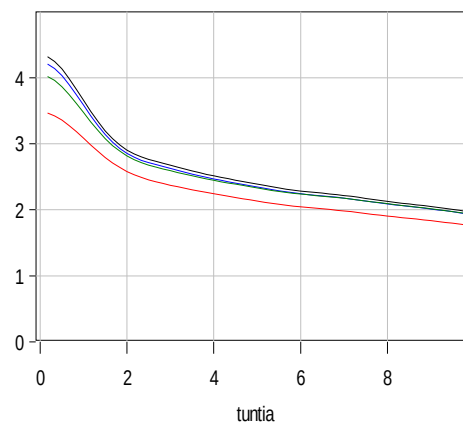
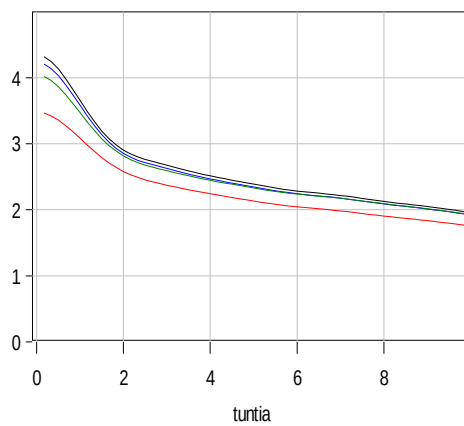
Kuva 45. Munkkiniemi-Kuusisaari, virtausnopeus (cm/s), musta malli nykytila, punainen maksimivaihtoehto.

Kulkeutumisnopeus

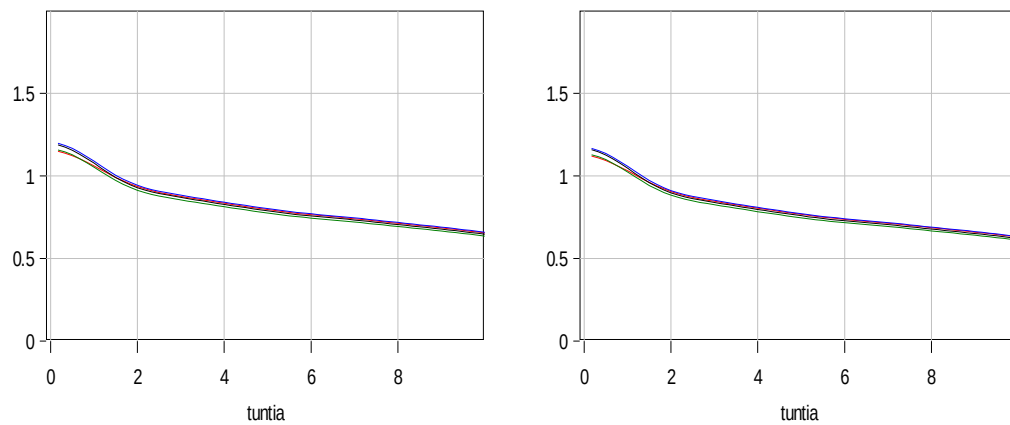
Seuraavissa kuvissa on laskettu talvikauden keskimääräinen kulkeutumisnopeus vastaavasti kuten kesäkaudella.



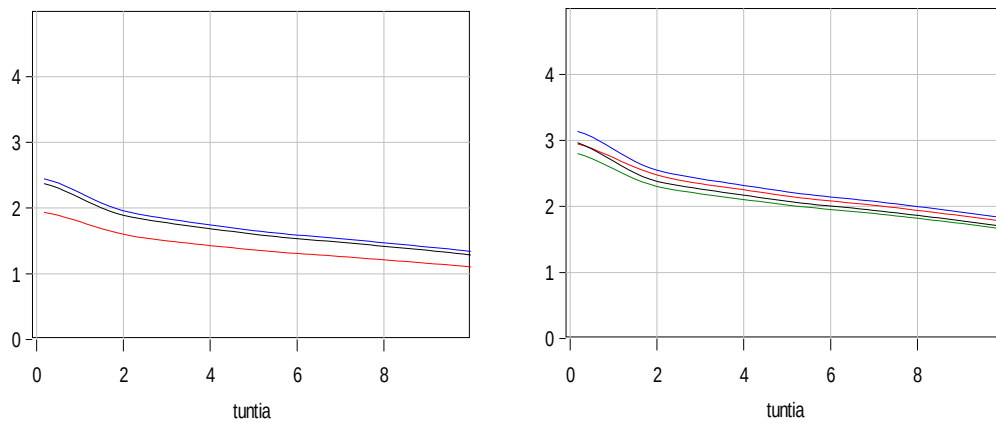
Kuva 46. Karhusalmi, keskimääräinen kulkeutumisnopeus (cm/s). Musta on malli nykytilassa, punainen maksimivaihtoehto, sininen vaihtoehto 2 ja vihreä vaihtoehto 3.



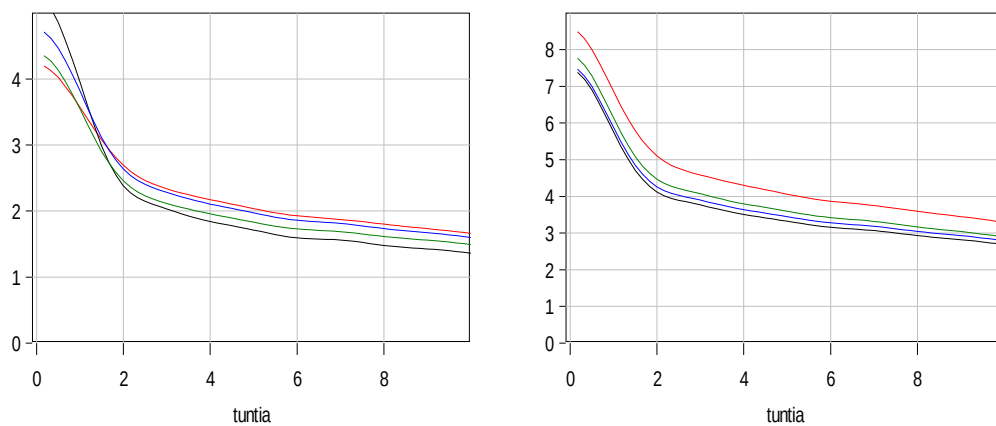
Kuva 47. Lehtisaari-Keilaniemi A, B. Musta on malli nykytilassa, punainen maksimivaihtoehto, sininen vaihtoehto 2 ja vihreä vaihtoehto 3.



Kuva 48. Lauttasaari A,B. Musta on malli nykytilassa, punainen maksimivaihtoehto, sininen vaihtoehto 2 ja vihreä vaihtoehto 3.



Kuva 49. Kaskisaari-Lauttasaari, Kaskisaari-Lehtisaari. Musta on malli nykytilassa, punainen maksimivaihtoehto, sininen vaihtoehto 2 ja vihreä vaihtoehto 3.



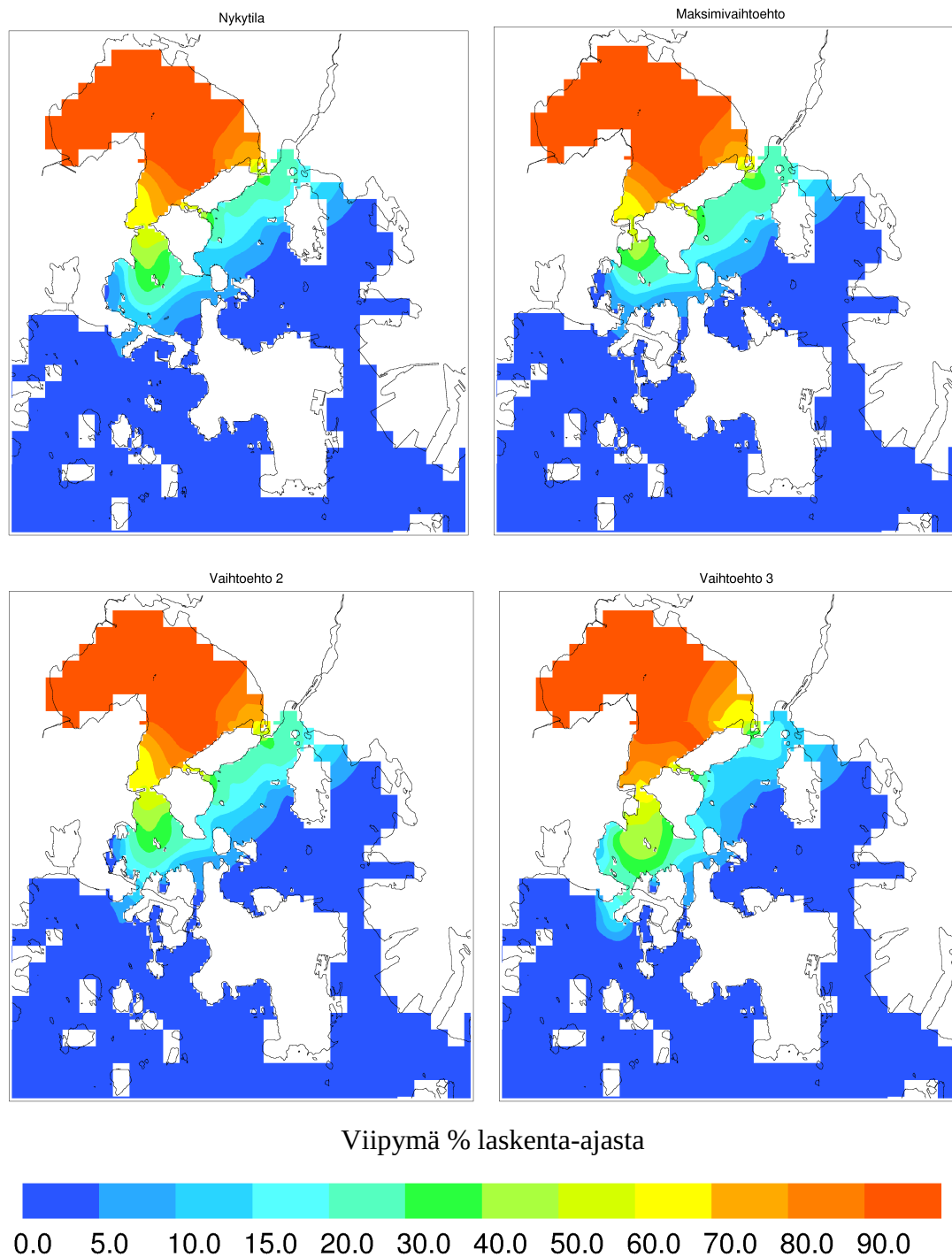
Kuva 50. Vaskilahdensalmi, Munkkiniemi-Kuusisaari. Musta on malli nykytilassa, punainen maksimivaihtoehto, sininen vaihtoehto 2 ja vihreä vaihtoehto 3.

Virtausaikasarjojen ja kulkeutumisnopeuden perusteella voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

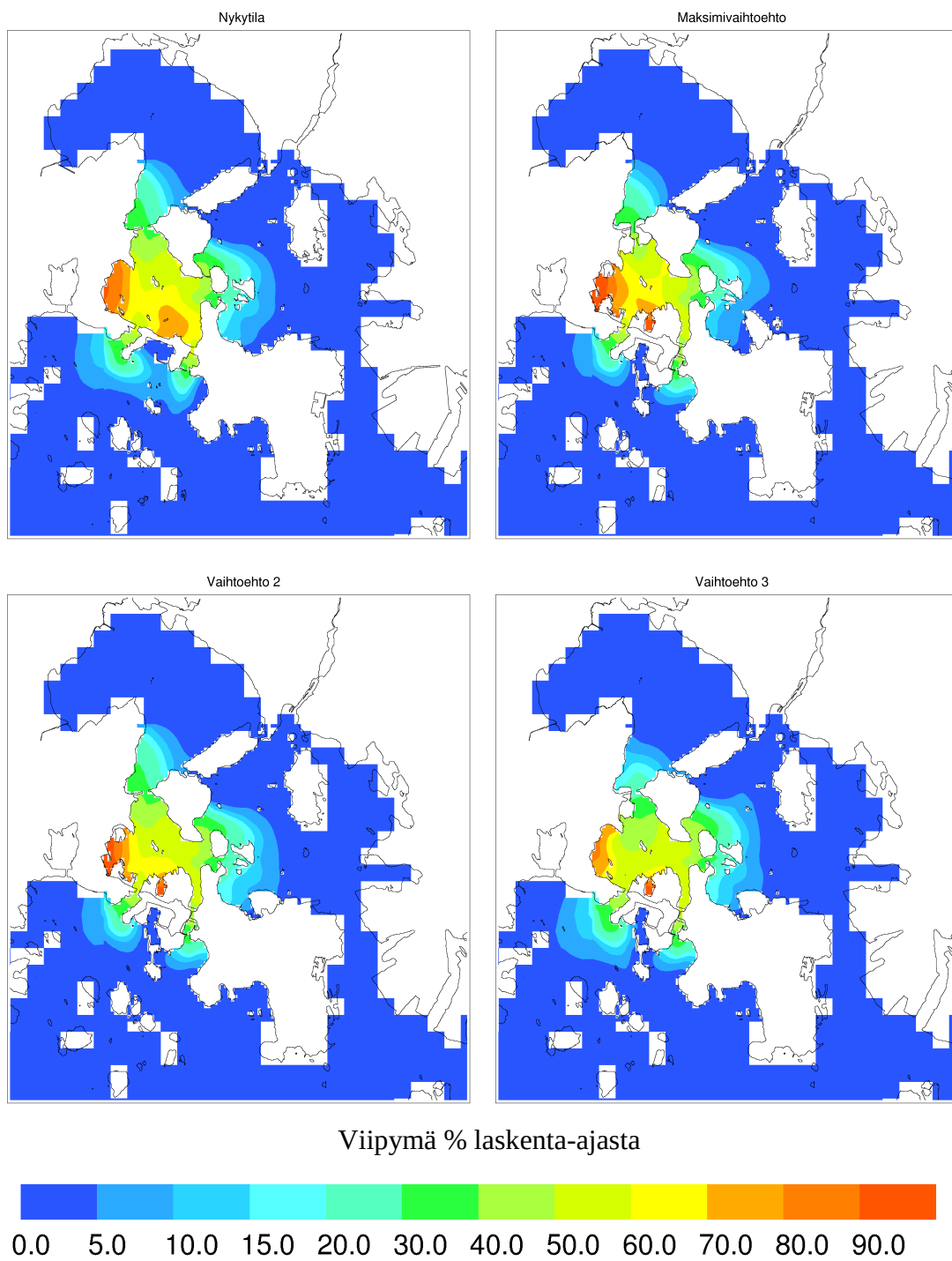
- Karhusalmessa maksimivaihtoehdossa kulkeutumisnopeus pienenee nykytilaan verrattuna keskimäärin 30 % ja virtausaikasarjoissa huippunopeudet pienenevät suurimmillaan 50%. Vaihtoehdossa 2 kulkeutumisnopeuden pieneminen on pitkällä ajanjaksolla suunnilleen sama kuin maksimitäytössä, lyhyellä jaksolla noin 15%. Vaihtoehdossa 3 pienennys on 5-10%.
- Kaskisaari-Lehtisaari -salmessa on maksimivaihtoehdossa ja vaihtoehdossa 2 pieni lisäys ja vaihtoehdossa 3 pieni vähennys kulkeutumisnopeudessa.
- Kaskisaari-Lauttasaari -salmessa maksimivaihtoehdossa kulkeutumisnopeus pienenee vajaat 20%. Muissa vaihtoehdoissa ei ole oleellista eroa nykytilaan.
- Lehtisaari-Keilaniemi -salmessa maksimivaihtoehdossa kulkeutumisnopeus pienenee lyhyellä ajanjaksolla 20% ja pitemmällä jaksolla 10%. Muissa vaihtoehdoissa ei ole oleellista eroa nykytilaan.
- Lauttasaarensalmessa kulkeutumisnopeuden pieneminen ei ole merkittävää.
- Munkkiniemessä maksimivaihtoehdossa kulkeutumisnopeus kasvaa 10-20%. Vaihtoehdoissa 2 ja 3 ei ole suurta eroa nykytilaan verrattuna, vaihtoehdossa 3 nopeuden lisäys hiukan suurempi.
- Vaskisalmessa maksimivaihtoehdossa kulkeutumisnopeus pienenee noin 20% lyhyellä jaksolla ja kasvaa noin 20% pitemmällä jaksolla. Täyttö pienentää siis nopeita virtausheilahteluja, mutta kasvattaa pitemmän aikavälin keskimääräisiä virtauksia. Vastaavasti vaihtoehdossa 2 pienennys 10% ja lisäys 20% sekä vaihtoehdossa 3 vastaavat luvut 20 % ja 10%.

Viipymä

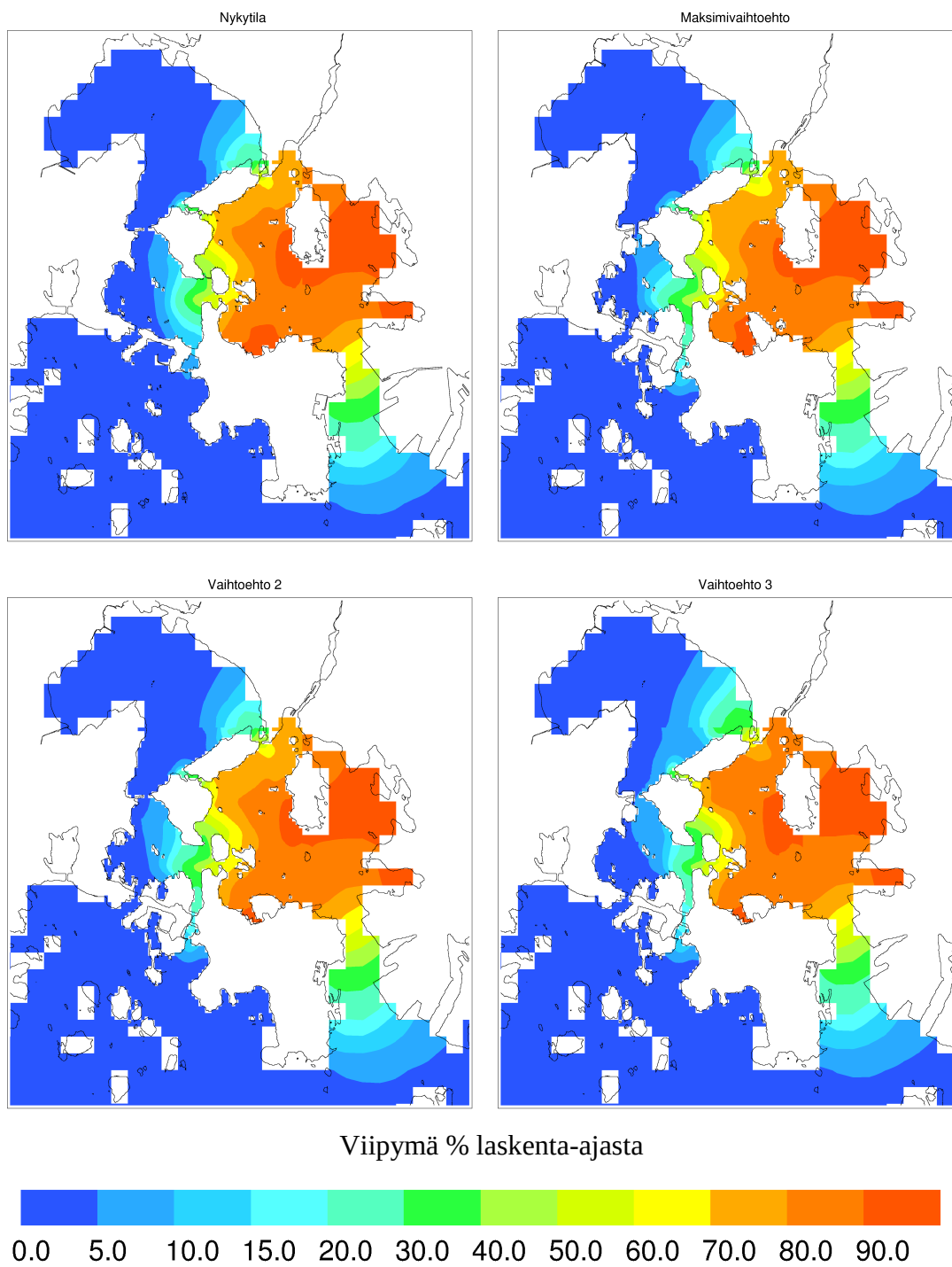
Talvikauden viipymän laskenta on määritelty kuten kesäkaudella. Laskentajakso on helmi- ja maaliskuu 1987 eli 59 vrk.



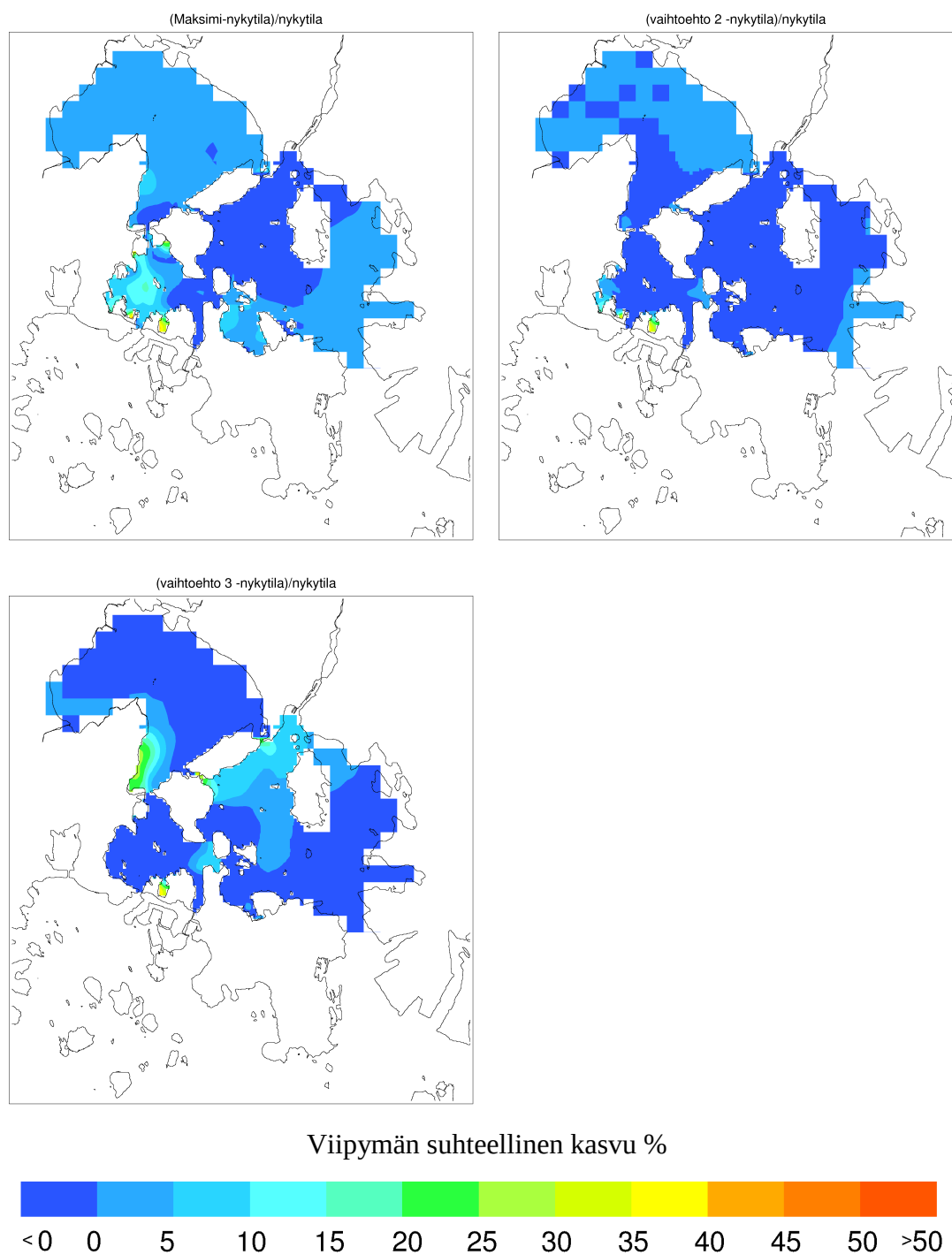
Kuva 51. Talvikauden keskimääräinen viipymä Laajalahdella. Kuvat ovat nykytila, maksimivaihtoehto, vaihtoehto 2 ja vaihtoehto 3.



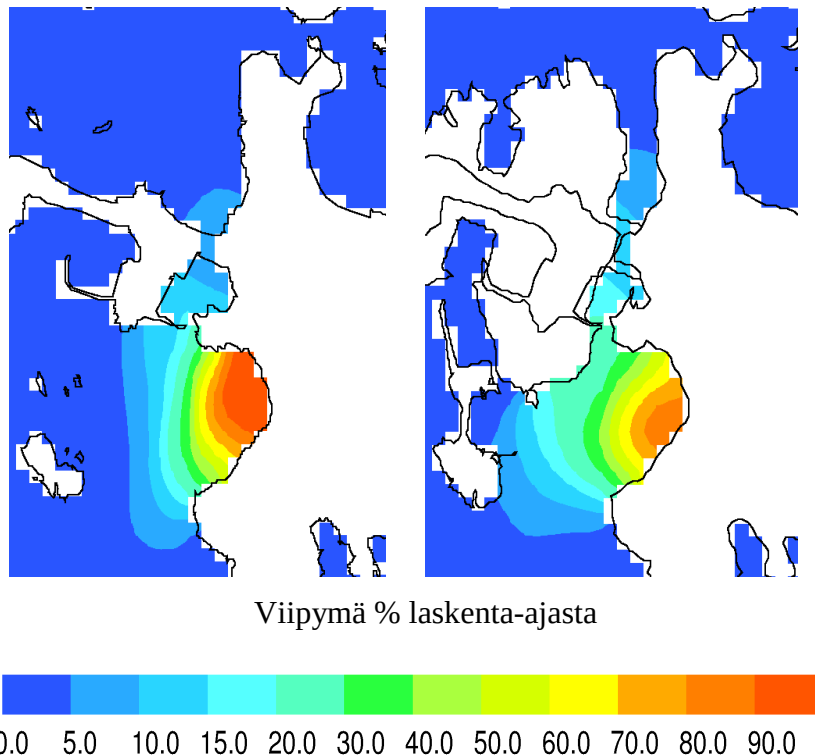
Kuva 52. Talvikauden keskimääräinen viipymä Lehtisaarenselällä. Kuvat ovat nykytila, maksimivaihtoehto, vaihtoehto 2 ja vaihtoehto 3.



Kuva 53. Talvikauden keskimääräinen viipymä Seurasaarenselällä. Kuvat ovat nykytila, maksimivaihtoehto, vaihtoehto 2 ja vaihtoehto 3.



Kuva 54. Talvikauden viipymän suhteellinen muutos verrattuna nykytilaan. Kuviin on yhdistetty muutokset kunkin alueen sisäpuolisessa viipymässä. Kuvissa nykytilaa on verrattu maksimivaihtoehtoon, vaihtoehtoon 2 ja vaihtoehtoon 3.



Kuva 55. Talvikauden keskimääräinen viipymä Riihilahdessa nykytilassa ja maksimivaihtoehdossa.

Täyttöjen vaikutus talvikauden viipymään voidaan tiivistää seuraaviin johtopäätöksiin:

- Vaihdelta Laajalahdelta Lehtisaarenselälle ja Seurasaarenselälle on selkeästi vielä kesäkautista pienempää. Lähes koko lahden vesi on pysynyt alueella koko laskenta-ajan kaikissa vaihtoehdoissa, joten laskenta-aika ei ole riittävän pitkä, jotta eri vaihtoehtojen viipymistä saisi luotettavia tuloksia.
- Lehtisaarenselällä vaihdunta on huomattavasti Laajalahtea suurempaa. Viipymät selän keskiosissa ovat keskimäärin 50% laskenta-ajasta eli noin 30 päivää. Maksimitäyttövaihtoehdossa lahden keskeisten alueiden viipymä kasvaa 5-10%. Muissa vaihtoehdoissa muutokset ovat pienempiä. Suurin viipymän lisäys 20-30% on Koivusaaren ja Hanasaaren täyttöalueiden välisessä uudessa satama-altaassa.
- Myös Seurasaarenselällä vaihdunta on liian pientä, jotta selkeitä vaikutuksia viipymän muutoksesta tulisi esiin. Lemislahden laajempi täyttövaihtoehto näyttäisi kuitenkin lisäävän viipymää Lauttasaaren pohjoispuolella.
- Riihilahdella jääpeitteisenä kautena, kun tuulen aiheuttamia virtauksia ei ole, on Vaskisalmen kautta virtaava vesi tärkeää lahden vedenvaihdon kannalta. Täyttöjen vaikutuksesta pitemmän aikavälin keskimääräiset virtaukset kasvavat Vaskisalmessa. Tämä lisää Riihilahden vesien sekoittumista, jolloin keskimääräinen viipymä lahdessa pienenee. Tähän voivat vaikuttaa myös täyttöjen muodot, jotka ohjaavat läpivirtauksen lähemmäs Riihilahtea. Lahden vesien viipymä pienenee enimmillään puoleen maksimitäyttövaihtoehdon vaikutuksesta.

Talvikaudella veden vaihdunta oli varsin pientä lähes kaikilla alueilla. Veden pinnankorkeuden vaihtelusta aiheutuvat virtaukset keskittyvät salmiin. Salmien

ulkopuolella virtausnopeudet ovat pieniä. Kun vaihto on pientä, ei eri vaihtoehtojen välille ehdi syntyä kahden kuukauden laskenta-ajan aikana merkittäviä eroja.

8.3 Yhteenveto täyttöjen vaikutuksista

Eri täyttövaihtojen vaikutukset suhteessa nykytilaan on koottu taulukoihin 5 ja 6. Taulukoihin on koottu suurimmat muutokset, jotka olivat pääsääntöisesti suurempia kesäkaudella. Mikäli virtausnopeuksissa oli eroa pitemmällä ja lyhyemmällä tarkastelujaksolla, on taulukkoon valittu pitempää jaksoa kuvaava arvo.

Taulukko 5. Täyttöjen aiheuttamat suhteelliset muutokset keskimääräisissä kesäkauden salmivirtauksissa.

	Maksimitäyttö	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3
Karhusalmi	-40%	-40%	-10%
Lehtisaari-Keilaniemi	-10%	Ei eroa	Ei eroa
Lauttasaari	Ei eroa	Ei eroa	Ei eroa
Kaskisaari-Lauttasaari	-30%	-20%	-10%
Kaskisaari-Lehtisaari	-20%	-20%	-10%
Vaskisalmi	+20%	+20%	Ei eroa
Munkkiniemi-Kuusisaari	+10%	Ei eroa	Ei eroa

Taulukko 6. Kesäkauden viipymä tarkastelualueen lahdissa.

Laajalahti	
Maksimitäyttö	Viipymä kasvaa suuruusluokaltaan noin 5%, mutta laskenta-aika on liian lyhyt tarkkojen johtopäätösten tekemiseen. Suurin vaikutus Otaniemen sillan tuntumassa.
Vaihtoehto 2, Vaihtoehto 3	Ei eroa nykytilaan.
Lehtisaarenselkä	
Maksimitäyttö, Vaihtoehto 2	Uusissa venesatama-altaissa viipymä noin kaksinkertaistuu. Viipymän kasvu Koivusaari-Kaskisaari -linjalla noin 30%. Muualla viipymä pienenee.
Vaihtoehto 3	Koivusaaren - Hanasaaren välisessä satama-altaassa viipymä noin kaksinkertaistuu. Viipymän kasvu Koivusaari-Kaskisaari -linjalla noin 20%. Muualla viipymä pienenee.
Seurasaarenselkä	
Maksimitäyttö	Lemislahdella viipymän kasvu 50-80% ja Kaskisaaren- Seurasaaren välillä 30%.
Vaihtoehto 2	Lemislahdella viipymän kasvu 30-80% ja Kaskisaaren itäpuolella 30%.
Vaihtoehto 3	Lemislahdella viipymän kasvu 10-80% ja Kaskisaaren itäpuolella 10%.

Riihilahti	
Maksimitäyttö	Kesäkaudella viipymä kasvaa 100-200%, mutta pysyy edelleen pienenä. Talvikaudella viipymä pienenee 50%.

On huomattava, että virtaukset Lehtisaari-Keilaniemi -salmessa sekä viipymä Laajalahdella olivat herkkiä virtauksille Munkkiniemen ja Kuusisaaren välisessä salmessa. Ilman mallikitkan korjausta ko. salmessa, jolla mallin antamat virtausnopeudet korjattiin mitattujen virtausnopeuksien tasolle, Keilaniemen täyttöjen vaikutus olisi huomattavasti suurempi.

Maksimitäyttövaihtoehdon ja vaihtoehdon 2 aiheuttama virtausten pieneneminen Karhusalmessa sekä veden viipymän piteneminen Lemislahdessa ja uusissa pienissä satama-altaissa on mahdollisesti merkittävää. Vaihtoehdossa 3 muutokset tuskin ovat merkittäviä, mahdollisesti lukuun ottamatta Koivusaaren ja Hanasaaren välistä satama-allasta ja aivan Lemislahden pohjukkaa.

9. Mahdollisuudet haitallisten vaikutusten lieventämiseen

Veden vaihduntaa voidaan edistää suurentamalla salmien poikkipinta-aloja ja syvyyksiä, pitämällä salmet mahdollisimman lyhyinä sekä avaamalla mahdollisuuksien mukaan uusia salmia suljettujen kannasten läpi.

Laajalahden vaihdunta on nykyiselläänkin melko pientä. Mikäli Keilaniemen ja Lehtisaaren väliin rakennetaan uusia täyttöjä niin lahden vaihduntaa voisi edistää syventämällä Munkkiniemen-Kuusisaaren salmea tai kasvattamalla sen poikkipinta-alaa. Nykyisellään salmi on melkoisen ahdas ja mallilaskelmien perusteella poikkipinta-alan kasvattaminen lisäisi oleellisesti Laajalahden vedenvaihduntaa. Myös aikaisemmissa tutkimuksissa on ehdotettu salmen ruoppaamista ja muotoilemista veden vaihdunnan tehostamiseksi (Hari 1972).

Karhusalmen pohjoispuolisilla täytöillä on merkitsevä vaikutus Seurasaarenselän ja osin myös Laajalahden vedenvaihduntaan. Lasketuista vaihtoehdoista ratkaisevimpia ovat Espoon puolen täytöt Karhusalmen luoteispuolella. Myös Karhusalmen ruoppausta ja muotoilemista on ehdotettu aiemmin (Hari 1972), tämä voisi olla hyvinkin kannatettavaa täyttöjen haittavaikutusten pienentämiseksi.

Täyttöjen vaikutuksesta Koivusaareen syntyy uusi pieni lahdelma, jota käytetään satama-altaana. Tämän vedenvaihduntaa tulisi parantaa puhkaisemalla uusi kanava Länsiväylän ali lahdelmalle.

Lemislahden täyttövaihtoehdoista pienempi jarruttaa vähemmän läpivirtausta Seurasaarenselällä ja aikaansaa pienemmän katvealueen. Veden vaihduntaan vaikuttaa lisäksi oleellisesti virtaus Karhusalmessa.

10. Tutkimuksen epävarmuustekijät

Munkkiniemen ja Kuusisaaren välisessä salmessa mallin virtauksia on vaimennettu lisäämällä mallin pohjakitkaa, jotta vastaavuus mittauksiin olisi parempi. Mittauksissa on kuitenkin selkeä keskimääräinen noin 4 cm/s virtausnopeus, joka ei näy mallissa. Lisäksi mitatut virtausheilahtelut ovat melko pieniä. On mahdollista, että mitatut virtaukset eivät ole edustavia, eli ne eivät kuvaa hyvin salmen läpäisevää kokonaisvirtausta. Vuonna 1970 salmessa tehdyissä mittauksissa (Hari 1971) virtaukset olivat selkeästi enemmän edestakaista heilahtelua. Hetkellisten virtausten nopeus oli suurempi ja keskimääräinen virtaus pienempi. Laajalahden veden viipymän ja Keilaniemi-Lehtisaari salmen virtausten epävarmuutta lisää se, että ne ovat herkkiä Munkkiniemen ja Kuusisaaren välisen salmen virtauksille.

Toinen mahdollinen epävarmuus liittyy laskentajakson edustavuuteen. Mallinnettu kesäkauden 1,5 kk ajanjakso on suhteellisen lyhyt, joten ei ole täyttä varmuutta kuinka hyvin se kuvaa keskimääräisiä olosuhteita. Kyseiselle jaksolle kuitenkin sisältyi monen suuntaisia, nopeuksiltaan vaihdelleita tuulia ja erilaisia vedenkorkeusvaihteluita, joten ei ole luultavaa, että varsinkaan vaihtoehtojen väliset erot kohtuuttomasti muuttuisivat pitemmilläkään jaksoilla laskettuina. Talvikauden ongelmana on pienistä virtausnopeuksista johtuva pieni vedenvaihto. Etenkin Laajalahden viipymä osoittautui valtaosin tarkasteltua laskentajaksoa pitemmäksi, jolloin vaihtoehtojen väliset erot eivät ehkä ehtineet esiin täysimääräisinä

Mallin erotustarkkuus eli hilajako oli paikoin karkeahko verrattuna kapeimpien salmien leveyksiin. Tällä saattaa olla merkitystä esimerkiksi Karhusalmessa. Mallin syvyystiedoissa voi muutenkin olla poikkeamia alueen todellisiin syvyyksiin. Tämä johtuu siitä että, mallin syvyydet on saatu alueen merikorteista, joissa tyypillisesti matalat syvyydet painottuvat syviä enemmän. Käytännössä tällä ei yleensä kuitenkaan ole merkitystä mallitulosten kannalta.

Käytännön mallilaskelmissa mallinnettavaa systeemiä joudutaan aina yksinkertaistamaan. Tässä yhteydessä mahdollisesti merkittävin malliin sisällymätön tekijä ovat veden tiheyserot ja niistä aiheutuvat virtaukset. Alueelle ei kuitenkaan laske yhtään merkittävää jokea, joka aiheuttaisi huomattavaa suolaisuuseroa. Toisaalta matalat lahdet lämpenevät kesäisin huomattavasti. Tiheyseroista johtuvat virtaukset näkyvät luultavimmin lähinnä pieninä keskimääräisinä virtauksina alueen salmissa.

Malli- ja mittaustulosten vertailulla voidaan useimmat virhelähteet eliminoida tai niiden merkitystä arvioida. Mallin edustavuudesta johtuvat virheet ovat tässä suhteessa kriittisempiä. Malli- ja mittaustulosten vertailun perusteella vastaavuus oli huomattavan läheistä useammissa salmissa.

11. Suositukset jatkotoimenpiteistä

Tarvittavia jatkotoimenpiteitä ovat mallissa olevien epävarmuustekijöiden poistaminen tai niiden merkityksen tarkempi arviointi. Tällaisia ovat valitun laskentajakson pituus, mallin erotustarkkuuden merkitys salmissa ja ongelmallisten salmipaikkojen tarkempi analyysi. Suositeltavaa olisi myös salmivirtausten kokonaisuudessaan yksityiskohtaisempi mallinnus, jossa olisi mahdollista huomioida salmen ja eri täyttövaihtoehtojen salmensisäiset yksityiskohdat.

Uusia virtausmittauksia tulisi tehdä mahdollisuuksien mukaan, varsinkin paikoissa joissa mallissa tai mittauksissa oli ongelmia, kuten Munkkiniemi-Kuusisaari, Lehtisaari-Kaskisaari ja Kaskisaari-Lauttasaari -salmissa. Uusia mittauksia tarvittaisiin lisäksi myös talvikaudelta. Vuonna 2000 tehdyt mittaukset olivat kaikki avovesikaudelta, eli mallin toimintaa ei voitu varmentaa jääpeitteisellä kaudella.

Alueen luonnon ja virkistyskäytön kannalta oleellisimpia eivät ole virtaukset sinänsä vaan niiden vaikutus veden laatuun. Tähän ei tällä tutkimuksella saada suoria vastauksia kuin tilanteissa joissa ei veden virtaama eikä viipymä oleellisesti muutu jolloin ei myöskään veden laatu. Vedenlaadun tarkempi arviointi vaatii mallilaskelmia joissa on mukana myös veden laatua ilmentäviä tekijöitä, ravinnekuormituksista mahdollisesti aina levien kasvuun saakka. Tuloksena saataisiin täyttöjen vaikutus alueen rehevöitymiseen ja happipitoisuuksiin. Veden laadun mallinnukseen voidaan samalla sisällyttää myös täyttöjen ja mahdollisten ruoppausten rakennusaikaiset vaikutukset veden sameuteen ja haitallisten aineiden leviämiseen. Mahdollista tulevaa vedenlaatulaskentaa ajatellen tämä tutkimus toimii hyvänä pohjana mallinnukselle.

12. Yhteenveto

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää suppealla mallitarkastelulla onko suunnitelluilla täytöillä merkitystä alueen veden vaihduntaan. Mallissa on keskeinen tarkastelualue 50 metrin erotustarkkuudella kuvattuna sekä tähän kytkettynä koko Suomenlahden malli. Mallin toiminta varmennettiin ja mallin parametrejä kalibroitiin vertaamalla nykytilan mallilla saatuja virtauksia alueella loppukesästä 2000 tehtyihin mittauksiin.

Mallinnettuja täyttövaihtoehtoja oli kolme:

- Maksimitäyttövaihtoehto, jossa kaikki suunnitellut täytöt Lemislahdella, Koivusaarella, Hanasaarella, Karhusaarella, Keilalahdessa, Keilaniemessä ja Lehtisaarella toteutetaan täysimääräisinä ja yhtäaikaan.
- Vaihtoehto 2, jossa Lemislahdessa on pienempi täyttövaihtoehto eikä Keilaniemi-Lehtisaari täyttöjä rakenneta.
- Vaihtoehto 3, jossa Lemislahdessa on pienempi täyttövaihtoehto, Keilalahden täyttöjä ei rakenneta ja Keilaniemi-Lehtisaari täytöistä rakennetaan vain Keilaniemen puoli.

Täyttöjen vaikutuksia verrattiin nykytilan mallilla saatuihin tuloksiin. Mallilaskelmien perusteella kaikilla täyttövaihtoehdoilla on vaikutusta vedenvaihduntaan, mutta selkeästi pienimmät kokonaisvaikutukset olivat vaihtoehdossa 3 ja suurimmat vaikutukset maksimitäyttövaihtoehdossa.

Täyttöjen vaikutus oli suurin kesäkaudella. Mallinnetulla talvikaudella, jolloin koko Suomenlahden oletetaan olevan jäässä, suhteellinen muutos oli jonkin verran kesäkautta pienempi.

Täyttöjen merkitys oli suuri varsinkin Karhusalmessa, jossa virtaukset voivat pienentyä jopa 40%. Virtaukset salmessa osoittautuivat olevat herkkiä salmen Espoon puolen täytöille. Mikäli salmen länsireunaa ei rakenneta, virtaukset pienenevät vain

10%. Karhusalmen täyttö oli myös määräävä tekijä Lehtisaarenselän ja Seurasaarenselän välisten salmien virtauksissa. Karhusalmen täyttö ei lisää huomattavasti veden viipymää Lehtisaarenselällä, mutta kylläkin oleellisesti Seurasaarenselällä. Seurasaaren keskeisillä alueilla veden viipymän lisäys oli noin 30% sekä ilman Karhusalmen länsireunan rakentamista noin 10%.

Mikäli Lemislahden suurempi täyttövaihtoehto toteutetaan, lisää se viipymää lahdessa oleellisesti. Viipymä lahden keskeisessä osassa kasvaa 50-65% jos myös Karhusalmen alueella tehdään täyttöjä. Pienemmällä täyttövaihtoehdolla viipymän kasvu on 30-40% ja ilman Karhusalmen länsipuolen täyttöä 10-15%. Kaikissa vaihtoehdoissa viipymän kasvu Lemislahden pohjukassa on noin 80%.

Keilaniemi-Lehtisaari salmessa virtaukset pienenevät noin 10%, mikäli salmen ympäristö täytetään kokonaisuudessaan. Täyttöjen vaikutus Laajalahden veden viipymän laskentaan oli ongelmallista johtuen lahden pienestä vedenvaihdosta. Varsinkin talvikaudella lahden vesi ei juuri ehtinyt vaihtua. Tällä laskenta-ajalla ei lahden veden viipymässä syntynyt oleellista eroa nykytilan ja eri täyttövaihtoehtojen välillä. Täyttöjen merkitys on kuitenkin herkkä veden vaihdunnalle Munkkiniemen ja Kuusisaaren välisessä salmessa. Mikäli virtaukset tässä salmessa ovat suurempia, vaihtuu vesi Laajalahdessa selkeästi enemmän, mutta samalla myös Keilaniemen-Lehtisaaren täytön vaikutus kasvaa oleellisesti.

Riihilahdessa veden viipymää laskettiin vain nykytilassa ja maksimivaihtoehdossa. Täyttö lisäsi viipymää jopa 100-200%, mutta koska veden vaihdunta on nykytilassa varsin suurta, ei viipymän muutos oletettavasti vaikuta veden laatuun. Talvikaudella veden viipymä saattaa täyttöjen vaikutuksesta jopa pienetä Vaskisalmen lisääntyneestä virtauksesta johtuen.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin suunniteltujen täyttöjen vaikutusta salmien virtaamaan ja lahtien veden viipymään. Mahdollisten vedenlaadun muutosten tarkempi arviointi vaatisi mallilaskelmia vedenlaatumallilla, jossa virtausten lisäksi on mallinnettu myös vedenlaatuun vaikuttavat tekijät. Tämän tutkimuksen mukaan muutokset näyttäisivät kuitenkin jäävän pieniksi, ainakin jos täytöt toteutetaan niin etteivät Karhusalmen virtaukset oleellisesti pienene. Poikkeuksena voivat olla vedenvaihdoltaan heikot, satama-altaina käytettävät uudet lahdemat Koivusaaressa ja Keilalahdessa sekä Lemislahden pohjukka. Vedenlaadun kannalta ongelmallisin ajanjakso on kuitenkin talvikausi. Vaikka laskelmien mukaan täyttöjen vaikutus veden vaihtoon ei ole suuri, voi pienillä muutoksilla olla vaikutusta lahtien talvisiin happikatoihin.

Suosittelavia toimenpiteitä haittavaikutusten pienentämiseksi ovat varsinkin Karhusalmen ja Munkkiniemi-Kuusisaari -salmen veden vaihdunnan edistäminen salmien ruoppauksella ja uudelleen muotoilulla. Näiden parhaan teknisen toteutuksen määrittäminen sekä saavutettavan hyödyn arviointi vaatisi kuitenkin mallilaskelmia erotustarkkuudeltaan paremmalla mallilla.

Viitteet

Hari, J., Hari, P., Mälkki, P. (1971), Vedenvirtausten jatkuvat mittaukset Helsingin merialueella vuonna 1970. Vesiensuojelulaboratorion tiedonantoja 3(9), Helsinki

Hari, J., Sipilä, A. (1972), Vuorovesi ja ominaisheilahtelut Helsingin rannikolla. Vesiensuojelulaboratorion tiedonantoja 4(10), Helsinki.

Józsa, J., Krámer, T. (2000), Modelling residence time as advection-diffusion with zero-order reaction kinetics. Proc. Hydroinformatics 2000, Cedar Rapids, Iowa, USA

Koponen, J., Alasaarela, E., Lehtinen, K., Sarkkula, J., Simbierowicz, P., Vepsä, H., Virtanen, M. (1992), Modelling the Dynamics of a Large Sea Area, Bothnian Bay Research Project 1988 - 90, Publications of the Water and Environment Research Institute, 7, National Board of Waters and the Environment, Finland, Helsinki, 91 p.

Pesonen, L. (2000), Helsingin ja Espoon merialueiden velvoitetarkkailu vuonna 1999, Helsingin kaupungin Ympäristökeskuksen moniste n:o 5, 2000.

Ympäristökeskuksen internetsivut, <http://www.hel.fi/ymk/tila.html>