Vesienhoidon toimenpiteiden suunnittelu vuosille 2022–2027

Ilmastonmuutoksen huomioon ottaminen vesienhoitotyössä

9.3.2020

Noora Veijalainen
Anne-Mari Rytkönen
Antti Parjanne

Sisällys

1 Esipuhe ... 3
2 Ilmastonmuutos vesienhoidon suunnittelussa ... 4
3 Ilmastonmuutokseen sopeutuminen kansallisella tasolla ... 5
4 Ilmastonmuutoksen vaikutukset vesivaroihin ... 6
4.1 Vaikutukset hydrologiaan ... 6
4.2 Vaikutukset meriveden korkeuteen ... 13
4.3 Vaikutukset vedenlaatuun ja ekologiaan ... 14
4.4 Muut vaikutukset ... 17
5 Toimenpiteiden ilmastokestävyys ja yhteensovittaminen tulvariskien hallinnan kanssa ... 19
5.1 Ilmastokestävyyden arviointi ... 19
5.2 Vesienhoidon, tulva- ja kuivuusriskien hallinnan yhteensovittaminen ... 22
5.3 Ilmastonmuutokseen sopeutuminen ... 25
6 Lähteet ... 29
7 Liitteet ... 35
7.1 Valunnan muutokset vesienhoitoalueittain eri vuodeaikoina ... 35
7.2 Virtaaman muutokset eri vesistöissä ... 42
7.3 Yhteenvetotaulukot ilmastonmuutoksen vaikutuksista vesienhoitoalueittain ... 69

1 Esipuhe

Vesienhoidon ensimmäisellä suunnittelukaudella ilmastonmuutosta tarkasteltiin yleisellä tasolla. Toimenpiteiden ilmastonmuutoskestävyydestä tehtiin yleinen arvio, mutta sitä ei varsinaisesti otettu huomioon toimenpiteiden suunnittelussa. Toisella suunnittelukaudella pyrittiin täsmentämään tietoa ilmastonmuutoksen vaikutuksista veden kiertokulkuun, vesistön kuormitukseen ja tilaan sekä tilaa parantaviin toimenpiteisiin. Nyt kolmannella suunnittelukaudella ilmastonmuutoksen huomioimista vesienhoidon suunnittelussa pyritään ennestään parantamaan.

Ympäristöministeriö asetti hankkeen, jonka tehtävänä on valmistella opasehdotukset toimenpiteiden suunnittelua ja ympäristötavoitteiden asettamista varten vesienhoidon kolmannelle kaudelle eli vuosille 2022–2027. Toiselle suunnittelukaudelle laadittua dokumenttia ”Ilmastonmuutoksen huomioon ottaminen vesienhoitotyössä” päivitettiin uusimman tutkimustiedon valossa. Lisäksi ympäristöministeriö ja maa- ja metsätalousministeriö ovat yhdessä rahoittaneet SYKEn toteuttamaa hanketta Vesienhoidon ja tulvariskien hallinnan yhteensovittaminen ja ilmastonmuutoksen huomioiminen suunnittelussa (ClimVeturi, 2019–2020), jonka tavoitteena on tukea vesienhoidon ja tulvariskien hallinnan toimenpiteiden suunnittelua. Hankkeessa tuotetaan tietoa ilmastonmuutoksen vaikutuksista vesivaroihin, kehitetään toimenpiteiden ilmastokestävyyden arviointia ja edistetään suunnitteluprosessien yhteensopivuutta. Hankkeen tuotoksia on hyödynnetty tässä oppaassa.

Oppaan valmistelussa on käytetty hyväksi lisäksi WaterAdapt projektin loppuraporttia (Veijalainen ym. 2012), Suomen tulvariskit nyt ja tulevaisuudessa-julkaisua (Parjanne ym. 2018) sekä From Failand to Winland (Winland)-hankkeen tuloksia (Ahopelto ym. 2019; Veijalainen ym. 2019). Lisäksi on hyödynnetty ClimVeturi-hankkeessa tehtyjä ilmastonmuutoslaskentoja (Liite 1) sekä ilmasto-opas.fi tarjoamaa materiaalia. Myös ilmastonmuutoksen vaikutuksia laajasti tarkastelevia raportteja SIETO-hankkeesta (Tuomenvirta ym. 2018), ELASTINEN-hankkeesta (Gregow ym. 2016) ja, FINADAPT-hankkeesta (Carter 2007) on käytetty. Asiantuntija-apua oppaan valmisteluun ovat antaneet muun muassa Jukka Aroviita, Petri Ekholm, Inese Huttunen, Jouni Lehtoranta, Ahti Lepistö, Mikko Sane ja Kaisa Västilä SYKEstä. Opasluonnokseen on saatu lisäksi kommentteja seuraavilta tahoilta: Maa- ja metsätaloustuottajain keskusliitto MTK, maa- ja metsätalousministeriön ruokaosaston maatalousyksikkö, Metsähallitus, Lapin ELY-keskus, Kaakkois-Suomen ELY-keskus ja Pohjois-Karjalan ELY-keskus.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksiin ja sopeutumiseen liittyen on parhaillaan käynnissä lukuisia hankkeita. Strategisen tutkimuksen neuvoston rahoittamassa BlueAdapt-hankkeessa mallinnetaan ilmastonmuutoksen vaikutuksia ravinnekuormitukseen ja selvitetään vesiekosysteemien palautumiskykyä. EU:n Horisontti 2020 -ohjelman OPERANDUM-hankkeessa selvitetään ravinne- ja kiintoainekuormituksen muuttumista metsäalueilla sekä tutkitaan erilaisten luontopohjaisten vesiensuojeluratkaisujen, kuten kosteikkojen ja suojavyöhykkeiden, toimivuutta muuttuvissa olosuhteissa. Freshabit LIFE IP-hankkeessa kehitetään malleja kuvaamaan luonnontilan muutoksia ja taustatekijöitä sekä mallintamaan vesiensuojelupäätöksiä metsätaloudessa.

2 Ilmastonmuutos vesienhoidon suunnittelussa

Ilmastonmuutos vaikuttaa monella tavoin vesivaroihin, muuhun ympäristöön ja yhteiskuntaan. Vaikutukset ovat jo monelta osin havaittavissa, mutta niiden arvioidaan lisääntyvän olennaisesti lähivuosikymmeninä ja erityisesti vuosisadan loppupuolelle edettäessä. Tiedot ilmastonmuutoksen vaikutuksista ovat vielä osin puutteellisia, ja lyhyellä aikavälillä monet muut tekijät ovat merkittävämpiä vesien tilan kannalta. Etenkin vaikutukset ekologiaan ovat vielä huonosti tunnettuja. Kolmannella suunnittelukaudella voidaan kuitenkin tarkastella ilmastonmuutoksen vaikutuksia alueellisella tasolla ja entistä systemaattisemmin. Näin on mahdollista suunnitella ilmastonmuutokseen haittoja ehkäisevien ja sopeumista edistävien toimenpiteiden valintaa alueellisesti sekä tarkastella eri toimenpiteiden ilmastokestävyyttä.

Veden kiertokulussa liikkuvat vesimäärät ja niiden ajallinen vaihtelu ovat keskeisiä vesien ekologisen tilan kannalta. Vesienhoidon yhtenä tavoitteena on tulvien ja kuivuuden haittavaikutusten vähentäminen, mikä on riippuvainen vesimääristä ja niihin kohdistuvista säätelytoimista. EU-tasolla on valmistunut vuonna 2009 ohje ilmastonmuutoksen huomioimisesta vesienhoidon suunnittelussa (CIS ohje 24: River Basin Management in Changing Climate). Euroopan komission suunnitelmassa (blueprint) Euroopan vesivarojen turvaamiseksi (2012) korostetaan tarvetta parantaa vesiekosysteemien kykyä sopeutua muuttuvaan ilmastoon mm. torjumalla tulvien ja kuivuuden kaltaisia ääri-ilmiöitä ja rajoittamalla niistä aiheutuvia vahinkoja.

Komissio on Suomen toisen kauden vesienhoitosuunnitelmia koskevassa palautteessaan kehottanut ottamaan huomioon, että ilmastonmuutos aiheuttaa muun muassa paikallisesti tai vesistöalueen osassa esiintyviä kuivuusjaksoja, sekä harkitsemaan kuivuudenhallintasuunnitelmien laatimista tarpeen mukaan. (Euroopan komissio 2019)

Vesienhoitosuunnitelmissa ja toimenpideohjelmissa ja pyritään kolmannella suunnittelukaudella täsmentämään ja hyödyntämään tietoa ilmastonmuutoksen vaikutuksista veden kiertokulkuun, vesistön kuormitukseen ja tilaan sekä tilaa parantaviin toimenpiteisiin. Tietoperustaa ilmastonmuutoksen huomioon ottamiseksi pyritään kehittämään ja suunnittelua kytkemään tässä mielessä entistä läheisemmin muihin vesien käyttötarkoituksiin ja maankäytön suunnitteluun. Vesienhoitosuunnitelmissa ja toimenpideohjelmissa ja pyritään myös soveltuvin osin ottamaan huomioon ilmastonmuutoksen tarkasteluun paremmin soveltuva, vesienhoitolain ulottuvuutta (2027) pidempi aikaskaala. Esimerkiksi hydrologisia skenaarioita on tässä oppaassa tarkasteltu jaksolle 2040–2069 (noin vuosisadan puoliväli) saakka.

Tässä oppaassa on kuvattu ilmastonmuutoksen vaikutuksia vesivaroihin ja ehdotettu menettelytapaa niiden huomioimiseksi ja sopeutumisen edistämiseksi vesienhoidon ja tulvariskien hallinnan suunnittelussa. Vesienhoidossa valtakunnalliset, toimialakohtaiset tiimit ovat tarkastelleet sektoreittain toimenpidevalikoimaa ja ohjauskeinoja ilmastokestävyyden näkökulmasta. Vesienhoidon suunnittelijoille opas tarjoaa tueksi vesienhoitoaluekohtaiset hydrologiset skenaariot ja yhteenvetotaulukot hydrologisista muuttujista eri skenaarioissa. Tämän oppaan tekstiosiota voi myös hyödyntää ja/tai siihen voidaan viitata vesienhoitosuunnitelmissa.

Tämän oppaan luvussa 3 on kuvattu lyhyesti ilmastonmuutoksen sopeutumiseen liittyviä kansallisia strategioita ja hankkeita. Luvussa 4 on kuvattu ilmastonmuutoksen vaikutuksia vesivaroihin ja erilaisiin toimintoihin yleisesti ja joidenkin toimenpideohjelma-aluetta koskevien erityispiirteiden osalta. Luvussa 5 on esitetty menettelytapa toimenpiteiden ilmastokestävyyden arvioimiseksi, kuvattu vesienhoidon ja tulvariskien hallinnan yhteensovittamista sekä koottu yhteenveto ilmastonmuutokseen sopeutumista edistävistä toimista vesisektorilla. Alueelliset, erilaisiin

ilmastoskenaarioihin perustuvat hydrologiset skenaariot jaksolle 2010–2039 ja 2040–2069 on esitetty liitteissä.

3 Ilmastonmuutokseen sopeutuminen kansallisella tasolla

Ilmastopolitiikkaan liittyvä kansallinen lainsäädäntö on kehittynyt vähitellen heijastaen kansainvälisten sopimusten sekä EU-lainsäädännön sisältämiä velvoitteita. Kesäkuussa 2015 voimaan tullut ilmastolaki (609/2015) on ensimmäinen kansallinen säädös, jossa määritellään yleisesti Suomen ilmastopolitiikan pitkän aikavälin suuntaviivat sekä säädetään ilmastopolitiikan suunnittelujärjestelmästä (YM 2015).

Kansallinen ilmastonmuutokseen sopeutumissuunnitelma 2022 edellyttää, että sopeutuminen on sisällytetty osaksi kaikkien toimialojen ja toimijoiden suunnittelua ja toimintaa. Suunnitelmassa painotetaan myös ilmastoriskien arviointia ja hallintaa sekä tutkimus- ja kehitystyötä yhteiskunnan sopeutumiskyvyn parantamiseksi. Suunnitelmassa korostetaan vesivarojen hallinnan ja suojelun merkitystä, koska suurimmat ilmastomuutoksen yhteiskunnalliset vaikutukset aiheutuvat vedenkierron muuttumisesta. (MMM 2014). Suunnitelman toteutumisen väliarvioinnissa (Mäkinen ym. 2019) korostuu tarve eritellä ilmastonmuutoksen vaikutuksia, riskejä ja sopeutumista koskevaa tietoa toimialoittain ja alueittain, koota ja viestiä tietoa käyttökelpoisessa muodossa sekä lisätä vuoropuhelua eri toimialojen ja alueiden välillä.

Ilmastonmuutokseen sopeutumista on arvioitu erikseen maa- ja metsätalousministeriön ja ympäristöministeriöiden hallinnonaloille laadituissa sopeutumisen toimintaohjelmissa (YM 2016, MMM 2011). Maa- ja metsätalousministeriön ohjelmassa yhtenä toimenpiteenä esitetään tulvariskien ja vesienhoidon ilmastovaikutusten ja ilmastokestävyyden tarkastelua pitkällä aikavälillä sekä sopeutumista parantavien toimien edistämistä. Ympäristöministeriön toimintaohjelman mukaan vesisektorilla haasteena on tunnistaa ratkaisuja, jotka sekä rajoittavat vesistöihin kohdistuvaa kuormitusta että pienentävät tulvahuippuja valuma-alueilla. Veden pidättäminen valuma-alueilla ja virtausnopeuksien rajoittaminen ovat esimerkkejä sopeutumiskeinoista. Perinteisten keinojen ohella uusia keinoja voi löytyä monitoiminnallisista luontopohjaisista ratkaisuista, jotka samanaikaisesti esimerkiksi vähentävät ravinnekuormitusta, edistävät maaperän hiilivaraston säilymistä ja rikastavat luonnon monimuotoisuutta.

Luonnonvarasektorilla käynnissä olevia ja viimeaikaisia, ilmastonmuutoksen vaikutusten tutkimiseen ja sopeutumiseen liittyviä hankkeita on listattu maa- ja metsätalousministeriön Ilmastonmuutokseen sopeutuminen -sivuille (https://mmm.fi/luonto-ja-ilmasto/ilmastonmuutokseen-sopeutuminen). Esimerkkinä alueellisesta sopeutumistyöstä on Pirkanmaan ELY-keskuksen Aluehallinnon sopeutumisen tiekartta -hanke, jonka tavoitteena on muun muassa vahvistaa aluehallinnon roolia ja asiantuntijuutta ilmatonmuutokseen sopeutumisessa sekä sidosryhmien sopeutumisen ohjaamisessa (https://ymparistoviisas.fi/ilmastokyvykkyys/).

Ilmasto-opas.fi-sivusto kokoaa yhteen osoitteeseen ja yhtenäiseen muotoon käytännönläheistä, tutkittua ja luotettavaa tietoa ilmastonmuutoksesta. Sivuston tarkoitus on yhteiskunnan ja väestön tukeminen ilmastonmuutoksen hillinnässä ja siihen sopeutumisessa. Verkkosivusto auttaa ilmastonmuutokseen liittyvien ilmiöiden ymmärtämisessä ja tiedon jäsentämisessä. Tavoitteena on, että ilmastonmuutostiedon tarvitsijat löytävät tarvitsemansa tiedon nopeasti ja helposti.

4 Ilmastonmuutoksen vaikutukset vesivaroihin

Ilmastonmuutos vaikuttaa Suomen vesistöihin monella tapaa sekä suorasti että epäsuorasti (Kuva 1). Vaikutusten voimakkuus vaihtelee kuitenkin voimakkaasti eri puolilla Suomea ja erityyppisissä vesistöissä. Lisäksi vaikutuksiin liittyy merkittäviä epävarmuuksia johtuen sekä ilmastonmuutoksen etenemisen vaikeasta ennustettavuudesta että monimutkaisten vaikutusmekanismien ja -ketjujen puutteellisesta tuntemisesta.

Kuva 1. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia vesistöihin ja vesivaroihin. Vaikutukset vaihtelevat vesistöittäin ja alueittain.

4.1 Vaikutukset hydrologiaan

Tuoreimpien ilmastoskenaarioiden (ns. RCP eli Representative Concentration Pathways päästöskenaariot ja IPCC:n käyttämät uusimmat ilmastomallit CMIP5, van Vuuren ym. 2011; IPCC 2014) mukaan Suomen **keskilämpötila** jaksolla 2020–49 on 1,6–2,1 ºC korkeampi kuin vertailujaksolla 1981–2010 (Ruosteenoja ym. 2016). Jaksolla 2040–69 lämpötilan kasvuksi ennakoidaan 1,9–3,5 ºC, jaksolla 2070–99 puolestaan 1,9–5,6 ºC. Vastaavat sadannan kasvut eri jaksoilla ovat keskimäärin 5–7, 6–11 ja 6–18 prosenttia. Epävarmuudet liittyen sekä päästöjen kehitykseen että ilmastomalleihin ja luonnolliseen vaihteluun ovat vielä tätäkin suurempia. Esimerkiksi jaksolla 2040–69 koko 95 % vaihteluväli lämpötilan nousulle on 0,8–4,9 astetta ja sadannalle 0–18 %. Nämä uudet skenaariot eivät kovin merkittävästi poikkea aiemmista (mm. edellisellä vesienhoitokierroksella käytetyistä); kesän lämpötila nousee niissä kuitenkin hieman aiempaa enemmän (Ruosteenoja ym. 2016). Lisäksi suurimmat päästöt omaava RCP8.5 tuottaa aiempaa suurempia lämpötilan kasvuja vuosisadan loppupuolelle.

Osa alla esitetyistä muutoksista lämpötilassa, sadannassa ja valunnassa on jo tapahtunut viime vuosien aikana. Paikallinen vaihtelu on luonnollisesta vaihtelusta johtuen lyhyellä tarkastelujaksolla kuitenkin suurta etenkin sadannassa ja valunnoissa. Erityisesti lämpötilan muutokset ja siitä johtuvat hydrologiset muutokset kuten talven valunnan kasvu ovat tilastollisesti merkitseviä trendejä (Korhonen 2019).

Rankkasateet kasvavat enemmän kuin keskisadanta. Rankimmat sateet voimistuvat suhteellisesti eniten talvella, mutta suurin osa rankkasateista saadaan jatkossakin kesällä (Suomen kuntaliitto

2012). Suurin vuorokausisadanta kasvaa kesällä 10–25 % vuosisadan loppuun mennessä (Lehtonen 2011, Suomen kuntaliitto 2012). Kuuden tunnin maksimisateet saattavat kasvaa hieman enemmän, noin 15–40 % (Aaltonen ym. 2008).

Ilmastonmuutoksen tärkein vaikutus Suomen sisävesien **hydrologisiin oloihin** on siitä aiheutuva muutos valunnan, virtaamien ja vedenkorkeuksien vuodenaikaiseen jakaumaan. Vuosittaisen valunnan on arvioitu muuttuvan vuosisadan puoliväliin mennessä noin 0–10 % vesistöalueesta ja ilmastoskenaariosta riippuen (Taulukko 1 ja Liite 1, ClimVeturi skenaariot, Veijalainen ym. 2012). Ilmaston muuttuessa talven valunta kasvaa merkittävästi lumen sulamisen ja vesisateiden lisääntymisen vuoksi. Vastaavasti kevään lumen sulamisen aiheuttama valunta pienenee, etenkin Etelä-Suomessa ja Keski-Suomessa, kun lumipeitettä ei enää kerry lämpimien talvien aikana. Taulukon 1 tulosten tulkinnassa on hyvä muistaa, että osa ennustetusta kasvusta esim. talvivirtaamissa on jo tapahtunut viimeisen kymmenen vuoden aikana, koska referenssijaksona on käytetty vuosia 1981–2010 (ks. kuva 2).

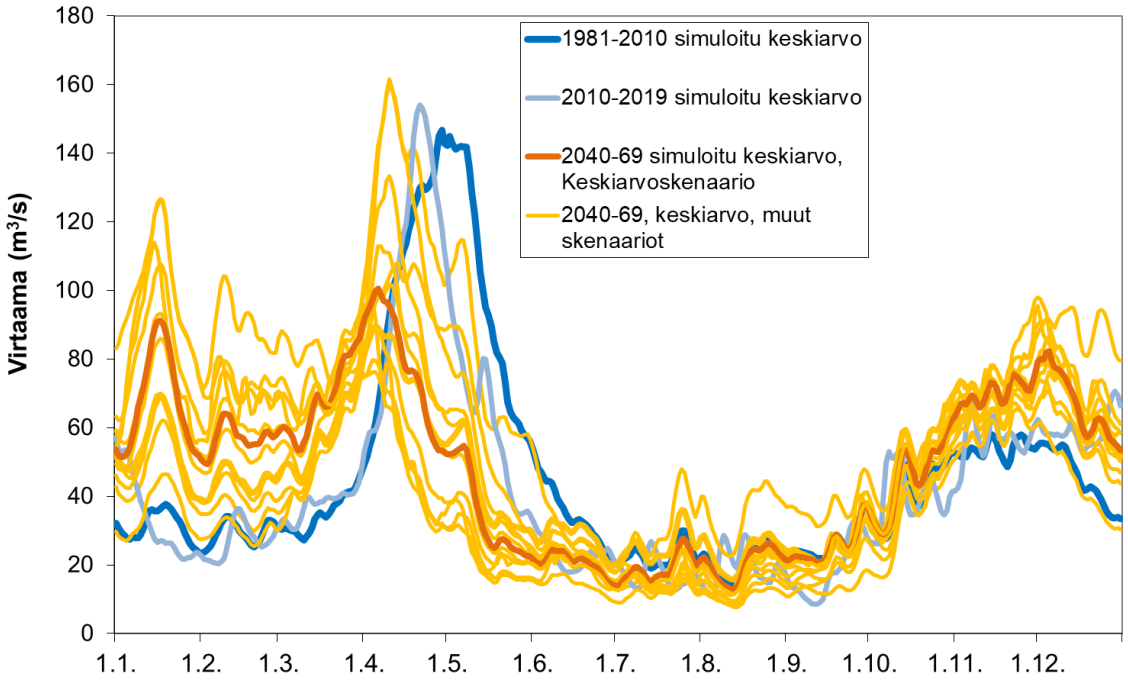
Taulukko 1. Valunnan muutoksia (%, keskiarvot, suluissa vaihteluväli) eri osissa Suomea jaksoilta 2010–39 ja 2040–69 referenssijaksoon 1981–2010 eri vuodenaikoina vesienhoitoalueittain. Tulokset perustuvat 13 ilmastoskenaarion tuloksiin. Skenaariot on poimittu laajemmasta 124 skenaarion joukosta edustamaan keskimääräisiä ja äärimmäisiä muutoksia.

	Vuoksi	Kymijoki Suomen-lahti	Kokemäki Saaristo- ja Selkämeri	Oulujoki Iijoki	Kemijoki ja Tornionjoki	Teno-, Näätämö-, Paatsjoki
2010–39 Muutos (%)						
vuosi	**2,7** (-4…+6)	**2,8** (-4…+5)	**2,2** (-4…+8)	**0,6** (-1…+9)	**0,9** (-4…+11)	**1,5** (-5…+15)
talvi	**35** (+4…96)	**36** (+1…83)	**38** (-3…74)	**43** (0…110)	**31** (-2…+79)	**20** (-2…+47)
kevät	**-6** (-21…+1)	**-11** (-27…-1)	**-15** (-31…0)	**-6** (-18...+4)	**0** (-7…+8)	**17** (+9…30)
kesä	**-13** (-20…-2)	**-12** (-18…0)	**-11** (-18…+15)	**-14** (-19…+5)	**-13** (-25…+5)	**-21** (-32…-6)
syksy	**9** (-15…+18)	**9** (-20…+19)	**8** (-15…+20)	**11** (0…+21)	**12** (-6…22)	**15** (-3…+26)
2040–69 Muutos(%)						
vuosi	**6,1** (-3…+15)	**6,5** (-3…+15)	**6,9** (-1…+15)	**4,8** (-5…+9)	**4,9** (-8…+9)	**4,2** (-8…+16)
talvi	**68** (+9…190)	**64** (+7…160)	**59** (+2…130)	**79** (+8…210)	**60** (+6…170)	**42** (+7…120)
kevät	**-8** (-30…+9)	**-13** (-34…+6)	**-16** (-38…+5)	**-7** (-32...+11)	**3** (-19…+13)	**21** (+3…37)
kesä	**-21** (-40…+10)	**-19** (-37…+11)	**-15** (-29…+13)	**-18** (-34...+10)	**-16** (-33…-1)	**-24** (-40…-10)
syksy	**10** (-5…+22)	**11** (-13…+24)	**12** (-10…+23)	**20** (+6…33)	**20** (+6…42)	**23** (+13…54)

Taulukossa 1 on esitetty myös vaihteluväli eri ilmastoskenaarioiden antamille muutoksille **valunnassa** (Liitteessä 1 myös alueittain vastaavat tiedot kuvaajana**)**. Vaihteluväli on maksimi ja

minimi 13 ilmastoskenaariosta (jotka käyttävät 4 eri RCP:tä, van Vuuren ym. 2011), joista 5 on erilaisia keskiarvoskenaarioita ja 8 on valittu laajemmasta 124 ilmastoskenaarion joukosta kuvaamaan ääritilanteita (lämmin-kuiva, kylmä-kuiva, lämmin-märkä, kylmä-märkä) vastaten n. 90 % vaihteluväliä. Tuloksista nähdään, että vaihtelu valunnan muutoksissa ja siten ilmastonmuutokseen liittyvä epävarmuus on hyvin suurta. Suurin osa vaihtelusta liittyy lyhyellä aikavälillä luonnolliseen vaihteluun ja ilmastomallien välisiin eroihin, vuoden 2050 jälkeen taas alkavat korostua eri päästöskenaarioiden erot.

Virtaaman muutos on vuositasolla hieman pienempi kuin valunnan muutos, etenkin runsasjärvisillä alueilla. Eri vuodenaikojen muutokset virtaamissa ovat pienillä valuma-alueilla melko lähellä valunnan muutoksia (Kuva 2), mutta suurilla valuma-alueilla muutokset eri vuodenaikojen virtaamissa ovat järvien virtaamia tasaavan vaikutuksen johdosta prosentteina pienempiä ja viiveiden takia tapahtuvat myöhemmin (esim. Vuoksen virtaamassa kevään sijaan pienenee kesän virtaama).



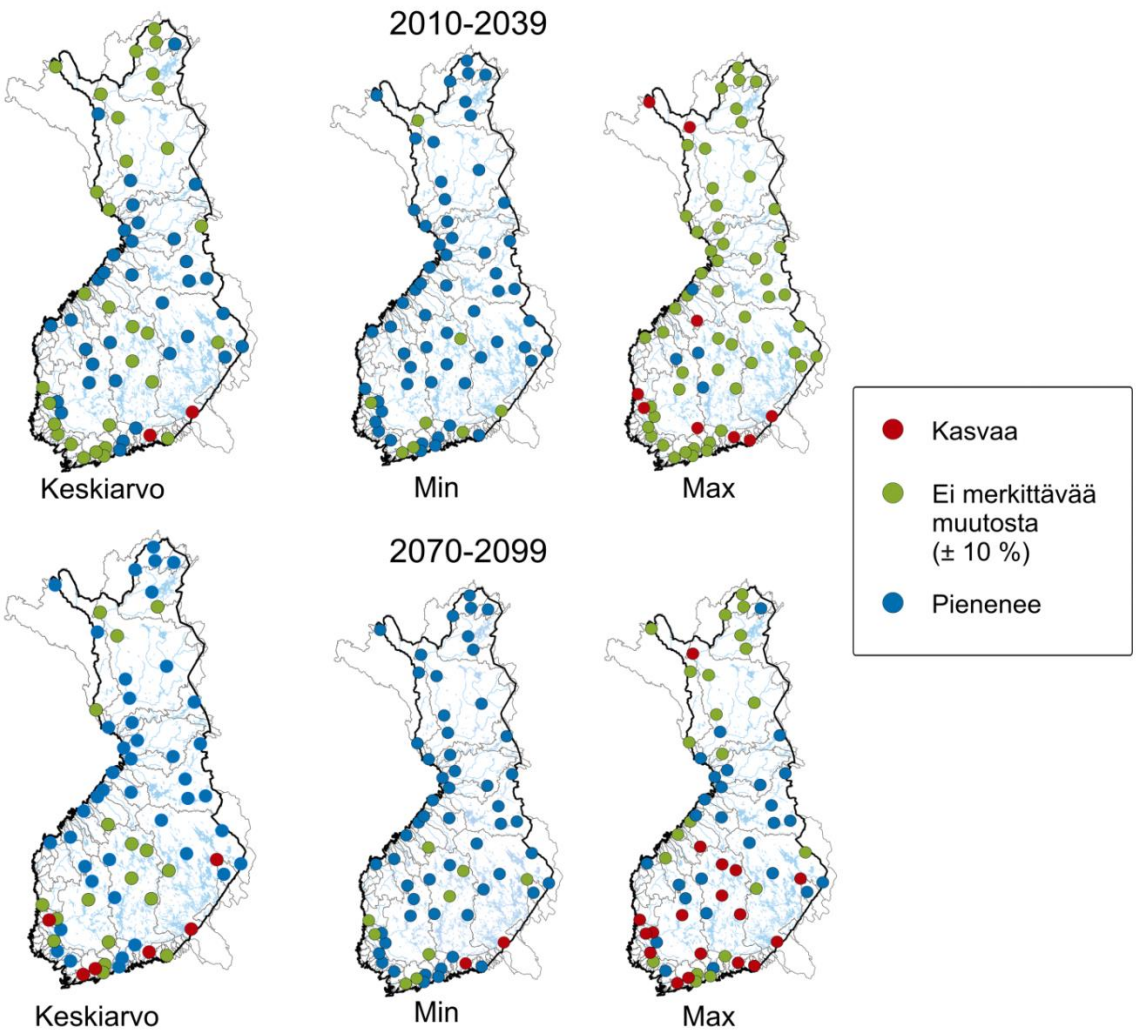
Kuva 2. Esimerkki simuloitujen virtaamien keskimääräisestä muutoksesta Kyrönjoelta. Päivittäinen 30 vuoden simuloitu keskivirtaama referenssijaksolla 1981-2010, jaksolla 2010-2019 ja 2040-69 keskiarvoskenaariolla ja 13 muulla skenaariolla (mukaan lukien ääriskenaariot).

Etelä- ja Keski-Suomen (vesienhoitoalueet 1-4) **järvisillä vesistöalueilla** keskimääräinen virtaaman kasvu hieman on pienempää kuin vähäjärvisillä alueilla tai se jopa pienenee joillain skenaarioilla johtuen järvihaihdunnan kasvusta. Talvella lisääntyvä lumen sulaminen ja vesisade lisäävät virtaamia ja talvitulvia. Vastaavasti kevättulvat pienenevät, kun lunta ei enää kerry yhtä paljoa lämpimämpien talvien aikana. Tämä seurauksena pienten latvajärvien, joissa kevättulvat ovat nykyisin suurimpia tulvia, tulvariski voi pienetä (Veijalainen ym. 2012). Suurten keskusjärvien vedenkorkeudet tulevat nousemaan talvella nykyistä ylemmäksi ja kokonaisuudessaan tulvien suuruus kasvaa suurimmalla osalla skenaarioita. Suurten vesistöjen laskujoissa kuten Kokemäenjoessa, Kymijoessa ja Oulujoessa talvivirtaamien kasvu lisää hyydetulvien riskiä. Toisaalta pidentynyt kesäkausi tuo tulleessaan myös entistä alempien loppukesän vedenkorkeuksien ja virtaamien mahdollisuuden Etelä- ja Keski-Suomessa.

Kasvavien talvivirtaamien, yleistyvien talvitulvien ja lisääntyvän hyyderiskin vuoksi on Etelä- ja Keski-Suomen **säännösteltyihin järviin** tarvetta jättää talveksi enemmän varastotilavuutta. Keväällä varastotilavuuden tarve vastaavasti keskimäärin pienenee, kun lumitulvat jäävät pois tai pienenevät. Runsaslumisia talvia esiintyy kuitenkin etenkin lähivuosikymmenten aikana, mutta vuosisadan puolivälissä ne käyvät Etelä- ja Keski-Suomessa entistä harvinaisemmiksi. Pidempiä ja välillä myös kuivempia kesiä varten järvet tulisi saada täyteen keväällä. Pohjois-Suomessa varastotilavuutta tarvitaan lumen sulamisesta aiheutuvien kevättulvien pienentämiseen vielä pitkälle tulevaisuuteen. Järvien säännöstelylupia joudutaan monilla järvillä muuttamaan (Veijalainen ym. 2012). Säännöstelylupien muutoksia on jo tehty tai ollaan tekemässä useilla järvillä ja niissä on huomioitu ilmastonmuutoksen vaikutus. Arvioiden mukaan muutostarve koskee noin kolmasosaa 220 säännöstelyluvasta ja riippuu järven sijainnista, vesistön ominaisuuksista ja nykyisen säännöstelyluvan määrittelyistä.

Etelä- ja Keski-Suomen (vesienhoitoalueet 1-4) **jokivesistöissä** kevättulvat pienenevät ja niissä vesistöissä, joissa kevättulvat ovat nykyään selvästi suurimpia tulvia, tulvariski todennäköisesti pienenee (Kuva 3). Sen sijaan syksyn ja talven tulvat kasvavat ja talven jääpeiteajan lyheneminen lisää hyydetulvien todennäköisyyttä hyyteelle alttiissa joissa. Rankkasateiden on ennakoita lisääntyvän (Jylhä ym. 2009) keskimääräisiä sateita enemmän ja niiden myötä lisääntyvät rajut kesätulvat taajama-alueilla ja pienissä jokivesissä. Toisaalta kesien piteneminen voi jo sinänsä pahentaa loppukesän kuivuutta.

Pohjois-Suomen (vesienhoitoalueet 5-7) **jokivesissä** kevättulvien odotetaan kuitenkin vielä pysyvän keskimäärin ennallaan muutaman lähivuosikymmenen aikana lisääntyneen talven sadannan takia erityisesti Kemijoen, Ivalonjoen ja Tornionjoen valuma-alueilla, mutta pienenevän vuosisadan loppupuolella suurimmalla osalla skenaarioista lämpenemisen edetessä skenaarioiden mukaisesti (Kuva 3). Runsassateisimmilla skenaarioilla tulvat voivat paikoitellen jopa hieman kasvaa lähivuosikymmeninä, mutta muutos on pieni ja mahtuu suurten tulvien arvioinnin epävarmuusrajoihin. Runsassateisimmilla ja viileimmillä skenaarioilla tulvat pysyvät Pohjois-Lapissa lähes nykyisen suuruisina vielä vuosisadan loppupuolellakin. Etelämpänä Etelä- Lapissa ja Pohjois-Pohjanmaalla tulvien ennakoidaan pienenevän etenkin vuosisadan puolivälin jälkeen lumen määrän vähetessä (Veijalainen ym. 2012, Veijalainen ym. 2010).

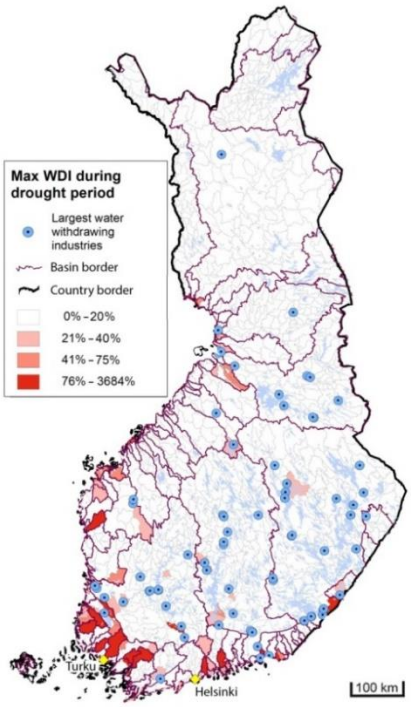


Kuva 3. Tulvien muuttuminen ilmastonmuutoksen vaikutuksesta eri puolilla Suomea 2010–39 ja 2070–99 jaksolle mennessä (verrattuna 1971–2000 jaksoon). Kuvissa 20 skenaarion keskimääräinen muutos, minimimuutos ja maksimimuutos (Veijalainen ym. 2012)

Vedenhankinnan kannalta tärkeät **alivirtaamat** pienenevät ja alivirtaamakaudet kesällä pitenevät etenkin Etelä- ja Keski-Suomessa (Veijalainen ym. 2019; Veijalainen ym. 2012). Kesän keskivalunnan arvioidaan pienenevän jaksolle 2040–69 mennessä esimerkiksi etelärannikon vesistöissä noin 23 %, Pohjanmaalla ja Satakunnassa vähennys olisi noin 16 % (Veijalainen ym. 2019). Etelä- ja Keski-Suomessa monien järvien vedenkorkeudet laskevat loppukesällä. Kuivimpina kesinä kastelu ja muu vedenhankinta voivat näissä vesistöissä vaikeutua tuntuvasti. Lapissa minimivirtaamat voivat sen sijaan jopa kasvaa, koska ne nykyilmastossa ajoittuvat pääosin talveen ja talven virtaamat kasvavat. Kuivuuden aiheuttamien ongelmien lisäsi kesän rankkasateiden lisääntyminen (Jylhä ym. 2009, ilmasto-opas, hulevesiopas) ja lämpimät ja sateiset syksyt ja talvet voivat toisaalta lisätä tulva- ja kontaminaatioriskejä joillain vedenottamolla. Ilmastonmuutos saattaa myös lisätä myrskyjä (Jylhä ym. 2009), mikä saattaa vaikuttaa vedenottamoiden toimintavarmuuteen erityisesti sähkökatkojen myötä.

WDI (Water Depletion Index) on **vedenniukkuusindikaattori**, joka kuvaa veden käyttöastetta vesistötasolla. Veden niukkuus tarkoittaa ihmisten aiheuttamaa liiallista vedenkäyttöä suhteessa käytettävissä oleviin uusiutuviin vesivaroihin. Indikaattorin korostamat alueet ovat herkempiä kuivuuden vaikutuksille. Sen avulla voidaan myös levittää yleistä tietoisuutta vedenkulutuksen vaikutuksista. Ahopelto ym. (2019) on laskenut indeksin vakavan kuivuuden aikana kuukausitasolla

eri puolilla Suomea (Kuva 4). Tulosten perusteella vakavan kuivuuden aikana veden riittävyyden kanssa olisi haasteita etenkin Lounais-Suomessa (mm. Paimionjoen, Sirppujoen ja Uskelanjoen vesistöissä), paikoin myös Pohjanmaalla. Ilmastonmuutos hieman pahentaa kuivuustilanteista etenkin Etelä- ja Keski-Suomessa (Veijalainen ym. 2019).



Kuva 4. Kuukausittainen suurin WDI-arvo Suomen vesistöissä vakavan monivuotisen kuivuuden aikana nykyisellä vedenkäytöllä (Ahopelto ym. 2019). Mitä suurempi arvo, sen suurempi osa uusiutuvista vesivaroista käytetään.

Merkittävimmät riskit vesisektorilla muodostuvat tulevaisuudessakin poikkeuksellisista ääri-ilmiöistä, kuten suurtulvista ja vakavasta kuivuudesta (Tuomenvirta ym. 2018). Tällaiset ilmiöt ovat myös tulevaisuudessa harvinaisia, mutta ilmastonmuutos tulee muuttamaan niiden todennäköisyyttä. Tarkkaa vaikutusta on ilmiöiden monimutkaisuuden ja poikkeuksellisuuden takia mahdotonta arvioida ja lisäksi paikalliset erot eri vesistöissä ovat merkittäviä. Paikoin ilmastonmuutos kuitenkin todennäköisesti lisää näiden ääri-ilmiöiden (rankkasateiden, kuivuuden) riskiä ja siten riskiä suurille vahingoille ja vaikutuksille.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia **pohjavesivaroihin** on tutkittu vähemmän kuin pintavesiin kohdistuvia vaikutuksia. Tehtyjen laskentojen perusteella talviaikaiset pohjavedenkorkeudet nousevat, kesäaikaiset laskevat hieman loppukesästä (Veijalainen ym. 2012; Vienonen ym. 2012; Veijalainen ym. 2019). Kesän ja syksyn alimmat pohjavedenkorkeudet painuvat entistä alemmas etenkin Etelä- ja Keski-Suomessa. Kuivien kausien paheneminen lisää pohjavesivarojen varassa olevan vesihuollon riskejä ja ongelmia (Vienonen ym. 2012). Suurissa pohjavesimuodostumissa sadannan ja sulannan vuodenaikaisrytmi vaikuttaa vähemmän kuin pienissä. Alimmat korkeudet ovatkin esiintyneet kaikkein suurimmissa pohjavesimuodostumissa viiveellä vasta pintavesien kuivakausien päätyttyä. Kesäsateet päätyvät kasvukauden ja haihdunnan vuoksi harvoin pohjaveteen saakka eivätkä näin ollen vaikuta yleensä suuresti pohjaveden muodostumiseen. Syksyn ja talven vesisateet ja sulamisvedet täydentävät tehokkaasti pohjavesivarastoja. Pohjaveden muodostuminen riippuu vesitilanteen lisäksi myös roudasta. Roudan määrä keskimäärin vähenee ilmastonmuutoksen

myötä, eniten Etelä-, Lounais- ja Länsi-Suomessa (ilmasto-opas.fi). Roudan määrän vaikuttaa pakkassumman lisäksi myös lumimäärä, jonka pieneneminen voi vuorostaan kasvattaa routaa. Vaihtelu roudan määrässä pysyykin etenkin lähivuosikymmeninä suurena.

Vastaavasti kuin pohjavesivarasto myös **maavesivarasto** on ilmastonmuutoksen seurauksena keskimäärin pienempi kesällä ja suurempi talvella ja maankosteuden vajauksen vuosimaksimit keskimäärin kasvavat (ilmasto-opas.fi). Maankosteus lähtee laskemaan entistä aiemmin ja laskee loppukesään mennessä aiempaa alemmas aikaisemman kevään, pienempien kevätvaluntojen ja suuremman haihdunnan johdosta.

Syys- ja talvisateiden ennustetaan lisääntyvän, minkä seurauksena **pohjaveden laatu** voi heikentyä. Maaperän ollessa veden kyllästämää likaista pintavettä voi suodattua tavanomaista enemmän suoraan pohjavedenottamoiden kaivoihin. Suurimpia pintavalunnan ja suotautuvan veden riskinaiheuttajia ovat kasvinsuojelu- ja torjunta-aineet sekä metaboliitit, kuten koliformiset bakteerit ja lääkeainejäämät. Riski kasvaa etenkin sellaisilla alueilla, joilla pohjaveden pinta on lähellä maanpintaa. Ongelmia vedenlaadussa saattaa esiintyä myös pienissä pohjavesimuodostumissa, jossa alentuneet pohjavedenvirtaamat johtavat hapen puutteeseen sekä liuenneen raudan, mangaanin ja metallien korkeisiin pitoisuuksiin. Tästä saatiin viitteitä vuosien 2002–2003 kuivuuden aikana. Myös vuosi 2018 oli poikkeuksellisen vähäsateinen: kuivimmilla alueilla sademäärä jäi vain kolmasosaan tavanomaisesta. Vesilaitoksille tehdyn kyselyn mukaan kuivuuden vaikutukset ja sen aiheuttamat toimenpiteet painottuivat pohjavettä raakavetenään käyttäviin vesilaitoksiin, joista kahdella kolmasosalla pohjaveden pinnankorkeudet laskivat kuivuuden seurauksena (Vesilaitosyhdistys 2019).

4.2 Vaikutukset meriveden korkeuteen

Meriveden noususkenaariot -hankkeessa (Ilmatieteen laitos) on määritetty merenpinnan tulvakorkeudet eri todennäköisyyksille Itämerellä vuoteen 2100 asti ottaen huomioon sekä merenpinnan tason skenaariot (ilmastonmuutos ja maankohoaminen huomioiden) että vedenkorkeuden lyhytaikaisvaikutus. Tulokset on esitetty taulukossa 2. (Kahma ym. 2014).

Merenpinnan nousun on Suomessa arvioitu olevan noin 80 prosenttia maailmanlaajuisesta keskiarvosta. Arvioiden mukaan merenpinta voi nousta Suomenlahdella jopa 80–90 cm tämän vuosisadan aikana. Kun maankohoaminen otetaan huomioon, keskimääräisten arvioiden mukaan merenpinta nousee Suomenlahdella noin 30 cm ja korkeimpien ennusteiden toteutuessa jopa 90 cm vuosina 2000–2100. Monin paikoin Suomen rannikolla maankohoaminen jatkuu merivedennousua voimakkaampana vielä pitkään (Pellikka ym. 2018, Parjanne ym. 2018).

Taulukko 2. Merenpinnan korkeudet eri todennäköisyyksille Itämerellä vuonna 2050 ja 2100 ottaen huomioon myös ilmastonmuutoksen vaikutus (Kahma ym. 2014).

	Vedenkorkeus (cm) N2000-järjestelmässä							
Todennäköisyys (tapausta/vuosi)	**1/20a**		**1/50a**		**1/100a**		**1/250a**	**1/1000a**
Vuosi	**2050**	**2100**	**2050**	**2100**	**2050**	**2100**	**2100**	**2100**
Kemi	187	199	211	223	230	242	267	304
Oulu	180	198	199	217	214	231	250	279
Raahe	150	171	165	187	176	199	214	236
Pietarsaari	137	158	150	173	160	184	198	219
Vaasa	135	151	153	169	166	183	200	227
Kaskinen	133	161	150	178	162	19	206	231
Mäntyluoto	131	164	145	180	156	191	206	229
Rauma	134	173	147	188	156	198	212	232
Turku	141	188	153	202	163	213	226	245
Föglö	118	165	127	179	134	188	200	216
Hanko	147	201	162	217	173	228	244	266
Helsinki	173	228	188	245	200	257	273	297
Hamina	214	264	235	285	251	302	323	355

4.3 Vaikutukset vedenlaatuun ja ekologiaan

Ilmastonmuutoksen vaikutukset vesien tilaan ovat sekä suoria että epäsuoria. Voidaan osoittaa, että lämpötilojen ja sateiden muutosten sekä tulvien ajankohtien muutosten myötä jääpeiteaika on lyhentynyt ja järvien lämpötilakerrostuneisuus on muuttunut vuosisyklin aikana. On kuitenkin hyvin vaikea erottaa ilmastonmuutoksen osuutta muista vedenlaatuun ja ekologiaan vaikuttavista tekijöistä, kuten maankäytön ja muun ihmistoiminnan vaikutuksista. Vesiekosysteemien toiminta ja eri tekijöiden ja lajien väliset vaikutussuhteet ovat monimutkaisia, joten niiden tulevat muutokset ilmastonmuutoksen vaikutuksesta ovat varsin epävarmoja ja vielä puutteellisesti ymmärrettyjä. Lisäksi ilmastonmuutoksen aiheuttamien muutosten suuruudet ja suunnat todennäköisesti poikkeavat merkittävästi toisistaan erityyppisissä vesistöissä ja vesimuodostumissa eri puolilla Suomea.

Veden lämpötilan nousun ja kasvukauden pitenemisen myötä vesistöjen perustuotanto saattaa lisääntyä, rehevöityminen voimistua ja leväkukintojen määrä kasvaa. Myös vesien bakteerimäärät saattavat lisääntyä. Lämpötilan nousun myötä järvien kesäaikainen lämpötilakerrostuneisuus pidentyy ja voi voimistua. Pohjalle vajoavan orgaanisen aineksen määrän lisääntyminen todennäköisesti voimistaa hapenkulutusta (Maa- ja metsätalousministeriö 2015). Hapenkulutus voi myös lisääntyä, jos pohjanläheisen vesikerroksen lämpötila kasvaa. Toisaalta jääpeitekauden lyheneminen voi olla happitilanteen kannalta eduksi.

Ilmastonmuutos vaikuttaa **vesieliöiden** levinneisyyteen ja runsauden vaihteluun sekä ihmisen hyödyntämiin ekosysteemipalveluihin, kuten kalastukseen ja virkistyskäyttöön (Tuomenvirta ym. 2018, Lento ym. 2019). Arviot ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksista vesieliöihin ja -ekosysteemien ovat vielä varsin epävarmoja. Alustavien arvioiden mukaan **sisävesiluonto** tulee muuttumaan merkittävästi erityisesti arktisella alueella (Lento ym. 2019). Paikoitellen lisääntyvä rehevöityminen ja mahdolliset vieraslajit voivat aiheuttaa riskejä vesistöjen ekosysteemeille (Tuomenvirta ym. 2018, Carter 2007). Eteläiset, lämmintä vettä suosivat lajit leviävät pohjoiseen ja pohjoiset, kylmää vettä suosivat lajit häviävät tai joutuvat pakenemaan yhä pohjoisemmaksi. Vaikka pohjoisten alueiden lajien kirjo tulee kasvamaan, muutoksen kokonaisvaikutukset tulevat olemaan haitallisia. Arktisille alueille leviävät lajit ovat yleisiä lajeja, mutta todennäköisesti vähenevät lajit, kuten nieriä, ovat jo tälläkin hetkellä levinneisyydeltään pääasiassa pohjoisille alueille rajoittuneita. (Lento ym. 2019). Toisaalta kokeellisissa tutkimuksissa on havaittu esimerkiksi muikun ja siian alkioiden selviytyvän hyvin myös nykyistä lyhyemmissä talviolosuhteissa, sillä poikasten kuoriutumisajankohta vaihtelee joustavasti veden lämpötilan mukaan (Karjalainen ym. 2015).

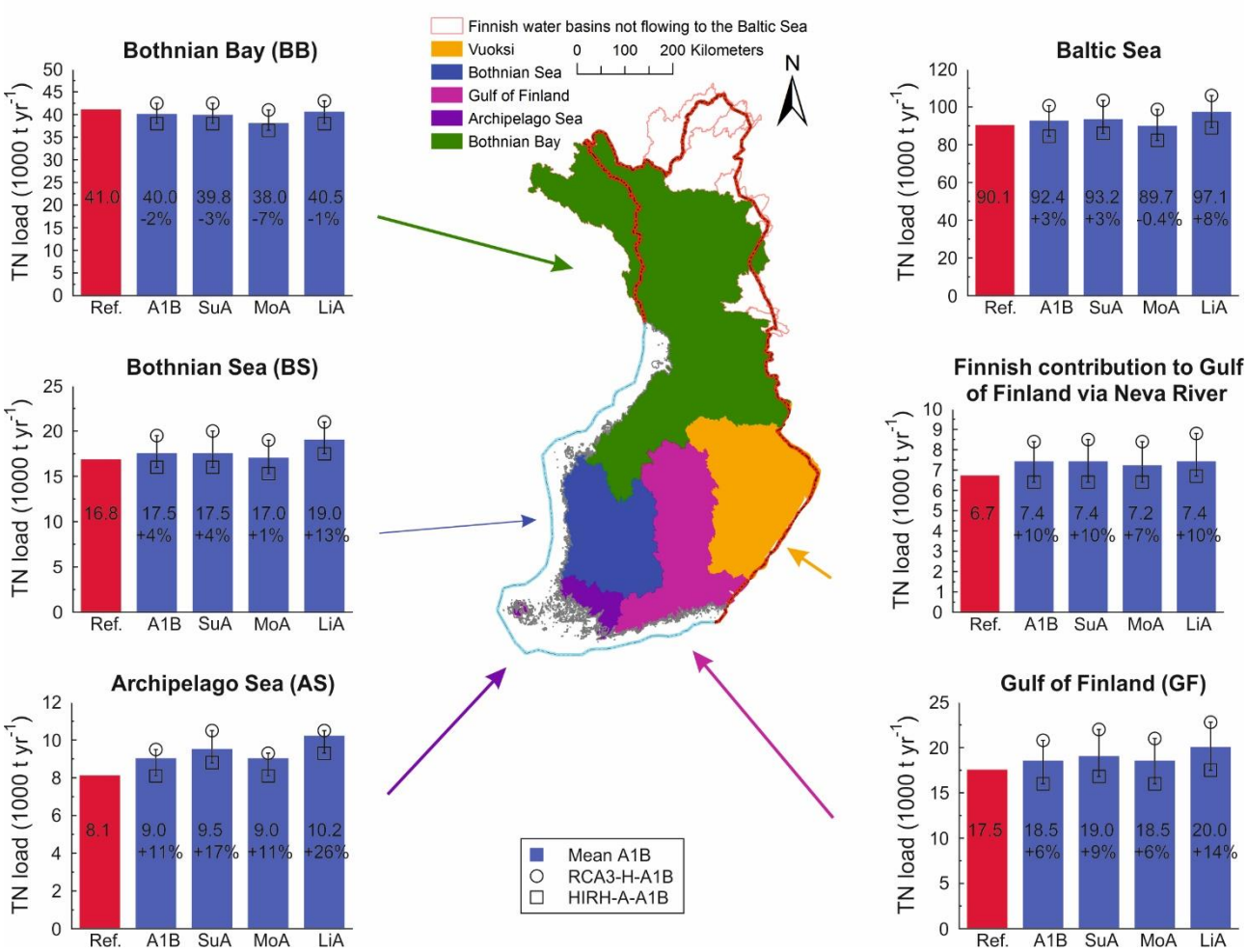
Ilmastonmuutos ja vieraslajit aiheuttavat uusia uhkia maamme **pienvesille**, joiden tila on arvioitu heikoksi valtakunnallisessa luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnissa (Tolonen ym. 2019). Pienet vesistöt, purot ja lammet ovat erityisen herkkiä lämpötilastressille (Heino ym. 2009). Pahimmillaan purot voivat kuivua lähes kokonaan, minkä johdosta niiden ekologia voi turmeltua. Hydrologisen vuodenaikaisrytmin muutoksen on todettu vaikuttavan esimerkiksi pohjaeliöstön lajikoostumukseen erityisesti pienvesissä (Mustonen ym. 2018). Pienenevien tulvien ja kesäajan kuivuuden yleistymisen myötä kosteana pysyvät rantavyöhykealueet kapenevat ja niiden kasvillisuuden lajirunsaus vähenee (Nilsson ym. 2013).

Ilmastonmuutos voimistaa vesiekosysteemien **ravinnekuormitusta** ja sitä kautta rehevöitymisen riskiä. Valunnan kasvaessa myös huuhtoutumariski lisääntynyt erityisesti talviaikana. Suurimmat vaikutukset kohdistuvat Etelä- ja Lounais-Suomen rannikkoseuduille (Huttunen ym. 2016). Peltojen lumettomuus tullee lisäämään ravinteiden, fosforin ja typen, huuhtoutumista vesistöihin talvella.

Peltojen ravinnehuuhtoutumien muutoksia on selvitetty Marisplan-hankkeessa ja meneillään olevassa BlueAdapt-hankkeessa sekä aiemmin SILMU-projektissa (Kallio ym. 1997). SILMUn ja Marisplanin tulosten mukaan typpihuuhtoumat lisääntyvät selvästi etenkin maan länsi- ja lounaisosissa. Varsinais-Suomessa sijaitsevalla kaltevalla savipellolla tehdyssä Puustisen ym. (2007) tutkimuksessa kiintoainefosforin kuormitus yli kaksinkertaistui vuosina, joina syksy ja talvi olivat lämpimiä ja sateisia normaaleihin vuosiin verrattuna. Toisaalta samassa tutkimuksessa kahden pienen valuma-alueen fosforikuormissa ei havaittu juurikaan kasvua lämpiminä vuosina. Viime vuosina syksyt ja talvet ovat olleet lämpimiä ja sateisia jo useasti maan etelä- ja joskus myös keskiosissa. Kokemäenjoen vesistöä koskevan Astra-projektin tulokset ovat antaneet viitteitä fosforikuormituksen merkittävästä lisääntymisestä.

Marisplan-projektissa (Huttunen ym. 2015) on mallinnettu fosfori- ja typpikuormituksen muutoksia eri ilmasto- ja maatalouden skenaariolla vuoteen 2060 asti. Maatalouden skenaarioissa oletettiin, että maataloustuotteiden hinnat olivat ilmastonmuutoksen sopeutumisen pääasiallisia ajureita ja vaikuttavat lannoituksen ja tuotannon määrään ja siten myös maatalousmaan ravinnekuormitukseen. Varsinaiset vesiensuojelumenetelmät eivät sisältyneet tarkasteluun. Ilmastonmuutos keskimäärin lisää ravinnekuormitusriskiä pelloilta. Huono sopeutuminen lisää huuhtoutumista entisestään, kun taas optimaalinen sopeutuminen, jossa satotasot kasvavat, johtaa parhaimmillaan pienempiin ravinnekuormituksiin. Tulosten mukaan maatalouden typpikuormitus pysyy Pohjois-Suomessa kutakuinkin ennallaan ja muualla maassa kasvaa noin 4-11 %, eniten Lounais-Suomessa (Kuva 5). Fosforikuormitus kasvaa Pohjois-Suomea lukuun ottamatta, kasvua on Etelä- ja Keski-Suomessa 12–17 % kokonaisfosforin vesistökuormituksessa näiltä alueilta Itämereen. Tulosten mukaan lämpimät ja sateiset vuodet kasvattaisivat erityisesti savipeltojen fosforikuormitusta lisääntyvän makrohuokosvalunnan takia. Karkeilla pelloilla, joilla makrohuokosia ei ole, fosforikuormat saattaisivat jopa hieman pienentyä. Tähän on syynä keväällä lumen sulamisen aiheuttaman pintavalunnan väheneminen.

Pellon ominaisuudet – maalaji, kaltevuus, kasvilaji ja kylvömenetelmä – vaikuttavat paljon partikkelimaisen ja liuenneen fosforin ja nitraatin huuhtoutumisen. Partikkeli- ja liukoinen fosfori kulkeutuvat maaperässä lähinnä pintavalunnan ja makrohuokosvalunnan kuljettamana, kun taas nitraattityppi kulkeutuu lähinnä salaojavalunnan mukana. Fosforin ja typen erilaiset kulkeutumismekanismit edellyttävät erilaisia ravinnekuormituksen vähentämisen toimenpiteitä. Liuenneen fosforin huuhtoutuminen liittyy valuntamääriin, minkä vuoksi kasvava valunta lisäisi myös liuenneen fosforin huuhtoumista, mutta myös muut tekijät kuten maan fosforivarasto, kasvilaji ja viljelymenetelmät vaikuttavat siihen. Toisaalta Puustisen ym. (2019), tutkimuksen mukaan kuormittavat vuodet eli tavanomaista leudommat talvet eivät vaikuttaneet liukoisen fosforin huuhtoumia lisäävästi yhtä voimakkaasti kuin eroosion ja partikkelifosforin osalta. Nurmipeite lisää liuennen fosforin määrää, mutta vähentää kokonaisfosforin kuormitusta. Nitraatin huuhtoutuminen riippuu paljon käytetyistä lannoitusmääristä pelloilla, mineralisaatiosta sekä myös siitä, mihin aikaan sade ajoittuu suhteessa lannoitteen levitykseen. Fosforilannoituksen pienentäminen alentaa pitkällä aikavälillä maan P-lukuja ja liukoisen fosforin huuhtoutumisriskiä.



Kuva 5. Kokonaistypen (TN) simuloitu vesistökuormitus Suomesta Itämereen 2001–2010 ja ilmastoskenaarioiden 2051-2060 (Keskimääräinen A1B, märkä RCA3-H-A1B and kuiva HIRH-A-A1B) vaikutus yhdistettynä kolmeen maatalouden sopeutumisskenaarioihin (A1B=baseline, SuA=succesfull adaptation, MoA, moderate adaptation, LiA=little adaptation) (Huttunen ym. 2015).

Myös **routa** vaikuttaa ravinnehuuhtoumiin. Roudan vähentymisen myötä sen vaikutus savimaiden rakenteeseen vähenee (Peltonen-Sainio ym. 2017) ja eroosio maaperästä talvella voi lisääntyä myös roudan vähentymisestä johtuen.

Turvemaiden viljely aiheuttaa noin 50 % maatalouden kasvihuonekaasupäästöistä. Lisäksi turvepelloilta huuhtoutuu typpeä noin kolminkertaisesti kivennäismaihin verrattuna (Joki-Tokola 2019). Viime aikoina merkittävä osa pelloista on raivattu eloperäisille maille. Pellonraivausta on tehty erityisesti Pohjanmaalla ja Pohjois-Suomessa. Kasvuun vaikuttaa kotieläintuotannon laajentuminen ja sen myötä peltoalan lisätarve rehuntuotantoon ja lannanlevitykseen. Vuoteen 2040 eloperäisten viljelysmaiden alan on arvioitu kasvavan Etelä-Suomessa noin 7 % (12 000 ha) ja Pohjois-Suomessa 22 % (18 000 ha) vuoden 2013 tasoon verrattuna (Haakana ym. 2015).

Hydrologisten ääri-ilmiöiden lisääntyminen todennäköisesti **voimistaa metallien ja happamuuden huuhtoutumista** maaperästä erityisesti **happamilta sulfaattimailta**. Seurauksena vesiekosysteemien ja kalakantojen todennäköisyys altistua myrkyllisille metalliyhdisteille kasvaa. Myrkyllisten yhdisteiden korkeita pitoisuuksia esiintyy erityisesti pitkien kuivien kausien ja niitä seuraavien rankkasateiden jälkeen. Ongelma voi korostua erityisesti vähäjärvisillä valuma-alueilla, joissa virtaaman vaihtelut ovat nopeita. Happamuushaittoja voidaan ehkäistä nostamalla

pohjavedenpintaa niin, että sulfidipitoiset maakerrokset jäävät veden peittoon, esimerkiksi maataloudessa säätösalaojituksella ja lisäveden pumppaamisella ojastoon (Riihimäki ym. 2013). Happamuus- ja metallikuormituksen vähentämisstrategian mukaan haasteena ovat kuitenkin kustannustehokkaiden kuormitusta vähentävien menetelmien puute tai niiden käyttöönoton vaikeudet sekä kuormituksen vaikutusten pitkäaikaisuus. Kuormitusriskiä lisäävät muuttuvien sää- ja vesiolojen lisäksi maannousu ja kuivatusalueilla tapahtuva maan tiivistyminen, joka aiheuttaa painetta lisätä kuivatussyvyyttä. (Maa- ja metsätalousministeriö 2018)

Metsäalueiden ravinnekuormituksen muuttumista on toistaiseksi tutkittu vähemmän kuin peltojen. Valunnan ja rankkasateiden kasvaminen todennäköisesti lisää ravinnekuormitusriskiä, sillä merkittävä osa metsäalueiden ravinteista huuhtoutuu vesistöihin tulva-aikana. Roudattoman ajan valunnan kasvu lisää alttiutta eroosiolle. Mallitarkastelujen perusteella maaperän lämpötilan nousun arvioidaan nopeuttavan orgaanisen aineen hajoamista ja lisäävän typen vapautumista (Forsius ym. 2013). MetsäVesi -hankkeessa tarkasteltiin kuormituksen muutosta metsätalousvaltaisilta valuma-alueilta perustuen pitkiin aikasarjoihin. Metsiltä ja soilta tulevan valumaveden typen ja orgaanisen hiilen kuormituksessa havaittiin nouseva trendi 12 valuma-alueen aineistossa vuosina 1978–2018. Samanaikaisesti kun ilman lämpötila on noussut, hydrologia on muuttunut ja hapan laskeuma on pienentynyt, mitkä voivat selittää kuormituksen kasvua. Fosforin osalta kuormitus on sen sijaan hieman laskenut, minkä arvellaan johtuvan suometsien fosforilannoituksen loppumisesta ja siirtymisestä hidasliukoisiin lannoitteisiin. Sateisten ja kuivien jaksojen väliset erot näkyvät selvästi ainevirtaamissa siten, että sateiset vuodet kasvattavat huuhtoumia. Ilmastonmuutoksen vaikutus ainevirtaamiin näkyy selvästi, mutta ei yksinään selitä muutosta. (Finér ym. 2020).

Pintavesien tummuminen (brownification) johtuu maa-alueilta peräisin olevan liuenneen orgaanisen hiilen (OC) määrän noususta. Pintavesien orgaanisen hiilen märän kasvua on havaittu laajasti pohjoisissa vesistöissä pienvesistä suuriin järviin ja jokivesistöihin. Ilmastonmuutoksen on havaittu keskimäärin voimistavan vesien tummumista. Ongelma ei kuitenkaan koske kaikkia vesistöjä vaan paikalliset erot riippuen valuma-alueen ominaisuuksista, maalajeista ja maankäytöstä ovat suuria. Lisäksi happaman laskeuman vähenemisellä ja maankäytön muutoksilla kuten intensiivisellä ojituksella, on todettu olevan vaikutusta tummumiseen. De Vit ym. (2016) ovat arvioineet, että sadannan kasvu kymmenellä prosentilla lisää orgaanisen hiilen kulkeutuvuutta vähintään 30 %. Tummuminen vaikuttaa vesistöjen perustuotantoon esimerkiksi muuttamalla valo-olosuhteita ja lisäämällä vähähappisia olosuhteita. Kasvava hajotustoiminta lisää edelleen kasvihuonekaasujen päästöjä. (mm. Vuorenmaa ym. 2006, Forsius ym. 2017, Lepistö ym. 2008, Räike ym. 2016). Järvien tummuminen ja rehevöityminen myös muuttavat leväyhteisön rakennetta vähentäen terveydelle hyödyllisten omega-3-rasvahappojen tuotantoa, jolloin niiden määrä myös kaloissa vähenee (Taipale ym. 2016).

4.4 Muut vaikutukset

SIETO-hankkeessa toteutettiin kansallinen **sää- ja ilmastoriskiarviointi** sekä laadittiin toimintamalli tulevien riskinarviointien toteuttamiseksi sekä riskinarviointiin liittyvien aineistojen järjestämiseksi. Suurimmiksi riskeiksi Suomen vesisektorilla arvioitiin hulevesitulvat, vesistöjen suurtulvat, kuivuuden aiheuttamat riskit ja äärisään riskit vesihuollolle (Tuomenvirta ym. 2018). Lisäksi luonnon nykyisen monimuotoisuuden arvioitiin kokevan merkittäviä riskejä, mm. muutokset ja siirtymät lajien levinneisyydessä, elinympäristöjen muutokset, uhanalaisten lajien menestymisen heikentyminen entisestään sekä vieraslajit. Maataloudessa ja muilla luonnonvara-aloilla tauti- ja tuholaisriski, sään ääri-ilmiöiden lisääntyminen ja kuivuus aiheuttavat suurimpia riskejä. Ilmastonmuutoksen terveysvaikutukset väestölle ovat Suomessa maailmanlaajuisesti tarkastellen keskimääräistä huomattavasti vähäisempiä, mutta helteen aiheuttamat terveyshaitat, vesiepidemiat,

vektorivälitteiset infektiosairaudet, liukastumistapaturmat ja rakennusten kosteusvaurioihin liittyvät sisäilmaongelmat aiheuttavat kasvavia terveysriskejä (Tuomenvirta ym. 2018, Carter 2007).

Ilmastonmuutoksesta hyötyviä tuotantosektoreita voivat Suomessa mahdollisesti olla maa- ja metsätalous sekä lämmitysenergian kuluttajat (Tammelin ym. 2002). Maatalouden tuotantokyky saattaa parantua lähitulevaisuudessa pidentyvän kasvukauden ja suuremman lämpösumman kautta. Ilmaston äärevöityminen, esimerkiksi rankkasateiden ja kuivuusjaksojen yleistyminen, sekä suurempi tauti- ja tuholaispaine saattaa kuitenkin aiheuttaa ennalta arvaamattomia haittoja (Tuomenvirta ym. 2018). Samoin metsätaloudessa lämpötilan noususta saatava mahdollinen hyöty saattaa hyvinkin kumoutua kuivuudesta, myrskyistä ja tuholaisista aiheutuvien riskien johdosta. (Tuomenvirta ym. 2018) Vesivoiman tuotantopotentiaalin on arvioitu kasvavan jaksolla 2040–69 noin 5 %. Lisäksi matkailuala voi saada suhteellista hyötyä eurooppalaisessa katsannossa. Kiinteistöjen ja liikenteeseen liittyvän rakentamisen kustannukset lisääntyisivät jonkin verran lähivuosikymmeninä ja enemmän myöhemmin. Ilmastonmuutokseen liittyy huomattavia epävarmuuksia ja etenkin siihen liittyvät globaalit riskit ja välilliset vaikutukset voivat kasvaa hyvinkin suuriksi pidemmällä aikavälillä.

5 Toimenpiteiden ilmastokestävyys ja yhteensovittaminen tulvariskien hallinnan kanssa

5.1 Ilmastokestävyyden arviointi

Kolmannella suunnittelukierroksella tarkastellaan vesienhoidon toimenpiteitä erityisesti myös ilmastokestävyyden näkökulmasta. Ilmastokestävä suunnittelu tarkoittaa sitä, että suunnitelmat ja toimenpiteet laaditaan siten, että ne ovat mahdollisimman käyttökelpoisia ilmaston ja ympäristön muutoksista huolimatta. Olennainen osa ilmastokestävää suunnittelua on mukautuvuus, eli suunnitelmien jatkuva parantaminen hyödyntäen uutta tietoa ja kokemuksia. Ilmastokestäviksi toimenpiteiksi voidaan määritellä sellaiset, jotka toimivat huolimatta olosuhteiden vaihtelusta ja/tai ovat joustavia, jolloin niitä voidaan muokata paremmin sopeutuvaksi. Tämä näkökulma on uutta verrattuna edellisillä kierroksilla tehtyihin tarkasteluihin (kuva 6). Vesienhoidon toisella suunnittelukierroksella arvioitiin, edistääkö tai heikentääkö toimenpide ilmastonmuutokseen tai poikkeuksellisiin vesioloihin varautumista (ks. kohta 5.2).

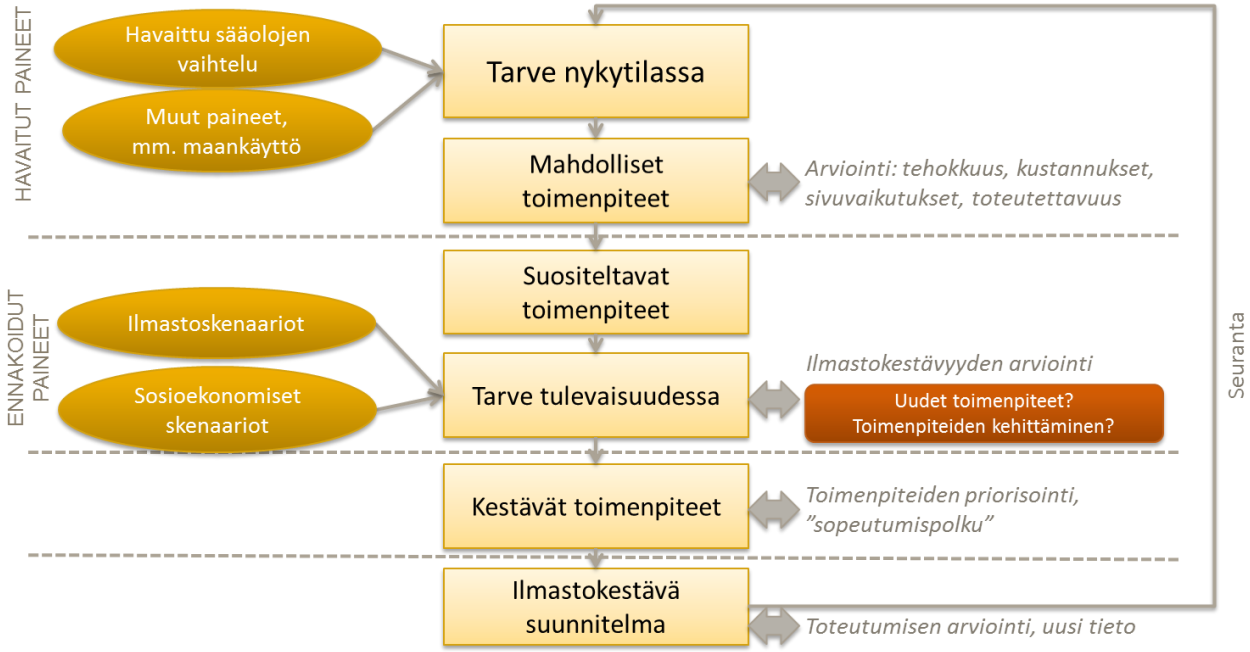
Kolmannen suunnittelukierroksen toimenpiteiden ilmastokestävyyttä on arvioitu toimialakohtaisissa oppaissa jäljempänä kuvatun menettelyn mukaisesti. Toimenpiteiden ilmastokestävyyden arvioinnissa otetaan huomioon muuttuvat olosuhteet, toimenpiteen joustavuus sekä vaikutus ilmastonmuutoksen hillintään. Arvioinnin tavoitteena on ollut tunnistaa jokaisella sektorilla sellaiset toimenpiteet, jotka säilyttävät toimivuutensa erilaisissa olosuhteissa. Arvioinnin tuloksena voidaan myös tunnistaa, millaiset sää- ja ilmasto-olot ovat kullekin sektorille ongelmallisia. Lisäksi voidaan pohtia, onko nykyisessä toimenpidevalikoimassa riittävästi toimenpiteitä vastaamaan ennakoituihin muutoksiin. Arvioinnin perusteella työryhmä voi harkita, tulisiko ohjauskeinoina esittää esimerkiksi toimenpiteiden kehittämistä kestävämmäksi tai onko tarvetta kehittää kokonaan uusia toimenpiteitä.

Ilmastokestävyyden arvioinnin on tarkoitus auttaa vesienhoidon suunnittelijoita toimenpiteiden valinnassa ja priorisoinnissa, huomioiden vesienhoitoalueiden erityispiirteet ja ilmastonmuutoksen alueelliset vaikutukset. Yksittäisten toimenpiteiden ilmastokestävyyden pohjalta voidaan arvioida alueellisten toimenpideohjelmien sopeutuvuutta. Toimenpiteiden valinnassa tavoitteena on mahdollisuuksien mukaan priorisoida ilmastokestäviä toimenpiteitä.

Esimerkki toimenpiteiden ilmastokestävyyden tarkastelusta.

Vesienhoidon toimenpiteiden suunnittelu vuosille 2022–2027: Maatalous, turkistuotanto ja happamuuden torjunta – oppaassa on arvioitu, että suurin osa toimenpiteistä soveltuu hyvin tai melko hyvin erilaisiin sää- ja vesiolosuhteisiin. Tutkimuksissa on kuitenkin osoitettu, että leutojen talvien yleistyminen heikentää monien toimenpiteiden tehokkuutta, esimerkiksi ravinteiden pidättyminen kosteikkoihin vaikeutuu, minkä vuoksi tarvitaan entistä enemmän toimenpiteitä ja niiden kohdentamista vaikuttavimmille alueille[1]. Joidenkin toimenpiteiden, kuten eläinsuojien ja turkistuotannon vesiensuojelurakenteiden osalta on arvioitu, että rankkasateiden kaltaisissa poikkeustilanteissa vesienkäsittelyn mitoituksissa voi tulla ongelmia. Joustaviksi tai muokattaviksi toimenpiteiksi arvioitiin sellaiset, jotka voidaan toteuttaa vaiheittain tai joissa viljelijällä on valinnanvapautta toimenpiteen laajuuden valinnassa. Vähemmän joustaviksi taas arvioitiin sellaiset toimet, jotka edellyttävät muutoksia lainsäädännössä tai luvissa tai edellyttävät pidempiaikaisia investointeja, joihin viljelijä sitoutuu koko ohjelmakauden ajaksi. Yhteensä 27 toimenpiteestä 17 arvioitiin vaikuttavan positiivisesti ilmastonmuutoksen hillintään. Positiivinen vaikutus on erityisesti sellaisilla toimenpiteillä, jotka lisäävät tai ylläpitävät eloperäisen aineksen määrää maassa, kuten aluskasvien käyttö ja monipuolinen viljelykierto.

[1] Koskiaho & Puustinen 2019, Puustinen ym. 2019.



Kuva 6. Ilmastokestävän suunnittelun periaate. Tavoitteena on valita sellaisia toimenpiteitä, jotka ovat tarpeen nyt ja todennäköisesti hyödyllisiä tulevaisuudessa (Mukailtu Wilby & Dessain 2010 mukaan).

A. Muuttuvat olosuhteet

Arvioinnissa on tarkasteltu yksittäisten toimenpiteiden käyttökelpoisuutta muuttuvissa ja äärevissä vesiolosuhteisissa. Lähtökohtana eri tilanteiden arvioinnissa on se, miten olosuhteiden vaihtelu vaikuttaa toimenpiteen tehokkuuteen sille suunnitellussa käyttötarkoituksessa (esimerkiksi ravinne- tai happamuuskuormituksen vähentäminen tai vesieliöiden elinympäristön parantaminen) nykytilaan verrattuna. Arvioinnissa ei oteta kantaa siihen, vaikuttaako toimenpide tulva- tai kuivuusriskeihin. Tämä tarkastelu tehdään osana toimenpiteen vaikutusten arviointia.

Arviointiasteikko sopeutuvuuden arvioinnille on 5-portainen. Lähtökohtana oletetaan, että kaikkien toimenpiteiden toimivuus nykytilassa on hyvä. Mikäli jonkin toimenpiteen kohdalla arviota ei voida tehdä, kenttä voidaan jättää tyhjäksi. Sanallisen arvion lisäksi kirjataan perusteluihin, millä tavoin olosuhteiden vaihtelu vaikuttaa toimenpiteen käyttökelpoisuuteen ja tehokkuuteen.

Hyvä	Tarkasteltu tilanne ei vaikuta toimenpiteen tehokkuuteen. Toimenpide on toimiva ja käyttökelpoinen edelleen.
Melko hyvä	Toimenpide on pääasiassa käyttökelpoinen edelleen, vaikka sen toimivuus voi hieman heikentyä.
Kohtalainen	Toimenpide jossain määrin käyttökelpoinen, mutta sen toimivuus ei ole optimaalinen.
Melko huono	Toimenpide ei toimi hyvin, toimivuus vähenee merkittävästi.
Huono	Toimenpide ei ole lainkaan toimiva tarkastellussa tilanteessa.

Toimenpiteen käytettävyyttä arvioidaan kolmessa erilaisessa tilanteessa.

- **Hydrologisen vuodenaikaisrytmin muuttuminen**

  Valunnan, virtaamien ja vedenkorkeuksien vuodenaikainen jakauma muuttuu. Talven valunta kasvaa merkittävästi lumen sulamisen ja vesisateiden lisääntymisen vuoksi. Vastaavasti kevättulvat pienenevät etenkin Etelä-Suomessa ja Keski-Suomessa, kun lumipeitettä ei enää kerry entiseen

tapaan leutojen talvien aikana. Ravinnekuormituksen synty painottuu entistä enemmän keväästä syksyyn ja talveen.

- **Rankkasateiden ja sadannan kasvu**

  Sadanta kasvaa ja rankkasateet voimistuvat ja yleistyvät. Pintavaluntaa aiheuttavien rankkojen sateiden yleistyminen voi lisätä eroosiota ja fosforin kulkeutumista vesistöihin.

- **Pitkät kuivuusjaksot**

  Alivirtaamat pienenevät ja alivirtaamakaudet kesällä pitenevät etenkin Etelä- ja Keski-Suomessa. Kesän keskivalunta pienenee ja järvien vedenkorkeudet voivat laskea loppukesällä. Kuivimpina kesinä kastelu ja muu vedenhankinta voivat vaikeutua.

Esimerkki: Peltojen talviaikainen eroosion torjunta

Hydrologisen vuodenaikaisrytmin muuttuminen: hyvä
Rankkasateiden ja sadannan kasvu: hyvä
Pitkät kuivuusjaksot: hyvä
Perustelu: Hyvä ja keskeinen toimenpide talviaikaisen kuormituksen vähentämisessä. Toimenpiteen vaikuttavuus ei heikkene kesän kuivuuden myötä.

B. Toimenpiteen joustavuus

Arvioinnissa tarkastellaan toimenpiteen teknistä, taloudellista ja hallinnollista/oikeudellista joustavuutta. Siinä huomioidaan, voidaanko toimenpidettä muokata, esimerkiksi toteuttaa osittain, laajentaa tai supistaa, mikäli sää- tai ilmasto-olot niin edellyttävät. Joustavuutta on erityisesti syytä arvioida sellaisten toimenpiteiden osalta, joilla on pitkä elinkaari. Esimerkiksi suurten, pitkäikäisten rakenteiden kuten jätevedenpuhdistamon, tulvapenkereen tai kalatien muokkaaminen jälkeenpäin ei ole kovin helppoa. Sen sijaan esimerkiksi viljelykäytännöt, varautumissuunnitelmat tai viestintä ovat joustavia toimenpiteitä, vaikka ne saattavat olla sidottuja tiettyihin reunaehtoihin, kuten viljelykäytännöt ympäristökorvausjärjestelmään.

Joustavuuden arviointiasteikko on 5-portainen: erittäin joustava/ melko joustava/ ei kovin joustava/ ei lainkaan joustava/ vaikea arvioida. Arvioille kirjataan sanallinen perustelu. Perusteluissa voidaan ottaa kantaa siihen, miten olosuhteiden vaihtelu tulisi huomioida toimenpiteen valinnassa, toteutuksessa tai mitoituksessa tai miten toimenpidettä voisi kehittää joustavammaksi.

Esimerkki: **Luonnonmukainen peruskuivatus**
Arvio: melko joustava
Perustelu: Voidaan toteuttaa asteittain

C. Ilmastonmuutoksen hillintä

Arvioinnissa tarkastellaan, voivatko vesienhoidon toimenpiteet vaikuttaa hiilensidontaan tai kasvihuonekaasupäästöihin niitä vähentävästi tai lisäävästi. Yleisesti vesienhoidon toimenpiteillä on pieni merkitys hiilivarastoon ja sitä määrittävät ennen kaikkea muut toimialalla tehtävät toimenpiteet ja päätökset. Jos toimenpiteellä ei ole vaikusta hillintään tai muutosten suuruusluokka on pieni, voidaan toimenpide arvioida neutraaliksi. Joillakin toimenpiteillä, esimerkiksi laajalla alalla tehtävillä kasvipeitteisyyden tai muun eloperäisen aineksen määrää lisäävillä toimilla voi kuitenkin olla huomattava positiivinen vaikutus.

Arviointiasteikko on 5-portainen: positiivinen/negatiivinen/neutraali/vaikea arvioida. Arviot perustellaan sanallisesti.

Esimerkki: Maatalouden suojavyöhykkeet ja monimuotoisuus- ja luonnonhoitopellot
Arvio: positiivinen
Perustelu: Monivuotinen kasvipeite vähentää muokkausta, osalla aloista myös kasvimassa jää pellolle lisäämään orgaanista ainesta.

5.2 Vesienhoidon, tulva- ja kuivuusriskien hallinnan yhteensovittaminen

Tulvariskien hallintaa toteutetaan tulvariskilain (620/2010) mukaisesti samalla kuuden vuoden hallintasyklillä kuin vesienhoitoa. Kaikkien vesistö- ja rannikkoalueiden tulvariskit tulee arvioida kuuden vuoden välein osana tulvariskien alustavaa arviointia ja vähintään yhden nimetyn merkittävän tulvariskialueen vesistöille laaditaan tulvariskien hallintasuunnitelmat tavoitteineen ja toimenpiteineen. ELY-keskukset vastaavat ja edistävät tulvariskien hallintaa myös muilla kuin näillä alueilla.

Jatkossa myös kuivuusriskit arvioidaan säännöllisesti osana vesienhoidon ja tulvariskien hallinnan suunnittelujärjestelmiä. Ensimmäinen vesistöaluekohtainen kuivuusriskien hallintasuunnitelmapilotti on tarkoitus laatia meneillään olevan suunnittelukierroksen aikana soveltaen vesienhoidon ja tulvariskien hallinnan kokemuksia.

Vesienhoidon ja tulvariskien hallinnan toimenpiteet tulisi pyrkiä sovittamaan yhteen. Mahdollisuuksien mukaan tulisi suosia win-win-toimenpiteitä, jotka tukevat sekä vesien tilatavoitteiden saavuttamista että tulva- ja kuivuusriskien hallintaa. Niin sanotut no/low-regret – toimenpiteet ovat nykyoloissa kustannustehokkaita, tuottavat hyötyjä monissa erilaisissa tulevaisuuden skenaarioissa ja eivät merkittävästi vaaranna muiden tavoitteiden saavuttamista. Vastaavasti sellaisia vesienhoidon toimenpiteitä, jotka heikentävät varautumista poikkeuksellisiin vesioloihin ja ilmastonmuutokseen, tulisi välttää.

Vesienhoidon ja tulvariskien hallinnan toimenpiteiden ristiinarviointia kehitettiin toisella suunnittelukaudella ja arviot on tarkistettu kolmannelle suunnittelukaudelle. Vesienhoidon toimenpiteiden arvioinnissa on otettu huomioon kunkin toimenpiteen vaikutus tulva- ja kuivuusriskeihin. Lisäksi on tarkasteltu vaikutusta luonnon monimuotoisuuteen, hygieniaan, maisemaan ja roskaantumiseen (taulukko 3, Hjerppe & Lehtoranta 2019). Arviot on esitetty toimialakohtaisissa oppaissa. Myös tulvariskien hallinnassa kukin toimenpide on luokiteltu johonkin taulukon 3 luokista sen perusteella, minkälainen vaikutus sillä toteutuessaan olisi vesienhoidon tavoitteiden saavuttamiseen. Vesienhoidon kannalta myönteisten (++/+) ja kielteisten (-/--) tulvariskien hallinnan toimenpiteiden osalta arvioidaan myös vaikutuksen laajuutta. Vaikutusalue määritellään vesimuodostumien avulla.

Tulvariskien hallintasuunnitelmissa esitellään toimenpiteiden vaikutusten arviointitapa ja arvioinnin tulokset. Arviot tulvariskien hallinnan toimenpiteiden vaikutuksista vesienhoitoon tulee saattaa vesienhoidon yhteistyöryhmän nähtäväksi ja kommentoitavaksi. Yhteistyöryhmän kannanotot tulee myös sisällyttää hallintasuunnitelmaan.

Tulvariskien hallinnan toimenpiteistä suurin osa tukee vesienhoidon tavoitteita. Vesienhoidon hyvän ekologisen tilan tavoitetta voivat tulvariskien hallinnan toimista uhata lähinnä perkaukset, penkereet ja virtaamien ja vedenkorkeuksien säännöstely. Vesienhoidon toimenpiteistä tulvariskejä saattavat lisätä lähinnä vain säännöstelyjen kehittämishankkeet, vedenpinnan nostot ja virtavesien

elinympäristökunnostukset. Merkittävien vaikutusten syntyminen edellyttää kuitenkin toimenpiteiden laajamittaista toteuttamista. Huomioitavaa on, että sama toimenpide voi vaikuttaa eri alueilla eri tavoin. Esimerkiksi järven vedenpinnan nosto voi tulvaherkillä alueilla heikentää varautumista poikkeuksellisiin vesioloihin ja ilmastonmuutoksen seurauksiin. Toisaalla sama toimenpide voi parantaa varautumista alueilla, joissa veden niukkuus on tai voi jatkossa nousta ongelmaksi. Samoin säännöstelykäytännön kehittämisellä voi eri alueilla olla erisuuntaisia vaikutuksia.

Ensimmäisen tulvariskien hallintasuunnitelmakauden toimenpiteistä (yhteensä 410) 73 arvioitiin olevan vesienhoidon tavoitteita tukevia. Näihin kuuluvat mm. maankäytön suunnitteluun, valuma-alueen vedenpidätyskyvyn lisäämiseen sekä viemärilaitosten ja -verkostojen kehittämiseen liittyviä toimenpiteitä. Toimenpiteistä 24 arvioitiin vesienhoidon tavoitteiden suhteen negatiivisiksi. Näitä ovat muun muassa perkaus- ja ruoppaushankkeet sekä tekoaltaiden ja tulvauomien rakentaminen. Tulvariskien hallinnan toimenpiteiden mahdollisia vaikutuksia vesienhoidon tavoitteisiin on esitetty opastuksen Tulvariskien hallintasuunnitelmien viimeistely ja tallentaminen (Parjanne 2015) liitteessä 1.

Metsätalouteen ja turvetuotantoon ja pohjavesiin liittyvistä vesienhoidon toimenpiteistä suurin osa arvioitiin toisella suunnittelukaudella muuttuvien vesiolojen kannalta hieman positiivisiksi tai neutraaleiksi. Esimerkiksi metsätalouden toimenpiteistä eroosiohaittojen torjunta ja tehostettu vesiensuojelun suunnittelu ja turvetuotannon toimenpiteistä virtaaman säätö edistävät sekä tulva- että kuivuusriskien hallintaa. Kunnostukseen, vesirakentamiseen ja säännöstelyyn liittyvistä toimenpiteistä valuma-alueen vedenpidätyskyvyn lisääminen ja virtavesien elinympäristökunnostukset arvioitiin sopeutumisen näkökulmasta positiiviseksi. (Vesienhoidon suunnitteluopas 2019).

Sellaisten toimenpiteiden, jotka voivat vähentää tai kompensoida ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia, olisi syytä huomioida toimenpiteiden priorisoinnissa erityisesti sellaisilla vesistöalueilla, joilla on tulvariskialueita.

Taulukko 3. Toimenpiteiden vaikutusten arvioinnin asteikko.

Toimenpiteen vaikutus…	**VAIKUTUS**				
	Erittäin myönteinen	**Myönteinen**	**Neutraali**	**Haitallinen**	**Erittäin haitallinen**
	+2	**+1**	**0**	**-1**	**-2**
Tulvariskiin	Edistää merkittävästi varautumista ja sopeutumista poikkeuksellisiin vesioloihin	Edistää hieman varautumista ja sopeutumista poikkeuksellisiin vesioloihin	Ei vaikutusta varautumiseen ja sopeutumiseen poikkeukselliste n vesiolojensuhte en	Heikentää hieman varautumista ja sopeutumista poikkeuksellisiin vesioloihin	Heikentää merkittävästi varautumista ja sopeutumista poikkeuksellisiin vesioloihin
Kuivuusriskiin	Edistää merkittävästi varautumista ja sopeutumista poikkeuksellisiin vesioloihin	Edistää hieman varautumista ja sopeutumista poikkeuksellisiin vesioloihin	Ei vaikutusta varautumiseen ja sopeutumiseen poikkeuksellis-ten vesiolojen suhteen	Heikentää hieman varautumista ja sopeutumista poikkeuksellisiin vesioloihin	Heikentää merkittävästi varautumista ja sopeutumista poikkeuksellisiin vesioloihin

Tulvariskien hallinnan ensimmäiselle kaudelle kehitettiin monitavoitearviointiin perustuvaa kattavaa ja järjestelmällistä tapaa arvioida toimenpiteitä. Siinä tarkasteltiin muun muassa vaikutuksia vesien tilaan (Rytkönen & Marttunen 2013). Tulvariskien hallinnan toimenpiteiden priorisointia on edelleen kehitetty tulevalle suunnittelukaudelle. Priorisoinnissa tarkastellaan toimenpiteellä saavutettavien tulvasuojeluhyötyjen ohella muun muassa mahdollisuutta muihin kuin rakenteellisiin toimenpiteisiin, yhteensopivuuteen vesienhoidon tavoitteiden kanssa sekä muihin luonto- ja sosiaalisiin vaikutuksiin (Parjanne 2019).

Taulukko 4. Tulvariskien hallinnan toimenpiteiden priorisoinnissa huomioitavat tekijät (Parjanne 2019)

Kriteeri (ja mahdollinen tietolähde)	Suositeltu painoarvo	Kuvaus
Tulvahaittojen väheneminen (Monitavoitearviointi)	40 %	Kuvastaa toimenpiteen toteuttamisen tarpeellisuutta tulvariskien hallinnan tavoitteiden kannalta. Mitä tehokkaammin toimenpide vähentää tulvariskiä, sitä korkeampi pistearvo.
Toteutettavuus ja aikataulu (Monitavoitearviointi)	15 %	Toteutettavuus ja aikataulu kuvastavat toimenpiteen toteuttamisen aikataulua ja mahdollisuuksia: onko toimenpide toteutettavissa kokonaan tällä suunnittelukierroksella. Esimerkiksi teknisesti, oikeudellisesti ja taloudellisesti helposti toteutettavan ja yleisesti hyväksyttävän toimenpiteen pistearvo on korkeampi. Samoin, toimenpide jonka lykkääminen voi aiheuttaa suurempia vahinkoja tai kustannuksia.
Joustavuus (Toimenpiteiden sopeutuvuustarkastelut (ClimVeturi))	15 %	Joustavuus kuvastaa toimenpiteen mukautumiskykyä tuleviin muutoksiin ja niihin liittyviin epävarmuuksiin sekä erilaisiin tulvatilanteisiin. Mitä joustavampi toimenpide on ilmaston ja muiden olosuhteiden muuttuessa, sitä korkeampi pistearvo.
Muut vaikutukset (Monitavoitearviointi)	15 %	Muut hyödyt kuvastavat toimenpiteestä saatavia muita kuin tulvariskien hallinnan hyötyjä, esimerkiksi vesienhoidon tai ilmastonmuutokseen hillinnän hyötyjä sekä hyötyjä luonnolle, taloudelle ja alueen asukkaille. Korkea pistearvo ilmaisee, että toimenpide tuottaa merkittäviä muita hyötyjä.
Kustannukset (Kustannushyötytarkastelu)	15 %	Kustannukset kuvaavat toimenpiteen hyödyn ja toteutumismahdollisuuksien lisäksi sen suuruusluokkaa. Mitä pienemmät kustannukset, sen suurempi pistearvo.

Suunnitelmien yhteensovittamista voidaan kehittää myös vahvistamalla yhteistä tietoperustaa, esimerkiksi hyödyntämällä tehokkaammin olemassa olevaa tietoa ja luomalla yhteyksiä tietojärjestelmien välille. Tulvatietojärjestelmässä on esimerkiksi jokaisen toimenpiteen osalta yksilöity vesimuodostumat, joiden tilaan valituilla toimenpiteillä voi olla myönteistä tai kielteistä vaikutusta. Lisäksi tulvakartoituksen yhteydessä on kartoitettu ympäristöriskikohteita, jotka voivat tulvan aikana aiheuttaa pistemäistä kuormitusta.

Tulvakarttapalvelussa (www.ymparisto.fi/tulvakartat) ovat esillä ELY-keskusten laatimat tulvavaara- ja tulvariskikartat merkittäviltä tulvariskialueilta. Lisäksi saatavilla on tulvavaarakartat noin 100 muulta alueelta, koko Suomen rannikolta sekä patojen vahingonvaara-alueita. Tulvavaarakarttojen perusteella nähdään, mitkä alueet ovat tulvavaarassa eri toistuvuustason tulvilla.

SYKEn ja Ilmatieteen laitoksen yhteistyönä toimiva Tulvakeskus aloitti toimintansa vuonna 2014 (www.vesi.fi/tulvakeskus). Tulvakeskus ennustaa ja varoittaa tulvista sekä ylläpitää niihin liittyvää jatkuvaa tilannekuvaa.

Taulukossa 4 on esitetty tulva-aiheiset paikkatietoaineistot. Paikkatietoaineistot ovat saatavilla (jos ei toisin mainita) ympäristöhallinnon ArcGIS-paikkatieto-ohjelmiston kautta Tulva-käyttöliittymästä ja Karpalo-karttapalvelusta sekä internetin puolelta Tulvakarttapalvelusta ja avoin tieto -palvelusta (https://www.syke.fi/avointieto), ks. tarkemmat kuvaukset metatietopalvelusta.

Taulukko 4. Ympäristöhallinnon tulva-aiheiset paikkatietoaineistot.

Havaitut tulva-alueet	Havaittu tulva-alue on jonkun tietyn toteutuneen tulvan veden peittämä alue, joka on rajattu maastohavaintojen (tulva-alueen reunan merkitseminen tai kuvaaminen) tai kaukokartoitusaineiston (ilmakuvaus (stillkuvat/videointi) tai satelliittikuvat) perusteella.
Määritetyt tulva-alueet (tulvavaarakartat, tulvavaaravyöhykkeet)	Määritetty tulva-alue koostuu tulvavaaravyöhykkeistä, jotka kuvaavat tietyn vedenkorkeuden aiheuttamaa tulvan peittämää aluetta ja vaaran astetta tietyllä todennäköisyydellä (toistuvuusaika). Vesistö- ja meritulvat (avoin) sekä erikoisskenaariot ja patomurtumat.
Alustava hulevesitulvakartta	Tulvariskien alustavan arvioinnin helpottamiseksi laadittu pintavaluntamallinnus kaikille Suomen taajama-alueille, joilta oli saatavilla kesällä 2017 Maanmittauslaitoksen KM2-korkeusmallia. Rajattu käyttöoikeus. http://www.ymparisto.fi/hulevesitulvat.
Määritettyjen tulva-alueiden tulvariskiruudut	Tulvariskiruudut kuvaavat tulvavaara-alueelle sijoittuvaa asukasmäärää ja rakennuksien kerrosalaa 250 m ruuduittain. Ruudut on laskettu tulvavaaravyöhykkeiden sekä rakennus- ja huoneistorekisterin rakennuspisteiden päällekkäisanalyysillä kullekin tulvaskenaariolle.
Tulvariskialueet	Paikkatietoaineisto sisältää maa- ja metsätalousministeriön 20.12.2018 nimeämät vesistö- ja meritulvien merkittävät tulvariskialueet sekä ELY-keskusten tunnistamat muut tulvariskialueet. Alueiden rajauksissa on otettu huomioon tulvakartoituksen tarpeet.
Tulvatietojärjestelmä (Hertta-sovellus, rajattu käyttöoikeus)	Kokoaa erilaisen tulvatiedon tietokantaan ja paikkatietotietojärjestelmään. Tietosisältö edellä mainittujen lisäksi: • Havaitut tulvavedenkorkeudet ja tulvavirtaamat (varta vasten tulvan takia mitatut) • Määritetyt (mallinnetut) tulvavedenkorkeudet ja tulvavirtaamat (toistuvuusajat) • Määritetyt alimmat suositeltavat rakentamiskorkeudet • Esiintyneet tulvat (kuvaus tapahtuneista tulvista, esim. ajankohta, tulvatyypit ja vahingot) • Tulevaisuuden tulvat (kuvaus tulvaskenaarioista, esim. todennäköisyys ja vahingot) • Tulvariskikohteet (tunnistettuja tulvariskikohteita kuvauksineen ja vaikutustietoineen) • Tiedot tulvariskien hallintasuunnitelmista sekä niihin sisältyvistä toimenpiteistä

5.3 Ilmastonmuutokseen sopeutuminen

Ilmastonmuutokseen sopeutumisella tarkoitetaan toiminnan sopeuttamista jo havaittuihin ja ennakoituihin muutoksiin. Ilmastonmuutoksen suorat ja paikoin myös välilliset vaikutukset lisääntyvät jatkossa ja sopeutumista tarvitaan kaikilla sektoreilla. Vesivarojen hoidossa ja käytössä tarvitaan **kokonaisvaltaista, valuma-alueen laajuista, sektorirajat ylittävää suunnittelua ja ohjauskeinoja tukemaan muutoksiin sopeutumista.** Sopeutumiseen kytkeytyy myös ilmastonmuutoksen hillintä, sillä hillintätoimet voivat vaikuttaa ilmastonmuutoksen vaikutuksiin ja sopeutumistarpeisiin.

Toimenpiteiden suunnittelussa olisi syytä ottaa huomioon ilmastonmuutoksen tarkasteluun soveltuva, **vesienhoitolain ulottuvuutta (2027) pidempi aikaskaala,** esim. investointihankkeissa käyttöajan mukainen aikajänne (esim. 50…100 vuotta). Ilmastoskenaarioissa aikajänteenä käytetään tyypillisesti 30 vuoden jaksoja, esim. 2010…2039, 2040…2069 ja 2070…2099. Kun toimenpiteen suunnittelussa otetaan huomioon muunneltavuus ja joustavuus, tulee huomioiduksi myös ilmastomallien epävarmuudet.

Tulvasuojelussa tulisi sopeutua muuttuviin tulvien suuruuksiin. Jos tulvien ennakoidaan ilmastonmuutoksen myötä kasvavan (esimerkiksi suurten vesistöjen keskusjärvissä ja niiden laskujoissa), tulisi ennakoitu kasvu huomioida uusia suunnitelmia tehtäessä, esimerkiksi kaavoituksessa ja vesirakenteita tehtäessä. Sen sijaan pieneneviä tulvia ei voi vielä ottaa suunnittelun lähtökohdaksi, vaikka tulvat monissa osissa Suomea pienenevätkin useimmilla ilmastoskenaarioilla lumen määrän ja kevättulvien pienetessä. Tämä johtuu ilmastonmuutokseen liittyvistä epävarmuuksista ja ilmastonmuutoksen hitaasta ja mahdollisesti epälineaarisesta etenemisestä. **Suunnittelun pohjana pitäisi siis käyttää vähintään nykytilanteen perusteella arvioidun suuruisia tulvia.**

Säännöstelyjen kehittäminen on eräs vesienhoidon suunnittelun toimenpide sekä keskeisin tulvariskien hallinnan toimenpide Suomessa. Säännöstelyjen kehittämistarpeen arvioinnissa on sovitettava yhteen sekä vesienhoidon suunnittelun että tulvariskien hallinnan tavoitteet. WaterAdapt-hankkeen loppuraportin (Veijalainen ym. 2012) taulukossa 17 on esitetty säännöstelyn sopeutumistoimenpiteitä, joilla ilmastonmuutoksen kielteisiä vaikutuksia vedenkorkeuksiin ja virtaamiin voitaisiin lieventää tarkastelluissa järvissä, joille tämän on arvioitu olevan tarpeellista.

Säännöstelylupien muuttamistarpeesta ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi tehtiin selvitys vuonna 2015 (Dubrovin 2015). Vuosina 2015–2019 lukuisia säännöstelylupia on muutettu tai ollaan muuttamassa nykyisiin ja tuleviin sää- ja ilmasto-oloihin paremmin sopeutuvaksi. Lupien muuttamisen lisäksi säännöstelykäytäntöjä on sopeutettu tarpeen mukaan nykyisten lupien puitteissa ja lisäksi poikkeamislupia on ollut käytössä.

Luvussa 4 esitetyille kuivuuden vaikutuksille herkille alueille voidaan kohdentaa vettä säästäviä ja kuivuuden vaikutuksia lieventäviä toimenpiteitä (Ahopelto ym. 2019). Tulosten perusteella ehdotetaan, että tarkempia analyysejä sekä tarvittaessa **kuivuudenhallintasuunnitelmia** tehtäisiin kuivuudelle herkimmillä alueilla. Kuivuudenhallintasuunnitelmat pitävät sisällään mm. indikaattoreita kuivuuden vakavuuden määrittämiseksi, toimenpiteitä vaikutusten pienentämiseksi sekä toimijat ja vastuut. Kuivuuteen varautumista pyritään parantamaan ja kuivuudenhallintasuunnitelmia pilotoidaan LOSSI (Lounais-Suomi sopeutuu muuttuvassa ilmastossa voimistuvaan kuivuuteen)-hankkeessa.

Maataloussektorilla leutojen ja sateisten talvien on todettu vaikuttavan vesienhoidon toimenpiteiden tehokkuuteen, koska tällöin suurin osa kuormituksesta muodostuu kasvukauden ulkopuolella. Todennäköisesti ilmaston muuttuessa tarvitaan entistä enemmän toimenpiteitä, jotta voidaan edes ylläpitää saavutetut vesistökuormituksen vähenemät. Tärkeimpänä toimenpiteenä kuormituslisäyksen kompensoimiseksi ehdotetaan **eroosioriskiä vähentävien toimenpiteiden**, kuten talviaikaisen kasvipeitteisyyden ja kevennetyn muokkauksen, **kohdentamista peltojen kaltevuuden mukaan**. Toimenpiteiden kohdentaminen kalteville pelloille auttaa merkittävästi kiintoaineen ja partikkelimaisen fosforin kuormituksen hallinnassa (Puustinen ym. 2019). Tasaisilla pelloilla talviaikainen kasvipeitteisyys saattaa toisaalta jopa lisätä fosforikuormitusta (Uusitalo ym. 2007). Lounais-Suomessa TEHO-projektissa tehtyjen skenaariotulosten perusteella eri viljelytoimenpiteillä (mm. suojavyöhykkeet ja talviaikainen kasvipeitteisyys kaltevilla pelloilla) ja tarkemmalla lannoituksella ilmastonmuutoksen vaikutusta kuormituksiin voidaan hillitä, mutta Lounais-Suomessa ilmastonmuutostilanteissa on vaikea päästä nykytilannetta pienempiin kuormituksiin (Huttunen ym. 2010, Huttunen ym. 2015). Kaltevuuden lisäksi toimenpiteiden kohdentamisessa tulisi huomioida myös muut kuormitusriskiin vaikuttavat tekijät kuten maalajin eroosioherkkyys sekä vesistöjen ja pohjavesialueiden läheisyys.

Pellon vesitalouden hallinta on tärkeässä asemassa sopeutumisessa. Toimiva vesitalous parantaa ravinteiden käytön tehokkuutta ja auttaa sopeutumaan sään ääri-ilmiöihin kuten syksyn ja talven

lisääntyviin sateisiin sekä kesän kuivuuteen (ProAgria Keskusten liitto 2019, Mattila 2014). Sopeutumiseen tarvitaan vesitalouden hallintajärjestelmien kuten säätösalaojituksen kehitystä sekä muita maan kasvukunnosta huolehtimisen toimenpiteitä kuten hyvän maarakenteen ja sen vedenpidätyskyvyn ylläpitämistä sekä eroosion estämistä (Peltonen-Sainio ym. 2017). Pitkät kuivat kaudet lisäävät tarvetta varautua keinokasteluun (ProAgria Keskusten liitto 2019). Jatkossa tulisi tarkemmin selvittää, missä määrin maatalousuomien hydro-morfologisia oloja monipuolistamalla, esimerkiksi kaksitasouomilla, voidaan saavuttaa monihyötyjä muuttuvassa ilmastossa. Näillä menetelmillä pyritään varmistamaan peltojen kuivatustilan säilyminen hyvänä pitkällä aikavälillä, pidättämään peltokuormitusta tulvatasanteille sekä turvaamaan luonnon monimuotoisuutta maatalousvesistöissä. Peltojen vesitalouden hallinnan parantamiseksi tulisi lisäksi kehittää ohjauskeinoja muun muassa sujuvoittamaan ojitusyhteisöjen toimintaa, tukemaan tulvatasanteellisten kaksitasouomien käyttöä mm. selkeyttämällä tulvatasanteen hyväksymistä osaksi suojakaistaa, sekä tukemaan vaihtoehtoisia käyttömahdollisuuksia tulvaherkille peltolohkoille. SYKEn johdolla valmistellaan vuoden 2020 aikana monitieteistä tutkimushanketta liittyen kestävään maatalouden vesienhallintaan. (Västilä 2020)

Luonnonvarakeskuksen SOMPA-hankkeessa on koottu hyviä käytäntöjä **turvepeltojen viljelyn ilmastopäästöjen vähentämiseksi.** Näitä ovat kasvipeitteisyyden lisääminen, maanmuokkauksen vähentäminen, pohjavedenpinnan nosto säätösalaojituksella sekä märässä maassa viihtyvien kasvien kosteikkoviljely. Käyttötarkoituksen muutos on harkinnan arvioinen vaihtoehto maille, joiden arvo viljelysmaana on vähäinen. (Luonnonvarakeskus 2020).

Vihreä infrastruktuuria, erityisesti luonnollisia vedenpidätystoimia ja maaperän sulkemista vähentäviä toimenpiteitä pidetään keskeisinä ratkaisuina tulvien ja kuivuuden aiheuttamien haittojen vähentämiseksi. Esimerkiksi kosteikot voivat kuivina kesinä varastoida peltojen kuivatusvesiä, joita voidaan käyttää peltojen kasteluun. Kosteikot myös tasaavat huippuvirtaamia ja siten ehkäisevät alapuolisten alueiden tulvimista. Samalla ne ylläpitävät luonnon monimuotoisuutta. (Euroopan komissio 2012). Euroopan komission alaisessa hankkeessa (Natural Water Retention Measures, NWRM, 2013–2014) (http://nwrm.eu/) on kerätty tietoa ja laadittu ohjeita luonnonmukaisista vedenpidätystoimenpiteistä.

Metsien ja soiden merkitys valunnan säätelyssä ja tulvien hallinnassa korostuu entisestään tulevaisuudessa. Veden pinnan säätely etenkin ojitetuissa suometsissä, esimerkiksi välttämällä kunnostusojituksia ja kasvattamalla metsää jatkuvapeitteisenä, on keskeinen toimenpide myös kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä (Luonnonvarakeskus 2020). Jatkossa tulisi vielä tarkemmin arvioida toimenpiteiden vaikutusta tulvien ohella kesän alimpiin vedenkorkeuksiin. Tähänastisten tutkimusten perusteella (mm. Hjerppe ym. 2014, Oittinen 2007) valuma-aluetoimenpiteillä ei voida merkittävästi vaikuttaa poikkeuksellisiin tulviin.

Ennusteiden mukainen valunnan äärevöityminen korostaa tarvetta huomioida pintavesien virtausreitit ja vesimäärät myös **metsätaloustoimenpiteiden suunnittelussa**. Paikkatietomenetelmillä voidaan kustannustehokkaasti kartoittaa vedenpidätykseen soveltuvia maastonkohteita karkealla tasolla. Edelleen tulisi kehittää toimintamallia ja työkaluja, jossa metsätalousalueiden kunnostusojitusten suunnittelussa huomioidaan samalla tulvasuojelu ja soiden ennallistamisen mahdollisuudet esimerkiksi niin, että kunnostusojitusalueiden vesiä johdetaan luonnontilaisille aapasuoalueille alapuolisen vesistön sijaan. (Joensuu ym. 2015). Myös **ennallistamisen ja luonnonhoidon menetelmiä** tulisi kehittää ja sopeuttaa siten, että niissä huomioidaan mahdollisuudet ilmastonmuutoksen hillintään ja sopeutumiseen. Ennallistamistoimissa tulisi ottaa huomioon nykyistä laajemmat kokonaisuudet, kuten valuma-alueet, ja pyrkiä kohdentamaan toimenpiteitä myös ilmastonmuutoksen aiheuttamien uhkien kannalta. (Aapala ym. 2018).

Uusimpien MetsäVesi-hankkeen tulosten mukaan ympäristötekijöistä johtuvaan **metsätalouden typpi- ja hiilikuormituksen hallintaan** tulisi kehittää uusia menetelmiä etenkin turvemaille. Tarve korostuu erityisesti ojitetuilla Perämereen laskevilla valuma-alueilla. (Finér ym. 2020) Tapion Kaukaa viisasta metsänhoitoa -kampanjassa (https://tapio.fi/kaukaaviisasta/) levitetään tietoa ilmastonmuutoksen vaikutuksista ja varautumisesta metsätaloudessa. Vesiin päätyvän kuormituksen vähentämiseksi metsien käsittelyssä tulisi välttää voimakasta maanmuokkausta ja tarpeetonta ojien perkaamista turvemailla. Jatkuvassa kasvatuksessa puuston ylläpito auttaa pohjaveden pinnan säätelyssä. Eroosioherkillä alueilla tulisi huolehtia riittävän leveistä suojakaistoista vesistöjen varsilla (Tapio 2019). Puronvarsien varjostavan kasvillisuuden säilyttäminen ehkäisee myös pienvesien altistumista lämpenemiselle ja kuivumiselle sekä auttaa ylläpitämään niille ominaisia, kosteita ja varjoisia elinympäristöjä (Tolkkinen ym. 2020). Vesiensuojeluratkaisujen valinnassa, sijoittamisessa ja mitoituksessa tulisi hyödyntää olemassa olevia työkaluja ja paikkatietoaineistoja. Erilaiset vettä padottavat rakenteet auttavat varautumaan sekä märkiin että kuiviin jaksoihin. (Tapio 2019).

Ilmaston muuttuessa myös **hoitokalastuksen merkitys voi entisestään kasvaa**. Talvien lauhtuminen ja kuormituksen kasvu suosivat särkikaloja, jotka voimistavat järvien sisäistä fosforikuormitusta. Tehostetun kalastuksen potentiaalinen fosforinpoisto on suurempi kuin arvio fosforikuormituksen kasvusta leutoina talvina. (Puustinen ym. 2019).

Happamien sulfaattimaiden aiheuttamien haittojen vähentämisen suuntaviivat vuoteen 2020 -strategiassa esitetään toimenpiteitä eri sektoreille. Maatalousalueille ehdotetaan toimenpiteiden kehittämistä ja kohdentamista vaikuttavampaan ja riskiperusteisempaan suuntaan. Turvetuotannon osalta tulisi kehittää ohjeistuksia ja suosituksia erityisesti jälkikäytön osalta. Metsätaloudessa sekä maankäytön suunnittelussa ja rakentamisessa tulisi ohjeistuksissa, suosituksissa ja koulutuksissa painottaa happamien sulfaattimaiden huomioimista (Maa- ja metsätalousministeriö 2018).

Yhdyskuntien osalta keskeisiä sopeutumistoimia ovat erityis- ja häiriötilanteisiin varautuminen, viemäreiden vuotovesien vähentäminen ja sekaviemäröinnistä luopuminen. **Vesihuollon** varautumista rankkasateisiin ja myrskyihin voidaan parantaa, mm. vedenottokaivojen oikeanlainen sijoittamisella ja rakentamisella (Vienonen ym. 2012, Meriläinen ym. 2019). Kuivuusriskejä yhdyskuntien vesihuollossa voidaan pienentää parantamalla varautumista muun muassa kartoittamalla muodostumien antoisuuksia ja varavesilähteitä ja rakentamalla siirtolinjoja sekä laatimalla varautumissuunnitelmia kuivuuden varalle (Vienonen ym. 2012, Tuomenvirta ym. 2018). **Teollisuudessa** esimerkiksi kaivostoiminnan sopeutumistoimissa korostuvat onnettomuus- ja häiriötilanteiden varalle laaditut riskienhallintasuunnitelmat. (YM 2016, Vesienhoidon suunnitteluopas 2019).

Ilmastonmuutosten välittömiin ja välillisiin vesistövaikutuksiin liittyy vielä paljon epävarmuuksia ja tietotarpeita. Riittävä **vesistöjen tilan seuranta-aineisto** on edellytys muutosten tunnistamiselle. Vesienhoidon luokittelun nykyisen seurannan muuttujat eivät mittaa hyvin tummumista tai sen humus/kiintoainekuorman ekologisia vesistövaikutuksia. Tarvetta vesien humuskuormituksen ja sen vaikutusten tutkimiselle ovat esittäneet sekä kansalaiset että tutkijat (mm. Finér ym. 2020). Oleellinen tutkimus- ja kehitystarve olisi vertailuolojen asettaminen ottaen huomioon vesistöjen luontaisen humuspitoisuuden sekä ilmastonmuutoksen ja talvisateiden aiheuttaman ”taustatummumisen”, jotta maankäytön, erityisesti ojitusten, vaikutus tummumiseen ja sen vaikutuksiin voitaisiin arvioida määrällisesti ja edelleen huomioida vesien tilaluokituksessa. Lisäksi tulisi pyrkiä tunnistamaan alueellista ja vesimuodostumakohtaista riskiä vesien tummumiselle. (Aroviita 2020). BlueAdapt-hankkeessa (2018-2020) kehitetään menetelmiä arvioida vesistöjen herkkyyttä ilmastonmuutoksen vaikutuksille. SYKEssä ollaan myös kehittämässä orgaanisen aineen kuormituksen mallinnusta VEMALA-vedenlaatumallissa.

6 Lähteet

Aapala, K., Alanen, A., Eisto, K., Kuusela, S. & Siikamäki, P. (toim.) 2018. Ennallistaminen ja luonnonhoito muuttuvassa ilmastossa – työpajamuistio.16 s. https://www.syke.fi/download/noname/%7B7CA85BE4-15B0-4042-AC89-D8E3AF20704B%7D/143428

Ahopelto, L., Veijalainen, N., Guillaume, J., Keskinen, M., Marttunen, M. & Varis, O. 2019. Can there be water scarcity with abundance of water? Analysing water stress during a severe drought in Finland. Sustainability 11(6), 1548. https://doi.org/10.3390/su11061548

Aroviita, J. Seurannan tarpeet ja ilmastonmuutos. Sähköpostiviesti 12.2.2020.

Bergström, S., Andréasson J., Veijalainen, N., Vehviläinen, B. Einarsson, B., Jónsson, S. Kurpniece, L. Kriaučiūnienė, J., Meilutytė-Barauskienė, D., Beldring, S. Lawrence, D. & Roald, L.A. 2012. Chapter 6. Modelling Climate Change Impacts on the Hydropower System. In: Thorsteinsson, T., Björnsson, H. (toim.) 2012. Climate Change and Energy Systems. Impacts, Risks and Adaptation in the Nordic and Baltic countries. TemaNord 2011:502. Nordic council of Ministers, Copenhagen.

Carter, T.R. (toim.). 2007. Suomen kyky sopeutua ilmastonmuutokseen: FINADAPT. Suomen ympäristö I/2007. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.

de Wit, H.A., Valinia, S., Weyhenmeyer, G.A., Futter, M.N., Kortelainen, P., Austnes, K., Hessen, D.O., Räike, A., Laudon, H.& Vuorenmaa, J. 2016. Current browning of surface waters will be further promoted by wetter climate. Environmental Science & Technology Letters, 3(12), s.430-435.

Dubrovin, T. 2015. Sopeutumistarve ilmastonmuutokseen vesistöjen säännöstelyssä. Suomen ympäristökeskus. 14s. https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BD069AB8D-25C0-4E2B-B5E2-E527402B22B1%7D/110341

Euroopan komissio. 2012. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle. Suunnitelma Euroopan vesivarojen turvaamiseksi. COM(2012) 673 final.

Euroopan komissio. 2019. Komission kertomus Euroopan parlamentille ja neuvostolle vesipolitiikan puitedirektiivin (2000/60/EY) ja tulvadirektiivin (2007/60/EY) täytäntööpanosta. COM(2019) 95 final. Bryssel 26.2.2019.

Finér, L., Lepistö, A., Karlsson, K., Räike, A., Tattari, S., Huttunen, M., Härkönen, L., Joensuu, S., Kortelainen, P., Mattsson, T., Piirainen, S., Sarkkola, S., Sallantaus, T. & Ukonmaanaho, L. 2020. Metsistä ja soilta tuleva vesistökuormitus 2020 – MetsäVesi -hankkeen loppuraportti. 77 s. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2020:6.

Forsius ym. 2017. Observed and predicted future changes of total organic carbon in the lake Päijänne catchment (southern Finland): Implications for water treatment of the Helsinki metropolitan area. Boreal Env. Res. 22:317-336.

Forsius, M., Anttila, S., Arvola, L., Bergström, I., Hakola, H., Heikkinen, H.I., Helenius, J.,Hyvärinen, M.,Jylhä, K., Karjalainen, J., Keskinen, T., Laine, K., Nikinmaa, E., Peltonen-Sainio,

P., Rankinen, K., Reinikainen, M., Setälä, H. & Vuorenmaa, J. 2013. Impacts and adaptation options of climate change on ecosystem services in Finland: a model based study. Current Opinion in Environmental Sustainability 5(1), 26-40. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.01.001

Haakana, M., Ollila, P., Regina, K., Riihimäki, H. & Tuomainen, T. 2015. Menetelmä maankäytön kehityksen ennustamiseen. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2015. 34 s. https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/520307/luke-luobio_51_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=yhttps://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/520307/luke-luobio_51_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Heino, J., Virkkala, R. & Toivonen, H. 2009. Climate change and freshwater biodiversity: detected patterns, future trends and adaptations in northern regions. Biological Reviews 84: 39–54

Hjerppe, T. & Lehtoranta, V. 2019. Opas toimenpiteiden vaikutusarvioista suunnittelukaudelle 2021–2027.

Hjerppe, T., Väisänen S. & Sammalkorpi I. 2014. Vesienhoito Kauvatsan reitillä – nykytila ja toimenpidesuositukset.50 s. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 19/2014. 50 s.

Huttunen, M., Huttunen, I., Vehviläinen, B. & Salmi, B. 2010. TEHO-hankkeen skenaariot SYKE-WSFS-VEMALA mallilla. TEHO-raportit. http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=24541&lan=fi

Huttunen, I., Lehtonen, H., Huttunen, M., Piirainen, V., Korppoo, M., Veijalainen, N., Viitasalo, M. & Vehviläinen, B. 2015. Effect of climate change and agricultural adaptation on the nutrient loading from Finnish watersheds to the Baltic Sea. Science of the Total Environment 529: 168-181. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.055

IPCC. 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 s.

Joensuu, S., Tenhola, T. & Hyvärinen, A. 2015. Paikkatiedon hyödyntäminen metsätalouden vesiensuojelussa ja tulvasuojelussa. Tapio. 76 s. https://tapio.fi/kauppa/wp-content/uploads/2016/01/Paikkatiedon-hyödyntäminen-metsätaloudessa-ja-tulvariskeissä_17.11.pdf https://tapio.fi/kauppa/wp-content/uploads/2016/01/Paikkatiedon-hyödyntäminen-metsätaloudessa-ja-tulvariskeissä_17.11.pdf

Joki-Tokola, E. 2019. Turvemaiden viljelystä syntyvien vesistö- ja ilmastopäästöjen tutkimusympäristö. Luonnonvarakeskus. Power-point esitys, Peltojen kuivatus ja turvemaat -päivä Sievissä 16.10.2019. https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B45529289-C64C-4759-B21B-A61195A18F38%7D/131056

Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku, S. & Seitola, T. 2009. Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten. ACCLIM-hankkeen raportti 2009. Ilmatieteen laitos, Helsinki. Raportti 2009:4.

Kahma, K., Pellikka, H., Leinonen, K., Leijala, U. & Johansson, M. 2014. Pitkän aikavälin tulvariskit ja alimmat suositeltavat rakentamiskorkeudet Suomen rannikolla. Ilmatieteen laitos, Raportteja 2014:6. Helsinki p. 48. ISBN 978-951-697-834-8 (pdf)

Kallio, K., Rekolainen, S., Ekholm, P., Granlund, K., Laine, Y., Johnsson, H. & Hoffman, M. 1997. Impacts of climatic change on agricultural nutrient losses in Finland. Boreal Environment Research 2:33-52.

Karjalainen, J., Keskinen, T., Pulkkanen, M., & Marjomäki, T. J. 2015. Climate change alters the egg development dynamics in cold-water adapted coregonids. *Environmental biology of fishes*, *98*(4), 979-991.

Korhonen 2019. Long-term changes and variability of the winter and spring season hydrological regime in Finland. Doctoral thesis. University of Helsinki. https://helda.helsinki.fi/handle/10138/298308

Koskiaho, J., & Puustinen, M. 2019). Suspended solids and nutrient retention in two constructed wetlands as determined from continuous data recorded with sensors. *Ecological Engineering*, *137*, 65-75.

Lehtonen, I. 2011. Äärisademäärien muutokset Euroopassa maailmanlaajuisten ilmastomallien perusteella. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, fysiikan laitos. 86 s. http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201109052340

Lento, J., W. Goedkoop, J. Culp, K.S. Christoffersen, Kári Fannar Lárusson, E. Fefilova, G. Guðbergsson, P. Liljaniemi, J.S. Ólafsson, S. Sandøy, C. Zimmerman, T. Christensen, P. Chambers, J. Heino, S. Hellsten, M. Kahlert, F. Keck, S. Laske, D. Chun Pong Lau, I. Lavoie & B. Levenstein, Mariash, H. , Rühland, K. , Saulnier- Talbot, E., Schartau, A.K. & Svenning, M. 2019. State of the Arctic Freshwater Biodiversity. Conservation of Arctic Flora and Fauna International Secretariat, Akureyri, Iceland. ISBN 978-9935-431-77-6

Luonnovarakeskus. 2019. SOMPA. Uudet maatalous- ja metsämaan viljely- ja hoitomenetelmät – avain kestävään biotalouteen ja ilmastonmuutoksen hillintään. Hyviä esimerkkejä. https://www.luke.fi/sompa/hyvia-esimerkkeja/

Lepistö, A., Kortelainen, P. & Mattsson, T. 2008. Increased organic C and N leaching in a northern boreal river basin in Finland. Global Biogeochemical Cycles Vol 22 GB3029:1-10.

Maa- ja metsätalousministeriö (MMM). 2005. Ilmastonmuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia. *https://mmm.fi › MMMjulkaisu2005_1.pdf › MMMjulkaisu2005_1* Viitattu 4.12.2019

Maa- ja metsätalousministeriö (MMM). 2011, päivitetty 2018. Maa- ja metsätalousministeriön ilmastonmuutokseen sopeutumisen toimintaohjelma – Huoltovarmuutta, kestävää kilpailukykyä ja riskinhallintaa.

Maa- ja metsätalousministeriö (MMM). 2012. Miten väistämättömään ilmastonmuutokseen voidaan varautua? – yhteenveto suomalaisesta sopeutumistutkimuksesta eri toimialoilla. Ilmastonmuutoksen sopeutumistutkimusohjelman ISTO, 2006–2010. http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/julkaisusarja/2012/67Wke725j/MMM_julkaisu_2012_6.pdf

Maa- ja metsätalousministeriö (MMM). 2014. Kansallinen ilmastonmuutokseen sopeutumissuunnitelma 2022. Valtioneuvoston periaatepäätös 20.11.2014. 41 s. https://mmm.fi › documents › 2014_5_ilmastonmuutos.pdf.pdf

Maa- ja metsätalousministeriö. 2018. Happamien sulfaattimaiden aiheuttamien haittojen vähentämisen suuntaviivat vuoteen 2020 Väliraportti. Maa- ja metsätalousministeriön työryhmämuistio 2018:1

Mattila, T. 2014. Veden pidättäminen peltoon. Ravinnehuuhtoutumien hallinta (RaHa)-hanke. https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/103473/RaHa_vedenvarastointi%20peltoon%20nettiin%204s.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Meriläinen, P., Lanki, T., Miettinen, I., Hokajärvi, A-M., Simola, A., Tiittanen, P. & Yli-Tuomi, T. 2019. Ilmastonmuutos ja Vesihuolto- varautuminen ja terveysvaikutukset. Suomen Ilmastopaneeli, raportti 10/2019.

Mustonen, K. R., Mykrä, H., Marttila, H., Sarremejane, R., Veijalainen, N., Sippel, K., Muotka, T. & Hawkins, C. P. 2018. Thermal and hydrologic responses to climate change predict marked alterations in boreal stream invertebrate assemblages. Global Change Biology, 24(6), 2434-2446.

Mäkinen, K., Sorvali, J., Lipsanen, A. & Hilden, M. 2019. Kansallisen ilmastonmuutokseen sopeutumissuunnitelman 2022 toimeenpanon väliarviointi. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2019:11.

Nilsson, C., Jansson, R., Kuglerová, L., Lind, L. & Ström, L. 2013. Boreal riparian vegetation under climate change. Ecosystems 16: 401-410. https://doi.org/10.1007/s10021-012-9622-3

Oittinen, T. 2007. Valuma-alueella tehtyjen vesistötoimenpiteiden vaikutus yli- ja alivirtaamiin. Opinnäytetyö. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu.

Parjanne, A. 2015. Tulvariskien hallintasuunnitelmien viimeistely ja tallentaminen. 10 s. Saatavana: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Tulviin_varautuminen/Tulvariskien_hallinta/Tulvariskien_hallinnan_suunnittelu/Tulvariskien_hallinnan_suunnittelun_materiaalia

Parjanne, A. 2019. Tulvariskien hallintatoimenpiteiden priorisointi. 7 s. Saatavana: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Tulviin_varautuminen/Tulvariskien_hallinta/Tulvariskien_hallinnan_suunnittelu/Tulvariskien_hallinnan_suunnittelun_materiaalia.

Parjanne, A., Silander, J., Tiitu, M. & Viinikka, A. 2018. Suomen tulvariskit nyt ja tulevaisuudessa – Varautuminen maankäytön, talouden ja ilmaston muutokseen. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 30/2018Pellikka, H., Leijala, U., Johansson, M. M., Leinonen, K., & Kahma, K. K. 2018). Future probabilities of coastal floods in Finland. Continental Shelf Research, 157, 32-42.

Peltonen-Sainio, P. Sorvali, J., Müller, M., Huitu, O., Neuvonen, S., Nummmelin, T., Rummukainen, A., Hynynen, J., Sievänen, R., Helle, P., Rask, M., Vehanen, T. & Kumpula, J. 2017. Sopeutumisen tila 2017. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 18/2017. LUKE.

ProAgria Keskusten liitto. 2019. Ilmastoviisas maatilayritys. Tietoa tuottamaan 145. ProAgria.

Puustinen, M., Tattari, S., Väisänen, S., Virkajärvi, P., Räty, M., Järvenranta, K., Koskiaho, J., Röman, E., Sammalkorpi, I., Uusitalo, R. & Lemola, R. 2019. Ravinteiden kierrätys alkutuotannossa ja sen vaikutukset vesien tilaan: KiertoVesi-hankkeen loppuraportti. 146 s. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 22/2019.

Puustinen, M., Tattari, S., Koskiaho, J. & Linjama, J. 2007. Influence of seasonal and annual hydrological variations on erosion and phosphorus transport from arable land in Finland. Soil & Tillage Research 93 (2007) 44-55.

Riihimäki, J. Edén, P., Uusi-Kämppä, J., Leppänen, M., Karjalainen, A., Tattari, S., Kosunen, M. & Saarikoski, H. 2013. Happamien sulfaattimaiden ympäristöriskien vähentäminen – sopeutumiskeinoja ilmastonmuutokseen. Catermass – Climate Change Adaptation Tools for Environmental Risk Mitigation of Acid Sulfate Soils -hankkeen Layman's Report. 16 s. https://www.syke.fi/download/noname/%7B4B2C1EF5-1FC1-48E6-AAB5-AA8AEC44F76B%7D/76165

Ruosteenoja, K., Jylhä, K. & Kämäräinen, M. 2016. Climate projections for Finland under the RCP forcing scenarios. Geophysica, Volume 51, Issue 1: 17–50. http://www.geophysica.fi/pdf/geophysica_2016_51_1-2_017_ruosteenoja.pdf

Rytkönen, A-M. & Marttunen, M. 2013. Monitavoitearviointiopas tulvaryhmille. 43 s. Saatavana: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Tulviin_varautuminen/Tulvariskien_hallinta/Tulvariskien_hallinnan_suunnittelu/Tulvariskien_hallinnan_suunnittelun_materiaalia

Räike A, Kortelainen P, Mattsson T & Thomas DN. 2016. Long-term trends (1975–2014) in the concentrations and export of carbon from Finnish rivers to the Baltic Sea: organic and inorganic components compared. Aquatic Sciences DOI 10.1007/s00027-015-0451-2

Suomen kuntaliitto. 2012. Hulevesiopas. 297 s. http://shop.kunnat.net/product_details.php?p=2714http://shop.kunnat.net/product_details.php?p=2714

Taipale, S. J., Kristiina Vuorio, U. Strandberg, K. K. Kahilainen, M. Järvinen, M. Hiltunen, E. Peltomaa, &P. Kankaala. 2016. "Lake eutrophication and brownification downgrade availability and transfer of essential fatty acids for human consumption." Environment international 96: 156-166.

Tammelin, B., Forsius, J., Jylhä, K., Järvinen, P., Koskela K., Turunen, M.A, Vehviläinen, B. & Venäläinen, A. 2002. Ilmastonmuutoksen vaikutus energiantuotantoon ja lämmitysenergian tarpeeseen. Ilmatieteen laitos Raportteja 2002:2.

Tapio. 2019. Kaukaa viisasta metsänhoitoa. Vesiensuojelun merkitys korostuu ilmaston muuttuessa. https://tapio.fi/kaukaaviisasta/#puhtaat-vedet

Tolkkinen, M.J., Heino, J., Ahonen, S.H.K., Lehosmaa, K., & Mykrä, H. (2020). Streams and riparian forests depend on each other: a review with a special focus on microbes. Forest Ecology and Management, painossa.

Tolonen, J., Leka, J., Yli-Heikkilä, K., Hämäläinen, L. & Halonen, L. Pienvesiopas. Pienvesien tunnistaminen ja lainsäädäntö. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 36/2019. 100 s.

Tuomenvirta, H., Haavisto, R., Hildén, M., Lanki, T., Luhtala, S., Meriläinen, P., Mäkinen, K., Parjanne, A., Peltonen-Sainio, P., Pilli-Sihvola, K., Pöyry, J., Sorvali, J. & Veijalainen, N. 2018. Sää- ja ilmastoriskit Suomessa - Kansallinen arvio. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja. Valtioneuvoston kanslia. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-601-0

Uusitalo, R., Turtola, E & Lemola, R. 2007. Phosphorus losses from a subdrained clayey soil as affected by cultivation practices. Agricultural and Food Science 16: 352-365.

Ympäristöministeriö (YM). 2015. Ilmastolainsäädäntö. https://www.ym.fi/fi-fi/ymparisto/lainsaadanto_ja_ohjeet/Ilmastolainsaadanto

Ympäristöministeriö (YM). 2016. Ympäristöhallinnon ilmastonmuutokseen sopeutumisen toimintaohjelma 2022. Ympäristöministeriön raportteja 25/2016. 40 s.

Veijalainen, N, Jakkila, J., Nurmi, T., Vehviläinen, B., Marttunen, M., Aaltonen, J. 2012. Suomen vesivarat ja ilmastonmuutos-vaikutukset ja sopeutuminen, WaterAdapt-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 16/2012. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=413480&lan=fi

Veijalainen, N., Ahopelto, L., Marttunen, M., Jääskeläinen, J., Britschgi, R., Orvomaa, M., Belinskij, A. & Keskinen, M. 2019. Severe Drought in Finland: Modeling Effects on Water Resources and Assessing Climate Change Impacts. Sustainability, 11, 2450. https://doi.org/10.3390/su11082450

Vesienhoidon suunnitteluopas. 2019. Opasmateriaali ja taustadokumentit vesienhoidon suunnitteluun vuosille 2016 – 2021. https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesiensuojelu/Vesienhoidon_suunnittelu_ja_yhteistyo/Suunnitteluopas.

Vesilaitosyhdistys VVY. 2019. Kesän 2018 kuivuuden vaikutukset vesilaitoksilla. https://www.vvy.fi/site/assets/files/2938/vuoden_2018_kuivuuden_vaikutukset_vesihuoltolaitoksilla_raportti.pdf

Vienonen, S., Rintala, J., Orvomaa, M., Santala, E. & Maunula, M. 2012. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja sopeutumistarpeet vesihuollossa. Suomen ympäristö 24/2012. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=417074&lan=fi

Vuorenmaa J, Forsius M & Mannio J. 2006. Increasing trends of total organic carbon concentrations in small forest lakes in Finland from 1987 to 2003. Sci Total Environ, 365, 47 – 65, doi:10.1016/j.scitotenv.2006.02.038.

Västilä, K. 2020. Asiantuntijakommentti VHS-ilmastonmuutos-oppaaseen. Sähköpostiviesti 4.2.2020.

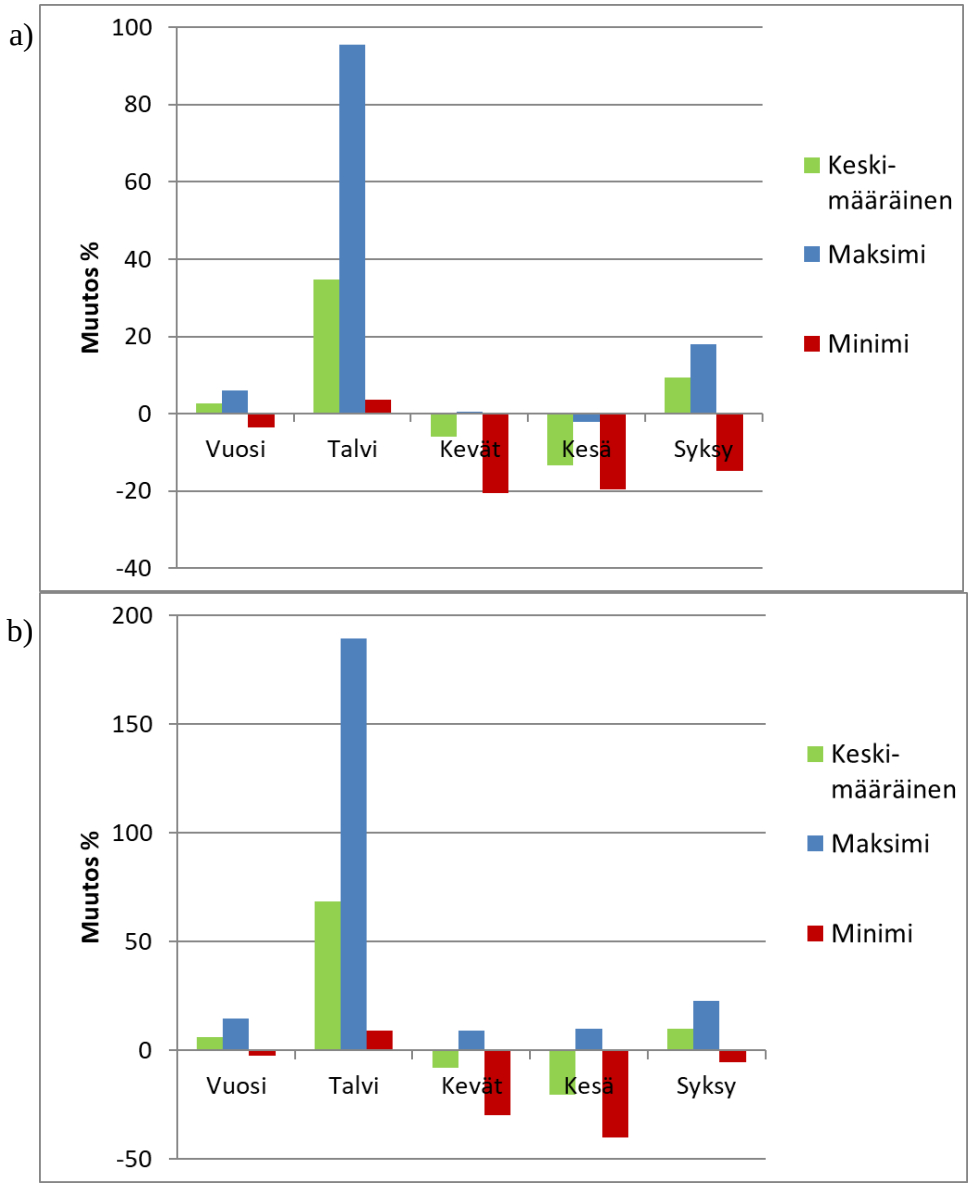
Wilby, R.L & Dessai, S. 2010. Robust adaptation to climate change. Weather 65:7: 180-185.

7 Liitteet

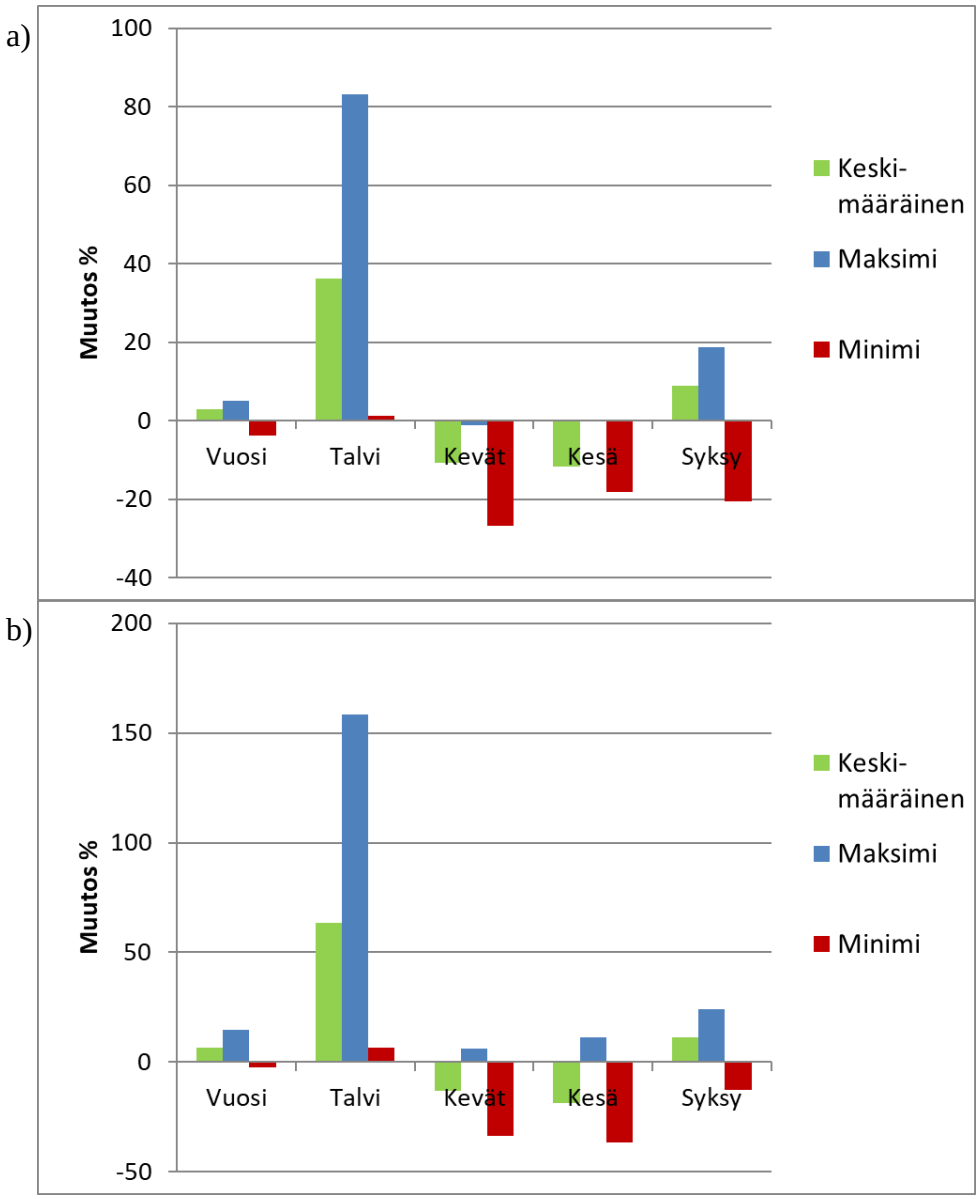
7.1 Valunnan muutokset vesienhoitoalueittain eri vuodeaikoina

Alueittain yhteenvetokuva vuosi- ja vuodenaikaismuutoksista ja esimerkki päivittäisistä virtaamista yhdestä kohteesta alueella.

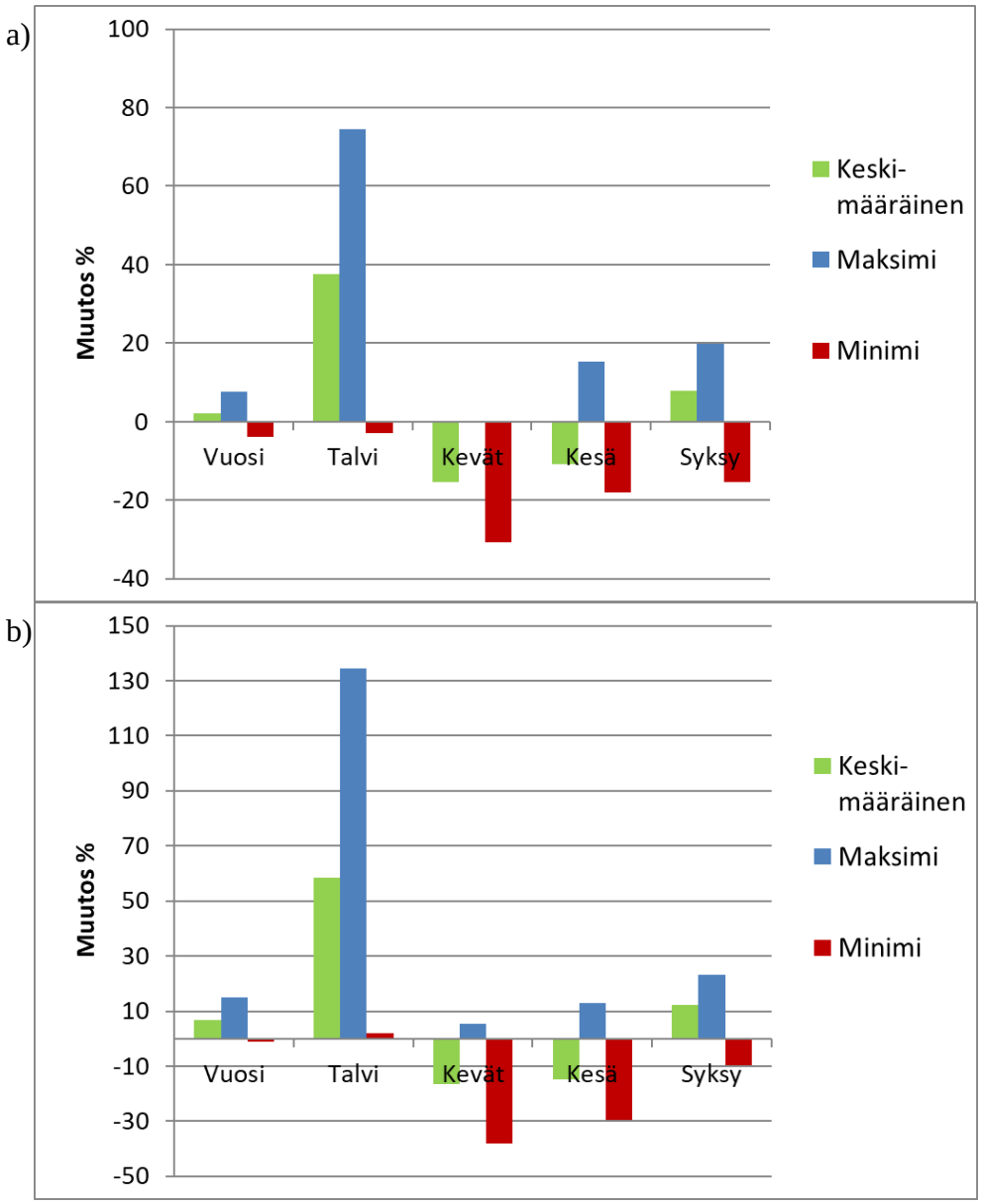
Lukuohje
Kuvat L1-L7 vesienhoitoalueittain: Palkit näyttävät prosentuaaliset muutokset valunnassa jaksoilla 2010–39 ja 2040–69 referenssijaksoon 1981–2010 verrattuna koko vuoden ja eri vuodenaikojen keskiarvojen osalta. Tulkinnassa kannattaa muistaa, että referenssijakson talven valunnat ovat lähtökohtaisesti pieniä, jolloin prosentuaaliset muutokset kasvavat helposti suureksi. Kannattaa myös huomioida, että nykyhetkeen mennessä osa muutoksesta on jo tapahtunut, koska viime vuodet ovat olleet keskimäärin lauhempia kuin referenssijakso 1981–2010. Keskiarvo perustuu ns. keskiarvoskenaarioon (usean globaalin mallin keskiarvo RCP4.5 päästöskenaariolla), minimi ja maksimi taas useista ilmastoskenaarioista valikoituihin pienimpään ja suurimpaan arvoon.



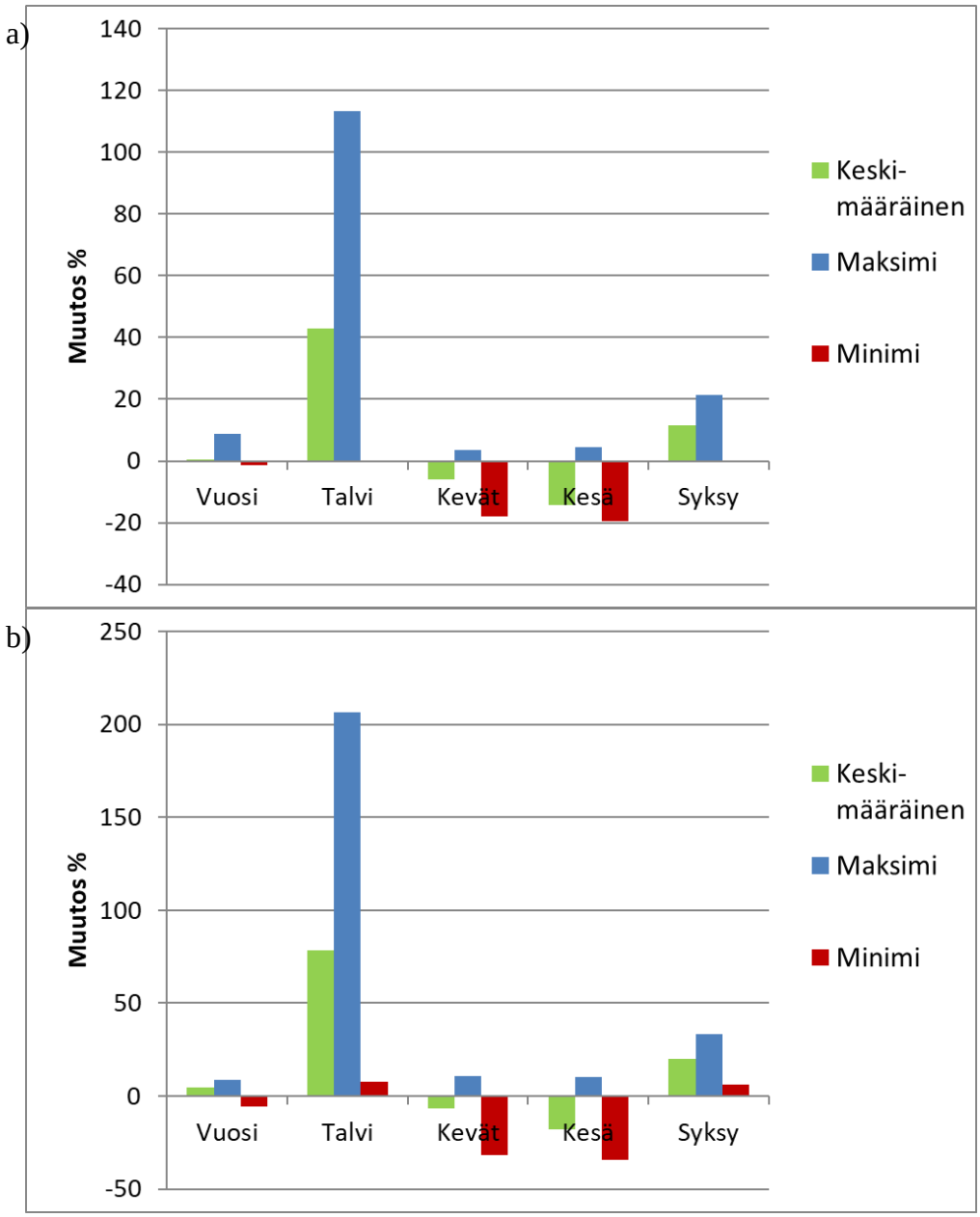
Kuva L1. Vesienhoitoalue 1. Vuoksen alue. Muutokset alueen valunnassa jaksoilla a) 2010–39 ja b) 2040–69 (referenssijakso 1981–2010).



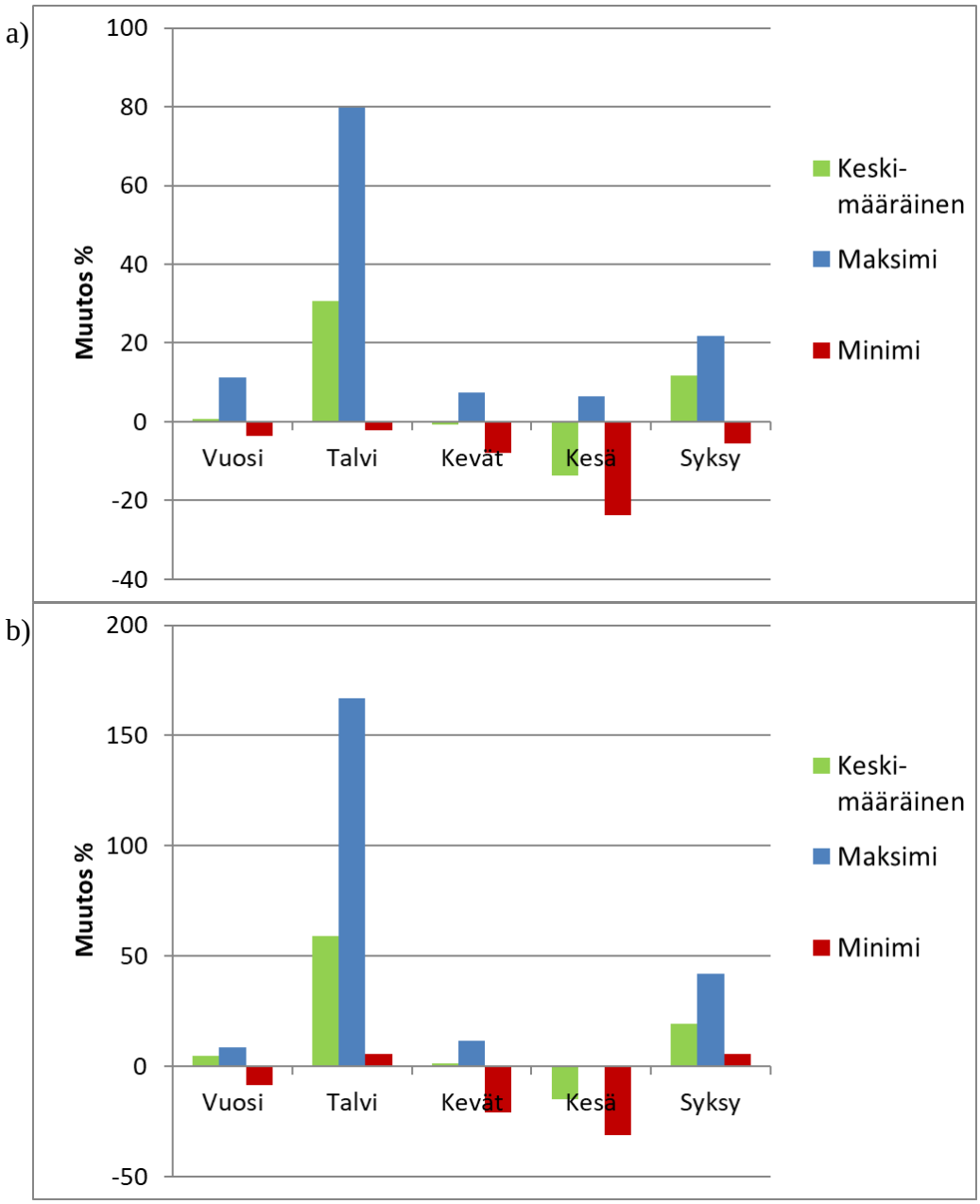
Kuva L2. Vesienhoitoalue 2. Kymijoen-Suomenlahden alue. Muutokset alueen valunnassa jaksoilla a) 2010–39 ja b) 2040–69 (referenssijakso 1981–2010).



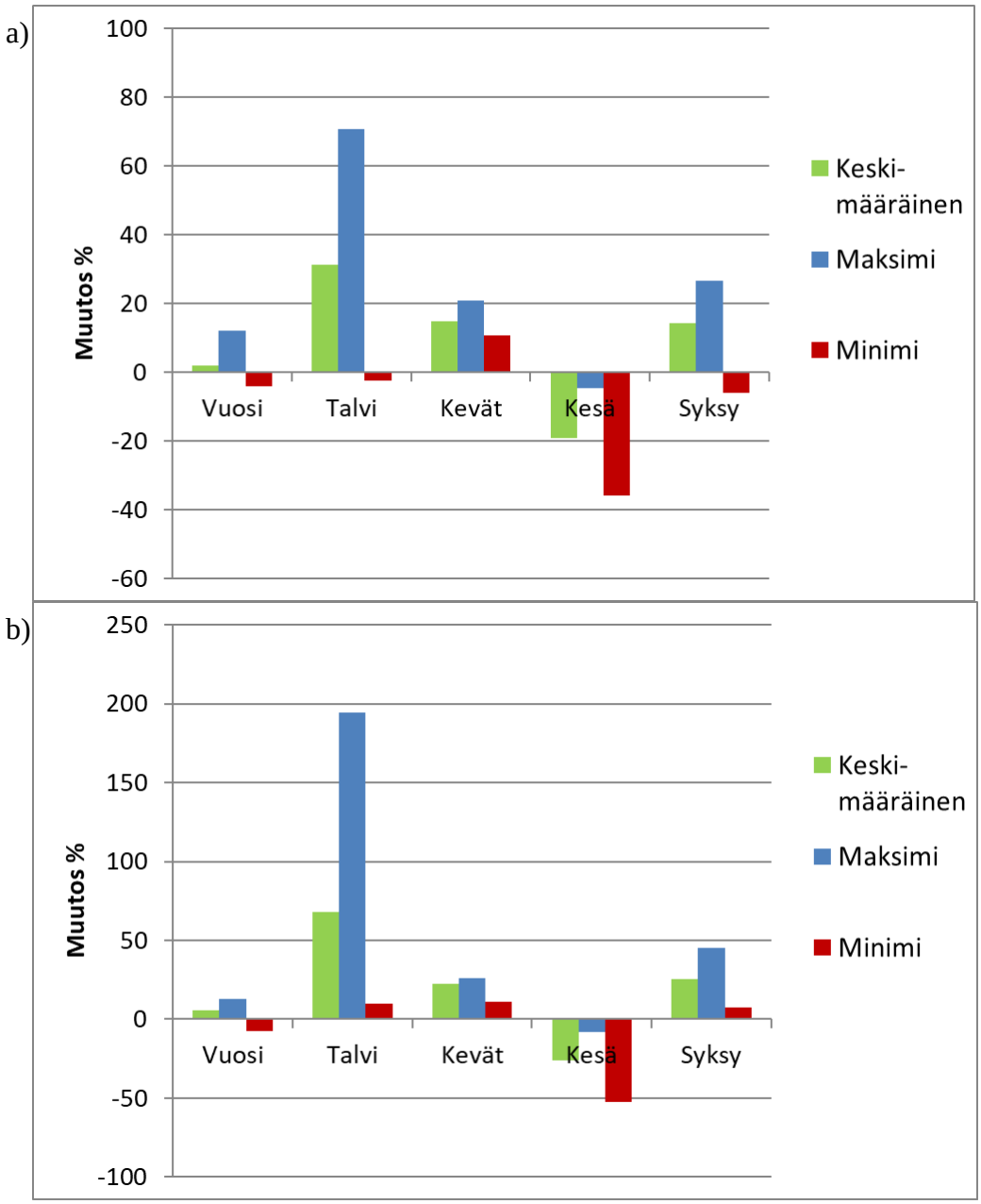
Kuva L3. Vesienhoitoalue 3. Kokemäenjoen-Saaristomeren-Selkämeren alue. Muutokset alueen valunnassa jaksoilla a) 2010–39 ja b) 2040–69 (referenssijakso 1981–2010).



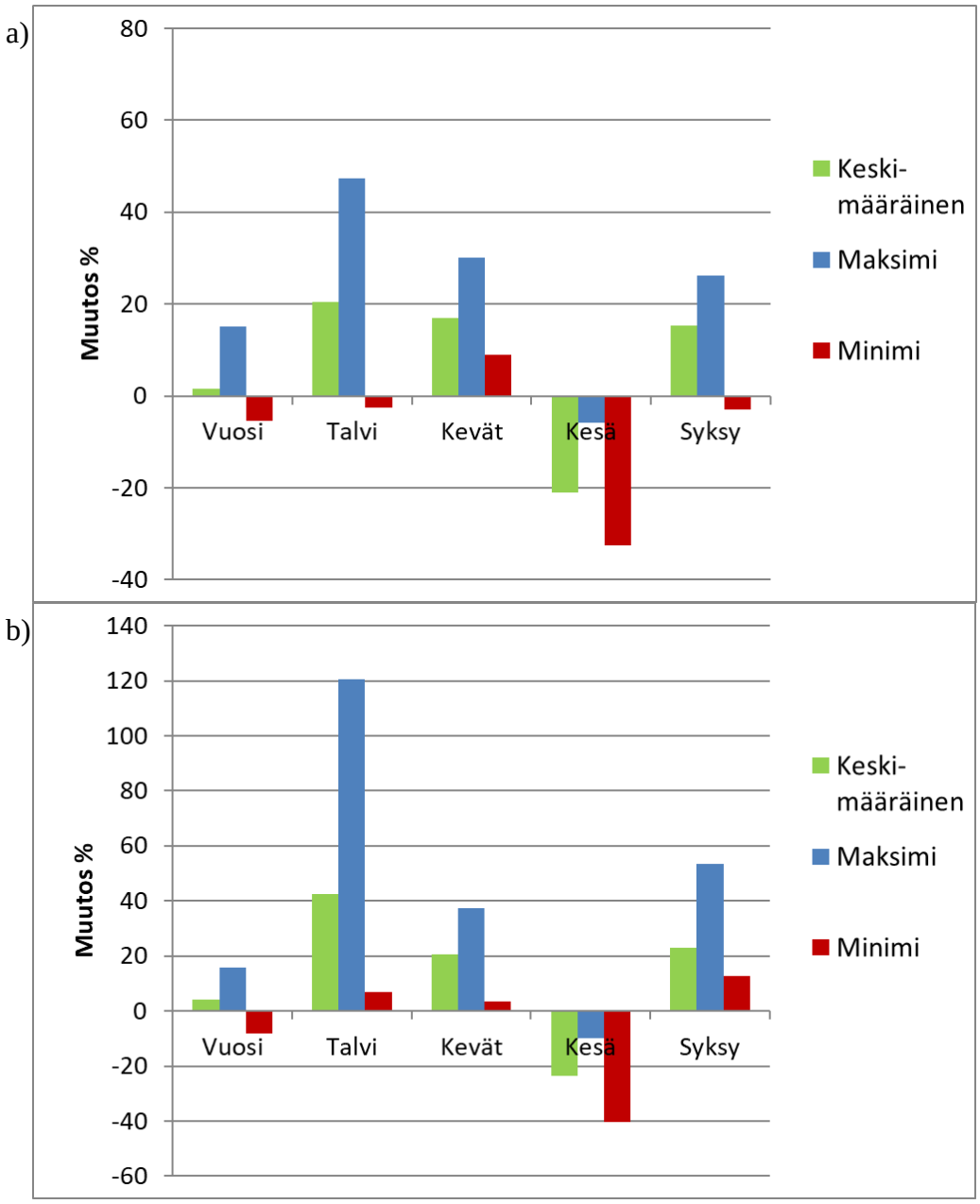
Kuva L4. Vesienhoitoalue 4. Oulujoen-Iijoen alue. Muutokset alueen valunnassa jaksoilla a) 2010–39 ja b) 2040–69 (referenssijakso 1981–2010).



Kuva L5. Vesienhoitoalue 5. Kemijoen alue. Muutokset alueen valunnassa jaksoilla a) 2010–39 ja b) 2040–69 (referenssijakso 1981–2010).



Kuva L6. Vesienhoitoalue 6. Tornionjoen alue. Muutokset alueen valunnassa jaksoilla a) 2010–39 ja b) 2040–69 (referenssijakso 1981–2010).

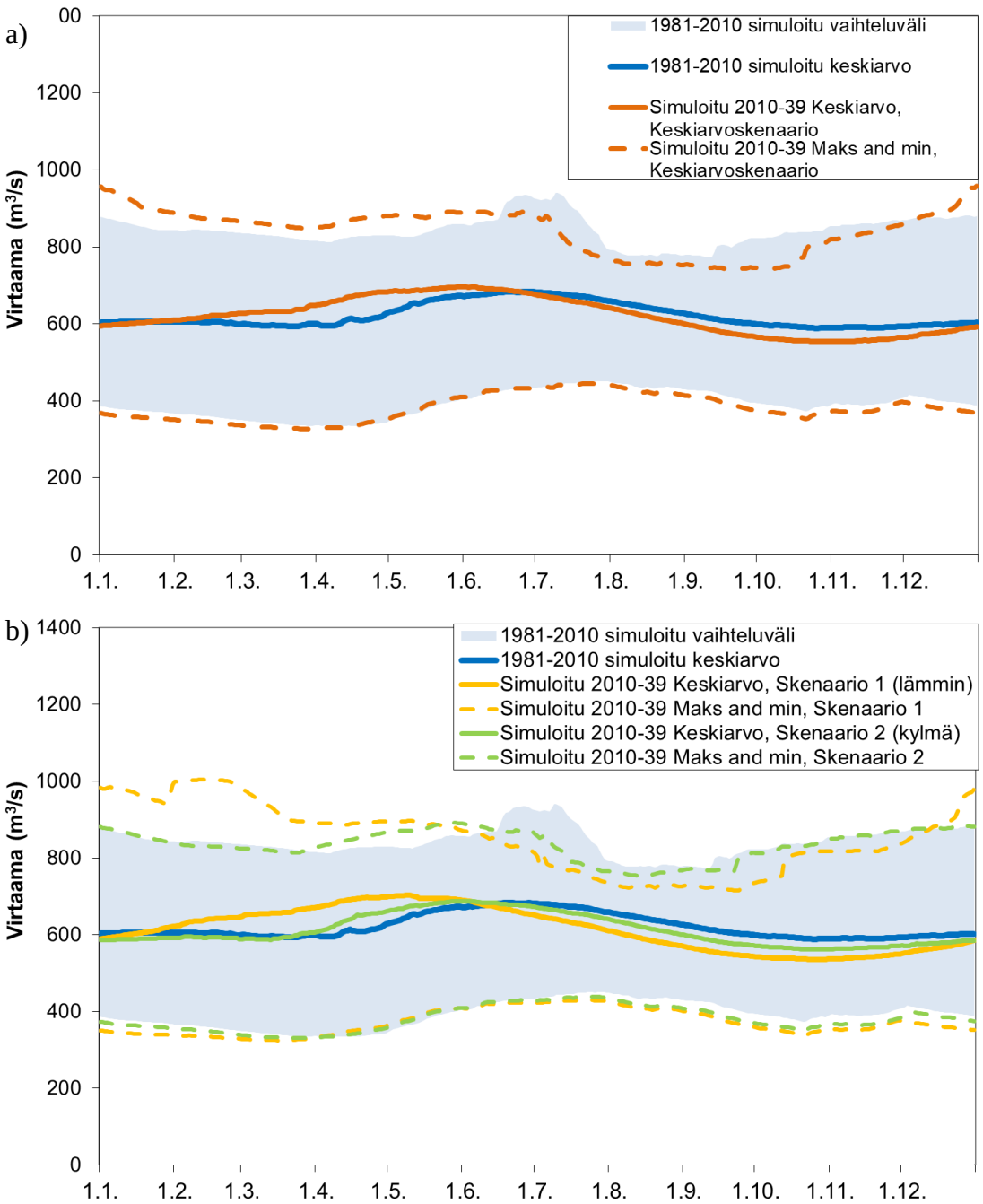


Kuva L7. Vesienhoitoalue 7. Tenon, Näätämöjoen ja Paatsjoen alue. Muutokset alueen valunnassa jaksoilla a) 2010–39 ja b) 2040–69 (referenssijakso 1981–2010).

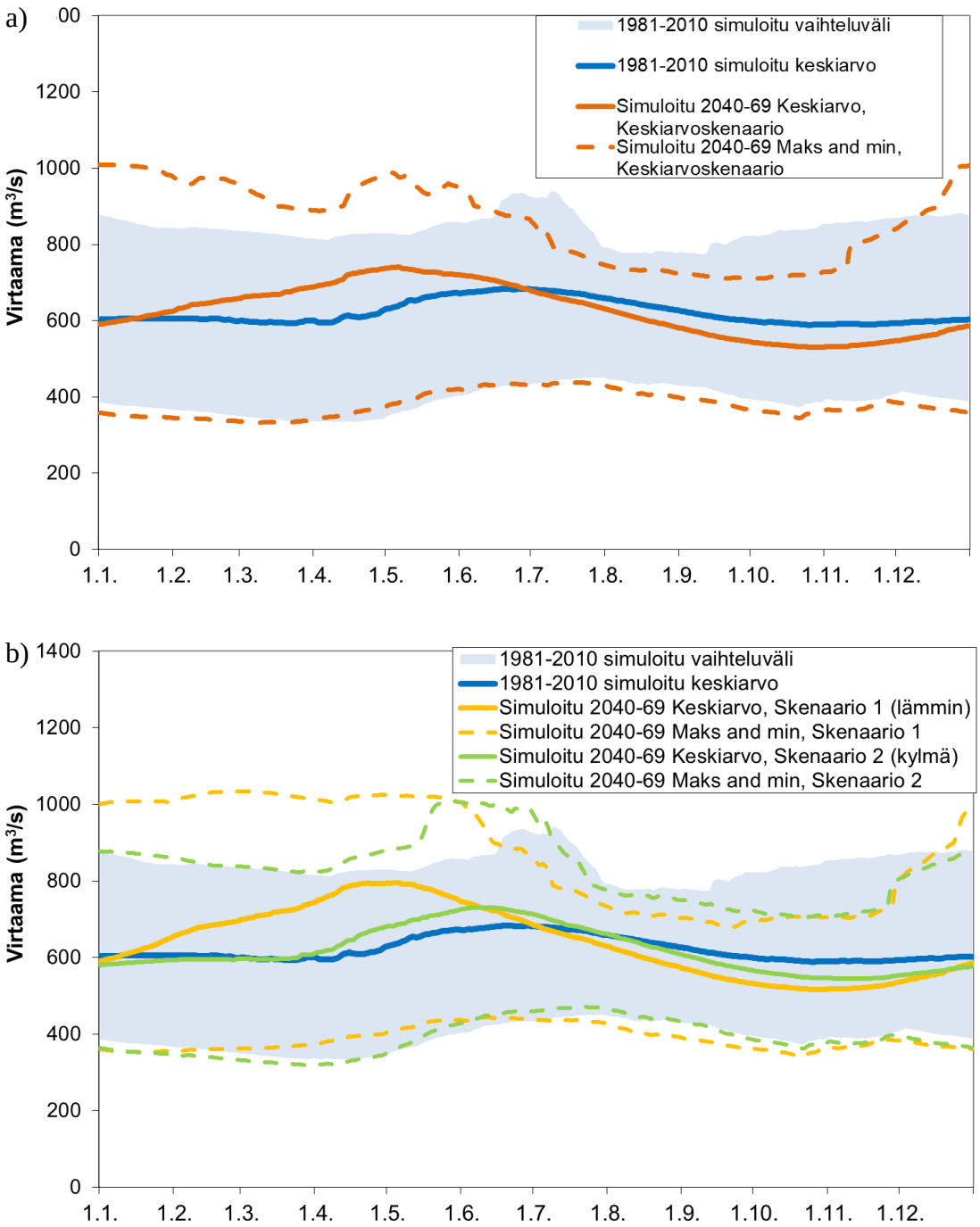
7.2 Virtaaman muutokset eri vesistöissä

Lukuohje
Kuvat L8-L3. Virtaamat valikoiduissa jokipisteissä tai järvien luusuoissa referenssijaksolla 1981–2000 ja jaksoilla 2010–39 ja 2040–69. Ensimmäisessä kuvassa on esitetty referenssijakso suhteessa keskiarvoskenaarioon (usean globaalin mallin keskiarvo RCP4.5 päästöskenaariolla). Sinisellä referenssijakson 1981-2010 keskiarvo ja vaihteluväli (päivittäisten 30 vuoden simuloitujen arvojen keskiarvo, minimi ja maksimi). Punaisella jakson 2040-69 keskiarvoskenaariolla simuloitujen virtaamien keskiarvo, maksimi ja minimi. Toisessa kuvassa valittu kaksi erilaista ilmastoskenaariota, keskimääräistä kylmempi ja keskimääräistä lämpimämpi, jotka kuvaavat eri skenaarioiden välisiä eroja ja siten ilmastonmuutokseen liittyvää epävarmuutta. On hyvä muistaa, että todellisuudessa epävarmuus on vielä tätäkin suurempi, koska kuvissa esitetty vain muutama skenaario, eikä mitään yksittäistä skenaariota voida pitää merkittävästi todennäköisempänä kuin toista.
Virtaamat on esitetty seuraaville joki- tai järvikohteille:

- Vuoksi
- Kiimasjärvi
- Päijänne lähtövirtaama
- Vantaanjoki
- Aurajoki
- Kokemäenjoki (Pori)
- Kyrönjoki
- Siikajoki
- Oulujoki
- Iijoki
- Kemijoki
- Tornionjoki
- Tenojoki

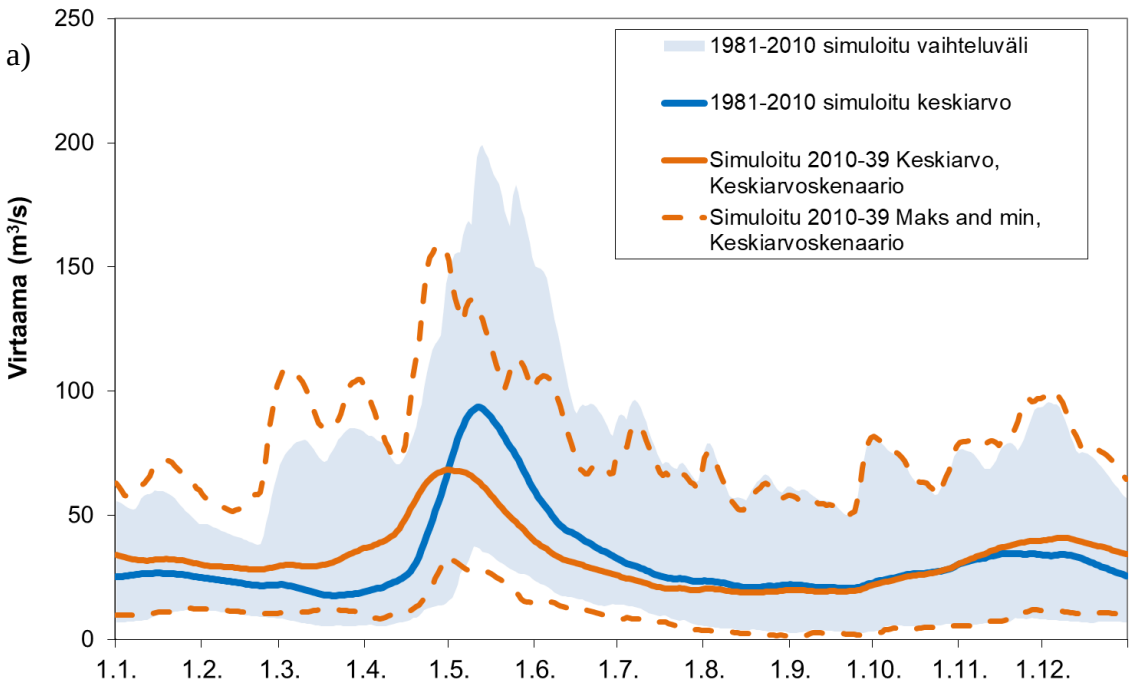


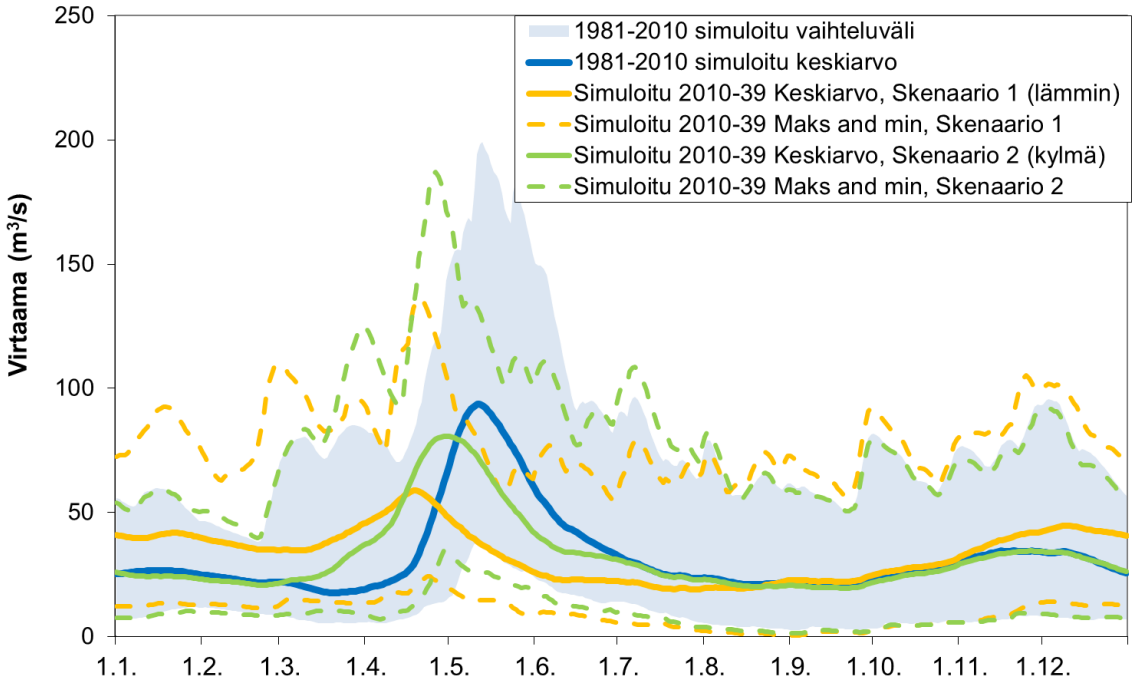
Kuva L8. Vuoksen päivittäinen keski- maksimi- ja minimivirtaama referenssijaksolla ja jaksolla 2010–39 a) keskiarvoskenaariolla, b) ääriarvoskenaarioilla, lämmin ja kylmä skenaario



Kuva L9. Vuoksen päivittäinen keski- maksimi- ja minimivirtaama referenssijaksolla ja jaksolla 2040–69 a) keskiarvoskenaariolla, b) ääriarvoskenaarioilla, lämmin ja kylmä skenaario

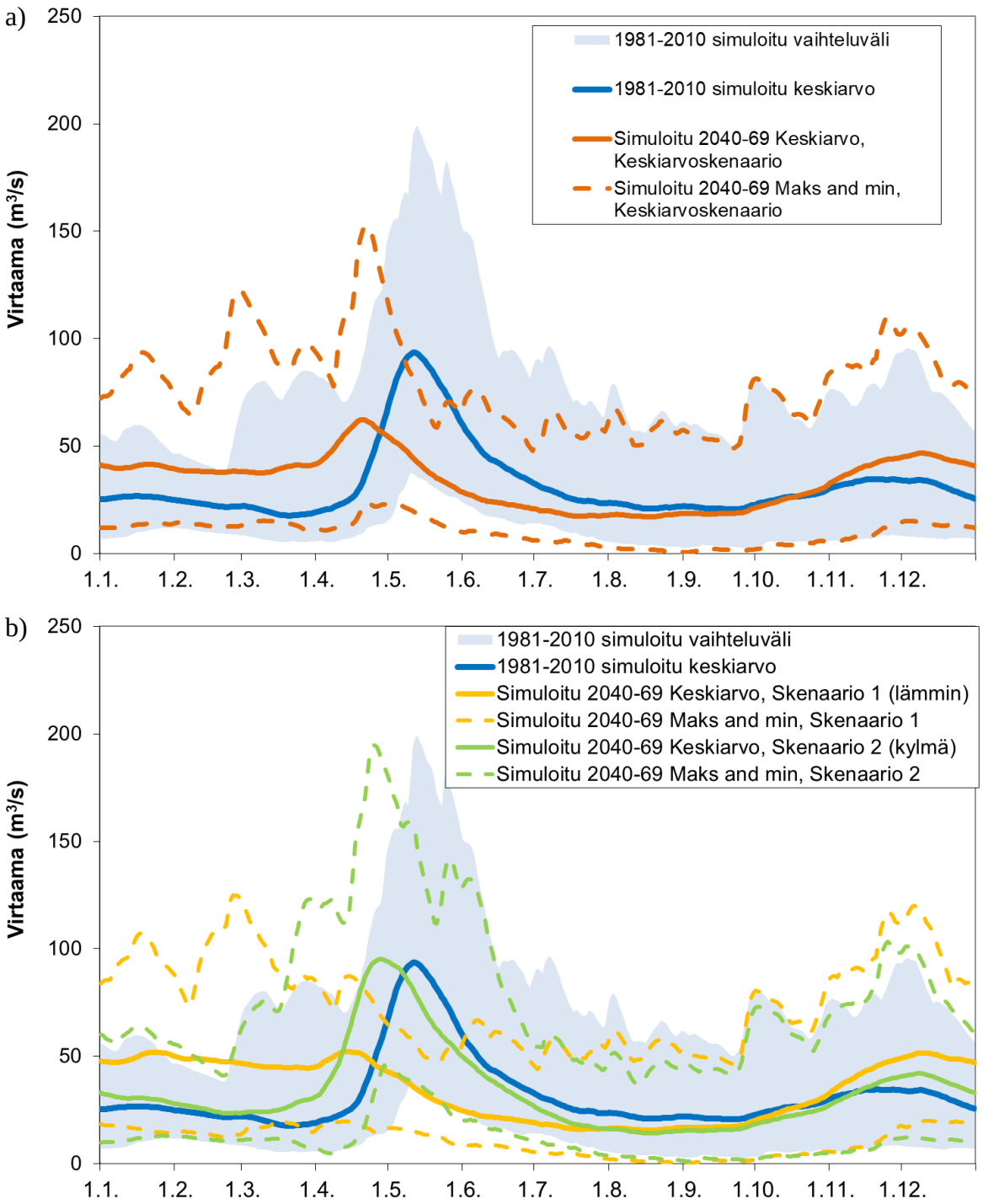
a)



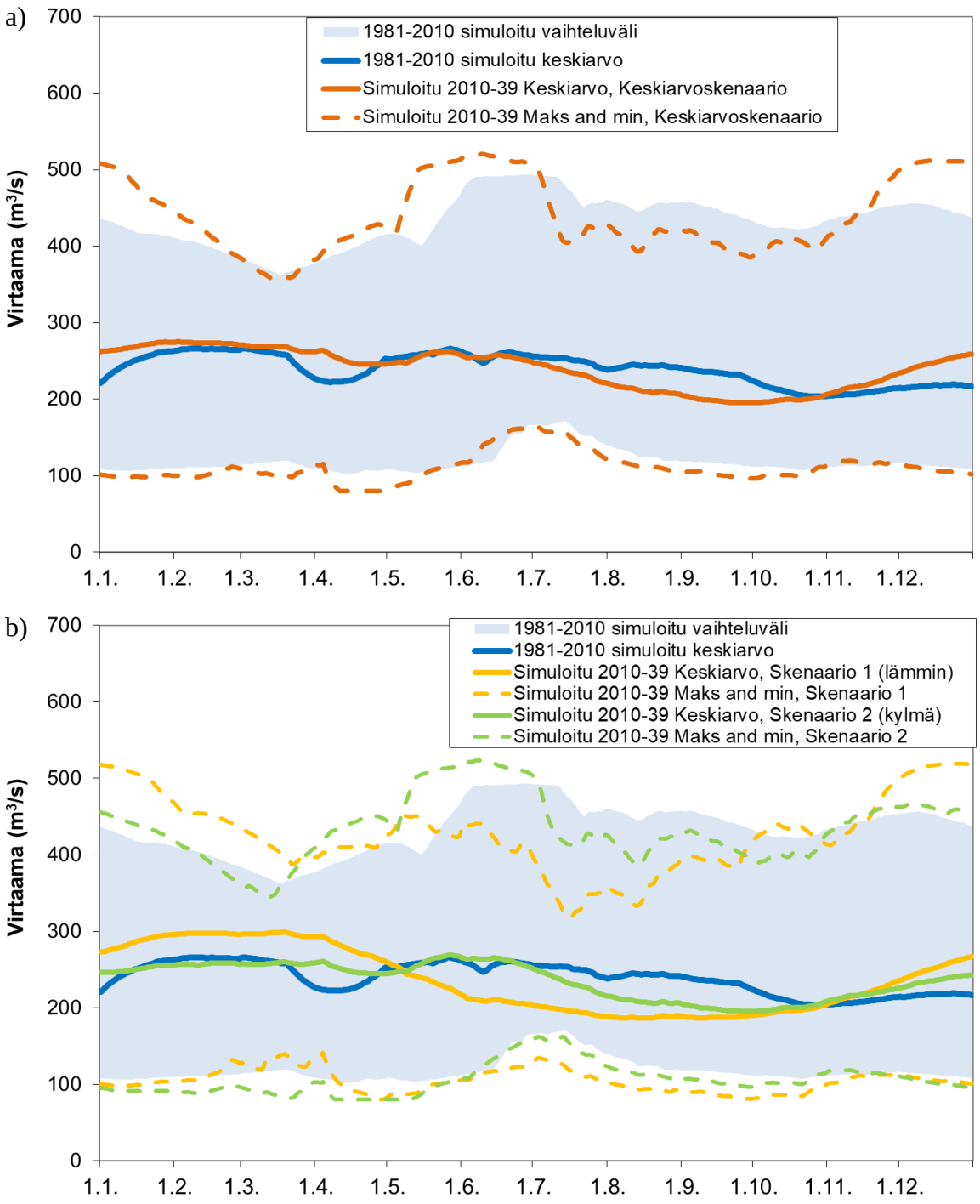


b)

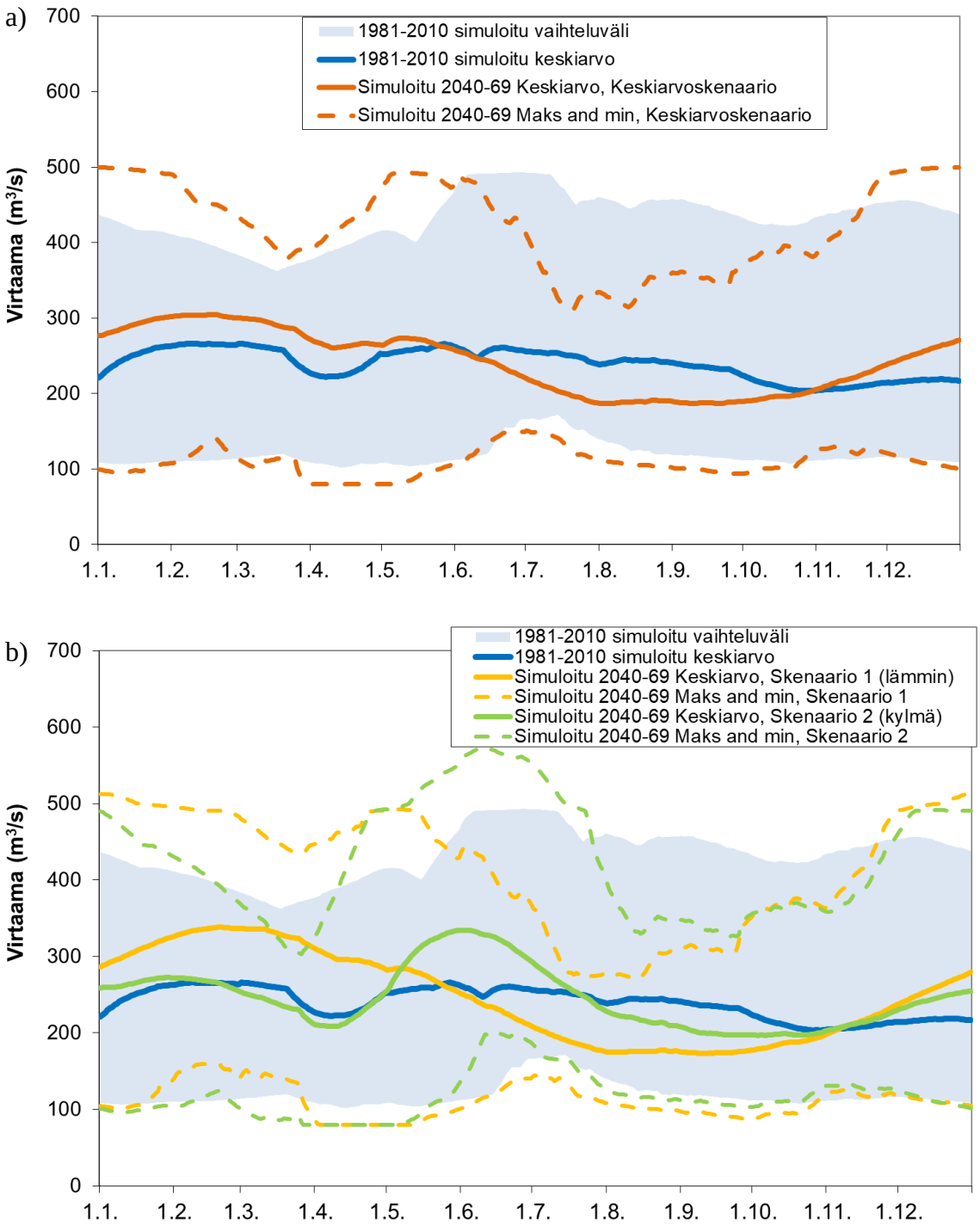
Kuva L10. Kiimasjärven lähtövirtaaman päivittäinen keski- maksimi- ja minimiarvo (esimerkki latvajärvestä Kymijoen vesistössä) referenssijaksolla ja jaksolla 2010–39 a) keskiarvoskenaariolla, b) ääriarvoskenaarioilla, lämmin ja kylmä skenaario



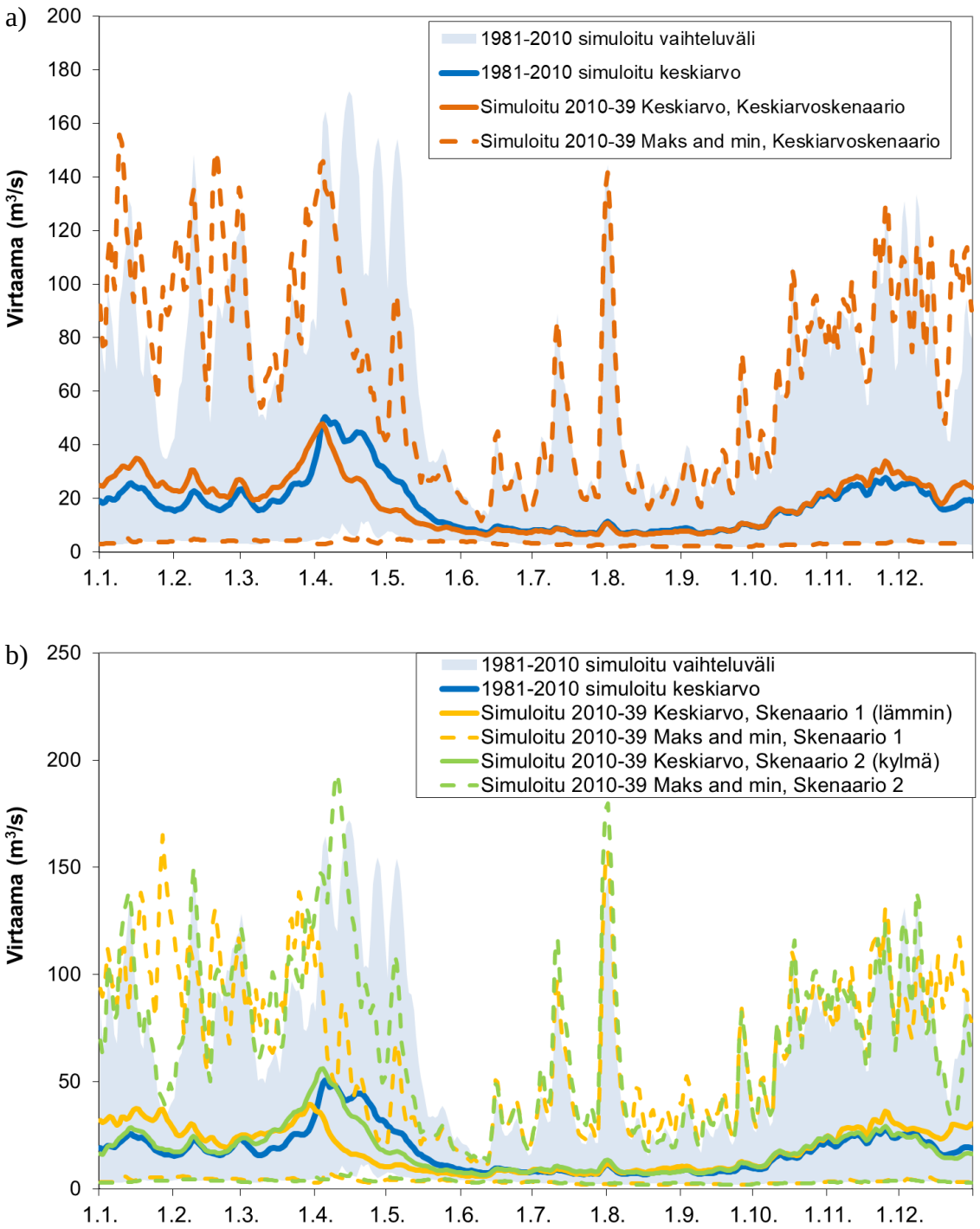
Kuva L11. Kiimasjärven lähtövirtaaman päivittäinen keski- maksimi- ja minimiarvo (esimerkki latvajärvestä Kymijoen vesistössä) referenssijaksolla ja jaksolla 2040–69 a) keskiarvoskenaariolla, b) ääriarvoskenaarioilla, lämmin ja kylmä skenaario



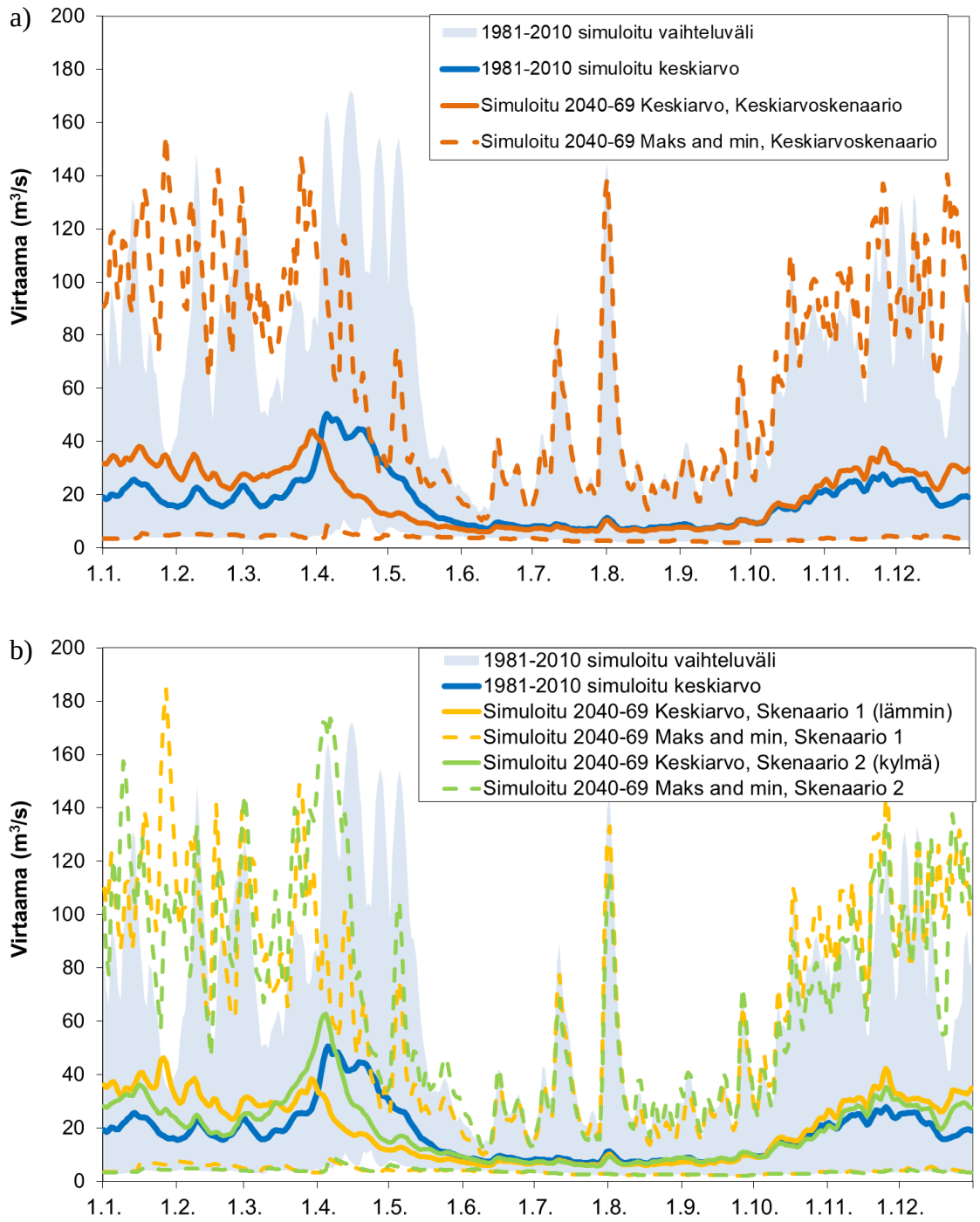
Kuva L12. Päijänteen lähtövirtaaman päivittäinen keski- maksimi- ja minimiarvo referenssijaksolla ja jaksolla 2010–39 a) keskiarvoskenaariolla, b) ääriarvoskenaarioilla, lämmin ja kylmä skenaario



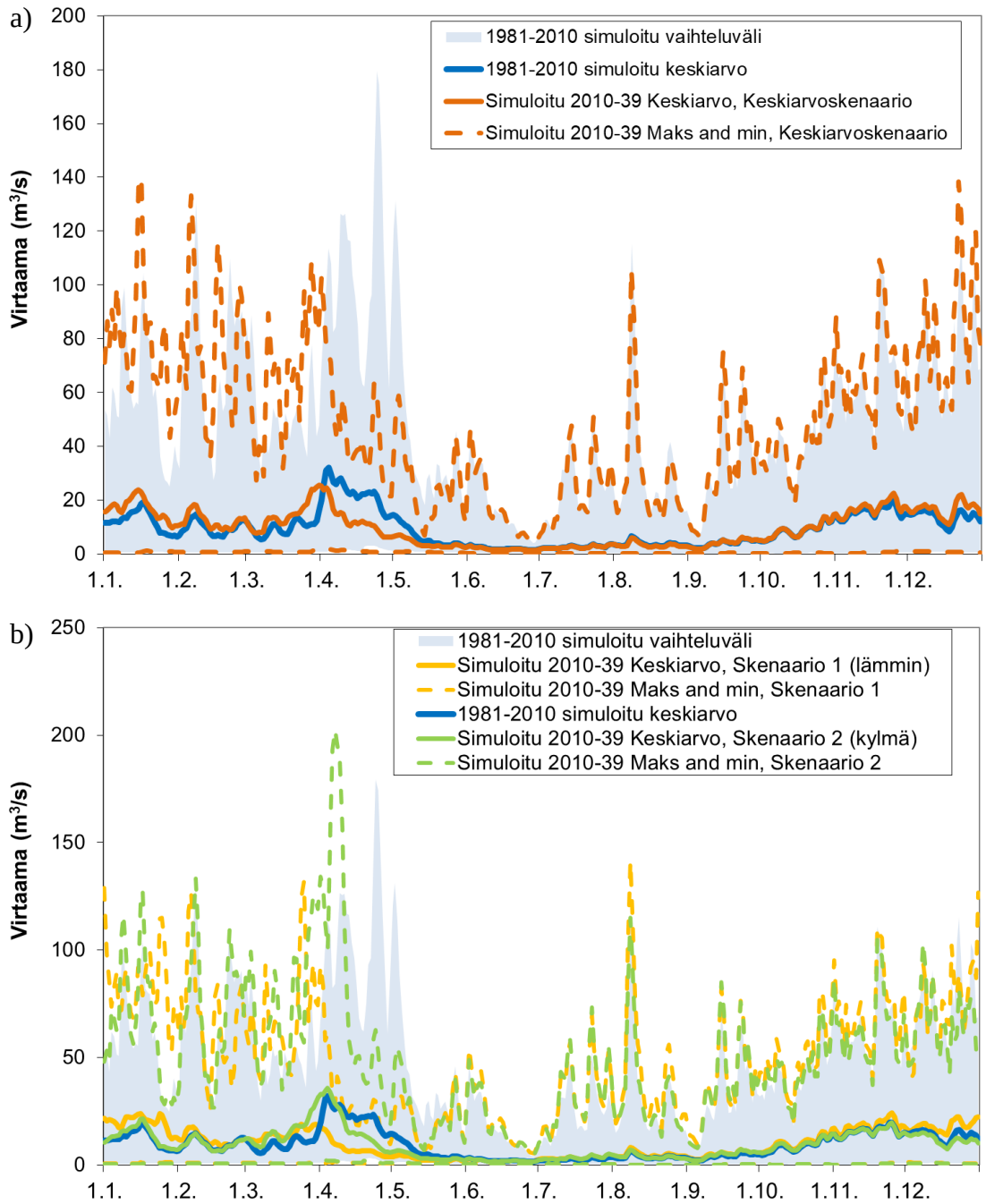
Kuva L13. Päijänteen lähtövirtaaman päivittäinen keski- maksimi- ja minimiarvo referenssijaksolla ja jaksolla 2040–69 a) keskiarvoskenaariolla, b) ääriarvoskenaarioilla, lämmin ja kylmä skenaario



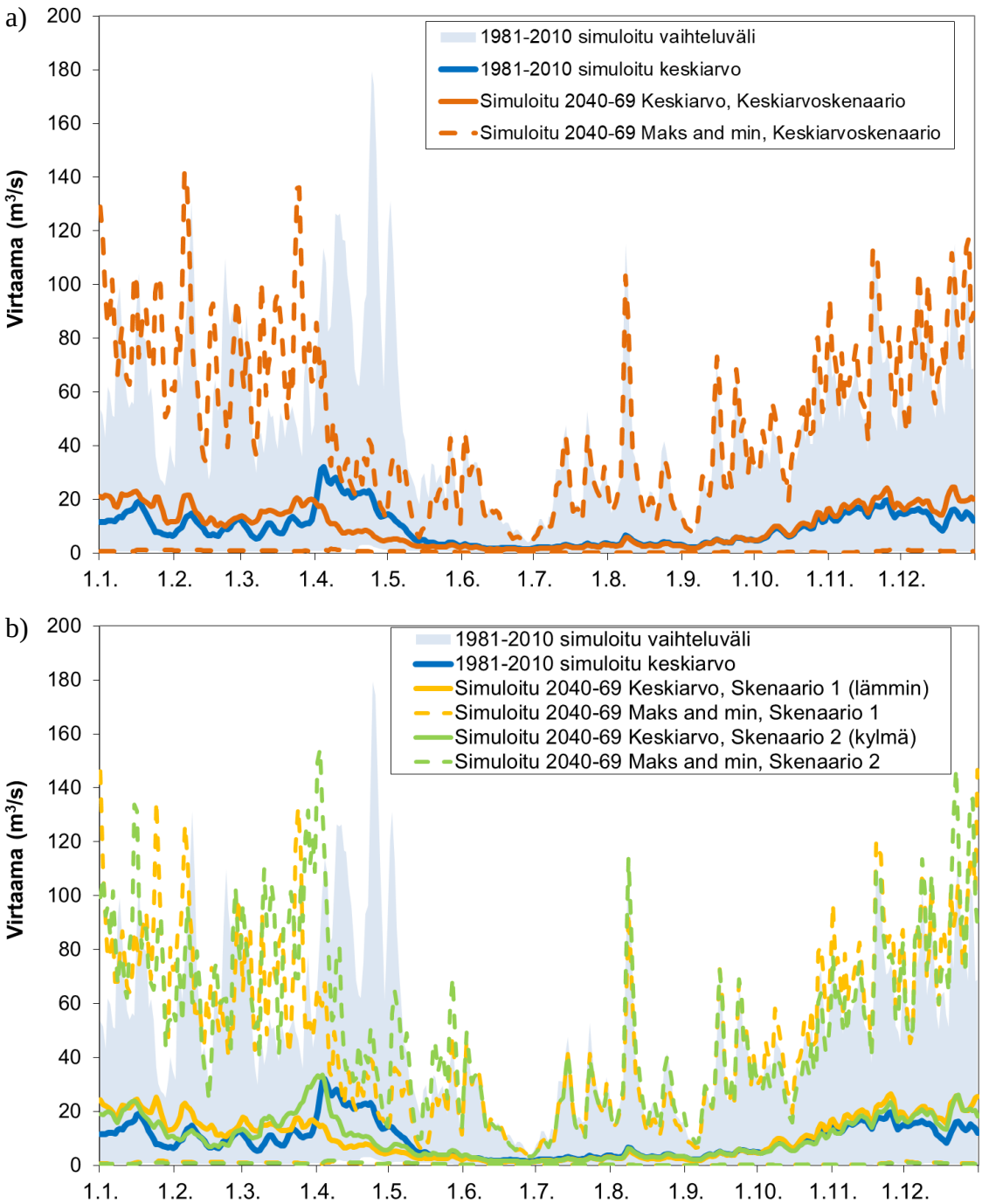
Kuva L14. Vantaanjoen päivittäinen keski- maksimi- ja minimivirtaama referenssijaksolla ja jaksolla 2010–39 a) keskiarvoskenaariolla, b) ääriarvoskenaarioilla, lämmin ja kylmä skenaario



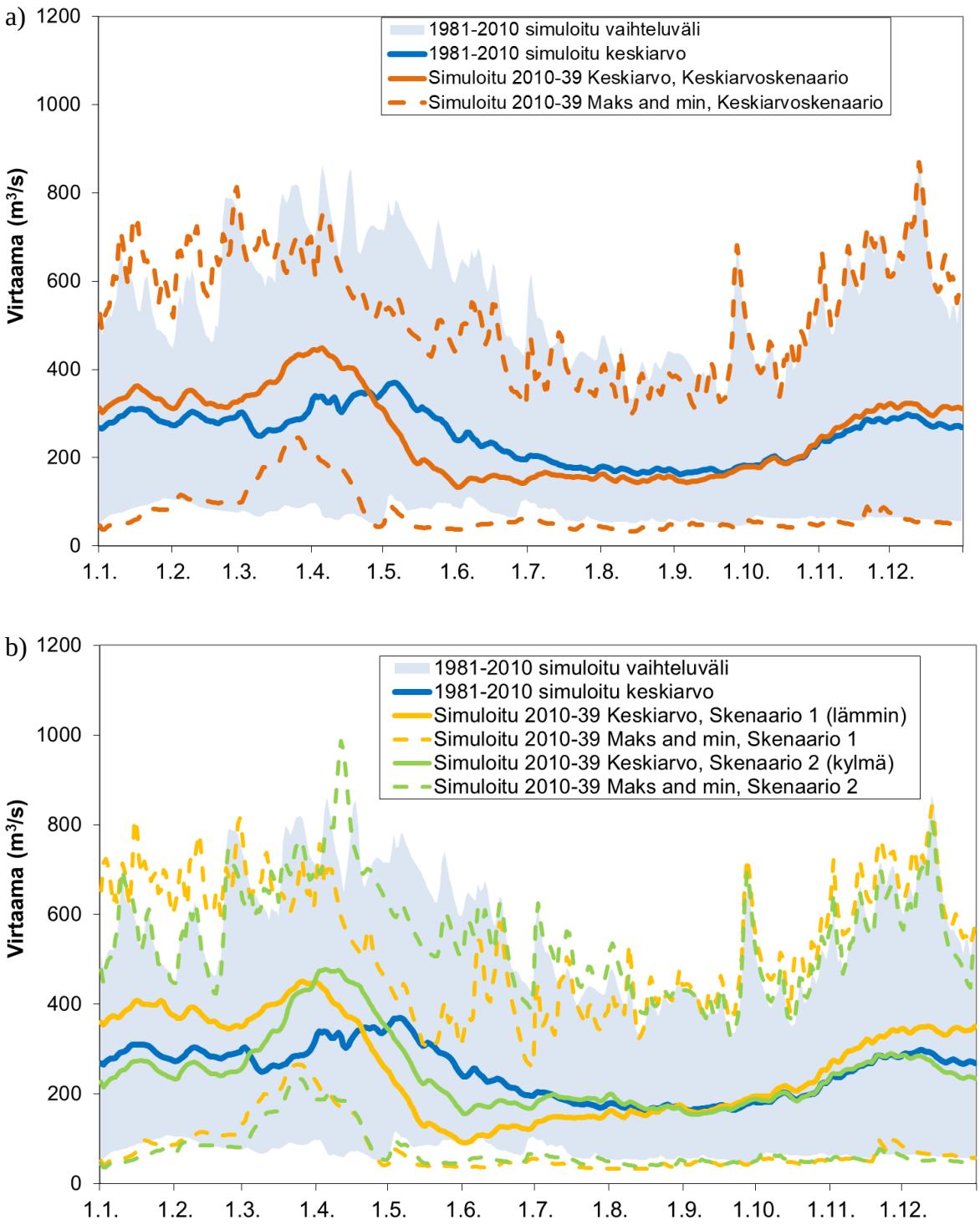
Kuva L15. Vantaanjoen päivittäinen keski- maksimi- ja minimivirtaama referenssijaksolla ja jaksolla 2040–69 a) keskiarvoskenaariolla, b) ääriarvoskenaarioilla, lämmin ja kylmä skenaario



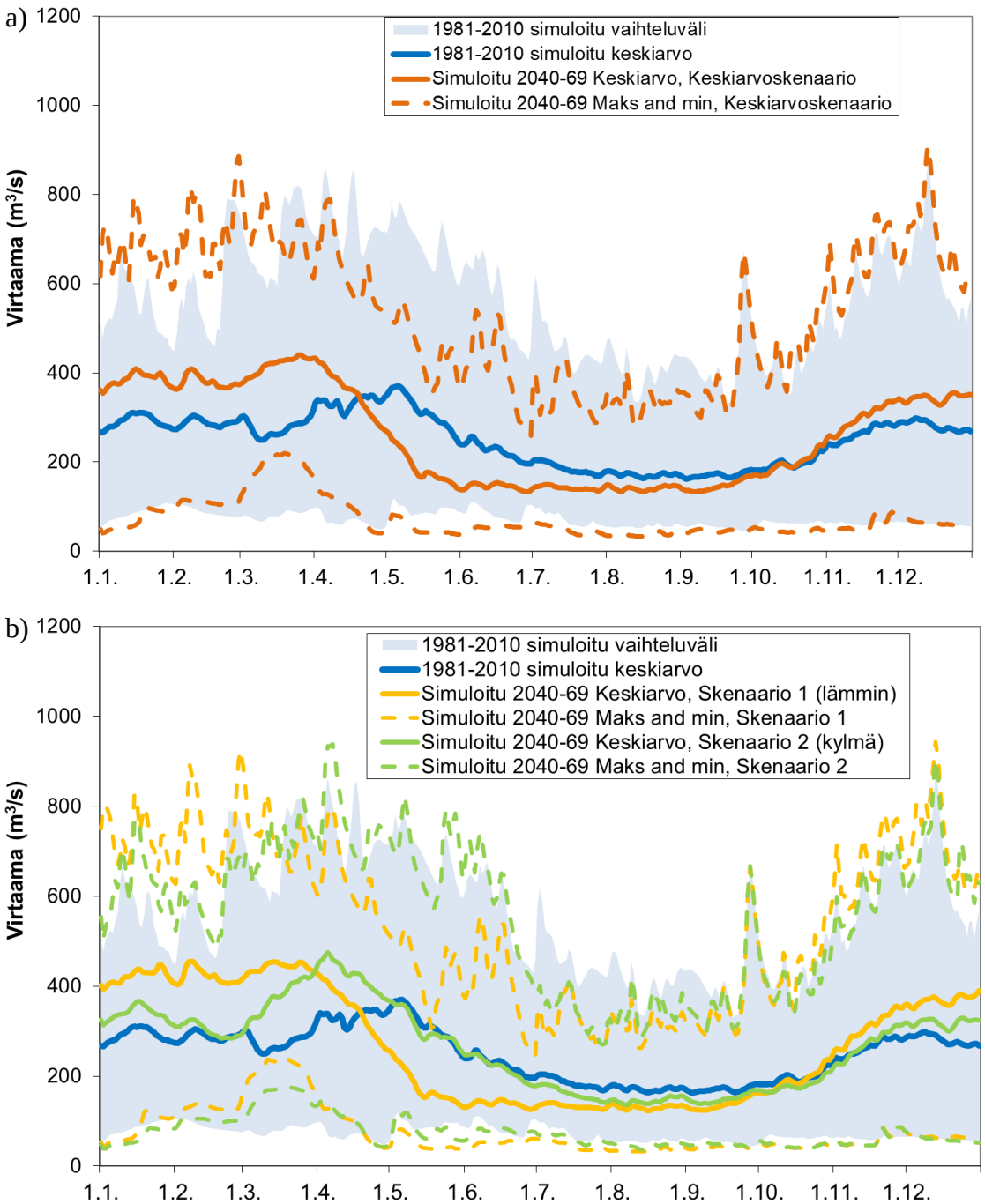
Kuva L16. Aurajoen päivittäinen keski- maksimi- ja minimivirtaama referenssijaksolla ja jaksolla 2010–39 a) keskiarvoskenaariolla, b) ääriarvoskenaarioilla, lämmin ja kylmä skenaario



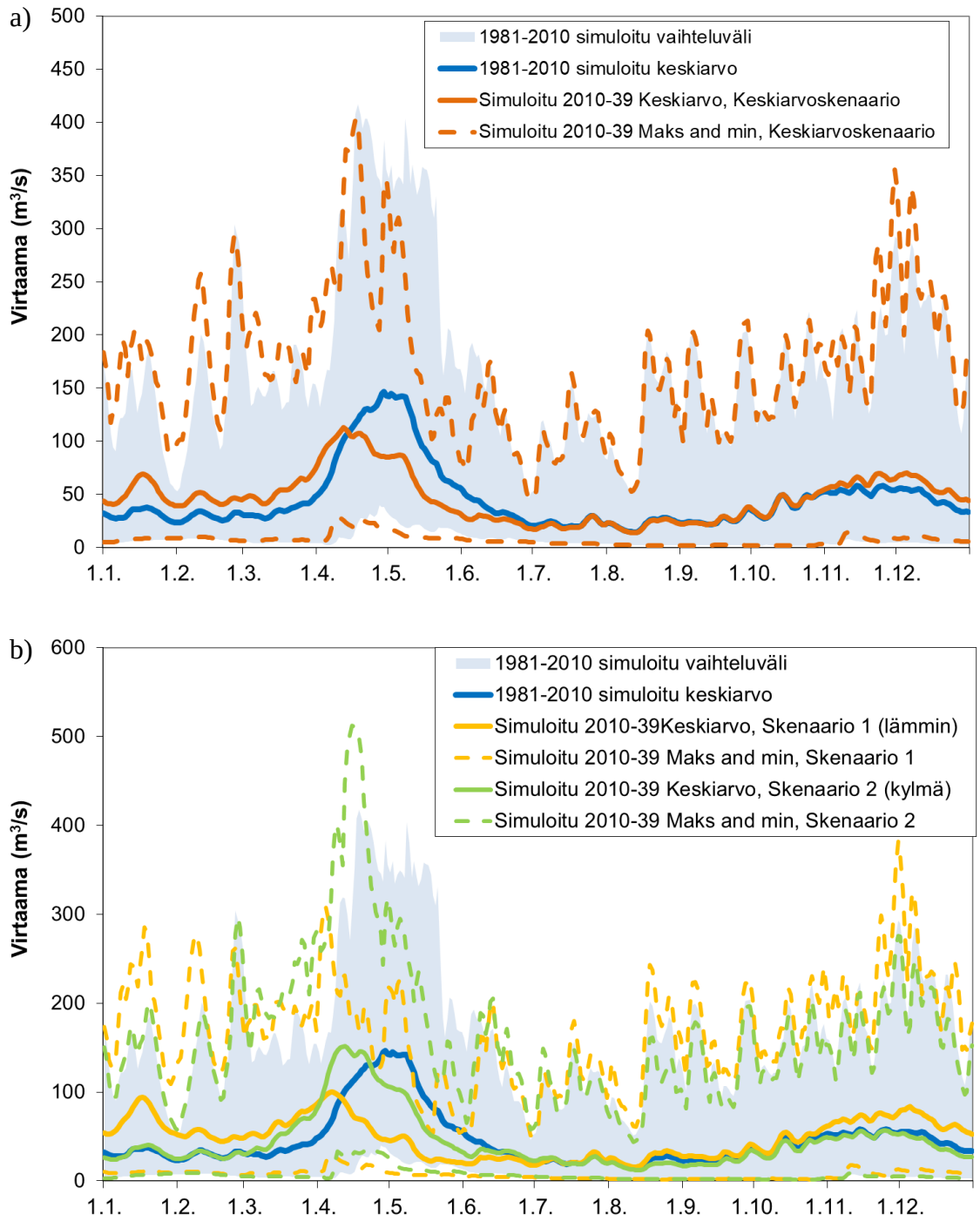
Kuva L17. Aurajoen päivittäinen keski- maksimi- ja minimivirtaama referenssijaksolla ja jaksolla 2040–69 a) keskiarvoskenaariolla, b) ääriarvoskenaarioilla, lämmin ja kylmä skenaario



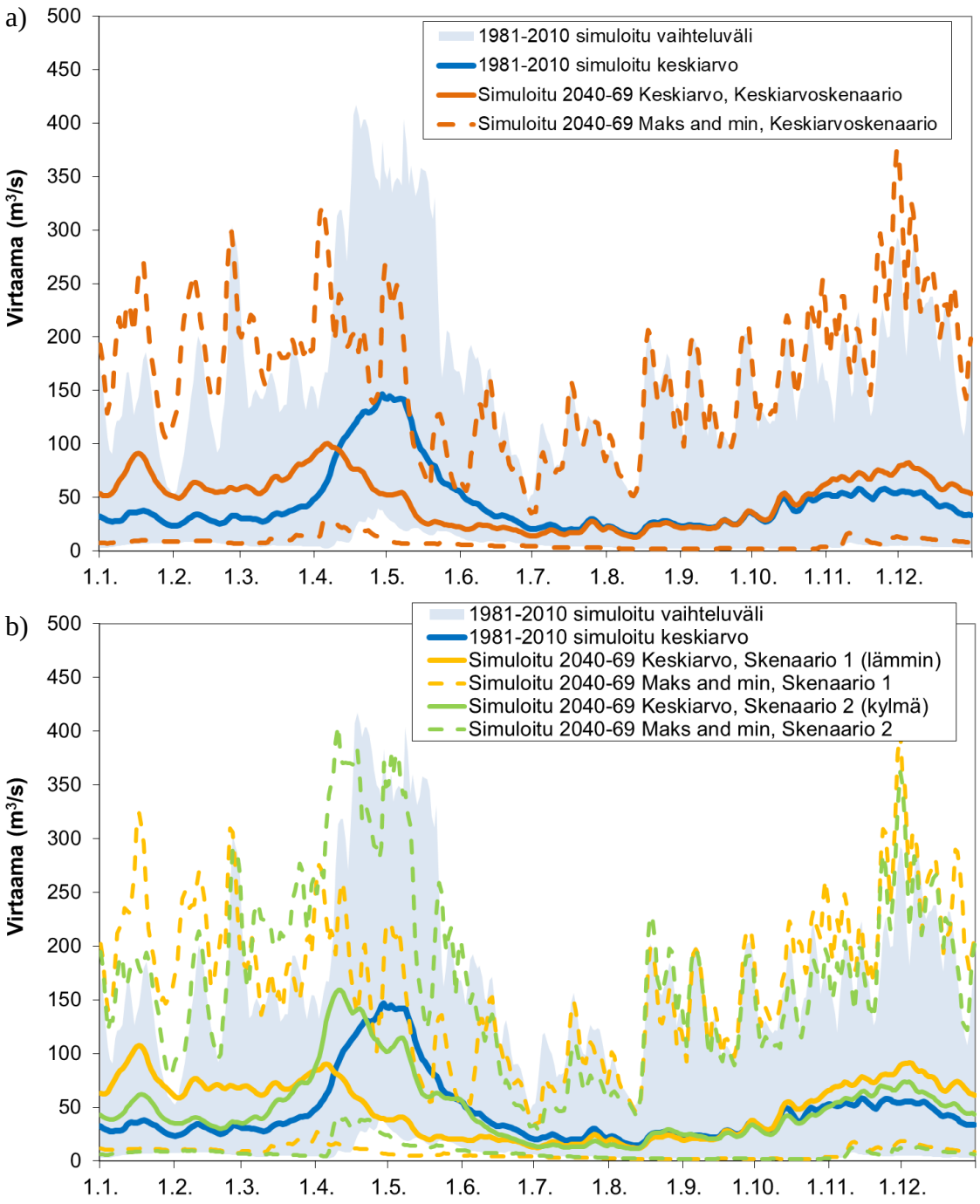
Kuva L18. Kokemäenjoen (Pori) päivittäinen keski- maksimi- ja minimivirtaama referenssijaksolla ja jaksolla 2010–39 a) keskiarvoskenaariolla, b) ääriarvoskenaarioilla, lämmin ja kylmä skenaario



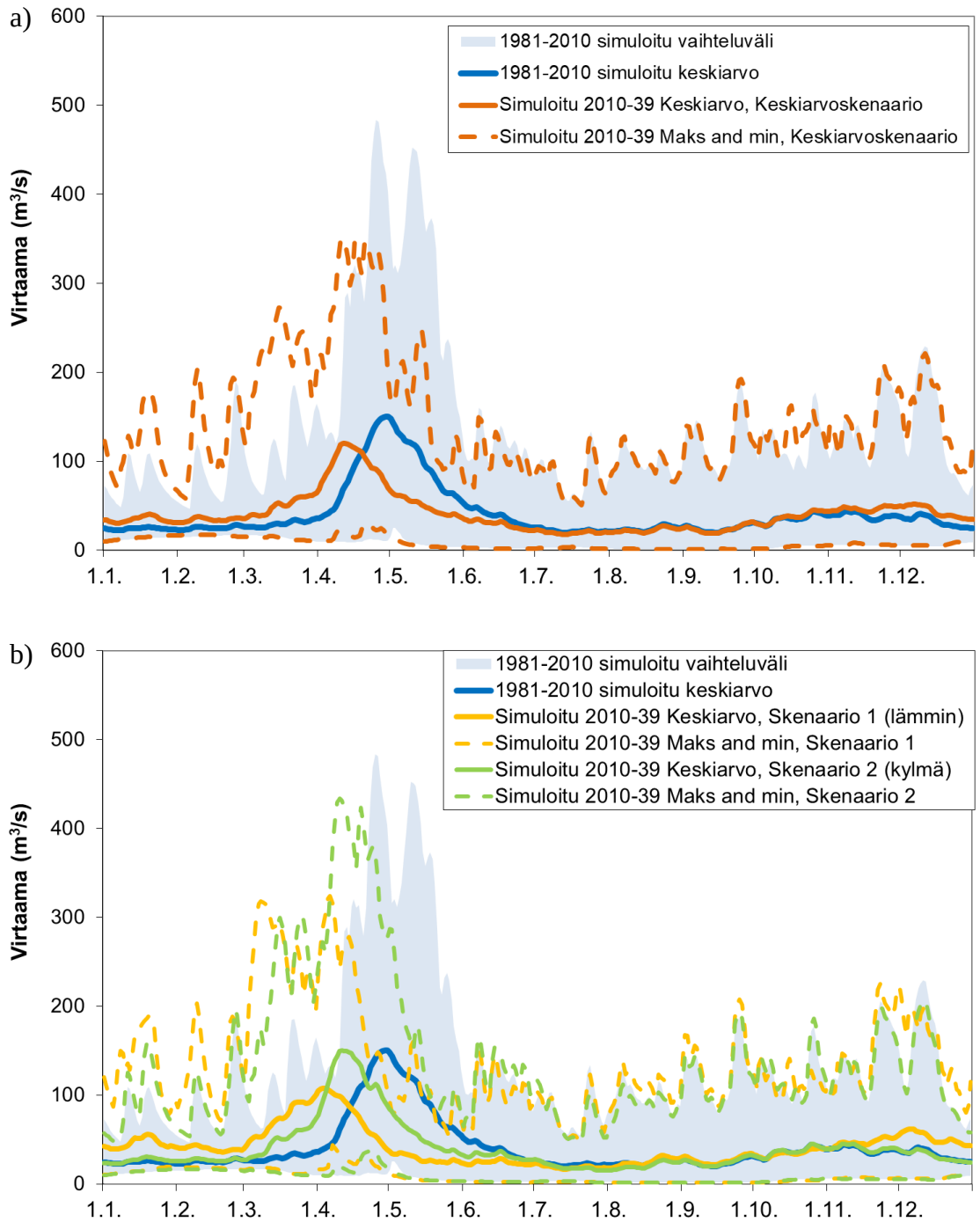
Kuva L19. Kokemäenjoen (Pori) päivittäinen keski- maksimi- ja minimivirtaama referenssijaksolla ja jaksolla 2040–69 a) keskiarvoskenaariolla, b) ääriarvoskenaarioilla, lämmin ja kylmä skenaario



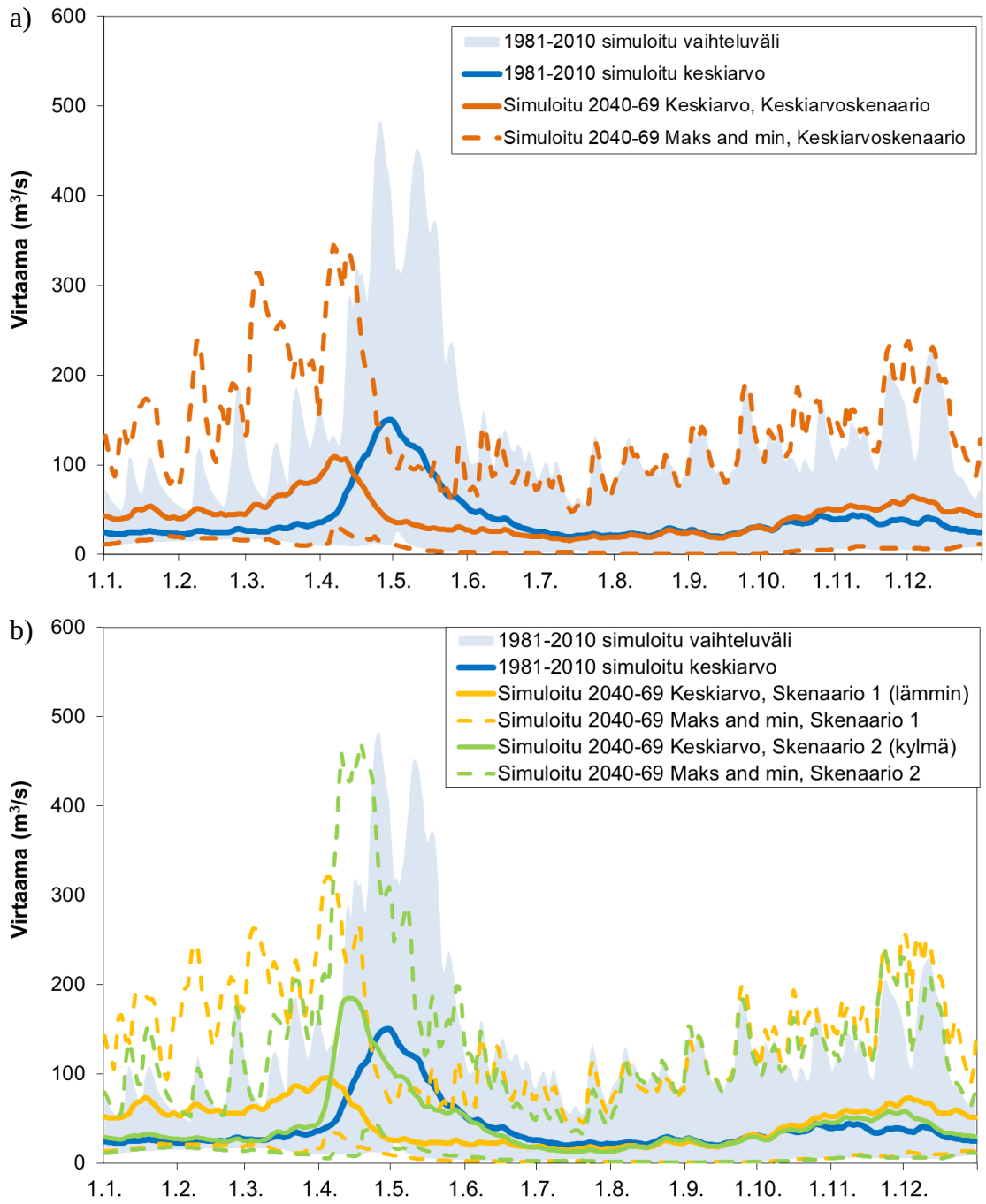
Kuva L20. Kyrönjoen päivittäinen keski- maksimi- ja minimivirtaama referenssijaksolla ja jaksolla 2010–39 a) keskiarvoskenaariolla, b) ääriarvoskenaarioilla, lämmin ja kylmä skenaario



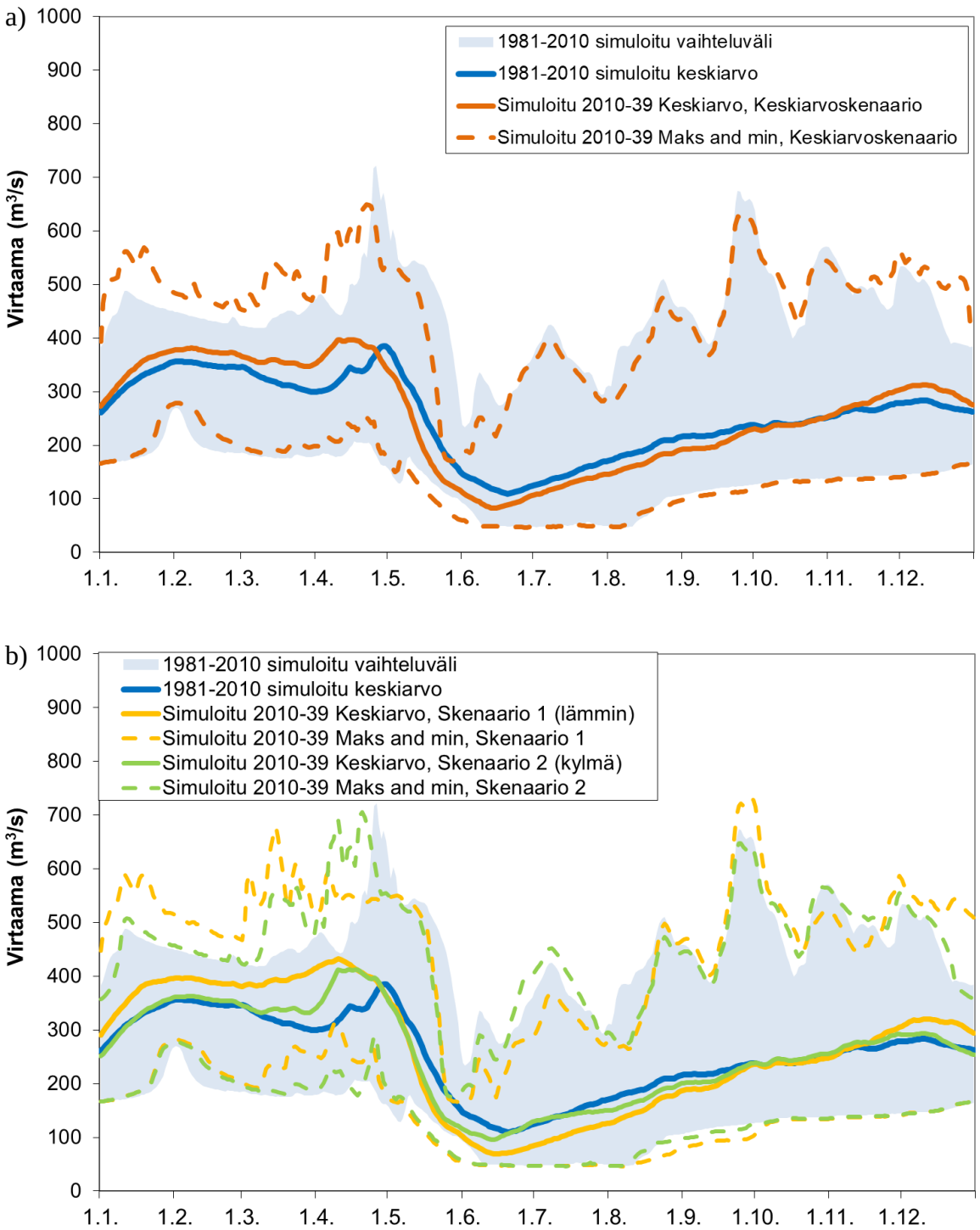
Kuva L21. Kyrönjoen päivittäinen keski- maksimi- ja minimivirtaama referenssijaksolla ja jaksolla 2040–69 a) keskiarvoskenaariolla, b) ääriarvoskenaarioilla, lämmin ja kylmä skenaario



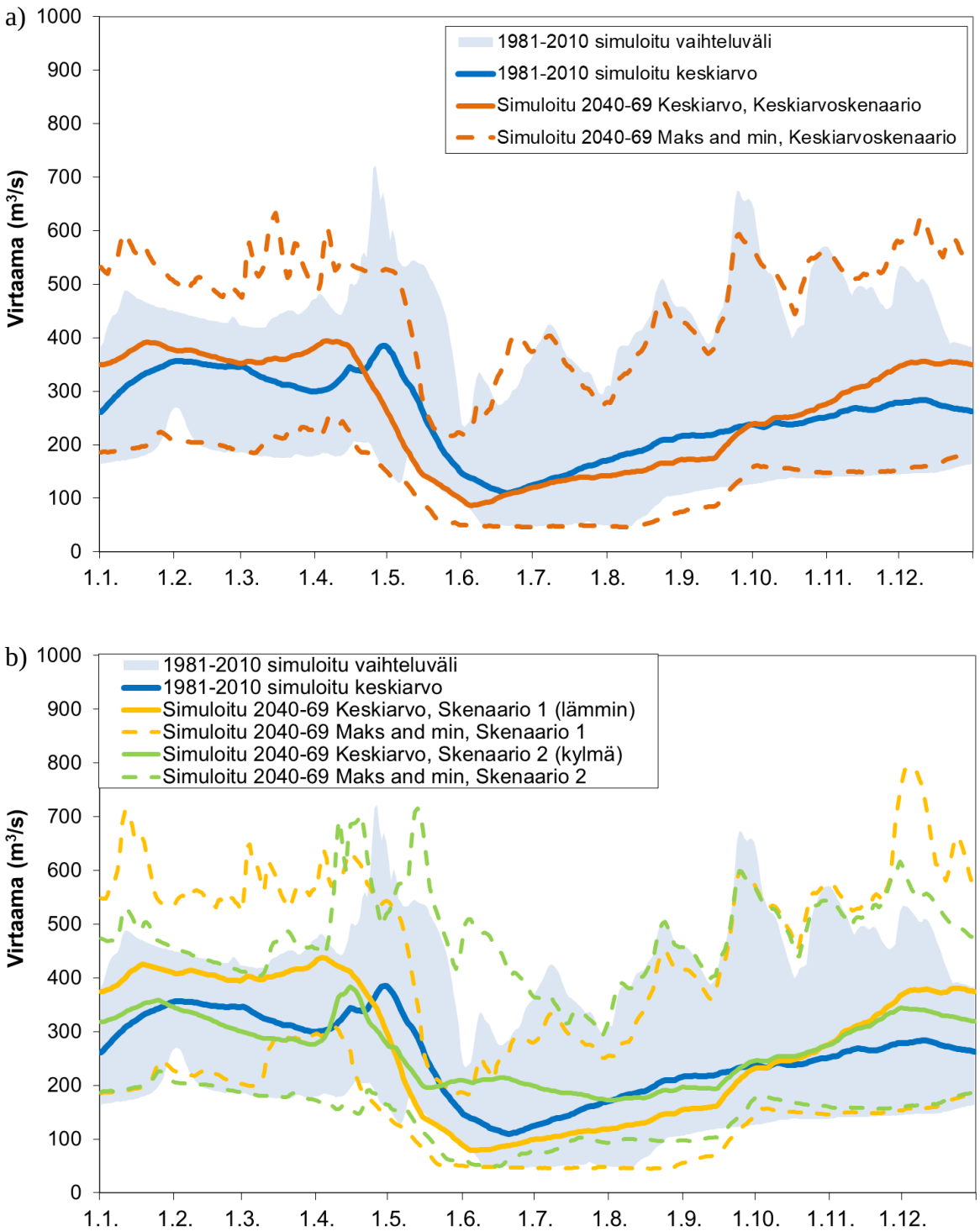
Kuva L22. Siikajoen päivittäinen keski- maksimi- ja minimivirtaama referenssijaksolla ja jaksolla 2010–39 a) keskiarvoskenaariolla, b) ääriarvoskenaarioilla, lämmin ja kylmä skenaario



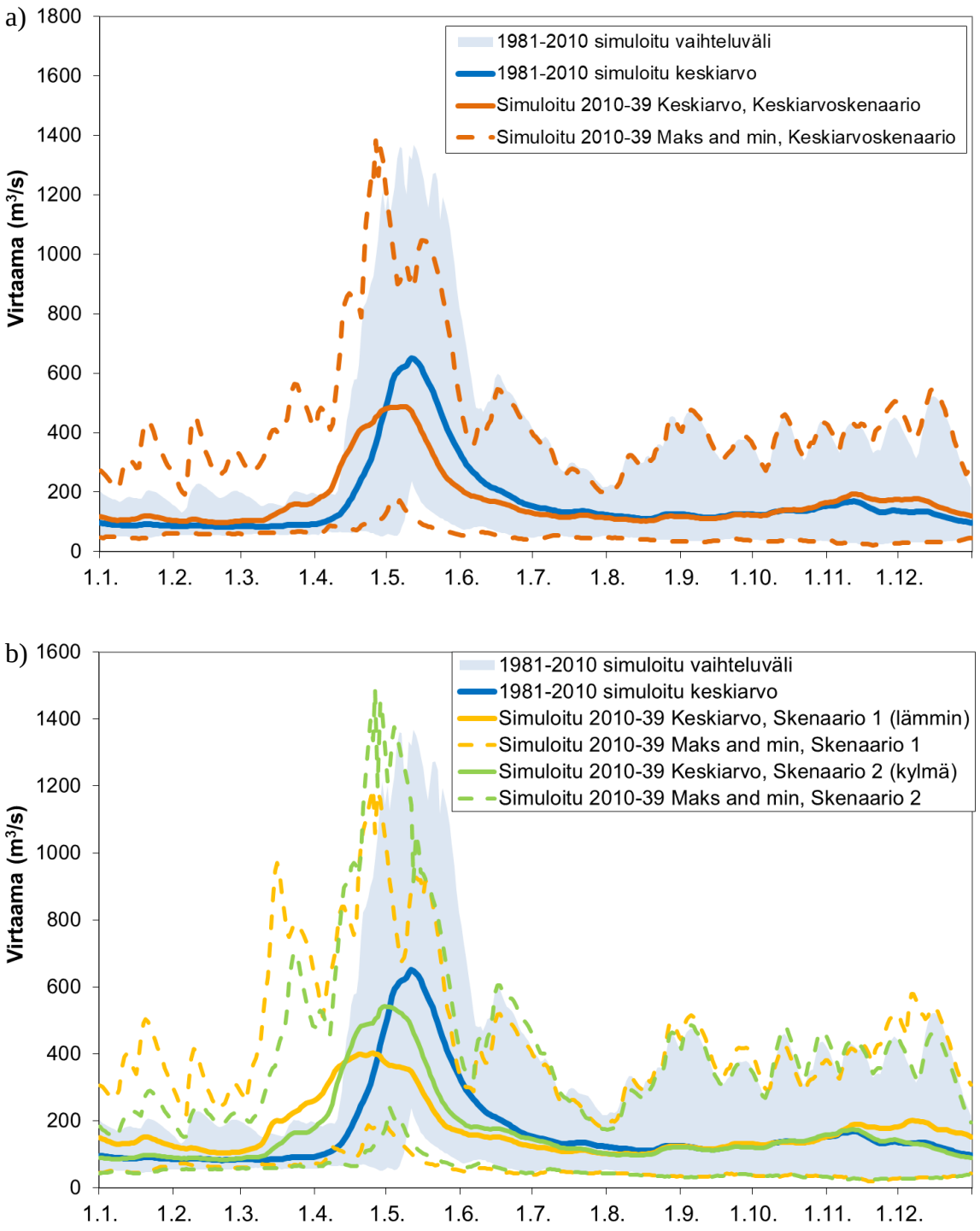
Kuva L23. Siikajoen päivittäinen keski- maksimi- ja minimivirtaama referenssijaksolla ja jaksolla 2040–69 a) keskiarvoskenaariolla, b) ääriarvoskenaarioilla, lämmin ja kylmä skenaario



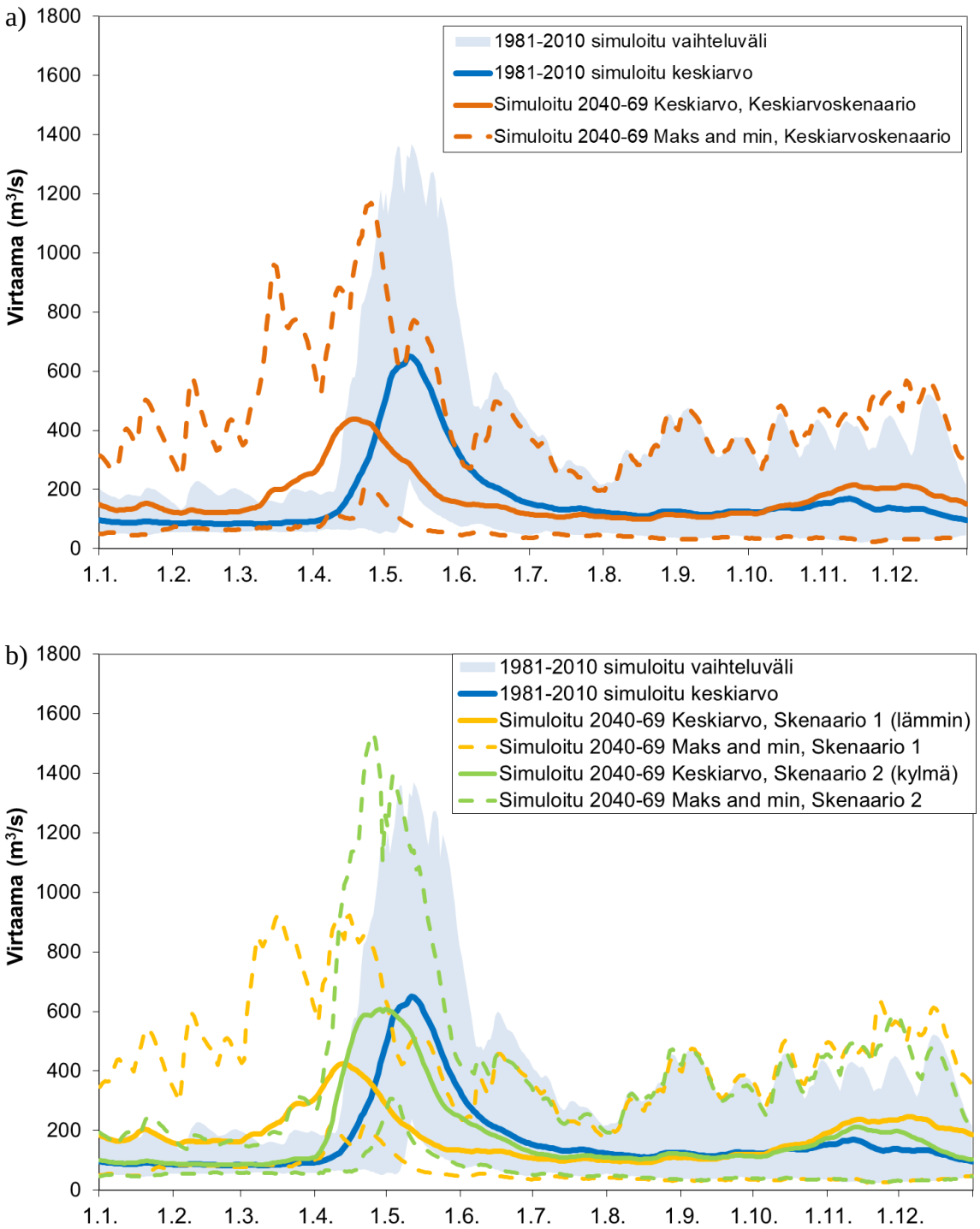
Kuva L24. Oulujoen (Merikoski) päivittäinen keski- maksimi- ja minimivirtaama referenssijaksolla ja jaksolla 2010–39 a) keskiarvoskenaariolla, b) ääriarvoskenaarioilla, lämmin ja kylmä skenaario



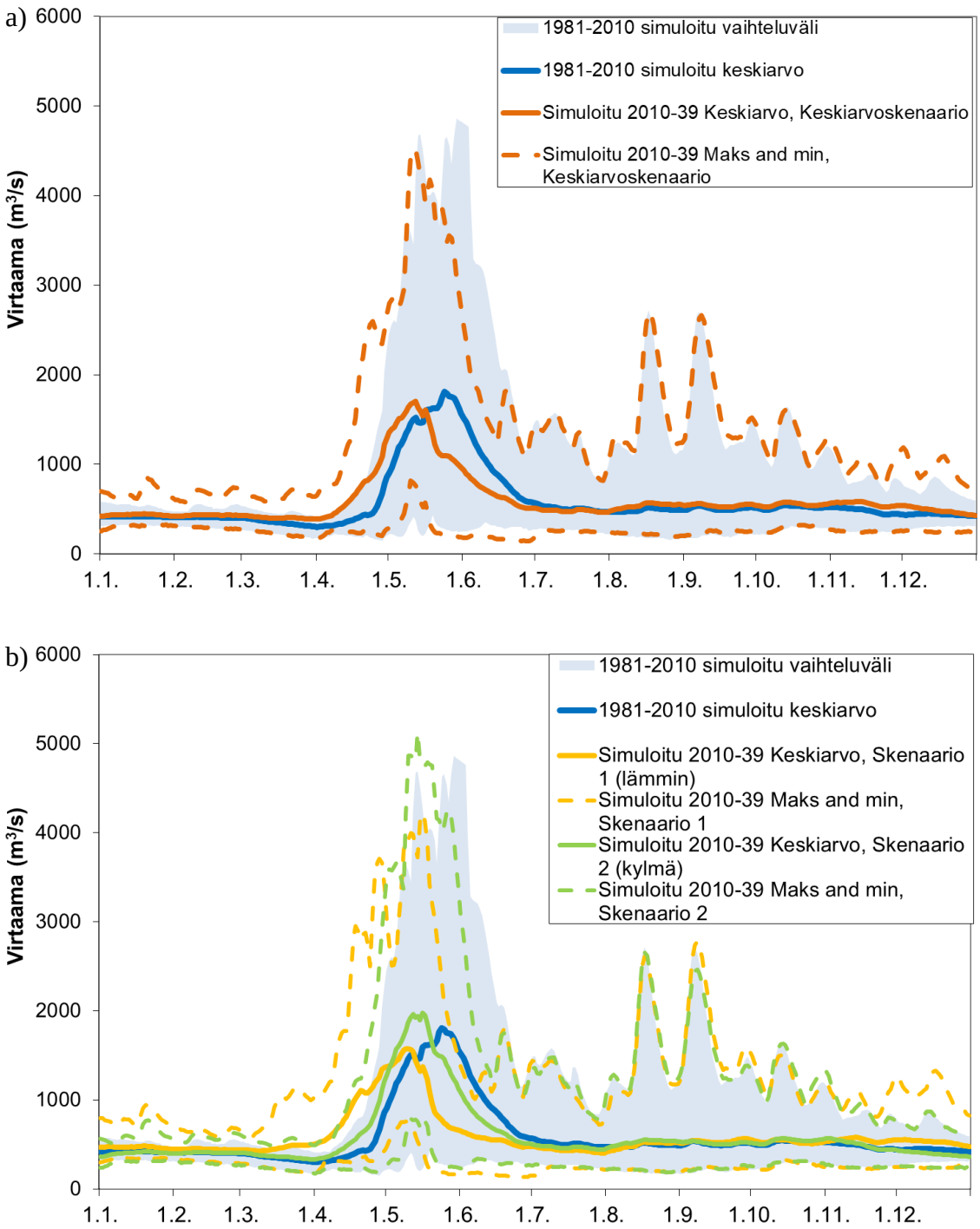
Kuva L25. Oulujoen päivittäinen keski- maksimi- ja minimivirtaama referenssijaksolla ja jaksolla 2040–69 a) keskiarvoskenaariolla, b) ääriarvoskenaarioilla, lämmin ja kylmä skenaario



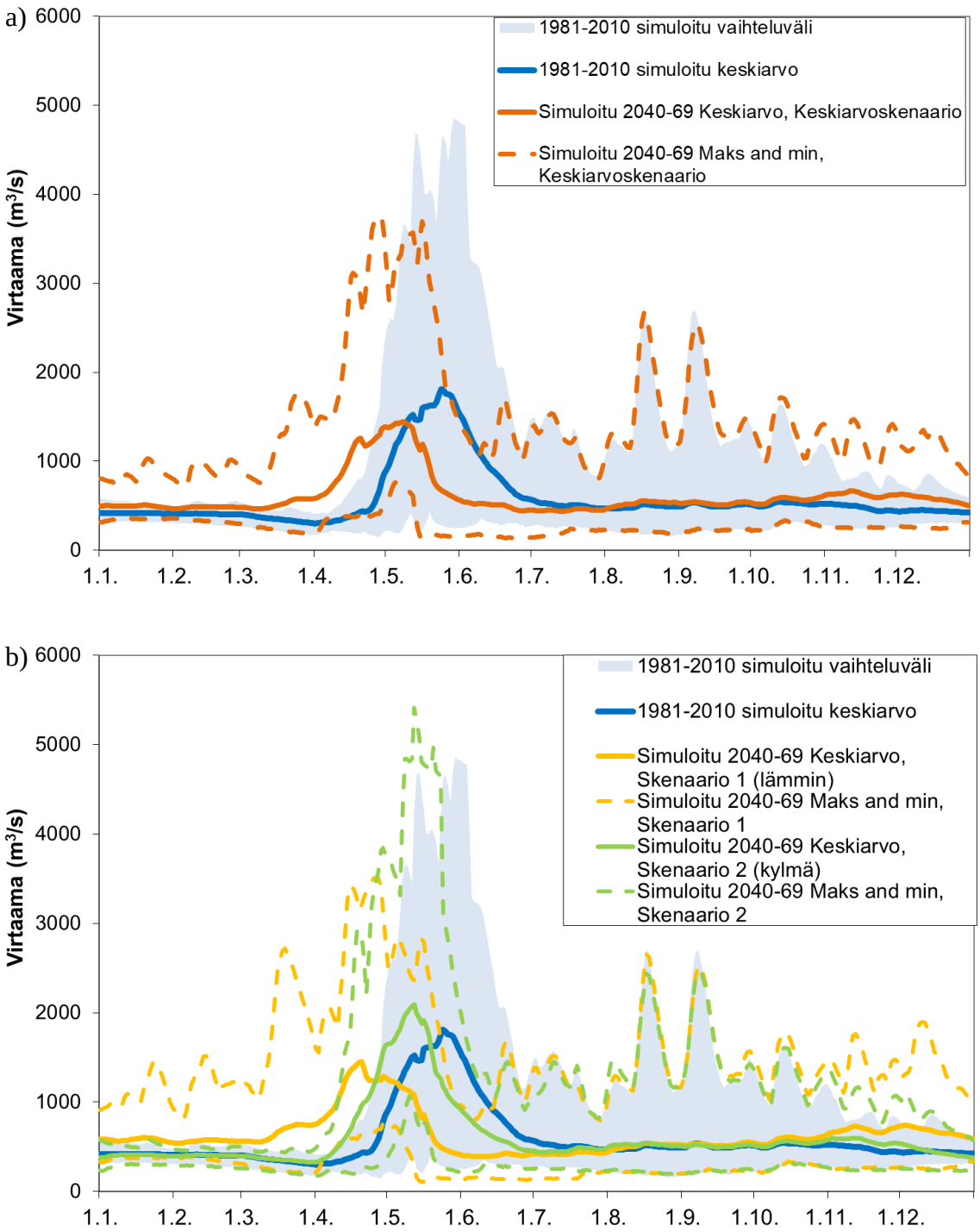
Kuva L26. Iijoen (Raasakka) päivittäinen keski- maksimi- ja minimivirtaama referenssijaksolla ja jaksolla 2010–39 a) keskiarvoskenaariolla, b) ääriarvoskenaarioilla, lämmin ja kylmä skenaario



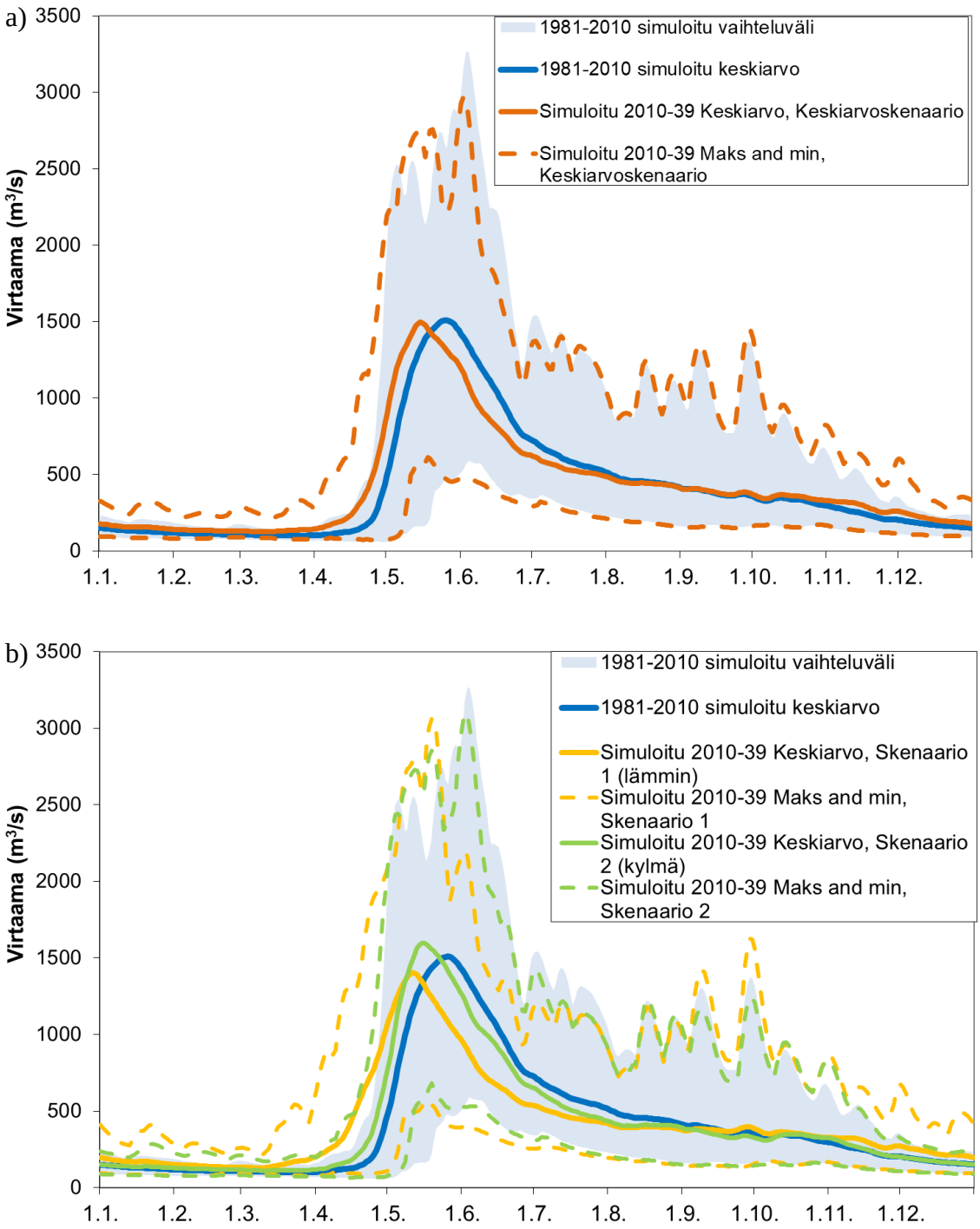
Kuva L27. Iijoen (Raasakka) päivittäinen keski- maksimi- ja minimivirtaama referenssijaksolla ja jaksolla 2040–69 a) keskiarvoskenaariolla, b) ääriarvoskenaarioilla, lämmin ja kylmä skenaario



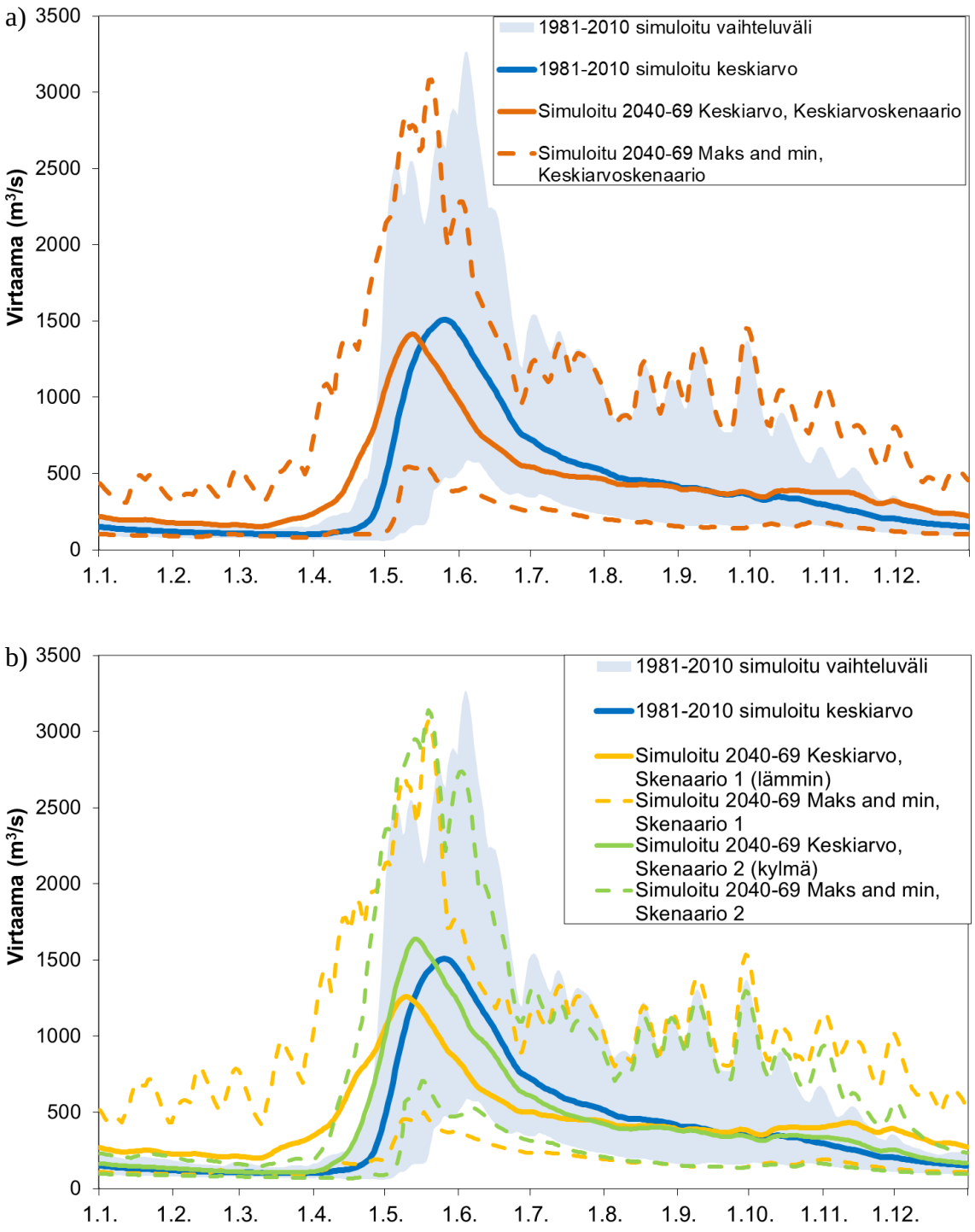
Kuva L28. Kemijoen (Isohaara) päivittäinen keski- maksimi- ja minimivirtaama referenssijaksolla ja jaksolla 2010–39 a) keskiarvoskenaariolla, b) ääriarvoskenaarioilla, lämmin ja kylmä skenaario



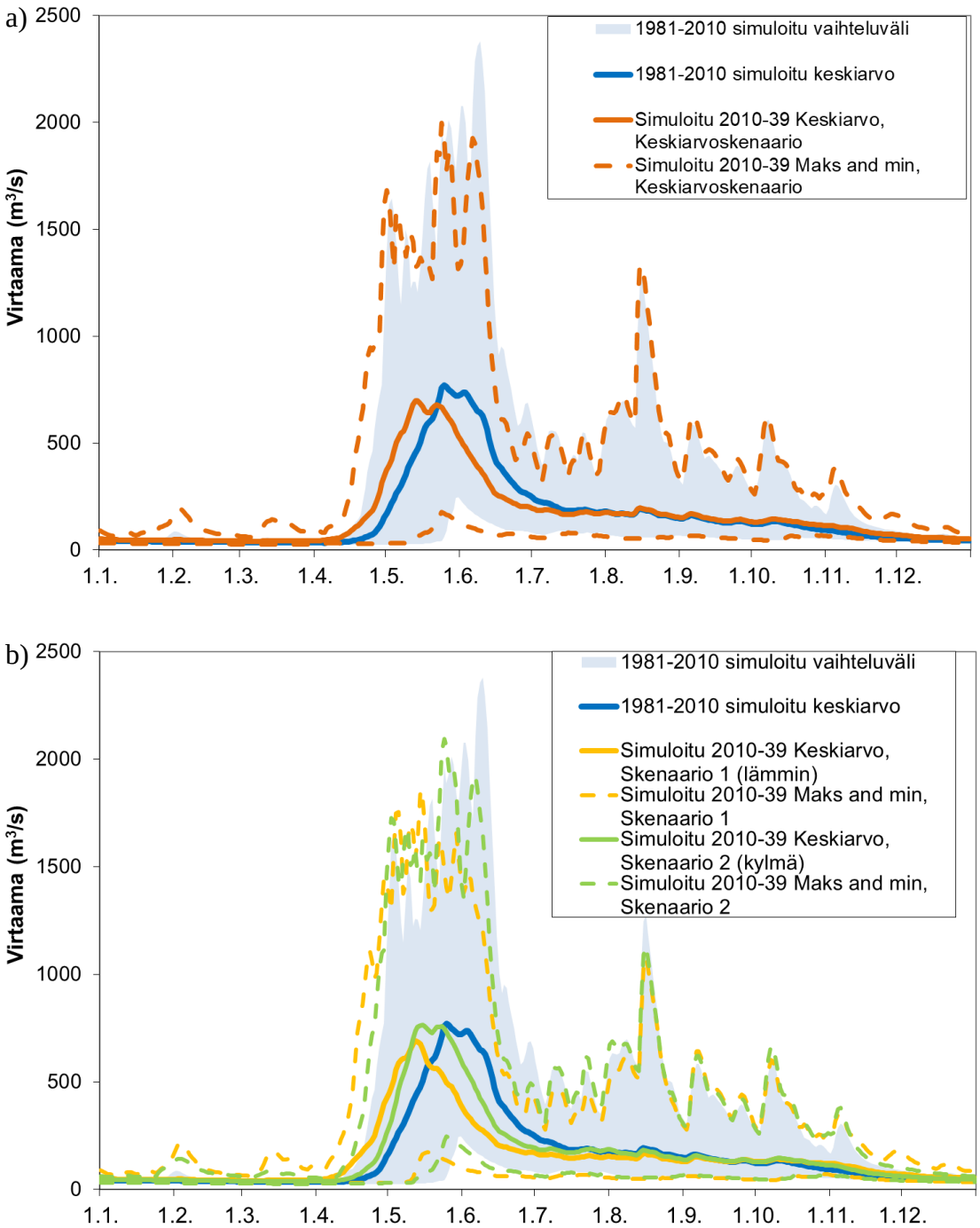
Kuva L30. Kemijoen (Ipäivittäinen keski- maksimi- ja minimivirtaama referenssijaksolla ja jaksolla 2040–69 a) keskiarvoskenaariolla, b) ääriarvoskenaarioilla, lämmin ja kylmä skenaario



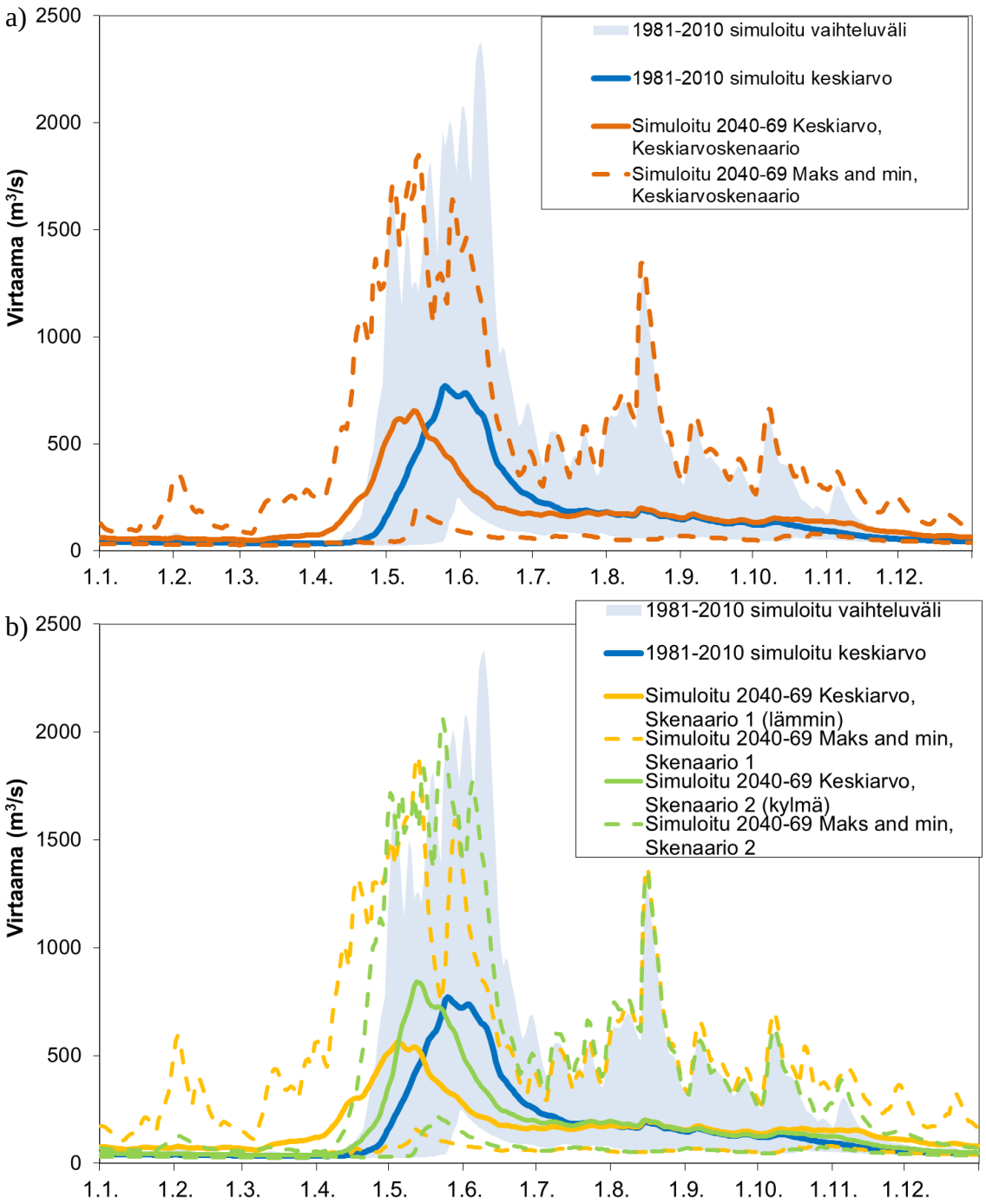
Kuva L31. Tornionjoen (Tornio) päivittäinen keski- maksimi- ja minimivirtaama referenssijaksolla ja jaksolla 2010–39 a) keskiarvoskenaariolla, b) ääriarvoskenaarioilla, lämmin ja kylmä skenaario



Kuva L32. Tornionjoen (Tornio)päivittäinen keski- maksimi- ja minimivirtaama referenssijaksolla ja jaksolla 2040–69 a) keskiarvoskenaariolla, b) ääriarvoskenaarioilla, lämmin ja kylmä skenaario



Kuva L33. Tenojoen päivittäinen keski- maksimi- ja minimivirtaama referenssijaksolla ja jaksolla 2010–39 a) keskiarvoskenaariolla, b) ääriarvoskenaarioilla, lämmin ja kylmä skenaario



Kuva L34. Tenojoen päivittäinen keski- maksimi- ja minimivirtaama referenssijaksolla ja jaksolla 2040–69 a) keskiarvoskenaariolla, b) ääriarvoskenaarioilla, lämmin ja kylmä skenaario

7.3 Yhteenvetotaulukot ilmastonmuutoksen vaikutuksista vesienhoitoalueittain

Yhteenvetotaulukoihin on koottu ilmastonmuutoksen vaikutuksia vesienhoidon ja tulvariskien hallinnan kannalta tarpeellisiin suureisiin. Tulokset perustuvat ClimVeturi-hankkeen laskentoihin, jotka tehty käyttäen useita ilmastoskenaarioita, ilmasto-oppaan tietoihin, sekä muihin oppaassa käytettyihin lähteisiin (katso lähdeluettelo). Esim. ravinnekuormituksen osalta arviot pohjautuvat Marisplan-hankkeen tuloksiin (Huttunen ym. 2016). Muutosten referenssijaksona suurimmassa osassa arvioita on käytetty vuosia 1981–2010.

Taulukko L1. Ilmastonmuutoksen vaikutusten kokoomataulukko, koko Suomi

Muuttuja	2010-39	2040-69
Virtaama ja valunta	0-+6 %, märin n. +10 %, kuivin -2-(-4) %	0-+10 %, märin skenaario +10–20 %, kuivin n. -5 %
	Keskimäärin pientä kasvua (2-3 %) keskivirtaamissa	Keskimäärin pientä kasvua (5 %) keskivirtaamissa
Sadanta	0-10 %, märin n. +10 %, kuivin n. 0 %	4-10 %, märin +15–20 %, kuivin n. 0 %
	Sadanta kasvaa eniten talvella, kesän sadanta muuttuu vain vähän	Sadanta kasvaa eniten talvella, noin kaksi kertaa enemmän kuin keskimäärin, pienimmät muutokset kesällä
Tulvat (n. 1/100 toistuvuus)	-10-+10 %, katso paikallinen arvio, vaihtelee vesistöittäin	-40-+20 %, katso alueellinen arvio
	Talvi- ja syystulvat kasvavat, mutta kevättulvat pienenevät (paitsi Lapissa).	Talvi- ja syystulvat kasvavat, mutta kevättulvat pienenevät (paitsi Pohjois-Lapissa)
Minimivirtaama	Pienenee 5-10 %, paitsi Lapissa kasvaa. Kuivimmilla skenaarioilla pienenee Lappia lukuun ottamatta 10-25 %.	Pienenee 5-10 %, paitsi Lapissa kasvaa. Kuivimmilla skenaarioilla pienenee Lappia lukuun ottamatta 10-35 %.
Lumen määrä	Muutos lumen vesiarvon maksimissa keskim. -20-40 %. Ääriskenaariossa -40-50 %	-25-55 %. Ääriskenaarioissa -40-70 %
	Lumipeitteen kesto lyhenee ja keskimääräinen maksimiarvo pienenee suuressa osassa maata, pienimmät muutokset Pohjois-Lapissa.	Lumipeitteen kesto lyhenee ja keskimääräinen maksimiarvo pienenee koko maassa, pienimmät muutokset Pohjois-Lapissa.
Jääpeite	Maksimipaksuus ohenee n. 0-15 cm	Maksimipaksuus ohenee n. 10-20 cm
	Lyhenee hieman ja muuttuu epävarmemmaksi, kohvajään osuus kasvaa	Lyhenee selkeästi ja muuttuu epävarmemmaksi, kohvajäään osuus kasvaa
Maatalouden kuormitus (muutos vuosista 2000-2010 vuosiin 2051-60)		Itämereen päätyvä kuormitus N: keskiarvo 0 % (kuiva-8…märkä +7 %), P: keskiarvo +21 % (kuiva 0…märkä 37 %)
		Ravinnekuormitus (kok.P, N) kasvaa talvikuukausina valunnan kasvaessa ja vähenee kasvukaudella valunnan pienentyessä. Märässä skenaariossa kuormitus lisääntyy eniten, kuivassa paikoin vähenee, paikoin lisääntyy hieman.
Kuormitus muista maankäyttömuodoista (muutos vuosista 2000-2010 vuosiin 2051-60)		Itämereen päätyvä kuormitus N: keskiarvo +5 % (kuiva -5…märkä +18 %), P: keskiarvo +3 % (kuiva -6…märkä +15 %)
		Maankäytöstä johtuva kuormitus kasvaa valunnan lisääntyessä. Kevättulvan suuruus voi vaikuttaa P kuormitukseen. Haja-asutuksen kuormitus vähenee jäteveden käsittelyvaatimusten noustua, pistekuormitus ei muutu. Metsätalouden orgaanisen typen kuormitus kasvaa valunnan kasvun myötä.
Meriveden pinnan nousu	Meren pinta nousee etenkin Suomenlahdella, Pohjanlahdella maankohoaminen kompensoi nousua	
Meriveden pinnan lyhytaikaisvaihtelu	Merivedenpinnan lyhytaikaiseen nousuun vaikuttavat matalapaineet ja myrskyt lisääntynevät hieman	
Muut muutokset valuma-alueella, esim. maankäyttö	Rakennetun alan osuus kasvaa, turvetuotantoala vähenee, metsämaan osuus hieman pienenee. Viljelysmaan kokonaismäärä ei muutu, mutta eloperäisten viljelysmaiden ala kasvaa Etelä-Suomessa noin 12 000 ha ja Pohjois-Suomessa 18 000 ha vuoteen 2040 mennessä.	Vaihtelee alueittain

Taulukko L2. Ilmastonmuutoksen vaikutusten kokoomataulukko, VHA1, Vuoksi

Muuttuja	2010-39	2040-69
Virtaama ja valunta	-3-+5 %, märin skenaario n. +8 %, kuivin -5 %	-4-+6 %, märin +5-10%, kuivin n. -10 %
	Ei juuri muutosta (0-2 %) keskivirtaamissa	Keskimäärin pientä kasvua (1-4 %) keskivirtaamissa
Sadanta	0-10 %, märin n. +10 %, kuivin n. 0%	4-10 %, märin +15-20%, kuivin n. 0%
	Sadanta kasvaa eniten talvella, kesän sadanta muuttuu vain vähän	Sadanta kasvaa eniten talvella, noin kaksi kertaa enemmän kuin keskimäärin, pienimmät muutokset kesällä
Tulvat (n. 1/100 toistuvuus)	-10-+10 %, katso paikallinen arvio	-40-+20%, katso paikallinen arvio
	Talvi- ja syystulvat kasvavat, mutta kevättulvat pienenevät. Kylmissä skenaarioissa kevättulva pienenee vain vähän.	Talvi- ja syystulvat kasvavat, mutta kevättulvat pienenevät. Kylmissä skenaarioissa kevättulva pienenee vain vähän.
Minimivirtaama	Pienenee 2-10 %. Kuivimmilla skenaarioilla -10-15 %	Pienenee 5-10 %. Kuivimmilla skenaarioilla -10-25 %
Lumen määrä	Muutos lumen vesiarvon maksimissa -20-40 % suhteessa 1981-2010. Ääriskenaarioissa -40-50 %	Keskimäärin -25-55 %, ääriskenaarioissa -40-70 %
	Lumipeitteen kesto lyhenee ja keskimääräinen maksimiarvo pienenee. Lämpimissä skenaarioissa lumen määrä vähenee voimakkaasti.	Lumipeitteen kesto lyhenee ja keskimääräinen maksimiarvo pienenee selvästi. Lämpimissä skenaarioissa lumen määrä vähenee voimakkaasti.
Jääpeite	Maksimipaksuus ohenee n. 0-15 cm, ääriskenaarioilla suuremmat muutokset.	Maksimipaksuus ohenee n. 10-20 cm, ääriskenaarioilla suuremmat muutokset.
	Lyhenee hieman ja muuttuu epävarmemmaksi, kohvajään osuus kasvaa	Lyhenee selkeästi ja muuttuu epävarmemmaksi, kohvajäään osuus kasvaa
Maatalouden kuormitus (muutos vuosista 2000-2010 vuosiin 2051-60)		Kuormitus Vuoksen vesistöstä N: keskiarvo -3 % (-8…+2 %) P: keskiarvo +4 % (-8…+17 %)
		Ravinnekuormitus (P, N) kasvaa talvikuukausina ja vähenee kasvukaudella.
Kuormitus muista maankäyttömuodoista (muutos vuosista 2000-2010 vuosiin 2051-60)		Vuoksen vesistöstä Itämereen päätyvä kuormitus N: keskiarvo +11 % (kuiva-2…märkä +25 %) P: keskiarvo +11 % (0…+28 %)
		Maankäytöstä johtuva kuormitus kasvaa valunnan lisääntyessä. Haja-asutuksen kuormitus vähenee, pistekuormitus ei muutu.
Meriveden pinnan nousu	Ei vaikutusta	Ei vaikutusta
Meriveden pinnan lyhytaikaisvaihtelu	Ei vaikutusta	Ei vaikutusta
Muut muutokset valuma-alueella, esim. maankäyttö		

Taulukko L3. Ilmastonmuutoksen vaikutusten kokoomataulukko, VHA 2, Kymijoki-Suomenlahti

Muuttuja	2010-39	2040-69
Virtaama ja valunta	0-+3 %, märin skenaario n. +8 %, kuivin -5 %	-4-+6 %, märin +5-10%, kuivin n. -8 %
	Ei juuri muutosta (0-2 %) keskivirtaamissa	Keskimäärin pientä kasvua (1-3 %) keskivirtaamissa
Sadanta	0-5 %, märin n. +10 %, kuivin n. 0%	4-10 %, märin +15-20%, kuivin n. 0%
	Sadanta kasvaa eniten talvella, kesän sadanta muuttuu vain vähän	Sadanta kasvaa eniten talvella, noin kaksi kertaa enemmän kuin keskimäärin, pienimmät muutokset kesällä
Tulvat (n. 1/100 toistuvuus)	-20-+10 %, katso paikallinen arvio	-40-+20%, katso paikallinen arvio
	Talvi- ja syystulvat kasvavat, mutta kevättulvat pienenevät. Rankkasadetulvat kasvavat	Talvi- ja syystulvat kasvavat, mutta kevättulvat pienenevät. Rankkasadetulvat kasvavat
Minimivirtaama	Pienenee 5-15 %, Kuivimmilla skenaarioilla -15-25 %	Pienenee 5-20 %, Kuivimmilla skenaarioilla -15-30 %
Lumen määrä	Muutos lumen vesiarvon maksimissa keskimäärin -30-50 % (vrt. 1981-2010), ääriskenaarioissa -40-50 %	Keskimäärin -30-70 %, ääriskenaarioissa -60-80 %
	Lumipeitteen kesto lyhenee ja keskimääräinen maksimiarvo pienenee. Lämpimissä skenaarioissa lumen määrä vähenee voimakkaasti.	Lumipeitteen kesto lyhenee ja keskimääräinen maksimiarvo pienenee selvästi. Lämpimissä skenaarioissa lumen määrä vähenee voimakkaasti.
Jääpeite	Maksimipaksuus ohenee n. 5-15 cm, ääriskenaarioilla enemmän.	Maksimipaksuus ohenee n. 10-20 cm, ääriskenaarioilla enemmän
	Lyhenee hieman ja muuttuu epävarmemmaksi, kohvajään osuus kasvaa	Lyhenee selkeästi ja muuttuu epävarmemmaksi, kohvajään osuus kasvaa
Maatalouden kuormitus (muutos vuosista 2000-2010 vuosiin 2051-60)		Kuormitus Suomenlahteen N: keskiarvo +5 % (kuiva -5…märkä +14 %) P. keskiarvo +23 % (kuiva -6… märkä+39 %)
		Ravinnekuormitus (P, N) kasvaa talvikuukausina ja vähenee kasvukaudella.
Kuormitus muista maankäyttömuodoista (muutos vuosista 2000-2010 vuosiin 2051-60)		Kuormitus Suomenlahteen N: keskiarvo +12 % (kuiva -6…märkä +29 %) P: keskiarvo +12 % (kuiva -7…märkä+30 %)
		Maankäytöstä johtuva kuormitus kasvaa valunnan lisääntyessä. Haja-asutuksen kuormitus vähenee, pistekuormitus ei muutu.
Meriveden pinnan nousu	n. 0 cm, ääriskenaarioilla +10 cm	n. +10 cm, ääriskenaarioilla +25 cm
Meriveden pinnan lyhytaikaisvaihtelu	Vaikuttaa vain rannikolla ja suistoalueilla. Maankohoaminen kompensoi pitkäaikaista merivedenpinnan nousua.	Vaikuttaa vain rannikolla ja suistoalueilla. Pitkäaikainen merivedenpinnan nousu on voimakkaampaa kuin maankohoaminen
Muut muutokset valuma-alueella, esim. maankäyttö		

Taulukko L4. Ilmastonmuutoksen vaikutusten kokoomataulukko, VHA3, Kokemäenjoki-Saaristomeri-Selkämeri

Muuttuja	2010-39	2040-69
Virtaama ja valunta	-2-+4 %, märin skenaario +8 % kuivin -5 %	-2-+7 %, märin +5-10%, kuivin n. -5 %
	Ei juuri muutosta (0-2 %) keskivirtaamissa	Keskimäärin pientä kasvua (1-4 %) keskivirtaamissa
Sadanta	0-10 %, märin n. +10 %, kuivin n. 0%	4-10 %, märin +15-20%, kuivin n. 0%
	Sadanta kasvaa eniten talvella, kesän sadanta muuttu vain vähän	Sadanta kasvaa eniten talvella, noin kaksi kertaa enemmän kuin keskimäärin, pienimmät muutokset kesällä
Tulvat (n. 1/100 toistuvuus)	-20-+10 %, katso alueellinen arvio	-25-+15%, katso alueellinen arvio
	Talvi- ja syystulvat kasvavat, mutta kevättulvat pienenevät	Talvi- ja syystulvat kasvavat, mutta kevättulvat pienenevät
Minimivirtaama	Pienenee 5-10 % Kuivimmilla skenaarioilla pienenee 10-25 %	Pienenee 5-15 %, Kuivimmilla skenaarioilla pienenee 10-35 %
Lumen määrä	Muutos lumen vesiarvon maksimissa keskimäärin -25-45 % (vrt. 1981-2010), äärimmillään -40-60 %	Keskimäärin -35-55 %, äärimmillään -50-80 %
	Lumipeitteen kesto lyhenee ja keskimääräinen maksimiarvo pienenee, mutta lumisiakin talvia esiintyy. Lämpimissä skenaarioissa vähenee voimakkaasti.	Lumipeitteen kesto lyhenee ja keskimääräinen maksimiarvo pienenee selvästi. Lämpimissä skenaarioissa vähenee voimakkaasti.
Jääpeite	Maksimipaksuus ohenee n. 0-15 cm	Maksimipaksuus ohenee n. 10-20 cm
	Lyhenee hieman ja muuttuu epävarmemmaksi, kohvajään osuus kasvaa	Lyhenee selkeästi ja muuttuu epävarmemmaksi, kohvajäään osuus kasvaa
Maatalouden kuormitus (muutos vuosista 2000-2010 vuosiin 2051-60)		Kuormitus Pohjanlahteen N: keskiarvo +6 % (kuiva -3…märkä +14 %) P: keskiarvo +26 % (kuiva +4…märkä +46 %)
		Ravinnekuormitus (P, N) kasvaa talvikuukausina ja vähenee kasvukaudella.
Kuormitus muista maankäyttömuodoista (muutos vuosista 2000-2010 vuosiin 2051-60)		Kuormitus Pohjanlahteen N: keskiarvo +8 % (kuiva -6…märkä +24 %) P: keskiarvo +10 % (kuiva -5…märkä +27%)
		Maankäytöstä johtuva kuormitus kasvaa valunnan lisääntyessä. Haja-asutuksen kuormitus vähenee, pistekuormitus ei muutu.
Meriveden pinnan nousu	n. -10 cm, ääriskenaarioissa 0 cm	n. -15 cm, ääriskenaarioissa 0 cm
Meriveden pinnan lyhytaikaisvaihtelu	Maankohoaminen on voimakkaampaa kuin pitkäaikainen merivedenpinnan nousu.	Maankohoaminen on voimakkaampaa kuin pitkäaikainen merivedenpinnan nousu
Muut muutokset valuma-alueella, esim. maankäyttö		

Taulukko L5. Ilmastonmuutoksen vaikutusten kokoomataulukko, VHA4, Oulujoki-Iijoki

Muuttuja	2010-39	2040-69
Virtaama ja valunta	0-+7 %, märin skenaario n. +10 %, kuivin n. -2%	0-+10 %, märin n. +10%, kuivin n. -5
	Ei juuri muutosta (0-2 %) keskivirtaamissa	Keskimäärin pientä kasvua (n. 3 %) keskivirtaamissa
Sadanta	0-10 %, märin n. +10 %, kuivin n. 0%	4-10 %, märin +15-20%, kuivin n. 0%
	Sadanta kasvaa eniten talvella, kesän sadanta muuttuu vain vähän	Sadanta kasvaa eniten talvella, noin kaksi kertaa enemmän kuin keskimäärin, pienimmät muutokset kesällä
Tulvat (n. 1/100 toistuvuus)	-20-+10 %, katso paikallinen arvio	-30-+15%, katso paikallinen arvio
	Talvi- ja syystulvat kasvavat, mutta kevättulvat keskimäärin pienenevät tai pysyvät ennallaan	Talvi- ja syystulvat kasvavat, mutta kevättulvat pienenevät
Minimivirtaama	Pienenee 5-10 %, Kuivimmilla skenaarioilla pienenee 10-25 %	Pienenee 0-10 %, Kuivimmilla skenaarioilla pienenee 10-25 %
Lumen määrä	Muutos lumen vesiarvon maksimissa keskimäärin -25–45 % suhteessa 1981–2010, ääriskenaarioissa -40-60 %	keskimäärin -35-55 %, ääriskenaarioissa -50-80 %
	Lumipeitteen kesto lyhenee ja keskimääräinen maksimiarvo pienenee, mutta runsaslumisiakin talvia esiintyy. Muutokset suurempia rannikon läheisyydessä kuin sisämaassa.	Lumipeitteen kesto lyhenee ja keskimääräinen maksimiarvo pienenee selvästi. Lämpimissä skenaarioissa lumen määrä vähenee voimakkaasti.
Jääpeite	Maksimipaksuus ohenee n. 0-15 cm	Maksimipaksuus ohenee n. 10-20 cm
	Lyhenee hieman ja muuttuu epävarmemmaksi, kohvajään osuus kasvaa	Lyhenee selkeästi ja muuttuu epävarmemmaksi, kohvajäään osuus kasvaa
Maatalouden kuormitus (muutos vuosista 2000-2010 vuosiin 2051-60)		Kuormitus Perämereen N: keskiarvo -11 % (kuiva -15…märkä -5 %), P: keskiarvo +21 % (kuiva +11…märkä +34 %)
		Ravinnekuormitus (P, N) kasvaa talvikuukausina ja vähenee kasvukaudella.
Kuormitus muista maankäyttömuodoista (muutos vuosista 2000-2010 vuosiin 2051-60)		Kuormitus Perämereen N: keskiarvo +2 % (kuiva -5…märkä +9 %), P: keskiarvo -2 % (kuiva -7…märkä +5 %)
		Maankäytöstä johtuva kuormitus kasvaa valunnan lisääntyessä. Kevättulvan suuruus voi vaikuttaa P kuormitukseen. Haja-asutuksen kuormitus vähenee, pistekuormitus ei muutu.
Meriveden pinnan nousu	n. -10 cm, ääriskenaarioissa 0 cm Maankohoaminen on voimakkaampaa kuin pitkäaikainen merivedenpinnan nousu.	n. -15 cm, ääriskenaarioissa 5 cm Maankohoaminen on voimakkaampaa kuin pitkäaikainen merivedenpinnan nousu.
Meriveden pinnan lyhytaikaisvaihtelu	Lyhytaikaisvaihtelussa ei merkittävää muutosta nykyiseen	Merivedenpinnan lyhytaikaiseen nousuun vaikuttavat matalapaineet ja myrskyt lisääntynevät hieman
Muut muutokset valuma-alueella, esim. maankäyttö		

Taulukko L6. Ilmastonmuutoksen vaikutusten kokoomataulukko, VHA5-6, Kemijoki-Tornionjoki

Muuttuja	2010-39	2040-69
Virtaama ja valunta	0-+6 %, märin n. +10 %, kuivin -2-(-4) %	0-+10 %, märin skenaario +5-11%, kuivin n. -7 %
	Ei juuri muutosta (0-3 %) keskivirtaamissa	Keskimäärin pientä kasvua (5 %) keskivirtaamissa
Sadanta	0-10 %, märin n. +10 %, kuivin n. 0%	4-10 %, märin +15-20%, kuivin n. 0%
	Sadanta kasvaa eniten talvella, kesän sadanta muuttu vain vähän	Sadanta kasvaa eniten talvella, noin kaksi kertaa enemmän kuin keskimäärin, pienimmät muutokset kesällä
Tulvat (n. 1/100 toistuvuus)	-20-+5 %, katso paikallinen arvio	-25-0 %, katso paikallinen arvio
	Kevättulva keskimäärin pysyy ennallaan tai pienenee hieman, mutta kylmissä skenaarioissa jopa kasvaa	Kevättulvat pienenevät hieman, kylmissä skenaarioissa ei juuri muutosta
Minimivirtaama	Kasvaa tai pysyy ennallaan Lapissa minimivirtaama talvella kasvaa	Kasvaa tai pysyy ennallaan. Lapissa minimivirtaama talvella kasvaa, kesällä pienenee
Lumen määrä	Muutos lumen vesiarvon maksimissa -20-40 % suhteessa 1981-2010, 'lämpimin skenaario -40-50 %, kylmässä pysyy ennallaan	-25-55 %, 'lämpimin skenaario -40-70 %
	Muutokset lumessa suurempia rannikon läheisyydessä kuin tunturialueilla. Lumipeitteen kesto lyhenee ja keskimääräinen maksimiarvo pienenee hieman. Lämpimissä skenaarioissa lumen määrä vähenee. Toisaalta toisen ääripään skenaarioilla lumen maksimivesiarvo pysyy Lapissa ennallaan, paikoin voi lumisimpina vuosina jopa kasvaa.	Muutokset lumessa suurempia rannikon läheisyydessä kuin tunturialueilla Lumipeitteen kesto lyhenee ja keskimääräinen maksimiarvo pienenee. Lämpimissä skenaarioissa lumen määrä vähenee selvästi. Toisaalta toisen ääripään skenaarioilla lumen maksimivesiarvo vähenee Lapissa vain 10 % .
Jääpeite	Maksimipaksuus ohenee n. 0-15 cm. Ääriskenaarioilla suurempi muutos.	Maksimipaksuus ohenee n. 10-20 cm. Ääriskenaarioilla suurempi muutos.
	Lyhenee hieman ja muuttuu epävarmemmaksi, kohvajään osuus kasvaa	Lyhenee selkeästi ja muuttuu epävarmemmaksi, kohvajäään osuus kasvaa
Maatalouden kuormitus (muutos vuosista 2000-2010 vuosiin 2051-60)		Kuormitus Perämereen N: keskiarvo -11 % (kuiva -15…märkä -5 %), P: keskiarvo +21 % (kuiva +11…märkä +34 %)
		Ravinnekuormitus (P, N) kasvaa talvikuukausina ja vähenee kasvukaudella.
Kuormitus muista maankäyttömuodoista (muutos vuosista 2000-2010 vuosiin 2051-60)		Kuormitus Perämereen N: keskiarvo +2 % (kuiva -5…märkä +9 %), P: keskiarvo -2 % (kuiva -7…märkä +5 %)
		Maankäytöstä johtuva kuormitus kasvaa valunnan lisääntyessä. Kevättulvan suuruus voi vaikuttaa P kuormitukseen. Haja-asutuksen kuormitus vähenee, pistekuormitus ei muutu.
Meriveden pinnan nousu	n. -16 cm, ääriskenaarioissa -3 cm Perämerellä maankohoaminen todennäköisesti jatkuu merenpinnan nousua voimakkaampana	n. -23 cm, ääriskenaarioissa -6 cm Perämerellä maankohoaminen todennäköisesti jatkuu merenpinnan nousua voimakkaampana
Meriveden pinnan lyhytaikaisvaihtelu	Lyhytaikaisvaihtelussa ei merkittävää muutosta nykyiseen	Merivedenpinnan lyhytaikaiseen nousuun vaikuttavat matalapaineet ja myrskyt lisääntynevät hieman
Muut muutokset valuma-alueella, esim. maankäyttö		

Taulukko L7. Ilmastonmuutoksen vaikutusten kokoomataulukko, VHA 7, Teno-Näätämö-Paatsjoki

Muuttuja	2010-39	2040-69
Virtaama ja valunta	0-+6 %, märin n. +10 %, kuivin -3-(-6) %	0-+12 %, märin skenaario +5-15%, kuivin n. -9 %
	Ei juuri muutosta (0-3 %) keskivirtaamissa	Keskimäärin pientä kasvua (4 %) keskivirtaamissa
Sadanta	0-10 %, märin n. +10 %, kuivin n. 0%	4-10 %, märin +15-20%, kuivin n. 0%
	Sadanta kasvaa eniten talvella, kesän sadanta muuttu vain vähän	Sadanta kasvaa eniten talvella, noin kaksi kertaa enemmän kuin keskimäärin, pienimmät muutokset kesällä
Tulvat (n. 1/100 toistuvuus)	-20-+5 % katso paikallinen arvio	-25-0 % katso paikallinen arvio
	Kevättulva keskimäärin pysyy ennallaan tai pienenee hieman, kylmissä skenaarioissa jopa kasvaa	Kevättulvat pienenevät hieman, kylmissä skenaarioissa ei juuri muutosta
Minimivirtaama	Kasvaa tai pysyy ennallaan Lapissa minimivirtaama talvella kasvaa	Kasvaa tai pysyy ennallaan. Lapissa minimivirtaama talvella kasvaa, kesällä pienenee
Lumen määrä	Muutos lumen vesiarvon maksimissa -20-40 % suhteessa 1981-2010, lämpimin skenaario -40-50 %, kylmässä pysyy ennallaan	-25-55 %, lämpimin skenaario -40-70 %
	Pohjois-Lapissa muutokset lumessa vähäisempiä kuin etelässä. Lumipeitteen kesto lyhenee hieman. Lämpimissä skenaarioissa lumen määrä vähenee. Toisaalta toisen ääripään skenaarioilla lumen maksimivesiarvo pysyy Lapissa ennallaan, paikoin voi lumisimpina vuosina jopa kasvaa.	Pohjois-Lapissa muutokset lumessa vähäisempiä kuin etelässä. Lumipeitteen kesto lyhenee ja keskimääräinen maksimiarvo pienenee hieman. Lämpimissä skenaarioissa lumen määrä vähenee voimakkaasti. Toisaalta toisen ääripään skenaarioilla lumen maksimivesiarvo vähenee Lapissa vain 10 % .
Jääpeite	Maksimipaksuus ohenee n. 0-15 cm. Ääriskenaarioilla suurempi muutos.	Maksimipaksuus ohenee n. 10-20 cm. Ääriskenaarioilla suurempi muutos.
	Lyhenee hieman ja muuttuu epävarmemmaksi, kohvajään osuus kasvaa	Lyhenee selkeästi ja muuttuu epävarmemmaksi, kohvajäään osuus kasvaa
Maatalouden kuormitus (muutos vuosista 2000-2010 vuosiin 2051-60)		N: keskiarvo -11 % (-15…+5 %), P: keskiarvo +21 % (-7…+5 %)
		Ravinnekuormitus (P, N) kasvaa talvikuukausina ja vähenee kasvukaudella.
Kuormitus muista maankäyttömuodoista (muutos vuosista 2000-2010 vuosiin 2051-60)		N: keskiarvo +2 % (-5…+9 %), P: keskiarvo -2 % (-7…+5 %)
		Maankäytöstä johtuva kuormitus kasvaa valunnan lisääntyessä. Kevättulvan suuruus voi vaikuttaa P kuormitukseen. Haja-asutuksen kuormitus vähenee, pistekuormitus ei muutu.
Meriveden pinnan nousu	ei vaikutusta	ei vaikutusta
Meriveden pinnan lyhytaikaisvaihtelu	ei vaikutusta	ei vaikutusta
Muut muutokset valuma-alueella, esim. maankäyttö		