

Suomen vesivarat ja ilmastonmuutos – vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen

LUONNON-
VARAT

WaterAdapt-projektin loppuraportti

**Noora Veijalainen, Juho Jakkila, Teemu Nurmi,
Bertel Vehviläinen, Mika Marttunen ja Juha Aaltonen**



Suomen vesivarat ja
ilmastonmuutos
– vaikutukset ja muutokseen
sopeutuminen

WaterAdapt-projektin loppuraportti

**Noora Veijalainen, Juho Jakkila, Teemu Nurmi,
Bertel Vehviläinen, Mika Marttunen, Juha Aaltonen**

Helsinki 2012

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS



SUOMEN YMPÄRISTÖ 16 | 2012
Suomen ympäristökeskus (SYKE)
Vesikeskus

Taitto: Liisa Lamminpää
Kansikuva: Raili Malinen, Vantaankoski
Julkaisu on saatavana myös internetistä:
www.ymparisto.fi/julkaisut

Edita Prima Oy, Helsinki 2012

ISBN 978-952-11-4017-4 (nid.)
ISBN 978-952-11-4018-1 (PDF)
ISSN 1238-7312 (pain.)
ISSN 1796-1637 (verkkoi.)



SISÄLLYS

1 Johdanto	5
2 Yhteenveto tuloksista ja johtopäätökset	6
3 Menetelmät	10
3.1 Ilmastoskenaariot.....	11
3.2 Hydrologinen mallinnus.....	14
3.3 Säännöstelykäytäntöjen mallinnus.....	15
3.4 Vaikutustarkastelut.....	16
3.4.1 Käytetyt mittarit.....	16
3.5 Tulvien muutoksen arviointi.....	17
4 Havaitut hydrologiset muutokset Suomessa	19
5 Ilmastonmuutoksen vaikutukset hydrologisiin prosesseihin	21
5.1 Lumi.....	21
5.2 Haihdunta.....	21
5.3 Jää.....	23
5.4 Valunta ja virtaama.....	24
6 Ilmastonmuutoksen ja säännöstelyn vaikutukset vesistöjen tilaan ja käyttöön	27
6.1 Vuoksen vesistöalue.....	27
6.1.1 Hydrologiset skenaariot.....	27
6.1.2 Vaikutustarkastelut.....	32
6.2 Kymijoki.....	38
6.2.1 Hydrologiset skenaariot.....	38
6.2.2 Vaikutustarkastelut.....	40
6.3 Kokemäenjoki.....	42
6.3.1 Hydrologiset skenaariot.....	42
6.3.2 Porin tulvat.....	44
6.3.3 Vaikutustarkastelut.....	48
6.3.4 Porin hyderiskitarkastelut.....	51
6.4 Karvianjoki.....	54
6.4.1 Hydrologiset skenaariot.....	54
6.4.2 Vaikutustarkastelut.....	55
6.5 Oulujoki.....	58
6.5.1 Hydrologiset skenaariot.....	58
6.5.2 Vaikutustarkastelut.....	61
6.6 Paatsjoki, Inari.....	65
6.6.1 Hydrologiset skenaariot.....	65
6.6.2 Vaikutustarkastelut.....	66
6.7 Hydrologiset skenaariot muissa vesistöissä.....	68
6.7.1 Jänisjoki.....	68
6.7.2 Vantaanjoki.....	69
6.7.3 Karjaanjoki.....	70
6.7.4 Eurajoki.....	70
6.7.5 Kyrönjoki.....	72
6.7.6 Lapuanjoki.....	74

6.7.7 Siikajoki	75
6.7.8 Iijoki	76
6.7.9 Kemijoki	77
6.8 Vaikutustarkastelujen yhteenveto	79
6.9 Ilmastoskenaarioiden erot ja epävarmuudet.....	80
6.9.1 Vaikutustarkastelujen epävarmuus	82
7 Tulvien muuttuminen ilmastonmuutoksen vaikutuksesta	84
8 Ilmastonmuutoksen vaikutukset pohjaveteen	90
9 Sopeutuminen	94
Kiitokset.....	98
Viitteet.....	99
LIITTEET	101
Liite 1. Hydrologiset skenaariot.....	101
Liite 2. Vaikutustarkastelut	125
Kuvailulehdet	136
Kuvailulehti	136
Presentationsblad.....	137
Documentation page	138

1 Johdanto

Tämä on loppuraportti maa- ja metsätalousministeriön vuosina 2006–2010 rahoittamasta Suomen vesivarat ja ilmastonmuutos – vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen (WaterAdapt)- hankkeesta. Hankkeessa arvioitiin ilmastonmuutoksen vaikutuksia Suomen hydrologiaan, vesivaroihin ja säännöstelykäytäntöihin. Tutkimuksessa tavoitteena oli tuottaa perustietoa ilmastonmuutoksen sopeutumistutkimukseen vesistöjen osalta ja identifioida ilmastonmuutokseen liittyviä tulvariskejä. Tutkimus toteutettiin Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) Vesikeskuksessa.

Ilmastonmuutoksen aiheuttamia muutoksia on jo havaittu Suomen vesistöissä. Tulevaisuudessa vaikutukset tulevat näkymään kevättulvien pienenemisenä, talven virtaamien kasvuna ja pidempien kesien aiheuttamien kuivuusriskien lisääntymisenä. Ilmastonmuutoksen vaikutukset vesivaroihin, tulviin ja kuivuuteen vaihtelevat merkittävästi eri puolilla Suomea ja riippuvat vesistöjen hydrologisista ominaisuuksista. Vesistöjen virtaamien ja vedenkorkeuksien muuttumista referenssijaksolta 1971–2000 jaksoille 2010–39 ja 2040–69 tutkittiin eri ilmastoskenaarioiden pohjalta vesistömallin simulointien avulla.

Nykyiset säännöstelyluvut perustuvat luvan myöntämistä edeltäneisiin hydrologisiin olosuhteisiin. Ilmastonmuutos aiheuttaa muutoksia virtaamien ja vedenkorkeuksien vuodenaikaisessa vaihtelussa, jolloin säännöstelyä ei voida aina toteuttaa tarkoituksenmukaisesti nykyisillä luvilla. Tutkimuksessa arvioitiin järvien nykyisten säännöstelyohjeiden sopivuutta ilmaston muuttuessa erityisesti tulva- ja kuivakausina sekä sitä, millaisilla muutoksilla säännöstelykäytännöissä voitaisiin sopeutua muuttuvaan ilmastoon. Hankkeessa arvioidaan myös ilmastonmuutoksen aiheuttamien hydrologisten muutosten vaikutuksia vesistön eri käyttömuotoihin ja tilaan.

Ilmastonmuutoksella on Suomessa sekä vesistötulvia suurentavia että niitä pienentäviä vaikutuksia. Ennakoitu sateiden lisääntyminen voi kasvattaa tulvia, mutta toisaalta lämpimämmät ja vähälumisemmat talvet pienentävät kevään lumensulamisesta aiheutuvia tulvia, jotka nykyään aiheuttavat suurimmat tulvat suuressa osassa Suomea. Niinpä ilmastonmuutoksen vaikutus tulviin vaihtelee vesistöalueen sijainnin ja sen ilmastollisten ja hydrologisten ominaisuuksien mukaan. Tutkimuksessa on selvitetty kerran 100 vuodessa toistuvien tulvien muuttumista jaksoille 2010–39 ja 2070–99 mennessä eri puolilla Suomea.

Tutkimuksen tuloksia on hyödynnetty useissa säännöstelyn kehittämisselvityksissä mm. Pielisellä ja Karvianjoella sekä muissa vesistöiden suunnitteluun liittyvissä selvityksissä mm. Kallaveden luonnonkoskien kiveämistä suunniteltaessa. Tietoa ilmastonmuutoksen aiheuttamista tulvien muutoksista on hyödynnetty tulvariskin hallintaa koskevien säädösten toimeenpanossa ja tulvantorjunnan toimintasuunnitelmien laadinnassa. Tulokset tarjoavat lähtötietoja sopeutumistarpeesta ja perustietoja tarkemmille jatkoselvityksille.

2 Yhteenveto tuloksista ja johtopäätökset

WaterAdapt-projektin tulosten perusteella ilmastonmuutos tulee merkittävästi muuttamaan jokien virtaamien ja järvien vedenkorkeuksien vuodenaikaista vaihtelua. Kevään lumen sulamistulvien suuruus pienenee merkittävästi lauhempien talvien johdosta etenkin Etelä- ja Keski-Suomessa. Kesän vedenkorkeudet alenevat useissa järvissä aikaisemman kevään ja kasvavan haihdunnan vaikutuksesta etenkin runsasjärvisillä alueilla, joissa järvihaihdunta vaikuttaa voimakkaimmin. Kesän ja alkusyksyn kuivuus ja alhaiset vedenpinnat tulevatkin joillain järvillä olemaan tulevaisuudessa entistä suurempi ongelma. Syksyn sateet lisääntyvät ja loppusyksyn virtaamat kasvavat tulevaisuudessa. Talven vedenkorkeudet ja virtaamat kasvavat selvästi, kun talven aikana entistä suurempi osa sateesta tulee vetenä ja lunta sulaa talven aikana. Muutokset talven virtaamissa ja vedenkorkeuksissa ovat suurimpia Etelä- ja Keski-Suomessa, kun taas Pohjois-Suomessa luminen talvi säilyy pidempään. Jaksolla 2010–39 hydrologiset muutokset ovat Pohjois-Suomessa vielä melko pieniä, kun taas etelämpänä ne ovat suurimmalla osalla ilmastoskenaarioista melko selkeitä jo lähivuosikymmeninä. Eri ilmastoskenaariot poikkeavat merkittävästi toisistaan, mutta muutoksen suunta on kaikissa ilmastoskenaarioissa samankaltainen.

Tulokset osoittavat, että nykyiset säännöstelyluvut tulevat monissa järvissä olemaan epätarkoituksenmukaisia ilmaston muuttuessa. Kalenteriin sidotut säännöstelyluvut ovat muuttuvassa ilmastossa usein liian joustamattomia, sillä ne perustuvat menneisiin hydrologisiin olosuhteisiin, jolloin lähtökohtana oli kevään lumen sulamistulvan pienentäminen ja vesivarastojen täyttäminen syksyllä talvea varten. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen vaatii monien järvien säännöstelylupien tai -käytäntöjen muuttamista. Kokemukset säännöstelylupien toiminnasta leutojen talvien 2006–2007 ja 2007–2008 aikana osoittivat, että tietyillä järvillä säännöstelyjen tarkistaminen tulisi aloittaa mahdollisimman nopeasti, jotta epätarkoituksenmukainen säännöstely ei kärjistäisi ilmastonmuutoksen aiheuttamia ongelmia. Säännöstelylupien muutostarpeet vaihtelevat järviittäin riippuen nykyisten lupien muotoilusta ja joustavuudesta. Muutostarpeet ovat suurimpia järvillä, joissa nykyinen lupa sisältää joustamattomia sääntöjä, kuten kalenteriin sidotun keväisen vedenkorkeuksien alentamisen. Niilläkin järvillä, joissa säännöstelylupa toimii tulevaisuudessa, on yleensä tarpeellista muuttaa säännöstelykäytäntöjä ja tavoitevedenkorkeuksia luvan sallimissa rajoissa.

Jos säännöstelylupia ja -käytäntöjä muutetaan, tulisi uusien säännöstelyohjeiden olla joustavia, jotta ne toimisivat hyvin erilaisissa olosuhteissa. Erityisesti jaksolla 2010–39 tulee vielä Etelä-Suomessakin olemaan runsaslumisia talvia, jolloin sulamisvesien varastoimista järviin tarvitaan. Uusien säännöstelyohjeiden tulisi kuitenkin ottaa huomioon yleistyvät leudot talvet, jolloin valunnat ovat suuria ja lunta on vähän, sekä kesät, jolloin on pienempien ja aikaisempien kevättulvien ja kesän pidentymisen ja lämpenemisen johdosta lisääntyvä kuivuusriski. Muuttuvassa ilmastossa

järvien tulovirtaamaennusteesta ja lumen vesiarvosta riippuvat ehdolliset säännöt toimivat paremmin kuin ehdottomat päivämääriin sidotut säännöt. Joillain järvilla, kuten Pielisellä, säännöstelyn aloittaminen voi olla tehokkain keino sopeutua ilmastomuutoksen vaikutuksiin.

Ilmastomuutoksen ekologisia, sosiaalisia ja taloudellisia vaikutuksia arvioitiin päivittäisten vedenkorkeus- ja virtaamatietojen perusteella lasketuilla numeerisilla mittareilla. Arviointi tehtiin Vuoksen, Kymijoen, Kokemäenjoen, Karvianjoen, Oulujoen ja Paatsjoen vesistöissä. Tarkastelun kohteita olivat mm. kalojen ja lintujen lisääntymisaikojen olosuhteet, vesivoiman tuotanto, virkistyskäytölle ja vesiliikenteelle aiheutuva haitta sekä tulvista aiheutuvat välittömät kustannukset. Vaikutustarkastelujen perusteella vesivoiman tuotanto hieman lisääntyy tulevaisuudessa tarkastelluissa vesistöissä (jaksolla 2040–69 keskimäärin 8 %, -3–12 %). Myös ohijuoksutukset kasvavat, sillä virtaamien muutokset ei jakaannu tasaisesti ympäri vuoden. Liian korkeista tai matalista vedenkorkeuksista aiheutuvat ongelmat yleistyvät etenkin jaksolle 2040–69 mennessä suurimmalla osalla tarkastelluista järivistä. Saimaalla, Päijänteellä ja Oulujärvellä talvikauden korkeat vedenpinnat aiheuttavat tulvia ja kesän matalat pinnat haittaavat virkistyskäyttöä. Säännöstellyillä järvilla yleisesti tapahtuva talvialeneman pieneneminen saattaa kuitenkin aiheuttaa rantavyöhykkeen, pohjaelämistön ja syyskutuisten kalojen kannalta myönteisiä vaikutuksia. Ilmastomuutoksen kokonaisvaikutusta järven ekologiaan ei voida kuitenkaan arvioida pelkästään vedenkorkeuden vaihtelun kautta. Muutokset jääpeitteisen kauden pituudessa, veden lämpöoloissa ja veden ravinne- ja happipitoisuuksissa voivat saada aikaan huomattavasti merkittävämpiä vaikutuksia kuin vedenkorkeuden muutokset. Ilmastomuutokseen sopeutumista arvioitiin tarkastelemalla kahta erilaista säännöstelyvaihtoehtoa, joista toinen oli nykyisen kaltainen ja toinen sopeutuva vaihtoehto. Kielteisten vaikutusten riski on uutta sopeutuvaa säännöstelyvaihtoehtoa käytettäessä useimmissa vesistöissä pienempi kuin nykyisen kaltaisella säännöstelyvaihtoehdolla. Vastaavasti mahdollisuus myönteisiin vaikutuksiin on sopeutuvassa vaihtoehdossa nykykäytäntöä suurempi.

Tulvien muuttuminen riippuu tarkasteltavan vesistön ominaisuuksista (Taulukko 1). Lumen vähenemisestä johtuen tulvat pääosin pienenevät sellaisissa vesistöissä, joissa ne nykyään ovat yleensä kevään lumen sulamistulvia. Tällaisia kohteita ovat etenkin Keski- ja Itä-Suomen pienehköt latvavesistöt ja osa Pohjanmaan joista. Lapissa tulvien suuruus ei vielä jaksolla 2010–39 juuri muutu nykyisestä. Syksyn ja talven tulvat kasvavat ja vesistöissä, joissa näiden vuodenaikojen tulvat ovat jo nykyään suuria, voi tulvariski kasvaa. Tällaisia kohteita ovat Järvi-Suomen suuret vesistöjen keskusjärvet ja niiden laskujoet sekä jotkin etelä- ja lounaisrannikon pienet jokivesistöt. Saimaan, Vuoksen, Kokemäenjoen, Päijänteen, Kymijoen ja Oulujoen tulvien ennakoidaan kasvavan ilmastomuutoksen vaikutuksesta. Järvi-Suomen suurissa järvissä ja niiden laskujoissa korkeimmat vedenkorkeudet ja virtaamat esiintyvät jaksosta 2040–69 lähtien usein talven ja alkukevään aikana. Hyydetulvien riskiä tarkasteltiin Kokemäenjoessa, jossa hyyderiskipäivien lukumäärä kasvoi huomattavasti ilmastomuutoksen vaikutuksesta. Hyydetulvien riski kasvaa todennäköisesti myös muualla Etelä- ja Keski-Suomessa talven virtaamien kasvaessa ja jääkannen synnyn myöhentyessä.

Pohjavesien osalta ilmastomuutoksen aiheuttama talvien lyheneminen johtaa nykyistä ylempiin pinnankorkeuksiin talvella ja toisaalta kevään aikaistumisen myötä pintojen alenemiseen loppukesällä. Alimmat pohjavedenkorkeudet tulevat Etelä- ja Lounais-Suomessa todennäköisesti laskemaan ja kuivuusjaksojen kesto pitenee nykyisestä. Sen sijaan Keski-, Itä- ja Pohjois-Suomessa, jossa pohjavedet saavuttavat nykyisin miniminsä tyypillisesti alkukeväällä, talvikauden lyheneminen nostaa alhaisimpia pohjavedenkorkeuksia.

Ilmastonmuutoksen vesistövaikutuksiin voidaan sopeutua useilla eri keinoilla (Taulukko 2). Säännöstelyn muutos on sopeutumiskeino, joka ei vaadi uusia suuria investointeja tai rakenteita. Tehokas ja edullinen sopeutumistoimi on myös maankäytön ohjaus, jotta tulvavahinkojen syntymistä voidaan jo ennakolta vähentää välttämällä rakentamista tulvariskialueille. Muita tulviin liittyviä sopeutumiskeinoja ovat mm. pysyvät tulvapenkereet, tilapäiset suojarakenteet ja tulvavakuutus. Kuivuuteen liittyviä sopeutumiskeinoja ovat säännöstelyn aloittaminen, pohjapatojen rakentaminen ja vesihuollon varmistaminen mm. vesijohtoverkostoja laajentamalla. Sopeutumissellakin on kuitenkin rajansa ja mitä harvinaisemmasta tulvasta tai kuivuudesta on kyse, sitä vaikeampi siihen on sopeutua. Monet sopeutumiskeinoista ovat sellaisia, joita tarvitaan ilmastonmuutoksesta riippumatta. Jos on hyvin varauduttu nykyisiin sään vaihteluihin ja ääriolosuhteisiin, on useimmiten myös hyvät edellytykset ilmastonmuutoksen varalle.

Taulukko 1. Ilmastonmuutoksen vaikutus kerran 100 vuodessa toistuvien tulvien suuruuteen Suomen erityyppisissä vesistöissä jaksoilla 2010–39 ja 2070–99 verrattuna referenssijaksoon 1971–2000. '+' merkki tarkoittaa tulvan kasvua, '-' merkki pienenemistä ja '±' ei muutosta tai poikkeavia tuloksia eri skenaarioilla tai eri vesistöissä.

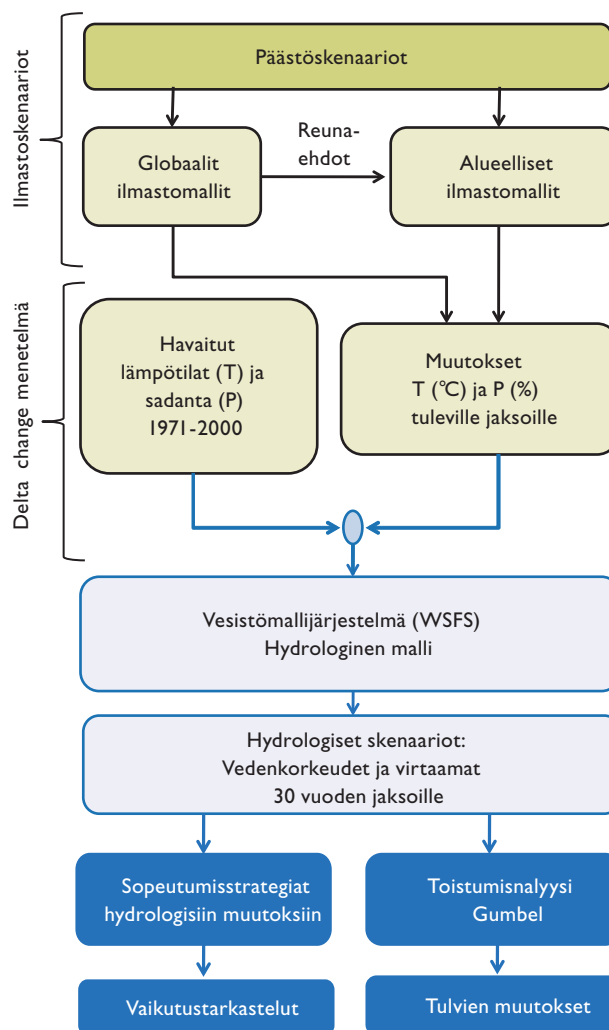
	2010–39	2070–99
Järvi-Suomen suuret keskusjärvet ja niiden laskujoet	+	+
Pienet latvajärvet Järvi-Suomessa	± / -	-
Lapin ja Kainuun joet	±	-
Rannikon joet - Pohjanmaa	± / -	-
Rannikon joet - Etelä- ja Lounais-Suomessa	±	±

Taulukko 2. Ilmastonmuutoksen merkittävimmät kielteiset ja myönteiset vaikutukset ja sopeutumismahdollisuudet (katso myös tarkemmat Taulukot 15 ja 16 kappaleessa 9 Sopeutumismahdollisuudet sivu 96–96).

Vaikutus	Vesistöt, joissa esiintyy	Sopeutumistoimenpiteet
Jokien hyydetulvien riski kasvaa	<ul style="list-style-type: none"> • Kokemäenjoki • Oulujoki • Kymijoki • Eurajoki • Ähtävänjoki 	<ul style="list-style-type: none"> • Järvien koordinoitu lyhytaikais-säännöstely • Pitkäaikaissäännöstely, syksyn alhaisemmat vedenkorkeudet järvissä
Talvitulvat kasvavat, kokonaistulvariski todennäköisesti kasvaa	<ul style="list-style-type: none"> • Saimaa ja Vuoksi • Oulujärvi ja Oulujoki • Kokemäenjoki • Päijänne ja Kymijoki • Karjaanjoki • Eurajoki • Karvianjoki 	<ul style="list-style-type: none"> • Pitkäaikaissäännöstely, säännöstelykäytäntöjen ja lupien muuttaminen • Ennusteet, varoitukset • Maankäytön ohjaus, tulvariskikartat • Tulvariskien hallintasuunnitelmat • Penkereet ym. pysyvät suojarakenteet • Tilapäiset suojarakenteet • Tulvavesien pidättäminen valuma-alueella • Tulvavakuutus
Kesän kuivuus lisääntyy	<ul style="list-style-type: none"> • Järvi-Suomi • Pohjanmaan ja Etelä-rannikon joet ja järvet • Pohjavesi Etelä- ja Keski-Suomessa 	<ul style="list-style-type: none"> • Pitkäaikaissäännöstely • Pitkäaikaissäännöstelyn aloitus luonnontilaisilla kohteilla • Luonnonkosken kiveäminen tai pohjapadon rakentaminen • Vesivoiman turbiinien säätö toimimaan uusissa olosuhteissa • Vesihuollon sopeutuminen: kaivojen syventäminen ja vesi huoltoverkkoon liittyminen • Vedenlaadun muutoksiin varauduttava vesilaitoksilla
Kesän rankkasadetulvat kasvavat	<ul style="list-style-type: none"> • Rannikon pienet vesistöt • Taajamat 	<ul style="list-style-type: none"> • Tulvavesien pidättäminen valuma-alueella • Luonnonmukainen kaupunkirakentaminen, vähemmän läpäisemättömiä pintoja • Tulvavesille reitit taajamiin • Hulevesiviemäreiden mitoitus • Vesihuollon toimintavarmuuden varmistaminen • Tulvavakuutus
Kevään lumen sulamistulvat pienenevät, niiden aiheuttamat tulvavahingot vähenevät	<ul style="list-style-type: none"> • Vuoksen, Kymijoen, Kokemäenjoen ja Oulujoen vesistöjen latvajärvet • Pohjanmaan joet vuosisadan puolivälistä lähtien • Etelä-Suomen joet 	<ul style="list-style-type: none"> • Pitkäaikaissäännöstely, säännöstelykäytäntöjen ja lupien muuttaminen
Vesivoiman kokonaistuotanto lisääntyy kun virtaamat kasvavat	<ul style="list-style-type: none"> • Pieni lisäys koko maassa, Pohjois-Suomessa virtaamien kasvu suurempaa 	<ul style="list-style-type: none"> • Turbiinikapasiteetin tarkistus • Muutoksen huomioiminen uusissa investoinneissa • Säännöstelyn muutokset ohjauksutustarpeen vähentämiseksi

3 Menetelmät

Tutkimuksen eri vaiheet on esitetty Kuvassa 1. Lähtötiedot muodostuvat ilmastoskenaarioista (Kappale 3.1) ja havaituista lämpötiloista ja sadannoista. SYKEN Vesistömallijärjestelmän hydrologisella mallilla simuloidaan lähtötietoja käyttäen hydrologiset skenaariot 30 vuoden jaksoille. Hydrologiset skenaariot puolestaan muodostavat lähtökohdat jatkoanalyysille eli erilaisten sopeutumisstrategioiden (säännöstelyvaihtoehdot) ja niiden vaikutusten tarkasteluihin sekä tulvien muutosten analysointiin.



Kuva 1. Kaaviokuva tutkimuksessa käytettyjen menetelmien vaiheista

Ilmastoskenaariot

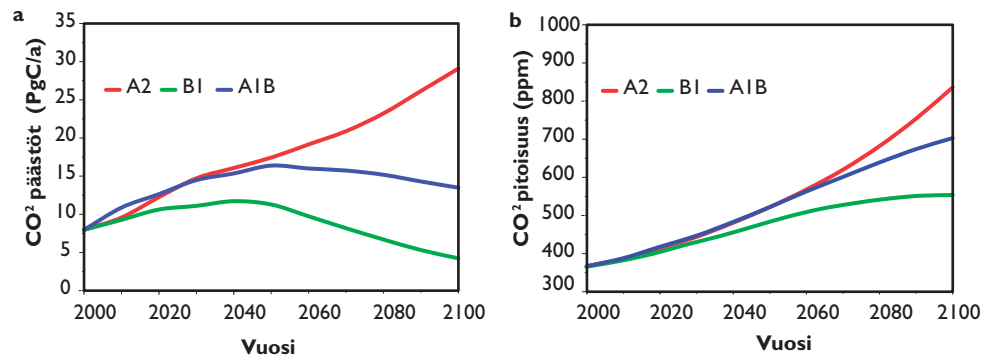
Maapallon ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on noussut esiteollisen ajan tasolta 280 ppm (parts per million= miljoonasosaa) arvoon 389 ppm vuonna 2010. Pitoisuuksien kasvun ennakoitaan yhä jatkuvan ja kiihtyvän ilman merkittäviä vähennyksiä kasvihuonekaasujen päästöissä (Kuva 2, IPCC 2000). Kasvihuonekaasupäästöt johtavat kasvihuoneilmaston voimistumiseen ja siitä seuraavaan ilmastomuutokseen. Tämän hetkisen arvion mukaan maapallon keskilämpötila nousisi vuosisadan loppuun mennessä 1,8–4,0 °C (IPCC 2007). Koska lämmin ilma kykenee sitomaan suuremman määrän vesihöyryä, hydrologinen kierto voimistuu ja haihdunta ja sadanta kasvavat maapallon laajuisesti keskimäärin 1–7 % (IPCC 2007) vuosisadan lopussa, tosin alueelliset vaihtelut sadannan muutoksissa ovat merkittäviä.

Suomelle ennakoitujen muutokset lämpötilassa ja sadannassa ovat keskimääräisiä suuremmat, 2,0–6,5 °C ja 7–26 %. Ilmastomallien mukaan ilmaston lämpeneminen voimistaa kosteita ilmavirtauksia keskileveysasteilta pohjoiseen, mikä kasvattaa Suomessa sateita keskimääräistä enemmän. Maapallon keskilämpötilaa suurempi lämpötilan nousu Suomessa johtuu mm. lumi- ja jääpeitteen vähenemisen aiheuttamasta maan pinnan heijastuskykyyn eli albedoon liittyvästä palautemekanismista (Jylhä ym. 2009).

Tässä tutkimuksessa tarkasteltavien ilmastomuutoksen aiheuttamien hydrologisten muutosten aikajaksoina on käytetty referenssijaksoa 1971–2000 ja tulevaisuuden jaksoja 2010–39 ja 2040–69. Osa tarkasteluista tehtiin myös jaksolle 2070–99. Ilmastomuutokseen liittyvän epävarmuuden huomioimiseksi simuloinnit tehtiin käyttäen useaa eri ilmastoskenaariota.

Ilmastoskenaariot muodostuvat päästöskenaariosta ja globaalista ilmastomallista sekä mahdollisesti alueellisesta ilmastomallista (Kuva 1). Päästöskenaariot ovat oletuksia ilmakehän kasvihuonekaasujen pitoisuuksien kehittymisestä tulevaisuudessa (Kuva 2). Nykyiset ns. SRES (Special Report on Emission Scenarios)-päästöskenaariot ovat IPCC:n vuonna 2000 julkaisemia (IPCC, 2000). Päästöjen kehitys riippuu maapallon väestön, talouden ja tekniikan kehityksestä ja päästöjenhillintatoimista, joiden ennakointi on vaikeaa. Siksi eri päästöskenaariot voivat poiketa toisistaan merkittävästi. Kuitenkin, kuten Kuvasta 2b nähdään, erot hiilidioksidipitoisuuksissa eri skenaarioiden välillä ovat melko vähäisiä aina 2050-luvulle asti. Päästöskenaarioiden merkitys erityisesti lämpötilan nousun suhteen kasvaa vuosisadan lopulle mennessä, mutta arvioille ilmastomuutoksen suuruudesta lähitulevaisuudessa niiden merkitys on melko pieni. Tutkimuksessa käytettiin kolmea eri päästöskenaariota: A2, jossa päästöt ovat varsin suuret, B1, jossa päästöt ovat melko pieniä ja A1B, jossa päästöt ovat melko keskimääräiset (Kuva 2).

Suurimmat erot lähitulevaisuudessa eri ilmastoskenaarioiden välillä johtuvat niiden laskentaan käytetyistä ilmastomalleista. Nämä mallit kuvaavat ilmastojärjestelmää tietokoneohjelman muotoon puettujen fysiikan lakien avulla. Tietokoneitten rajallisen suorituskyvyn takia monet ilmiöt joudutaan kuvaamaan malleissa yksinkertaistettuina. Eri malleissa tämä ongelma on ratkaistu eri tavoin, ja pääasiassa juuri tästä syystä mallien tulokset poikkeavat toisistaan (Jylhä ym. 2009). Globaalit ilmastomallit ovat koko maapallon kattavia. Alueelliset ilmastomallit taas kattavat vain tietyn alueen, mutta globaaleja malleja tarkemmin. Alueelliset ilmastomallit käyttävät kuitenkin aina globaalien ilmastomallien tuloksia reunaehtona kattamansa alueen rajoilla ja niiden tulokset ovat siten riippuvaisia globaalista mallista. Kolmas ilmastoskenaarioiden epävarmuuden lähde on luonnollinen vaihtelu, joka vielä lähitulevaisuudessa on ilmastomuutossignaaliin verrattuna merkittävä. Vuosisadan lopulla luontaisen vaihtelun merkitys jää kuitenkin ilmastomalleihin ja päästöskenaarioihin liittyvää epävarmuutta pienemmäksi (Jylhä ym. 2009).



Kuva 2. Hiilidioksidin päästöjen (a) ja pitoisuuden (b) arvioitu kehitys kolmella SRES-päästöskenaariolla. Eri skenaariot poikkeavat toisistaan mm. väestönkasvun, tekniikan kehityksen ja ympäristön-suojeluun panostamisen suhteen. (IPCC 2000, IPCC 2001)

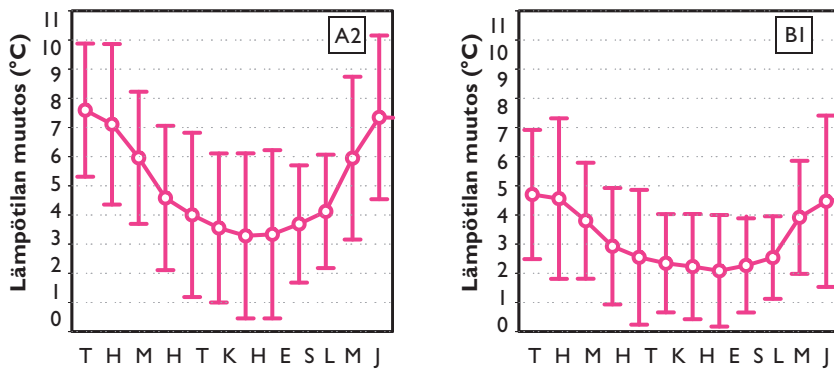
Tässä tutkimuksessa käytetyt globaalien mallien tuottamat ilmastoskenaariot on saatu Ilmatieteen laitokselta (Taulukko 3, No 1–12). Skenaarioita on useita, jotta ilmastomuutokseen liittyvät epävarmuudet voidaan ottaa huomioon. Alun perin WaterAdapt-hankkeessa käytettiin kahtatoista skenaariota, jotka olivat peräisin kolmesta globaalista ilmastomallista sekä skenaariota, joka oli laskettu 19 globaalien ilmastomallin keskiarvona. Nämä skenaariot oli tehty kolmella eri päästöskenaariolla.

Lisäksi käytössä oli seitsemän skenaariota alueellisista ilmastomalleista, jotka ovat peräisin EU:n ENSEMBLES-projektin data-arkistosta (van der Linden ja Mitchell 2009). Alueellisten ilmastomallien etuna on niiden parempi resoluutio. Heikkoutena on, että niitä on yhä saatavilla rajoitettu määrä ja toistaiseksi lähinnä vain yhdellä päästöskenaariolla (A1B). Seitsemästä käytetystä alueellisesta ilmastoskenaariosta kaksi (Taulukko 3, 13–14) oli käytettävissä jo vuoden 2008 lopussa ja loput (Taulukko 3, 15–19) vuoden 2009 aikana. Koska ilmastoskenaarioita on saatu käyttöön kesken tutkimuksen, ei kaikkia kohteita ole simuloitu kaikilla samalla skenaarijoukolla. Alun perin käytössä olleet globaalien ilmastomallien skenaariot on kuitenkin laskettu kaikille kohteille.

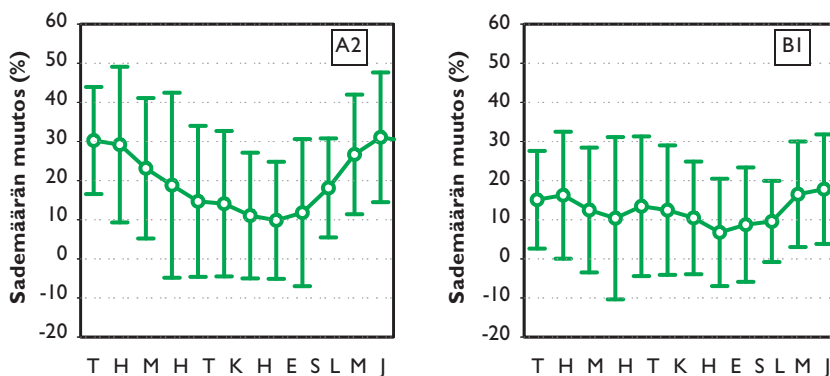
Taulukon 3 skenaario 1 (Ka A1B) on Ilmatieteen laitoksen laskema 19 globaalien ilmastomallin tuottamien lämpötila- ja sadantamuutosten keskiarvo, A1B-päästöskenaariolla. Tätä on käytetty esimerkkiskenaarioina tämän raportin kuvissa. Usean mallin keskiarvo tuottaa yksittäisiä malleja stabiilimpia tuloksia, mutta keskiarvon käyttäminen ei toisaalta huomioi mahdollisia ääripäiden muutoksia, jotka voivat olla ilmastomuutokseen liittyvien riskien arvioimisen kannalta tärkeimpiä. Lisäksi malleihin, joista keskiarvo lasketaan, sisältyy joitain Suomessa heikohkosti toimivia malleja, jotka myös vaikuttavat keskiarvoon. Tutkittaessa ilmastomuutoksen vaikutuksia tulisi aina tarkastella mahdollisimman montaa skenaariota, jotta eri vaihtoehtojen riskit ja ilmastomuutokseen liittyvä epävarmuus tulisi huomioiduiksi.

Vaikutustarkasteluja varten on valittu simuloituista 12–17:sta skenaariosta 3–5. Mukana on aina edellä kuvattu skenaario 1. Sen lisäksi mukaan on valittu tapauskohtaisesti erityyppisiä skenaarioita, jotka kattavat mahdollisimman suuren osan ennakoituista tulevista erilaisista hydrologisista tilanteista (esim. erityisen kuiva/märkä, lämmin/kylmä skenaario).

Suomen keskilämpötilan arvioidaan nousevan 2080-luvulle mennessä 2,0–6,5 °C ja sadannan kasvavan 7–26 % (Kuva 3 ja 4, Jylhä ym. 2009). Kuvissa 3 ja 4 on kuvattu Ilmatieteen laitoksen 19 globaalien ilmastomallin perusteella lasketut kuukausittaisen keskilämpötilan ja keskisadannan muutokset Suomessa jaksolta 1971–2000 jaksolle 2070–99. Kuvista nähdään, että vuosisadan loppupuolella ilmastomuutokseen liittyvät epävarmuudet ovat varsin suuria ja eri ilmastomallien ja skenaarioiden antama lämpötilan ja sadannan muutoksen vaihteluväli on laaja. Lämpötila nousee kaikissa skenaarioissa ja eniten talvella. Talven sadanta kasvaa kaikissa skenaarioissa, kun taas kesällä sadanta keskimäärin kasvaa, mutta joillain skenaarioilla se pienenee.



Kuva 3. Keskilämpötilojen muutos (°C) Suomessa jaksolta 1971–2000 jaksolle 2070–99 vuoden eri kuukausina A2 (vasen) ja BI päästöskenaariolla (oikea). Käyrä esittää 19 eri ilmastomallin laskemien muutosten keskiarvoa, pystypalkit muutoksen 90 % todennäköisyysväliä. Kaikki luvut ovat koko Suomen keskiarvoja. (Ruosteenoja 2011)



Kuva 4. Sademäärän muutos prosentteina Suomessa keskimäärin jaksolta 1971–2000 jaksolle 2070–99 A2 ja BI päästöskenaarioilla (vertaa edellinen kuva) (Ruosteenoja 2011)

Taulukko 3. Käytetyt ilmastoskenaariot (IPCC 2007) ja niiden antama lämpötilan ja sadannan keskimääräinen muutos Suomessa 2040–69 referenssijakssoon 1971–2000 verrattuna.

No	Globaali ilmastomalli	Alueellinen malli (keskus)	Päästö-skenaario	Lyhenne	T muutos (°C)	P muutos (%)
1	19 GCM keskiarvo	-	AIB	Ka AIB	3,18	11,5
2	19 GCM keskiarvo	-	A2	Ka A2	3,15	10,9
3	19 GCM keskiarvo	-	BI	Ka BI	2,48	8,5
4	ECHAM5/MPI-OM	-	AIB	Ech5 AIB	2,73	9,7
5	ECHAM5/MPI-OM	-	A2	Ech5 A2	2,45	8,1
6	ECHAM5/MPI-OM	-	BI	Ech5 BI	2,39	8,1
7	UKMO-HadCM3-Q0*	-	AIB	Had AIB	3,38	8,4
8	UKMO-HadCM3-Q0*	-	A2	Had A2	3,33	9,6
9	UKMO-HadCM3-Q0*	-	BI	Had BI	2,29	5,6
10	CCSM3(NCAR)	-	AIB	CCSM3 AIB	3,04	9,4
11	CCSM3 (NCAR)	-	A2	CCSM3 A2	3,27	8,5
12	CCSM3(NCAR)	-	BI	CCSM3 BI	2,40	6,8
13	UKMO-HadCM3-Q16 *	RCA3 (C4I)	AIB	RCA3(C4I) Had AIB	2,86	20,2
14	ECHAM5/MPI-OM	RCA3 (SMHI), 50 km resoluutio	AIB	RCA3 Ech5 AIB 50	2,02	9,9
15	ECHAM5/MPI-OM	RCA3 (SMHI), 25 km resoluutio	AIB	RCA3 Ech5 AIB	2,11	12,0
16	ECHAM5/MPI-OM	REMO (MPI)	AIB	REMO Ech5 AIB	2,01	8,3
17	UKMO-HadCM3-Q3*	RCA3 (SMHI)	AIB	RCA3 Had AIB	2,53	16,2
18	UKMO-HadCM3-Q0*	HadRM (Had)	AIB	HadRM Had AIB	4,10	15,1
19	CNMR/ARPEGE	HIRHAM (DMI)	AIB	HIRHAM ARP AIB	2,58	4,7

* Eri malliversioita, joissa parametrien arvot erilaisia, Q0=keskimääräinen herkkyys, Q16=suuri herkkyys ja Q3=pieni herkkyys (Collins ym. 2005)

Hydrologinen mallinnus

Tutkimuksessa käytetään SYKEN Vesistömallijärjestelmää ilmastonmuutoksen hydrologisten vaikutusten simuloimiseen. Vesistömallijärjestelmä koostuu hydrologisesta sadanta-valuntamallista sekä joki- ja järvimalleista. Hydrologinen malli on tyypiltään konseptuaalinen sadanta-valuntamalli, joka muistuttaa perusrakenteeltaan Ruotsissa kehitettyä HBV-mallia (Vehviläinen ym. 2005). Vesistömallin lähtötietoina ovat päivittäinen sadanta ja lämpötila. Potentiaalinen haihdunta on näissä tarkasteluissa laskettu Class A -astian havaintojen perusteella kalibroiduilla yhtälöillä lämpötilan, sadannan ja päivämäärän perusteella. Mallin simuloimat muuttujat ovat aluesadanta, lumivarasto, evapotranspiraatio, järvihaihdunta, maankosteus, pinta-, väli- ja pohjavesivarasto, valunta sekä virtaamat ja vedenkorkeudet tärkeimmissä järvissä ja joissa. Sadanta-valuntamallin keskeiset osat ovat sadanta-, lumi-, ja maankosteusmallit sekä pinta- ja pohjavesivaraston mallit. (Vehviläinen ja Huttunen 2002, Vehviläinen ym. 2005)

Virtaamien ja vedenkorkeuksien muuttumista ilmastonmuutoksen vaikutuksesta arvioidaan simuloimalla Vesistömallijärjestelmällä päivittäiset arvot 30 vuodelle ensin referenssijaksolla 1971–2000 ja sitten tarkasteltavilla jaksoilla tulevaisuudessa. Ilmastonmuutos on huomioitu käyttäen ns. delta change -menetelmää (Arnell 1999, Prudhomme ym. 2003). Referenssijaksolla lähtötietoina käytetään havaittuja lämpötiloja ja sadantoja. Ilmastonmuutos otetaan huomioon muuttamalla havaintojen perusteella laskettuja aluelämpötiloja ja -sadantoja valitun ilmastoskenaarion mukaisesti. Ilmastoskenaarioista on laskettu kullekin kuukaudelle lämpötilan muutos asteina ja sadannan muutos prosentteina. Lämpötilaa muutetaan skenaarion mukaisella kuukausittaisella astemäärällä, sadantaa prosentuaalisesti. Lopuksi ilmastonmuutos-tilanteen virtaamat ja vedenkorkeudet simuloidaan käyttäen lähtötietoina muutettuja sadantoja ja lämpötiloja, jolloin saadaan uudet päivittäiset arvot 30 vuoden jaksolle.

Ilmastonmuutoksen aiheuttaman lämpötilan muutoksen tuomista hydrologiseen malliin on kehitetty ottamalla käyttöön lämpötilasta riippuva lämpötilan muutos (Andréasson ym. 2004). Tässä menetelmässä lämpötilan muutokset riippuvat kuukausikeskiarvon muutoksen lisäksi lämpötilan jakauman muutoksesta. Ilmastonmuutoksen vaikutus lämpötilan jakaumaan on hydrologisten prosessien kannalta usein varsin merkittävä. Esimerkiksi muutos talvilämpötilan jakaumassa vaikuttaa huomattavasti lumen kertymiseen. Ilmastomallien tulosten perusteella kovimmat pakkaspäivät lauhtuvat enemmän kuin leudommat päivät. Tämän huomioiminen käyttämällä lämpötilasta riippuvaa lämpötilan muutosta lisää lumen kertymistä verrattuna kuukausikeskilämpötilojen muutokseen perustuvaan menetelmään.

Muutokset aluesadannassa on tehty kuukauden keskimääräisistä sadannan muutoksista (prosentteina). Sadannan osalta mahdollista jakauman muutoksen vaikutusta ei ole otettu huomioon, mutta prosentuaalinen muutos jo sinänsä muuttaa jakaumaa siten, että sateen absoluuttinen muutos on sitä suurempi mitä suurempi sadanta on. Ilmastomallien tulosten perusteella rankkasateet voivat kuitenkin kasvaa myös tätä enemmän, mikä saattaa vaikuttaa lähinnä pienten valuma-alueiden poikkeuksellisten kesätulvien suuruuteen.

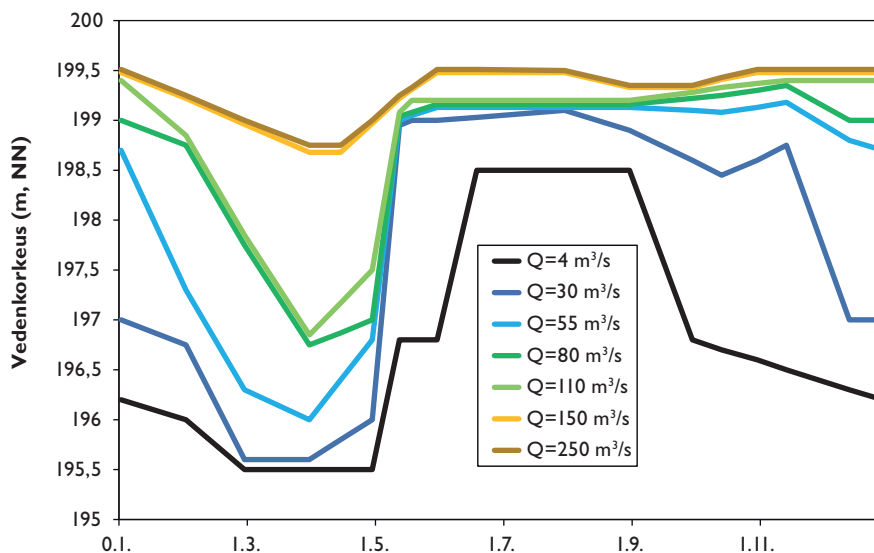
Julkaisun kuvissa on esitetty tarkastellulta 30 vuoden jaksolta poimittu vuoden jokaisen päivän minimi, maksimi ja 30 vuoden keskiarvo. Kuvien harvinaisimmat tulvat ja kuivuudet ovat siten suuruusluokaltaan noin kerran 30 vuodessa toistuvia.

Säännöstelykäytäntöjen mallinnus

Mahdollisuuksia sopeutua ilmastonmuutokseen säännöstelyä muokkaamalla tutkittiin testaamalla erilaisten säännöstelyohjeiden vaikutusta järvien vedenkorkeuksiin. Mallin säännöstelyohjeissa juoksumäärä riippuu päivämäärästä ja vedenkorkeudesta (Kuva 5). Referenssijaksolla säännöstelyohje on laadittu vastaamaan mahdollisimman hyvin nykyisiä säännöstelylupia ja -käytäntöjä. Useimmissa järvissä säännöstelyohjeet ovat samat koko 30 vuoden jaksolle, joten ne eivät välttämättä toimi täysin optimaalisesti joka vuosi. Tästä poikkeavasti säännöstely on määritelty mm. Oulujärvellä, Inarilla sekä Pielisen uudessa varautuvassa säännöstelyvaihtoehdossa. Näissä tapauksissa säännöstely riippuu päivämäärän ja vedenkorkeuden lisäksi myös lumen vesiarvosta.

Ilmastonmuutostilanteessa säännöstelyt on yleensä tehty kahdella eri vaihtoehdolla: nykyisen kaltaisella säännöstelyllä ja sopeutuvalla säännöstelyllä. Nykyisen kaltainen säännöstely vastaa nykyisten lupien ja käytäntöjen mukaista säännöstelyä ja se eroaa referenssijaksolla säännöstelyistä vain lupien rajoissa. Sopeutuvassa säännöstelyssä on pyritty muokkaamaan nykyistä säännöstelykäytäntöä paremmin tulevaan ilmastoon sopivaksi. Tällä vaihtoehdolla arvioidaan mahdollisuuksia sopeutua ilmastonmuutokseen säännöstelylupia ja -käytäntöjä muuttamalla.

Lyhytaikaista säännöstelyn optimointia, jolla voitaisiin esimerkiksi hetkellisesti pienentää juoksumääriä tulvan pienentämiseksi vesistön alajuoksulla, ei Vesistömallijärjestelmässä ole tarkasteltu. Kokemäenjoella on sen sijaan tehty tällainen tarkastelu erillisellä optimointimallilla (Kappale 6.3.2) Vesistömallijärjestelmän tuottamia tulovirtaamia käyttäen. Hyydepatoja ei ole erikseen huomioitu hydrologisissa skenaarioissa, mutta Kokemäenjoelle on arvioitu hyyderiskien muuttumista (Kappale 6.3.4).



Kuva 5. Esimerkki Vesistömallijärjestelmän käyttämästä säännöstelyohjeesta Kiantajärveltä. Järven juoksumäärä (viivat) riippuu vedenkorkeudesta (y-akseli) ja päivämäärästä (x-akseli)

Vaikutustarkastelut

Ilmastonmuutosskenaarioiden perusteella laskettujen vedenkorkeuksien ja virtaamien ekologisia, sosiaalisia ja taloudellisia vaikutuksia arvioitiin päivittäisten vedenkorkeus- ja virtaamatietojen perusteella lasketuilla numeerisilla mittareilla. Mittareiden taustalla on pitkäkestoinen kehitystyö Suomen ympäristökeskuksessa ja niitä on käytetty useissa eri säännöstelyn kehittämiselvityksissä (esim. Marttunen ja Järvinen 1999, Tarvainen ym. 2006).

Hydrologisten skenaarioiden tuloksista laskettiin vuosittain arvot kullekin mittarille. Kunkin mittarin keskimääräistä arvoa 30 vuoden jaksolta verrattiin referenssijaksen vastaavaan arvoon. Muutoksen suunnan ja suuruuden kuvaamista varten kullekin mittarille määritettiin seitsenportainen asteikko: ei vaikutusta, vähäinen myönteinen tai kielteinen vaikutus, melko suuri myönteinen tai kielteinen vaikutus ja suuri myönteinen tai kielteinen vaikutus.

Analyysimenetelmässä käytettyjen mittareiden avulla voidaan suuntaa-antavasti arvioida vedenkorkeuden vaihtelun vaikutuksia vesi- ja rantaluontoon, kalastoon, linnustoon ja virkistyskäyttöön. Mittarit auttavat hahmottamaan vaikutusten suuntaa ja suuruusluokkaa. Siten ne ovat hyödyllinen apuväline, kun pohditaan ilmastonmuutosta ja sen mahdollisia vaikutuksia. Tulosten perusteella voidaan alustavasti tunnistaa muuttujia, joihin ilmastonmuutoksen aiheuttamilla hydrologisilla muutoksilla on suurimmat myönteiset ja kielteiset vaikutukset.

Mittareiden tuloksia tulkittaessa vaarana on kuitenkin liian yksioikoinen kuva virtaamien ja vedenkorkeuksien vaikutuksista, sillä luonnossa riippuvuudet eivät yleensä ole lineaarisia. Mahdollisia kynnsarvoja, jolloin tilanne heikkenee tai paranee, ei myöskään tunneta. Lisäksi on muistettava, että muutkin tekijät kuten hetkelliset sääolot, veden laatu ja pedot vaikuttavat siihen, mikä on tarkasteltavan muuttujan tila.

3.4.1

Käytetyt mittarit

Mittariston ydinryhmän muodostavat pinnankorkeuden vuodenaikaisvaihtelun vaikutuksia kuvaavat mittarit, jotka soveltuvat yleisesti käytettäviksi Suomen olosuhteissa. Esimerkiksi vedenkorkeuden talvialenema tai saraikon laskennallinen laajuus ovat tällaisia mittareita. Niiden lisäksi on käytetty tapauskohtaisia mittareita, joiden laskenta perustuu yksityiskohtaiseen tietoon järven kannalta merkittävistä vedenkorkeuksista. Esimerkkejä ovat tulvarajan ylittymistä tai laivaliikenteelle suotuisien vedenkorkeuksien esiintymistä kuvaavat mittarit. Virtaamien kohdalla kaikki mittarit ovat vesistökohtaisia, sillä virtaamien vaihtelun vaikutus on selkeästi riippuvainen joen ominaisuuksista, esim. uoman muodosta.

Tarkasteluissa on käytetty vesistöstä riippuen eri määrää mittareita. Niiden valintaan ovat vaikuttaneet vesistöjen ominaisuudet sekä yksityiskohtaisen tiedon määrä tarkasteltavasta vesistöstä. Valtaosassa vesistöjä enemmistö mittareista kuvaa järvien vedenkorkeuden vaihtelun vaikutuksia, sillä jokiosuuksilta ei kaikissa vesistöissä ollut tietoa vaikutuksia aiheuttavista virtaamista. Seuraavassa on esitelty vaikutusten arvioinnin periaatteita tarkemmin.

Luontoon kohdistuvia vaikutuksia kuvaavat mittarit

Järvillä luontomittarit kuvaavat vedenkorkeuden vuodenaikaisvaihtelun vaikutuksia järven vesiluontoon. Vaikutukset perustuvat nykyisen luonnontilaisen vedenkorkeuden vuosirytmien muuttumiseen. Yleisesti luonnontilaisissa järvissä ranta- ja vesikasvillisuus muodostuu luonnontilaisen rytmien vaikutuksesta selvästi vyöhykkeellisesti. Säännöstellyissä järvissä vyöhykkeellisyys on vuosirytmien muutoksen

takia usein luonnontilaista vähäisempää, myös ilmastonmuutos voi vähentää vyöhykkeellisyttä. Rantavyöhykkeessä tapahtuvat muutokset ovat merkittäviä, sillä se toimii pääasiallisena alueena kalojen kudulle ja sekä habitaattina että tärkeänä ravintolähteenä vesieläimille. Lisäksi myös kalakannat ja vesilinnut ovat tottuneet rytmiin ja sen muuttuminen saattaa vaikuttaa niiden lisääntymisen onnistumiseen.

Jokiosuuksilla luontoon kohdistuvat vaikutukset eivät perustu virtaamien muuttumiseen vaan eliöiden kannalta sopivien tai haitallisten virtaamien esiintymiseen. Tässä hankkeessa tarkasteltiin ainoastaan virtaaman vaikutuksia kalakantoihin kahdella joella: Merikarvianjoella ja Kymijoella.

Arvioitaessa ilmastonmuutoksen kokonaisvaikutusta vesistön ekologiaan on kuitenkin otettava huomioon, että myös muut tekijät kuin vedenkorkeuden vaihtelu tai tiettyjen virtaamien esiintyminen vaikuttavat ekologiaan. Muutokset jääpeitteisen kauden pituudessa, veden lämpöoloissa ja veden ravinne- ja happipitoisuuksissa voivat olla ekologisilta vaikutuksiltaan huomattavasti vedenkorkeusvaikutuksia merkittävämpiä. Täten tässä raportissa käytetyt mittarit kuvaavat vain yhtä osaa ekologisista vaikutuksista.

Sosiaalisia vaikutuksia kuvaavat mittarit

Vedenkorkeuden sosiaaliset vaikutukset liittyvät järven käytettävyyteen ja esteettisyyteen. Vesistöön välittömästi liittyville virkistysmuodoille, kuten uimiselle ja veneilylle, ovat tärkeitä riittävä veden syvyys ja pienet vedenkorkeuden vaihtelut. Ihmiset kokevat haittaa, mikäli järvien vedenpinta on heidän mielestään väärällä tasolla tai vaihtelee jollakin aikavälillä liikaa. Myös liian pienet tai suuret virtaamat sekä nopeat virtaamanmuutokset vaikuttavat virkistyskäyttöön.

Virtaamien aiheuttamat sosiaaliset vaikutukset muodostuvat joen ja rantojen käyttöä haittaavista liian pienistä tai suurista (ei kuitenkaan tulvia aiheuttavista) virtaamista. Näitä vaikutuksia tarkasteltiin viidellä jokiosuudella: Pielisjoella, Vuoksessa, Karvianjoella, Merikarvianjoella ja Kymijoella.

Koska valtaosa vesistön virkistyskäytöstä tapahtuu avovesikaudella ja etenkin keskikesällä, on vaikutusten arviointi painottunut näihin ajankohtiin. On kuitenkin muistettava, että myös talvella tapahtuu virkistyskäyttöä jäällä ja täten talviset vedenkorkeuden vaihtelut ovat myös merkityksellisiä.

Taloudellisia vaikutuksia kuvaavat mittarit

Taloudelliset vaikutukset kohdistuvat mm. tulvasuojeluun, energiantuotantoon sekä laivaliikenteeseen. Nämä eivät ole sidonnaisia mihinkään tiettyyn vuodenaikaan, vaan vaikutuksia on tarkasteltu vuositasolla. Tulvien osalta vaikutuksia on arvioitu mm. järvi- ja jokikohtaisten rajavedenkorkeuksien ja -virtaamien ylittymisellä. Energiantuotantoa ja sen muutoksia on arvioitu virtaamien ja voimalaitoskohtaisten tietojen kuten putouskorkeuksien ja koneistovirtaamien perusteella.

3.5

Tulvien muutoksen arviointi

Tulvien muutokset arvioitiin 68 kohteella Vesistömallijärjestelmän simuloiteja ja Gumbelin jakaumaa käyttäen (Kuva 1). Kohteiden sijainnit ja nimet löytyvät Kappaleen 7 Kuvasta 74 ja Taulukosta 14. Tulvatarkastelut tehtiin yhteistyössä Suomen Akatemian ”Tulvat tulevaisuuden Suomessa” ja Nordic Energy Research:in ”Climate and Energy Systems” -hankkeiden kanssa (Veijalainen ym. 2010). Vesistömallijärjestelmällä simuloitiin 30 vuoden jakso päivittäisiä virtaamia, joista on poimittu vuosimaksimit hydrologiselta vuodelta, joka on syyskuu-elokuu. Hydrologista vuotta käytettiin, koska osalla kohteista suurimmat tulvat siirtyvät ilmastonmuutoksen

vaikutuksesta vuodenvaihteen tienoille ja kalenterivuoden vuosimaksimien käyttö voisi tällöin johtaa saman tulvan mukaan tuloon kahteen kertaan. Simuloituihin virtaamamaksimeihin sovitettiin Gumbelin jakauma ja sen perusteella laskettu kunkin toistumisajan tulvien suuruudet.

Virtaamat simuloitiin sekä jaksolle 1971–2000 käyttäen vesistömallin lähtötietoina havaittuja sateita ja lämpötiloja että jaksoille 2010–39 ja 2070–99. Ilmastonmuutos otettiin huomioon lisäämällä havaittuihin lämpötiloihin ja sadantoihin ilmastomallien simuloima kuukausittainen lämpötilan ja sadannan muutos delta change -menetelmällä (Kappale 3.2). Lämpötilan osalta huomioitiin sen jakauman muuttuminen käyttämällä lämpötilasta riippuvaa lämpötilan muutosta. Laskennoissa käytettiin 20 ilmastoskenaariota globaaleista ja alueellisista ilmastomalleista, jotka on saatu Ilmatieteen laitokselta ja ENSEMBLES-projektista (Taulukko 3, skenaariot 1–15, 18–22). Tulokset tulvien muutoksen arvioinnista on esitetty kappaleessa 7.

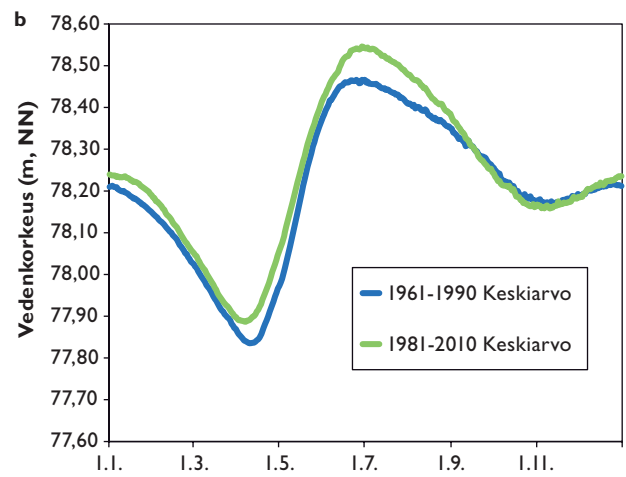
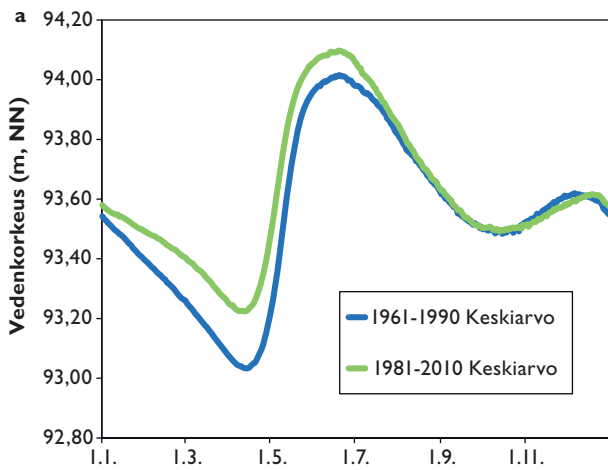
Simuloinneissa ei ole erikseen otettu huomioon sadannan jakauman muutosta, joka voi johtaa rankkojen sateiden erityisen voimakkaaseen kasvuun ja pahentaa etenkin pienien valuma-alueiden ja erityisesti taajama-alueiden kesän rankkasateiden aiheuttamia tulvia. Tarkasteluissa ei ole myöskään huomioitu hyydetulvia, jotka voivat joillain kohteilla pahentaa tulvatilannetta merkittävästi. Kokemäenjoelle hyydetulvariskin muutoksia on tarkasteltu erikseen Kappaleessa 6.3.4. Meriveden nousun aiheutumia rannikon tulvia ei ole tässä tutkimuksessa myöskään tarkasteltu.

4 Havaitut hydrologiset muutokset Suomessa

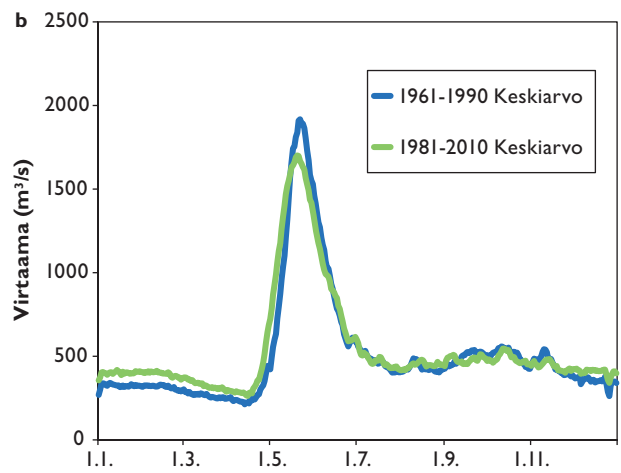
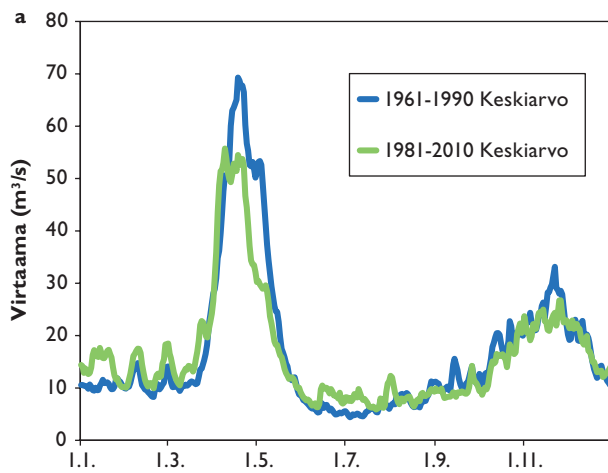
Ilmatieteen laitoksen havaintojen perusteella Suomen keskilämpötila on noussut 0,7 °C 1900-luvun aikana (Jylhä ym. 2004). Suurinta lämpötilan kasvu on ollut keväisin (Tuomenvirta ym. 2004). Sateissa muutosta on vaikeampi havaita suuren ajallisen ja paikallisen vaihtelun vuoksi. Koko Suomen kattavia tilastollisesti merkittäviä sadantatrendejä ei ole havaittu (Tuomenvirta ym. 2004). Sadanta on kasvanut, mutta pääosin kasvu ei ole ollut tilastollisesti merkittävää. Lumipeitteen kesto-aika on lyhentynyt erityisesti Etelä-Suomessa, jossa myös lumen maksimivesiarvot ovat pienentyneet 1990-luvulta lähtien (Kuusisto ja Käyhkö 2004).

Lämpötilan muutokset näkyvät myös hydrologisissa havainnoissa. Korhonen (2007) on analysoinut virtaama- ja vedenkorkeushavaintojen pitkäaikaismuutoksia vuoteen 2004 mennessä. Trendianalyysin tuloksena oli, että luonnontilaisilla havaintopaikoilla erityisesti talven ja kevään keskivirtaamat sekä alivirtaamat ovat kasvaneet tilastollisesti merkitsevästi. Kevätvirtaamahuippu aikaistui kolmasosalla kaikista työssä tarkastelluista havaintopaikoista. Vuoden keskivirtaamassa tai ylivirtaamassa muutoksia ei ollut yleisesti havaittavissa luonnontilaisilla eikä säännöstellyillä havaintopaikoilla. Talvi- ja kevätvirtaamien kasvu useimmilla havaintopaikoilla selittyy talvien ja keväiden lämpötilojen nousulla sekä keväiden aikaistumisella, mikä on havaittavissa myös ilmastollisista aikasarjoista (Korhonen 2007).

Erityisesti 2000-luvulla on esiintynyt poikkeuksellisen lämpimiä talvia, jolloin jokien virtaamat ja järvien vedenkorkeudet ovat olleet selvästi tavanomaista korkeammalla. Tarkasteltaessa 30 vuoden havaittuja keskiarvoja nähdään, että talven vedenkorkeudet ja virtaamat ovat esimerkkikohteilla keskimäärin suurempia jaksolla 1981–2010 kuin 1961–1990 (Kuva 6 ja 7). Vantaanjoessa ja Kemijoenjoessa kevään keskimääräinen suurin virtaama on hieman pienentynyt viime vuosikymmeninä (Kuva 7). Kesän ja syksyn virtaamat eri jaksojen välillä eivät eroa toisistaan merkittävästi. Joissain suurissa järvissä, kuten Pielisellä ja Päijänteellä, kesän keskimääräiset vedenkorkeudet ovat hieman nousseet (Kuva 6) johtuen lisääntyneestä sadannasta.



Kuva 6 a) Pielisen (Nurmes) ja b) Päijänteen (Kalkkinen) havaittujen vedenkorkeuksien päivittäinen keskiarvo jaksolla 1961–1990 ja 1981–2010.



Kuva 7 a) Vantaanjoen (Oulunkylä) ja b) Kemijoen (Valajaskoski) havaittujen virtaamien päivittäinen keskiarvo jaksolla 1961–1990 ja 1981–2010.

5 Ilmastonmuutoksen vaikutukset hydrologisiin prosesseihin

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia on vedenkorkeuksien ja virtaamien lisäksi tarkasteltu tärkeimpien Vesistömallijärjestelmän simuloimien hydrologisten muuttujien osalta. Tässä kappaleessa on esitetty ilmastonmuutoksen vaikutuksia lumen, jään, haihdunnan, maankosteuden ja valunnan muutoksiin. Tulokset on simuloitu Vesistömallijärjestelmän osamalleilla Kappaleessa 3 esitettyjä menetelmiä ja ilmastoskenaarioita käyttäen.

5.1

Lumi

Lumen määrän muuttuminen on yksi merkittävimpiä ilmastonmuutoksen vaikutuksia Suomessa. Keskimäärin lumen määrä vähenee koko maassa ilmastonmuutoksen vaikutuksesta. Suhteellisesti eniten lumen määrä vähenee Etelä-Suomessa ja vähiten Pohjois-Suomessa. Kuvan 8 kartta esittää vuoden keskimääräisen lumen vesiaron maksimin prosenttimuutoksen jaksolla 2040–69 referenssijakssoon nähden kahdella ilmastoskenaariolla.

Lumen muutokseen vaikuttaa voimakkaasti käytetty ilmastoskenaario ja myös, miten lämpötiloja muutetaan. Viileimmillä skenaarioilla (mm. skenaario 15) lumen määrän muutokset ovat selvästi pienempiä kuin skenaarioilla, joissa talvilämpötila kasvavat voimakkaasti (Kuvat 8 ja 9). Lumipeitteen kesto lyhenee ilmastonmuutoksen myötä sekä syksyllä että keväällä. Runsaslumisimpien talvien lumen määrä vähenee keskiarvoa vähemmän etenkin pohjoisessa Suomessa, jossa lumimäärät joillakin skenaarioilla pysyvät ennallaan runsaslumisimpina talvina. Runsaslumisista vuosia siis esiintyy myös tulevaisuudessa, mutta toisaalta hyvin vähälumiset talvet yleistyvät huomattavasti.

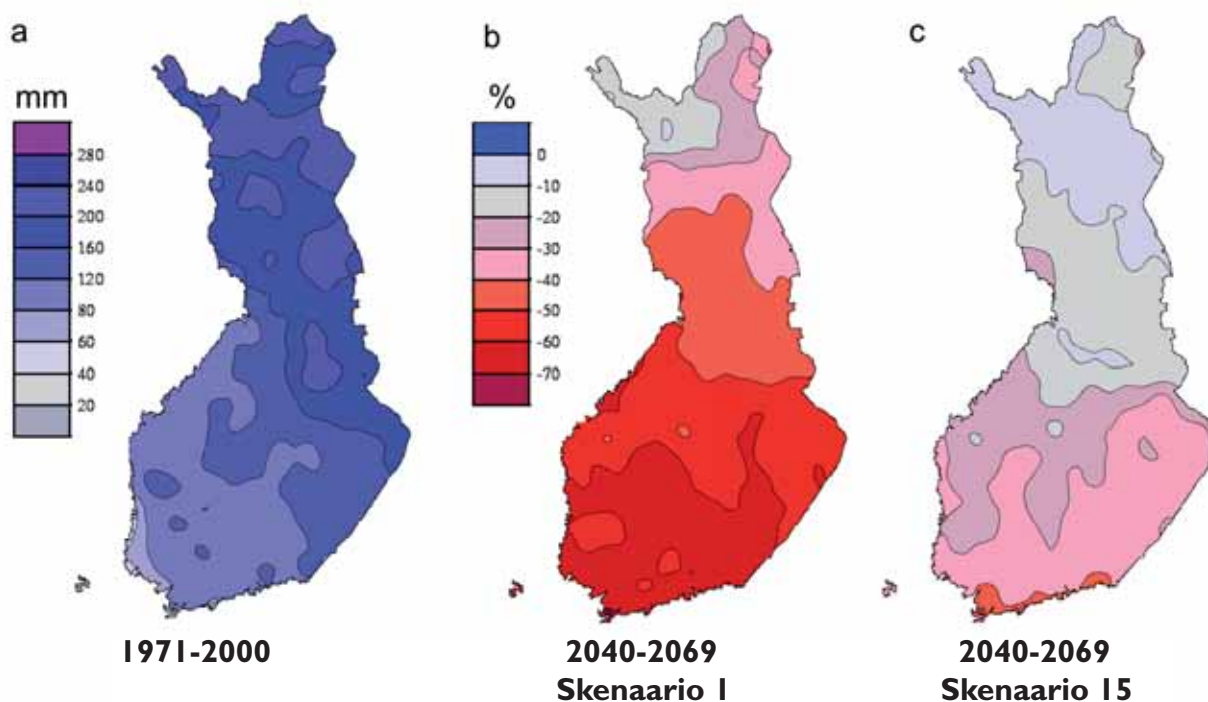
5.2

Haihdunta

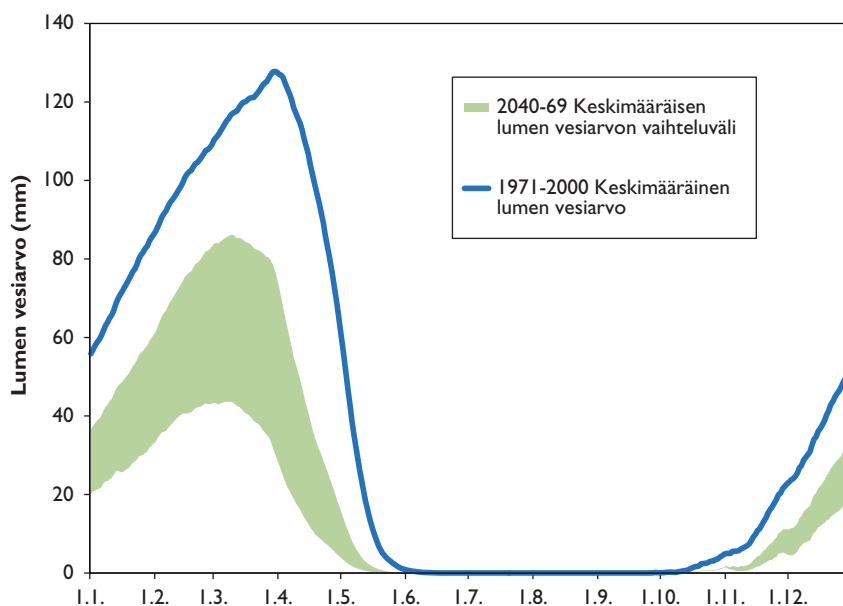
Ilmastonmuutos vaikuttaa maasta ja kasveista tapahtuvaan haihduntaan mm. lämpötilan muutoksen ja maankosteuden muutoksen myötä. Lämpötilan nouseminen ja entistä aikaisempi kevät lisäävät potentiaalista ja todellista haihduntaa (Kuva 10), kun taas kesällä maankosteuden väheneminen rajoittaa todellista haihduntaa. Haihdunta kasvaa 2010–39 noin 5–10 % ja 2040–69 noin 10–20 %. Haihdunta kasvaa eniten keväällä, jolloin maa on talven jäljiltä kostea, auringonsäteilyä on riittävästi ja lämpötilat nousevat. Järvihaihduntaa ei kesän kuivuus rajoita ja se lisääntyy myös kesällä ja kasvaa siten maahaihduntaa enemmän.

Haihduntaan vaikuttavat lämpötilan ja maankosteuden lisäksi myös auringon säteily, ilman kosteus ja tuulen nopeus. Lisäksi kasvien transpiraatio voi muuttua

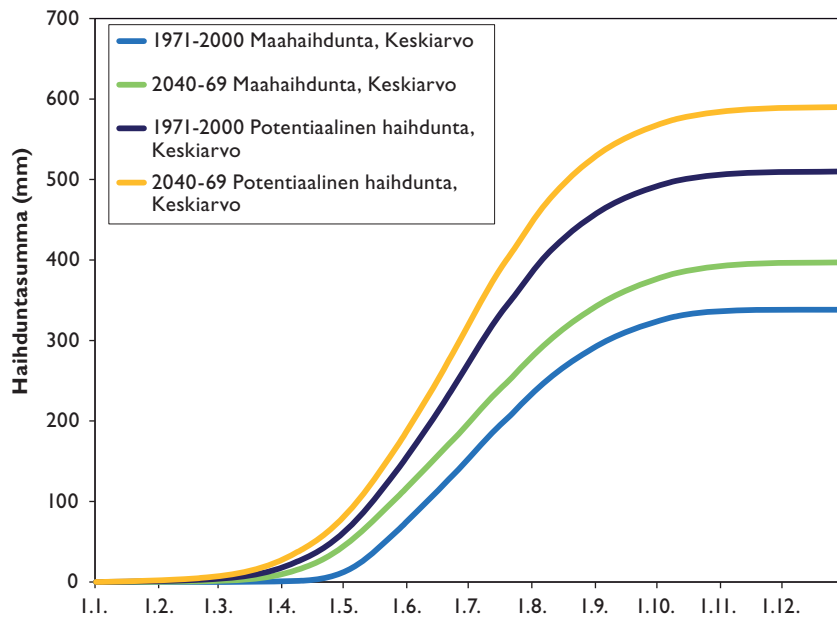
ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kasvun seurauksena. Näitä tekijöitä ei ole huomioitu haihdunnan suuruutta arvioitaessa, koska niiden muuttumista ja yhteisvaikutusta ilmastomuutoksen seurauksena ei vielä tunneta kovin hyvin. Tämä lisää haihdunnan arviointiin liittyvää epävarmuutta.



Kuva 8. Kartta: a) Lumen keskimääräisen maksimivesiarvo referenssijaksolla 1971–2000 (mm) ja sen muuttuminen (%) jaksolla 2040–69 referenssijaksoon verrattuna b) skenaariolla I (suuret lumen muutokset) ja c) skenaariolla 15 (pienet lämpötilan nousut ja lumen muutokset).



Kuva 9. Päivittäinen keskimääräinen lumen vesi-arvo jaksolla 1971–2000 ja jaksolle 2040–69 eri skenaariolla Keski-Suomessa. Skenaariossa I (Ka AIB) lumen vesi-arvon muutos on lähellä vaihteluvälin alarajaa.



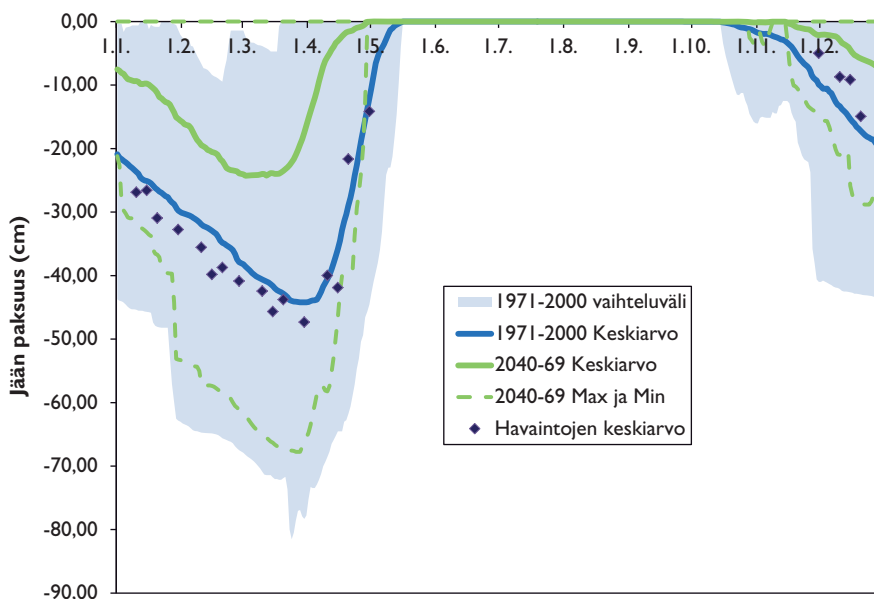
Kuva 10. Potentiaalisen haihdunnan ja todellisen maahaihdunnan keskimääräinen summa jaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 skenaariolla Keski- ja Itä-Suomessa.

5.3

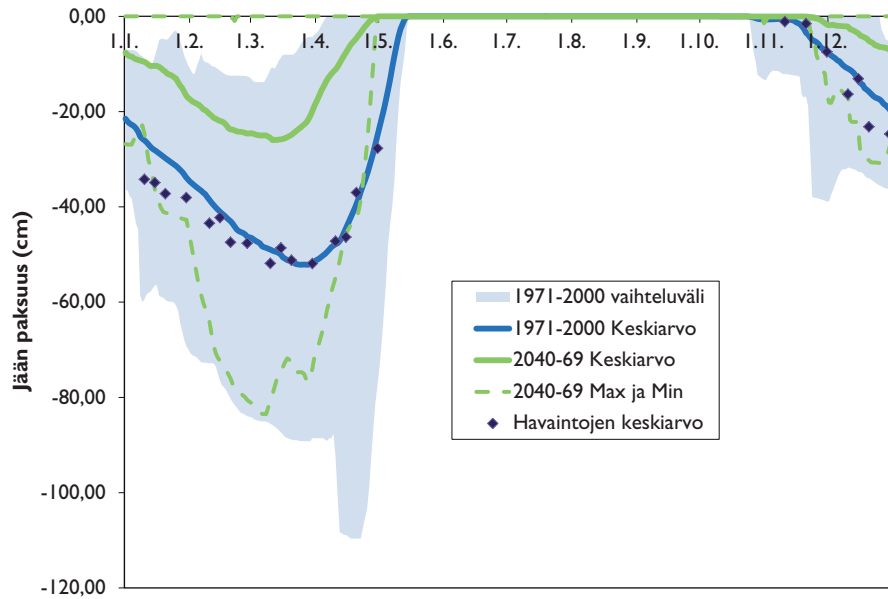
Jää

Järvien jääpeitteen muuttumista tutkittiin Vesistömallijärjestelmän jäämallilla. Jäämallin kehitystyö jatkuu yhä ja sen simuloima jäänpaksuus vastaa keskimäärin hyvin havaintoja, mutta kaikkein pienimpiä jäänpaksuuksia jäämalli aliarvioi.

Jäämallin tulosten perusteella keskimääräinen jäänpaksuus tammikuussa pienenee keskimäärin n. 20 cm Näsijärvellä ja 15 cm Saimaalla (Kuvat 11 ja 12). Kestävän, yli 5 cm:n, jääpeitteen syntyminen myöhentyy näillä järvillä keskimäärin lähes kuukaudella joulukuun loppuun ja vastaavasti sulaminen aikaistuu noin kolmella viikolla. Joinain vuosina jääpeitteen kesto on tulevaisuudessa hyvin lyhyt ja jää on koko talven melko heikkoa. Absoluuttisia arvoja tulevaisuuden pienimmistä jäänpaksuuksista ei kuitenkaan voida arvioida, koska havaintoihin verrattuna jäämallin tulokset aliarvioivat jääpeitteen kestoja ja paksuutta kaikkein lauhimpina talvina. Muutokset jäänpaksuudessa ovat suhteellisesti pienempiä Pohjois-Suomen järvissä kuin Etelä- ja Keski-Suomessa.



Kuva 11. Näsijärven jäänpaksuuden jäämallilla simuloitu keskiarvo ja vaihteluväli jaksolla 1971–2000 ja 2040–69 sekä havainnot referenssijaksolla.



Kuva 12. Saimaan jäänpaksuuden jäämallilla simuloitu keskiarvo ja vaihteluväli jaksoilla 1971–2000 ja 2040–69 sekä havainnot referenssijaksolla.

5.4

Valunta ja virtaama

Sadanta kasvaa Suomessa keskimäärin 3–17 % jaksoon 2040–69 mennessä, mutta kasvavan haihdunnan vuoksi valunta kasvaa sadannan kasvua vähemmän. Keskimäärin valunta Suomessa kasvaa jaksolla 2010–39 noin 1–3 % ja jaksolla 2040–69 noin 6–8 % referenssijakssoon verrattuna. Eri osissa Suomea (Kuva 13) muutokset poikkeavat jonkin verran toisistaan (Taulukko 4). Pohjois-Suomessa valunta kasvaa kaikilla skenaarioilla (4–12 %), mutta muualla Suomessa se pienenee vähäateisimmilla skenaariolla noin 5 % länsirannikolla ja Keski-Suomessa ja jopa 13 % etelärannikolla (Taulukko 4). Toisaalta runsasateisimmat skenaariot tuottavat etelärannikolla myös suurimmat valunnan kasvut (jopa 25 %). Tämä suuri vaihtelu eri ilmastoskenaarioiden välillä johtuu osittain Itämeren vaikutuksesta eri ilmastomallien tuloksiin.

Suhteellisesti eniten valunta kasvaa talvella (joulu-helmikuu), 34–165 % (Taulukko 4). Suuria prosenttimuutoksia selittää referenssijakson pieni talvivalunta (Kuva 14). Keväällä (maalis-toukokuussa) valunta pienenee Etelä-, Länsi- ja Keski-Suomessa (Kuva 14), koska talven aikana on kertynyt vähemmän lunta ja lumen sulamisen aiheuttama valunta pienenee. Pohjois-Suomessa taas kevään valunnat kasvavat (6–19 %) kun aiemmin kesäkuulle jatkunut lumen sulaminen tapahtuu kokonaisuudessaan jo kevätkuukausien aikana (Kuva 14). Tästä johtuen Pohjois-Suomessa kesän valunnat pienenevät selvästi (13–31 %). Etelämpänä kesän valunnat keskimäärin pienenevät (16–25%), kevään aikaistumisesta johtuvan maaperän kuivumisen johdosta. Märkillä skenaarioilla sadannan kasvu aiheuttaa kuitenkin kesävaluntojen kasvua. Syksyllä valunnat pääosin kasvavat sateiden lisääntymisen myötä (18–34 %).

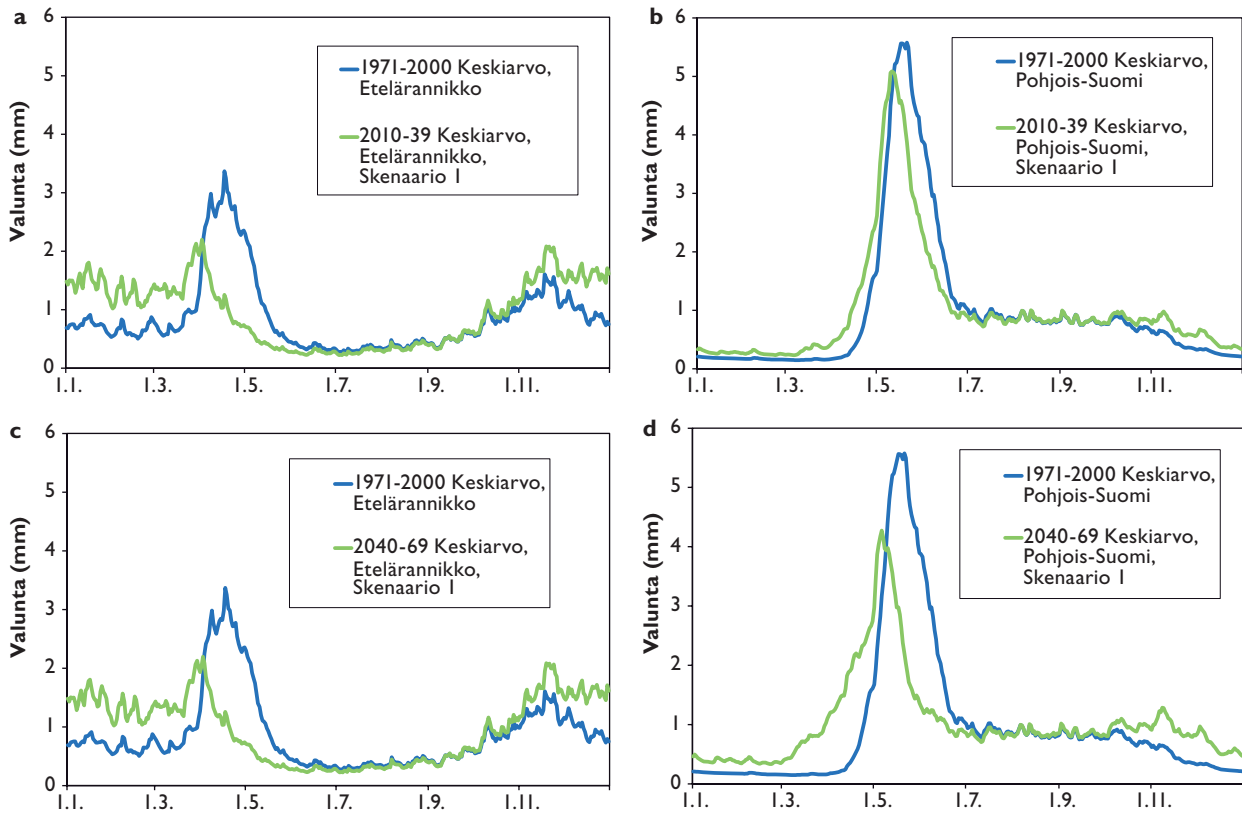
Virtaaman muutokset ovat pienillä alueilla samankaltaisia kuin valunnan muutokset, mutta suurten vesistöjen alajuoksulla virtaamat poikkeavat valunnoista johtuen viiveistä veden virtauksessa joissa ja järvissä. Erityisesti järviolueiden vesistöissä kuten Vuoksessa, Oulujoessa, Kymijoessa ja Kokemäenjoessa järvet tasaavat valuntoja niin että virtaamat laskujoissa ovat jakautuneet valuntoja huomattavasti tasaisemmin eri vuodenajoille ja kevätvirtaamat eivät ole suhteessa keskivirtaamaan yhtä suurina kuin kevävalunnat.



Kuva 13. Kartta taulukon 4 alueista.

Taulukko 4. Valunnan muutos vuositasolla ja eri vuodenaikoina jaksoilla 2010–39 ja 2040–69 verrattuna jaksoon 1971–2000. Skenaario I (Ka A1B) lihavoituna ja viiden skenaarion vaihteluväli suluissa (skenaariot I, 10, 15, 17 ja 19).

	Valunnan muutos (%) referenssijaksolta 1971–2000			
	Etelärannikko	Pohjanmaa ja Satakunta	Järvi-Suomi	Pohjois-Suomi
Vuosi				
2010–39	3 (-1– +12)	1 (-2–+15)	2 (-1–+16)	2 (1–9)
2040–69	8 (-13–+25)	6 (-5–+7)	7 (-5–+8)	7 (4–12)
Kevät (maalis-touko)				
2010–39	-20 (-23–(-11))	-18 (-20– (-2))	-14 (-19– (-2))	6 (6–8)
2040–69	-28 (-41– (-12))	-29 (-33– (-3))	-23 (-28–(-2))	6 (6–19)
Kesä (kesä-elo)				
2010–39	-14 (-28–+9)	-15 (-27–+16)	-19 (-28– +7)	-20 (-25– (-6))
2040–69	-16 (-31–+42)	-19 (-33–+8)	-25 (-35–+10)	-28 (-31– (-13))
Syksy (syys-marras)				
2010–39	8 (-3–+32)	12 (5–43)	11 (2– 42)	16 (9–25)
2040–69	18 (-8–+50)	27 (6–50)	25 (5–51)	34 (23–35)
Talvi (joulu-helmi)				
2010–39	49 (14–58)	73 (8–95)	81 (22– 103)	63 (5–67)
2040–69	84 (42–85)	136 (43–136)	146 (70–165)	127 (34–127)



Kuva 14. Päivittäinen keskimääräinen valunta referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksoilla 2010–39 (a, b) ja 2040–69 (c, d) skenaariolla I (Ka AIB) Etelärannikolla (a, c) ja Pohjois-Suomessa (b, d).

6 Ilmastonmuutoksen ja säännöstelyn vaikutukset vesistöjen tilaan ja käyttöön

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia vesistöissä tutkittiin Vesistömallijärjestelmällä käyttäen lähtötietoina 5-17 eri ilmastoskenaariota, jotta ilmastonmuutokseen liittyviä epävarmuuksia saatiin arvioitua. Tässä osiossa tulokset on esitetty pääosin vain yhdellä ilmastoskenaariolla, jotta kuvista on saatu riittävän selkeitä. Esitetty ilmastoskenaario on skenaario 1 (Ka A1B, Taulukko 3) eli 19 globaalin ilmastomallin keskiarvo keskimääräiset kasvihuonepäästöt omaavalla A1B päästöskenaariolla. Tulokset on pääosin esitetty vain jaksolla 2040–69. Lisäksi jakson 2010–39 tuloksia löytyy Liitteestä 1 hydrologisista skenaarioista ja Liitteestä 2 vaikutustarkasteluista. Hydrologisten muutosten suhteen tämä skenaario ei kuitenkaan aina ole keskimääräinen (katso Kappale 6.9.1 Kuvat 70 ja 71), vaikka ei myöskään edusta muutoksen ääripäitä. Yhden skenaarion esittäminen ei huomioi suurta epävarmuutta, joka ilmastonmuutokseen liittyy. Joillekin kohteille on esitetty tulokset skenaarion 1 lisäksi myös toisella skenaarilla, joksi on pyritty valitsemaan mahdollisimman paljon skenaariosta 1 eroava skenaario (kuiva/märkä tai kylmä/lämmin). Kappaleessa 6.9 ja Liitteessä 1 on lisäksi esitetty tuloksia useammalla ilmastoskenaariolla, joista näkyy että vaihtelut eri skenaarioiden välillä voivat olla hyvinkin suuria. Liitteessä 1 on esitetty myös kuvia tulovirtaamista ja juoksutuksia.

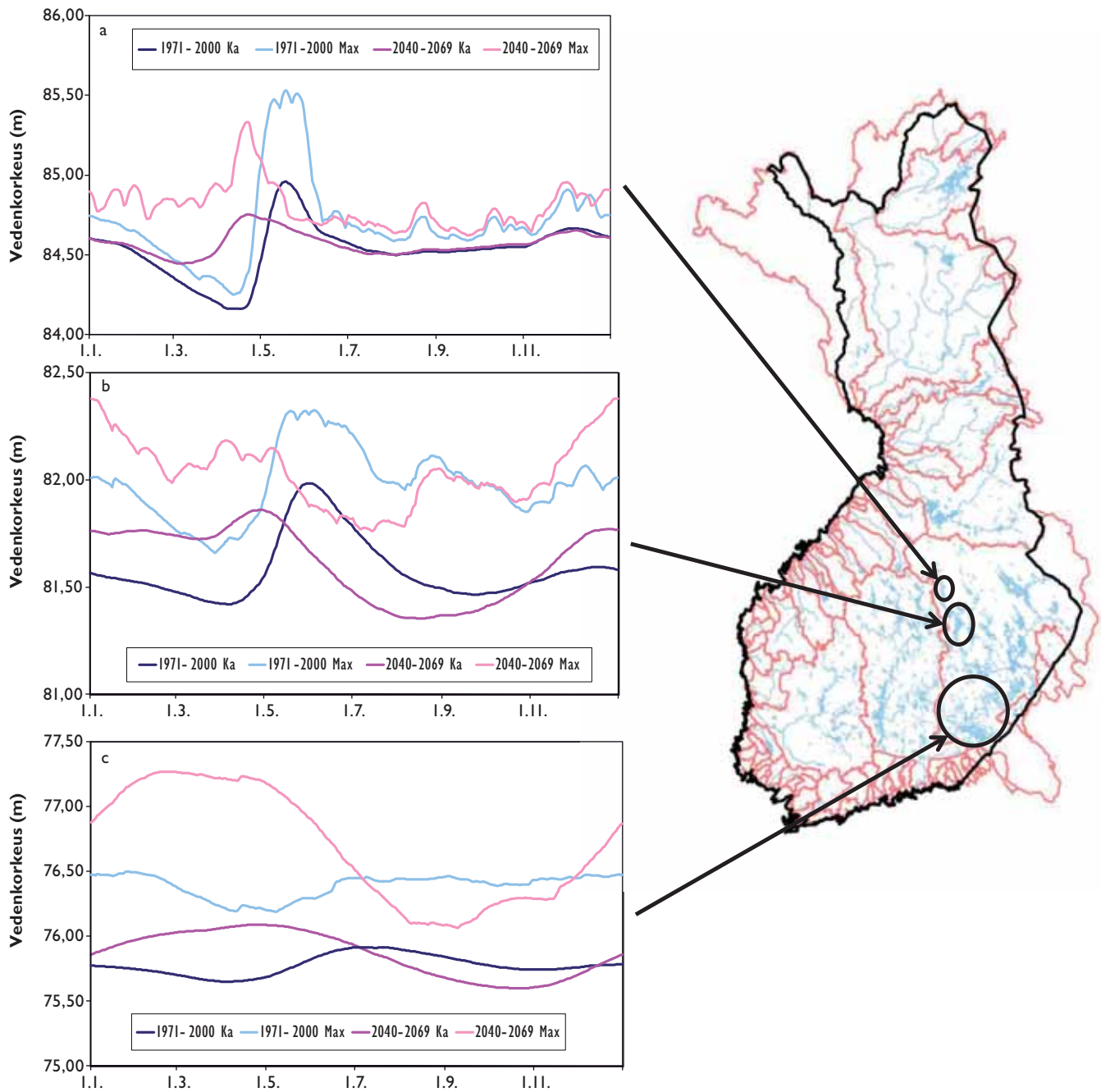
6.1

Vuoksen vesistöalue

6.1.1

Hydrologiset skenaariot

Vuoksen vesistöalueella ilmastonmuutoksen vaikutukset järvien vedenkorkeuksiin vaihtelevat eri puolilla vesistöä (Kuva 15). Latvajärvissä, joissa nykytilanteessa vedenkorkeudet ovat alhaisimmillaan talvella ja alkukevällä ja korkeimmillaan touko-kesäkuussa, talven ja alkukevään vedenkorkeudet nousevat ja touko-kesäkuussa vedenkorkeudet laskevat. Kesällä vedenkorkeudet pysyvät nykyisellään tai laskevat. Suurimmat tulvat todennäköisesti pienenevät kevättulvien pienemisen myötä. Syksyn tulvat kasvavat, mutta eivät yhtä suuriksi kuin nykyiset kevättulvat. Myös suurilla järvillä talven ja alkukevään vedenkorkeudet nousevat ja kesän ja alkusyksyn vedenkorkeudet laskevat. Talvitulvat lisääntyvät ja nousevat jaksoon 2040–69 mennessä jopa nykyisiä kevättulvia suuremmiksi. Suurimpien järvien tulvat kasvavat suurimmalla osalla skenaarioita 2040–69 mennessä. Toisaalta myös kesäkausi pidentyy ja kesien alimmat vedenkorkeudet laskevat.



Kuva 15. Vuoksen vesistön järvien keskiarvon ja maksimin muuttuminen eri puolilla vesistöä, esimerkkeinä Onkivesi (a), Kallavesi (b) ja Saimaa (c).

Esimerkkikohteina Vuoksen vesistöalueelta toimii kolme järveä, Saimaa, Pielinen ja Syväri. Saimaa ja Pielinen ovat suuria keskusjärviä kun taas Syväri on pienempi, vesistön latva-alueella sijaitseva järvi. Lisäksi Liitteestä 1 löytyy kuvia jaksolta 2010–39 sekä juoksuutuksista, tulovirtaamista, eri skenaarioista (Liite 1, Kuvat 1–3) ja muista alueen järvistä (Kallavesi: Liite 1, Kuva 4). Tuloksia ilmastonmuutoksen vaikutuksesta Vuoksen vesistössä on kuvannut myös Veijalainen ym. (2010a).

Pielinen

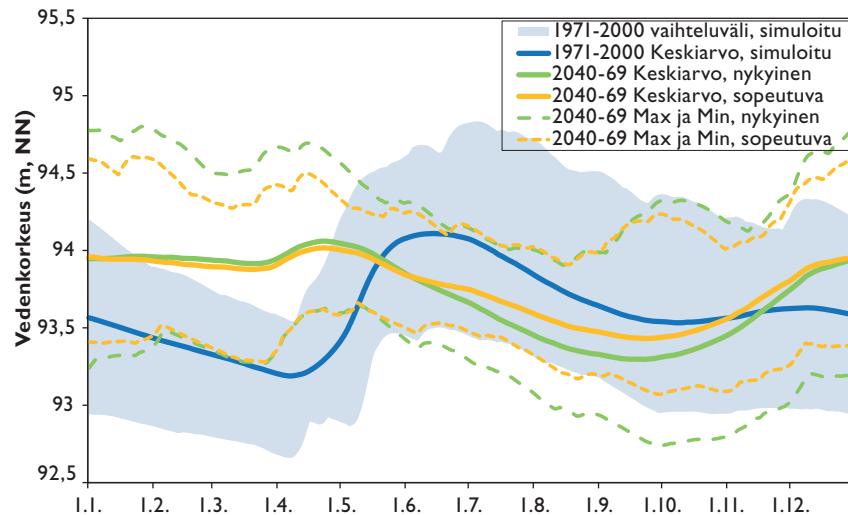
Pielisen juoksutukset määräytyvät ns. luonnonmukaisen purkautumisen mukaisesti. Luonnonmukaisesta juoksutuksesta on mahdollista poiketa ylös- tai alaspäin poikkeusluvalla tulvien tai kuivuuden estämiseksi. Poikkeamislupaa on Pielisellä haettu vuosina 1981, -82, -84, -89, -92, -04, -05, -06 eli yhteensä kahdeksan kertaa. Pielisellä juoksutuksista poikkeaminen on ollut pitkäkestoista ja jatkunut usein kuukausien ajan. Laskelmissa nykyisen kaltainen säännöstelyvaihtoehto toteutettiin ilman poikkeuslupia käyttäen koko ajan luonnontilaista juoksutusta.

Koska poikkeamisluvan hakeminen usein on työlästä, on Pielisellä tarkasteltu mahdollisuutta muuttaa järven säännöstelyä. Vaihtoehtoina on tarkasteltu "Pielisen juoksutuksen kehittämismahdollisuudet" -raportissa (Verta ym. 2007) esitettyä ns. varautuvaa säännöstelyä, joka tässä vastaa sopeutuvaa säännöstelyvaihtoehtoa. Tässä säännöstelytavassa Pielisen juoksutuksia kasvatetaan luonnonmukaisesta 10 ja 20 % kun vedenkorkeus ylittää tavoiteputken 1 ja 2. Vastaavasti tavoiteputkien 1 ja 2 alittuessa juoksutusta pienennetään 15 ja 30 %. Tavoiteputki 1 alkaa 20 cm alle ja 20–40 cm yli jakson 1980–1999 päivittäisen keskimääräisen vedenkorkeuden ja tavoiteputki 2 40 cm yli tai ali vastaavan vedenkorkeuden. Lisäksi vedenkorkeuksia alennetaan 15.4. mennessä tasolle NN+92,70 m tai NN+92,90 m lumen vesiarvosta riippuen. Muutamia muitakin ehtoja liittyy varautuvaan säännöstelyyn (katso Verta ym. 2007). Lisäksi ehtoihin on ilmastonmuutoksen ja 2000-luvun lauhjojen talvien johdosta lisätty ehto, jonka mukaan tavoiteputkien aiheuttamia juoksutuksen lisäyksiä ei tehdä talvella, jos lumen vesiarvo on alhainen. WaterAdapt-hankkeen tuloksia hyödynnettiin Pielisen juoksutuksen kehittämishankkeessa.

Ilmastonmuutos vaikuttaa voimakkaasti Pielisen vedenkorkeuksiin referenssijakssoon nähden (Kuva 16) kasvattaen talven ja alkukevään ja alentaen kesän vedenkorkeuksia. Luonnonmukaisella juoksutuksella eli nykyisen kaltaisella säännöstelyvaihtoehdolla Pielisen kesän alimmat vedenkorkeudet alenevat tulevaisuudessa selvästi referenssijakssoon nähden. Suurimmat vedenkorkeudet ovat jatkossa talven ja alkukevään aikana, kun taas kevättulvien suuruus pienenee selvästi (Kuva 16). Jaksoilla 2040–69 ja 2070–99 talven ja kevään korkeimmat vedenkorkeudet ovat useimmilla ilmastoskenaariolla suurempia kuin nykyään kevättulvan aiheuttamat alkukesän korkeimmat vedenkorkeudet. Luonnonmukaisella purkautumisella ilmastonmuutos siis saattaa lisätä vedenkorkeuksien vaihtelua ja sekä kesän kuivuudesta että tulvista aiheutuvia ongelmia Pielisellä 2040–69 mennessä. Jaksolla 2010–39 tulvat eivät vielä kasva vaan pysyvät nykyisellään tai pienenevät kevättulvien pienenemisen myötä, mutta kesien pidentyminen johtaa alempiin loppukesän ja syksyn vedenkorkeuksiin kuin nykyisin (Liite 1, Kuva 1a).

Käyttämällä varautuvaa juoksutusmallia eli sopeutuvaa säännöstelyvaihtoehtoa, jossa Pielisen juoksutusta lisätään tai vähennetään luonnontilaisesta vedenkorkeuden tavoiterajojen ylittyessä tai alittuessa, pystytään ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia lieventämään luonnonmukaiseen juoksutukseen verrattuna (Kuva 16). Alimpia vedenkorkeuksia pystytään nostamaan ja korkeimpia laskemaan. Kokonaan ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia ei voida estää. Vedenkorkeudet ovat yhä keskimäärin nykyisiä alempia kesällä ja tulvariski talvella ja keväällä säilyy yhä vaikka pienempänä kuin ilman varautuvaa juoksutusmallia. Varautuva juoksutusmalli vaikuttaa jonkin verran Pielisjoen virtaamiin kasvattaen suurimpia ja pienentäen pieniä virtaamia (Liite 1, Kuva 1e), mutta vaikutukset Pielisjoessa jäävät vähäisiksi (kappale 6.1.2). Pielisen juoksutusmallin vaikutus Saimaan vedenkorkeuksiin on varsin pieni, tavallisesti vain muutamia senttejä ja suurimmillaankin alle kymmenen senttiä.

Kuva 16. Pielisen 30 vuoden simulointijakson keski-, maksimi- ja minimivedenkorkeudet varautuvalla juoksutusmallilla jaksolla 2040–69 skenaariolla I (keltainen) verrattuna luonnontilaiseen purkautumiseen jaksolla 1971–2000 (sininen) ja jaksolla 2040–69 (vihreä).



Saimaa

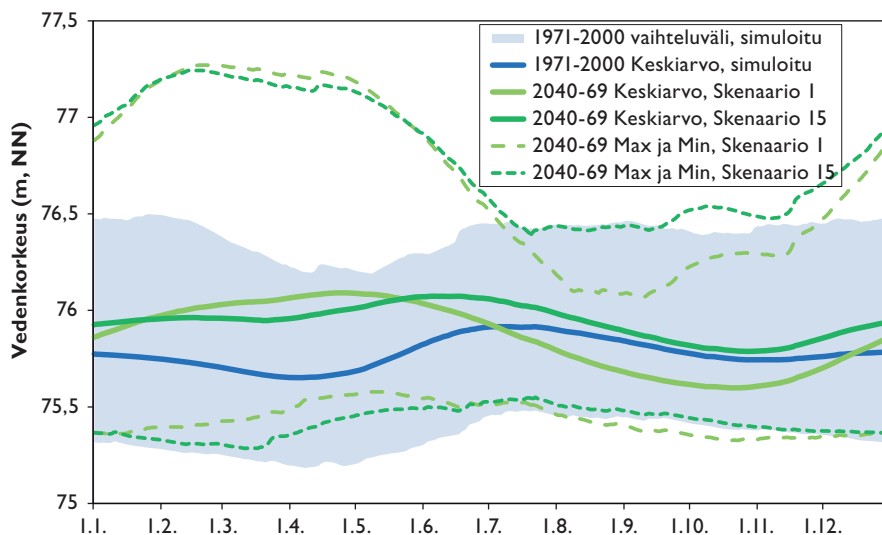
Saimaan juoksutus on nyt esitetyissä laskelmissa toteutettu ilmastonmuutostilanteessa samalla tavalla kuin referenssijaksollakin noudattaen nykyistä juoksutussääntöä. Saimaan juoksutus poikkeaa simuloinneissa luonnontilaisesta purkautumiskäyrästä kun vedenkorkeus on 10 cm tai vähemmän alle tavoitevedenkorkeuden ylärajan tai 5 cm tai vähemmän yli alarajan. Saimaan juoksutuksen maksimi on nyt tehdyissä laskelmissa 1100 m³/s tai luonnontilaisen purkautumisen mukainen juoksutus, jos se on suurempi. Vastaavat laskelmat tehtiin myös Saimaan säännöstelyohjeilla, jossa juoksutuksen lisäykset aloitettiin alemmilla tai korkeammilla vedenkorkeuksilla. Erilainen Saimaan säännöstely vaikutti lähinnä vain kesän alhaisimpiin ja toisaalta korkeimpiin vedenkorkeuksiin, mutta vaikutus oli melko vähäinen (Liite 1, Kuva 2a, 2d). Aloittamalla 800 m³/s juoksutus 20 cm aikaisemmin, 30 cm ennen tavoiteputken ylärajaa saatiin 30 vuoden simulointijakson suurinta vedenkorkeutta jaksolla 2040–69 alennettua 9 cm.

Saimaan korkeimmat vedenkorkeudet ovat jatkossa talven ja alkukevään aikana ja tulvat kasvavat selvästi nykytilanteeseen nähden (Kuva 17). Poikkeusjuoksutusten määrä lisääntyy referenssijaksoon verrattuna (Kuva 18). Kuvassa 17 näkyy että Saimaan vedenkorkeuden maksimit jaksolla 2040–69 kasvavat huomattavasti referenssijaksoon verrattuna. Tämä johtuu ilmastonmuutokseen myötä lauhtuvista ja runsasvetisimmiksi muuttuvista syksyistä ja talvista, mutta lisäksi suureen kasvuun vaikuttaa kaksi muutakin syytä. Ensimmäinen referenssijaksolle osuu vuosi 1974–75, joka oli harvinaisen märkä ja lämmin ja jolloin Saimaalla oli talvitulva jo havaintoaikana. Kun tähän poikkeukselliseen vuoteen lisätään ilmastonmuutos käytetyllä delta change -menetelmällä, saadaan entistä märempi ja lämpimämpi vuosi ja suurempi tulva. Yksittäisen vuoden perusteella ei kuitenkaan tulisi tehdä pitkälle meneviä johtopäätöksiä tulvien muuttumisesta. Toinen tulvien kasvuun vaikuttava tekijä on, että tehdyissä laskelmissa juoksutusta ei kasvateta yli 1100 m³/s, jos luonnontilaisen purkautumiskäyrän mukainen juoksutus ei ole sitä suurempi (Kuva 18). Tätä suuremmaksi juoksusta ei todennäköisesti voida nostaa, koska vahingot Venäjän puolella kasvavat ja juoksutuksen nostoon pitäisi olla Venäjän lupa. Tästä ylärajasta johtuen suuren tulvan aikana juoksutusten kasvattaminen ei ole enää yhtä tehokkaasti alenna vedenkorkeuksia luonnontilaiseen purkautumiseen verrattuna kun pienemmällä tulvilla.

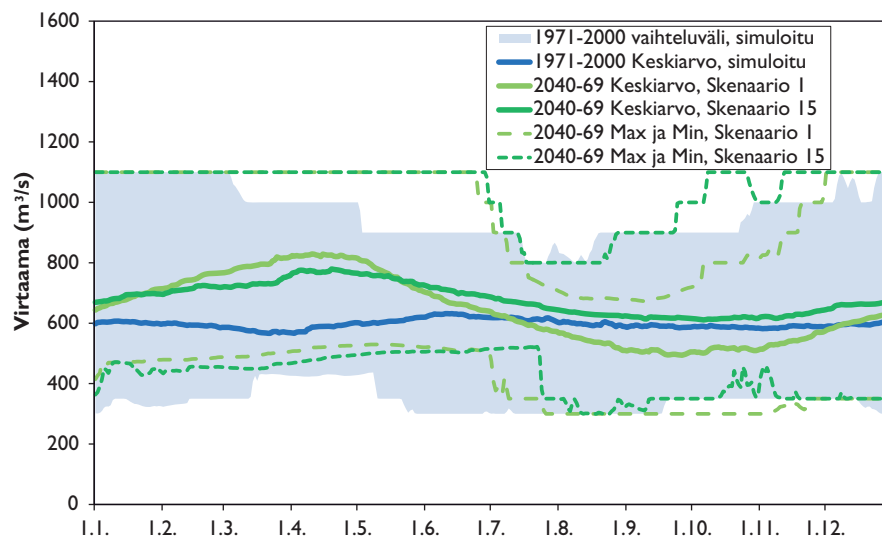
Saimaalla ilmastonmuutokseen sopeutumismahdollisuudet ovat säännöstelyihin järviin verrattuna melko vähäiset. Säännöstelyn aloittamista rajoittaa Vuoksen asema rajavesistönä. Kaikki muutokset nykyiseen juoksutussääntöön pitää hyväksyä

Suomen ja Venäjän rajavesikomissiossa Suurtulvatilanteessa suuri juoksutus Vuoksessa pienentäisi vahinkoja Saimaalla, mutta vastaavasti lisäisi niitä Vuoksen varrella Venäjän puolella. Nyt tehdyissä laskelmissa on juoksutusten oletettu noudattavan nykyistä juoksutussääntöä.

Saimaan kesän ja syksyn alimmat vedenkorkeudet laskevat suurimmalla osalla skenaarioista hieman, mutta runsassateisimmilla ja kylmimmillä skenaarioilla ne pysyvät nykyisellään (Liite 1, Kuva 2c). Saimaan yläpuolisissa järvissä nykyiset säännöstelykäytännöt eivät enää tulevaisuudessa tule olemaan järkeviä, sillä monien järvien (mm. Höytiäinen, Onkivesi, Vuotjärvi) kalenteriin sidotut vedenpinnan kevätalenukset eivät enää muuttuvassa ilmastossa toimi toivotulla tavalla. Saimaan vedenkorkeuteen yläpuolisten järvien säännöstelyn muuttaminen vaikutti simuloinneissa kuitenkin suurimmillaan vain noin 8 cm keväällä. Mahdollisuus pienentää Saimaan suuria tulvia varastoimalla vettä yläpuolisiin suuriin järviin Pieliseen ja Kallavedeen on varsin rajallinen. Vedenkorkeuksia täytyisi nostaa huomattavasti, jotta Saimaaseen saataisiin useiden senttien vaikutus. Suurimpien tulvien aikana suuri osa Kallavedestä lähtevästä virtaamasta kulkee Karvion ja Konnuskosken luonnonkoskien kautta, mikä rajoittaa vaikutusmahdollisuuksia Kallavedessä. Pieliseen voitaisiin teknisesti varastoida enemmänkin vettä mutta tällöin vahingot Pielisen rannoilla kasvaisivat merkittävästi. Poikkeuksellisen tulvan aikaan myös Kallaveden ja Pielisen vedenkorkeudet ovat hyvin korkealla, joten varastotilavuutta ei juuri ole käytettävissä.



Kuva 17. Saimaan simuloitun keski- maksimi- ja minimivedenkorkeuden jaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 kahdella eri skenaariolla (skenaario I (Ka A1B) ja skenaario 15 (RCA3 Ech5 A1B)). Skenaariossa 15 lämpötilan nousu on keskimääräistä pienempää.



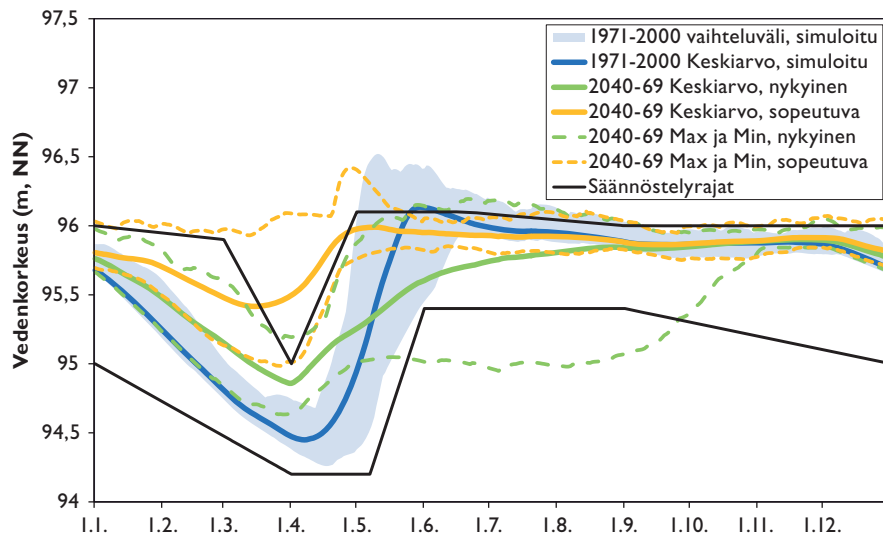
Kuva 18. Saimaan simuloitun keski- maksimi- ja minimijuoksutukset jaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 kahdella eri skenaariolla (skenaario I (Ka A1B) ja skenaario 15 (RCA3 Ech5 A1B)). Skenaariossa 15 lämpötilan nousu on keskimääräistä pienempää.

Syväri

Vuoksen vesistöalueelta on tarkemmin tarkasteltu edellä esitettyjen suurten järvien lisäksi Syväriä, joka on valittu esimerkikohteeksi pienemmästä säännöstelystä järvestä. Syväriinjärvien vedenkorkeudet jaksolla 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla on esitetty Kuvassa 19.

Syvärillä kevättulvat ovat tähän saakka olleet suurimpia tulvia ja ne pienenevät ilmastonmuutoksen vaikutuksesta lumen vähetessä. Tällöin suurimmat vedenkorkeudet (Kuva 19) ja juoksutukset (Liite 1, Kuva 3e) alenevat ja tulvariski todennäköisesti pienentyy jaksoon 2040–69 mennessä. Syys- ja talvitulvat kasvavat, mutta eivät yllä nykyisten kevättulvien suuruuteen. Kevään virtaamahuippu aikaistuu ja kesän virtaamat pienenevät. Kesän kuivumiseen täytyy jatkossa varautua nostamalla järvi kesävedenkorkeuteen aikaisemmin ja/tai pienentämällä kevätkuopan suuruutta. Muuten järveä ei kuivimpina vuosina välttämättä saada nostettua tavanomaiseen kesäkorkeuteen koko kesän aikana. Syvärillä nykyiset kalenteriin sidotut säännöstelyrajat eivät enää jaksolla 2040–69 tule toimimaan ilman ongelmia. Jaksolla 2010–39 nykyiset säännöstelyluvut toimivat vielä tyydyttävästi (Liite 1, Kuva 3a, b), vaikka lämpimimpinä vuosina vedenkorkeuksien alentaminen keväällä johtaakin suuriin juoksutuksiin erityisesti maaliskuussa.

Syvärin tulokset ovat samankaltaisia kuin useissa muissa vesistön latvalla sijaitsevilla säännöstellyissä järvissä. Säännöstelylupien muutostarve näillä riippuu siitä, miten säännöstelyluvut on määritelty. Järvillä, joissa säännöstelylupiin on määritelty tiukasti kalenteriin sidottu vedenkorkeuksien merkittävä alennus keväällä, voi säännöstelyluvan noudattaminen tuottaa ongelmia jaksolla 2040–69 ja sen jälkeen.



Kuva 19. Syvärin vedenkorkeuksien maksimi-, minimi- ja keskiarvo referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 eri säännöstelykäytännöillä.

6.1.2

Vaikutustarkastelut

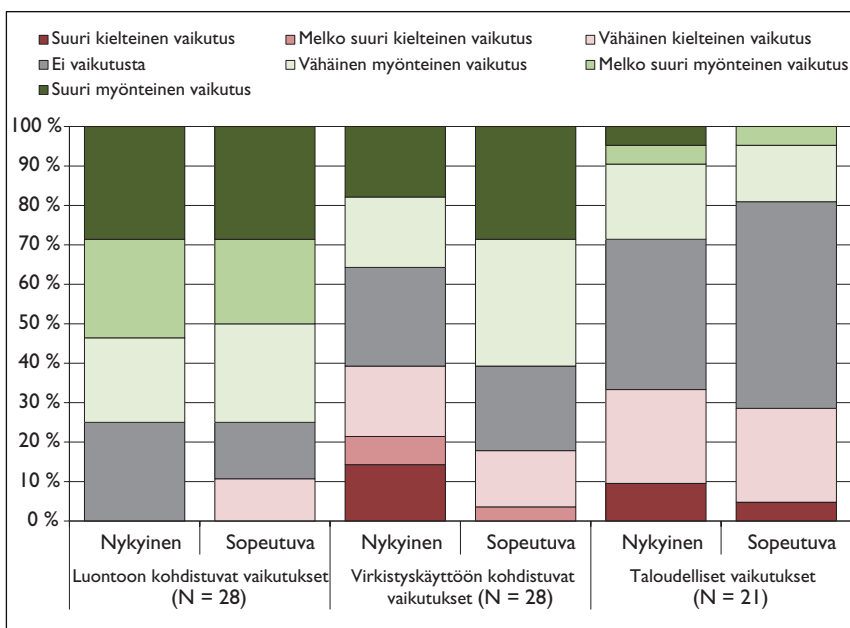
Pielinen ja Pielisjoki

Vaikutukset yleisesti

Pielisellä ja Pielisjoella vaikutuksia tarkasteltiin neljällä skenaariolla yhteensä 20 mittarilla (Liite 2, Taulukko 1). Tarkastellut skenaariot olivat 1 (Ka A1B), 11 (CCSM3 A2), 13 (RCA3(C4I) Had A1B) ja 14 (RCA3 Ech5 A1B 50) (katso Taulukko 3). Tarkastelujen perusteella skenaarioiden ja juoksutuskäytäntöjen välillä on suuria eroja. Sopeutusvaihtoehdossa kielteisten vaikutusten todennäköisyys on pienempi ja myönteisiin

suurempi kuin luonnonmukaisella juoksutuksella eli nykyisessä juoksutusikäytännössä. Sopeutuvassa vaihtoehdossa melko suuria tai suuria kielteisiä muutoksia ei tapahdu lainkaan tarkastelujaksolla 2010–39 (nykykäytännössä 5 % mittareista) (Liite 2, Kuva 1) ja jälkimmäisellä jaksolla 3 % (10 %) mittareista (Kuva 20). Melko suuria tai suuria myönteisiä muutoksia tapahtuu sopeutuvassa vaihtoehdossa ensimmäisellä tarkastelujaksolla 29 % (22 %) ja jälkimmäisellä 31 % (30 %) mittareista.

Merkittävimmät kielteiset vaikutukset kohdistuvat nykykäytännössä kummallakin tarkastelujaksolla virkistyskäyttöön ja vesiliikenteeseen (Kuva 20). Sopeutuvassa säännöstelyvaihtoehdossa näihin kohdistuvien kielteisten vaikutusten määrä on pienempi. Sopeutuvassa vaihtoehdossa luontoon kohdistuvien vähäisten kielteisten vaikutusten mahdollisuus on suurempi kuin nykykäytännössä. Merkittävimmät myönteiset vaikutukset kohdistuvat kummassakin vaihtoehdossa vesiluonnon mittareihin ja virkistyskäyttöön.



Kuva 20. Mittareiden muutosten prosenttiosuudet vaikutustyypeittäin Pielisellä ja Pielisjoella tarkastelujaksolla 2040–69, kun vertailussa on mukana neljä ilmastonmuutosskenaariota.

Vesiluontoon kohdistuvat vaikutukset

Vedenkorkeuden alenema talvella on vertailujaksoa pienempi kaikissa skenaarioissa sekä nykyisellä että sopeutuvalla juoksutuksella. Tämän seurauksena jäätyvä ja jään painama rantavyöhyke pienentyvät, ja se vaikuttaa myönteisesti mm. syyskutuisiin kaloihin ja pohjalehtiskasvustoon. Vedenpinnan nousu lintujen pesintäaika on kummallakin tarkastelujaksolla valtaosassa skenaarioita pienempi kuin vertailujaksolla. Ainoastaan skenaariossa 15 (RCA3 Ech5 A1B) ensimmäisellä tarkastelujaksolla vedenpinnan nousu on vertailujaksoa suurempi. Sarakasvillisuusvyöhykkeen laajuuteen vaikuttava kesäinen vedenkorkeuden vaihtelu poikkeaa skenaarioita enemmän juoksutusvaihtojen välillä. Nykyisellä juoksutuksella sarakasvillisuusvyöhykkeen laajuus on kaikissa skenaarioissa selvästi laajempi kuin sopeutuvalla juoksutuksella.

Virkistyskäyttöön kohdistuvat vaikutukset

Virkistyskäyttöön kohdistuvien vaikutusten suunnassa on eroa vuodenaikojen ja skenaarioiden välillä. Sopeutuva vaihtoehto on virkistyskäytön kannalta nykykäytäntöä parempi molemmilla tarkastelujaksoilla. Touko-lokakuun virkistyskäytön kannalta vaikutukset ovat molemmissa juoksutusvaihtoehdoissa ensimmäisellä tarkastelujaksolla pääosin myönteisiä, mutta jälkimmäisellä jaksolla vaihtelua eri juoksutusvaihtojen välillä.

toehtojen ja skenaarioiden välillä on enemmän. Kesällä (21.6.–15.8.) virkistyskäytölle sopimattomista vedenkorkeuksista aiheutuva rahamääräinen haitta on kummallakin jaksolla pääosin vertailujaksoa pienempi. Ainoastaan nykykäytännöllä skenaariossa 11 (CCSM3 A2) jaksolla 2040–69 haitan määrä on n. 38 % vertailujaksoa suurempi. Tämä aiheutuu pääosin loppukesän nykyistä alemmista vedenkorkeuksista. Loppukesän ja syksyn alhaiset vedenkorkeudet aiheuttavat haittaa virkistyskäytölle muissakin skenaarioissa, sillä nykyisellä juoksutuksella alle NN+ 93,20 m vedenkorkeuksia esiintyy vähintään kolme kertaa enemmän kuin vertailujaksolla. Sopeutuvalla juoksutuksella vastaavia vaikutuksia ei muodostu. Pielisjoen virkistyskäyttöön ei skenaarioissa kohdistu merkittäviä vaikutuksia.

Taloudelliset vaikutukset

Tulvien lukumäärät ja niiden aiheuttamat taloudelliset haitat vaihtelevat skenaarioissa ja tarkastelujaksoilla paljon. Tarkastelujaksolla 2010–39 Pielisen vedenkorkeus ei kummallakaan käytännöllä ylitä haitallista tasoa (NN+ 94,50 m) yhtä usein kuin vertailujaksolla. Tarkastelujaksolla 2040–69 taso ylittyy kummallakin käytännöllä ainoastaan skenaariossa 13 (RCA3(C4I)-Had-A1B) useammin kuin vertailujaksolla. Korkeiden vedenkorkeuksien aiheuttamat taloudelliset vahingot ovat kummallakin juoksutuksella jaksolla 2010–39 alle puolet vertailujakson vahingoista: sopeutuvalla juoksutuksella kuitenkin selkeästi pienemmät kuin nykyisellä juoksutuksella. Tarkastelujaksolla 2040–69 yhteenlaskettu tulvavahinkojen määrä on nykyisellä juoksutuksella vertailujaksoa suurempi ja sopeutuvalla juoksutuksella pienempi. Vesiliikenteelle sen sijaan aiheutuu eniten haittaa alhaisista vedenkorkeuksista loppukesäisin.

Vesivoiman keskimääräinen yhteenlaskettu vuosituotanto Kaltimon ja Kuurnan voimalaitoksilla on tarkastelujaksolla 2010–39 sopeutuvassa vaihtoehdossa n. 5 % (nykykäytännössä n. 3 %) vertailujaksoa suurempi ja jälkimmäisellä jaksolla vastaavasti n. 4 % (n. 5 %) vertailujaksoa suurempi. Jälkimmäisellä jaksolla myös ohijuoksutukset voimalaitoksilla ovat vertailujaksoa suurempia.

Yhteenveto

Taulukossa 5 on esitetty yhteenveto skenaarioiden vaikutuksista vertailujaksoon verrattuna tarkastelujaksolla 2040–69 ja vastaava yhteenveto jaksolta 2010–39 löytyy Liitteen 2 Taulukosta 3. Valtaosa vaikutuksista aiheutuu talvikauden vedenkorkeuden muutoksesta verrattuna nykytilaan ja loppukesän sekä alkusyksyn alenevista vedenkorkeuksista. Talvialeneman pienentyminen tai jopa poistuminen vaikuttaa myönteisesti valtaosaan vesiluonnon tilaa kuvaavista mittareista.

Taulukko 5. Yhteenveto ilmastonmuutosskenaarioiden vaikutuksista Pielisellä ja Pielisjoella tarkastelujaksolla 2040–69. Vaikutusta on verrattu vertailujaksoon 1971–2000.

Arviointiasteikko: --- = suuri kielteinen vaikutus, -- = melko suuri kielteinen vaikutus, - = vähäinen kielteinen vaikutus, 0 = ei vaikutusta, + = vähäinen myönteinen vaikutus, ++ = melko suuri myönteinen vaikutus, +++ = suuri myönteinen vaikutus.

	Skenaario I		Skenaario I3		Skenaario II		Skenaario I4	
	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva
PIELINEN								
Rantavyöhyke	+	0	++	+	++	+	+	0
Kalakannat	+	+	+	+	+	+	+	+
Linnusto	+	+	+	+	+	+	+	+
Virkistyskäyttö	-	++	-	++	---	--	-	+
Vesiliikenne ja uitto	-	+	0	0	---	0	-	+
Tulvavahingot	+	++	---	-	+	+	+	++
PIELISJOKI								
Virkistyskäyttö	0	0	0	0	0	0	0	0
Tulvavahingot	-	++	Ei laskettu	Ei laskettu	Ei laskettu	Ei laskettu	Ei laskettu	Ei laskettu
Vesiliikenne ja uitto	-	-	-	-	-	-	-	-
Vesivoiman tuotanto	+	+	Ei laskettu	Ei laskettu	Ei laskettu	Ei laskettu	Ei laskettu	Ei laskettu

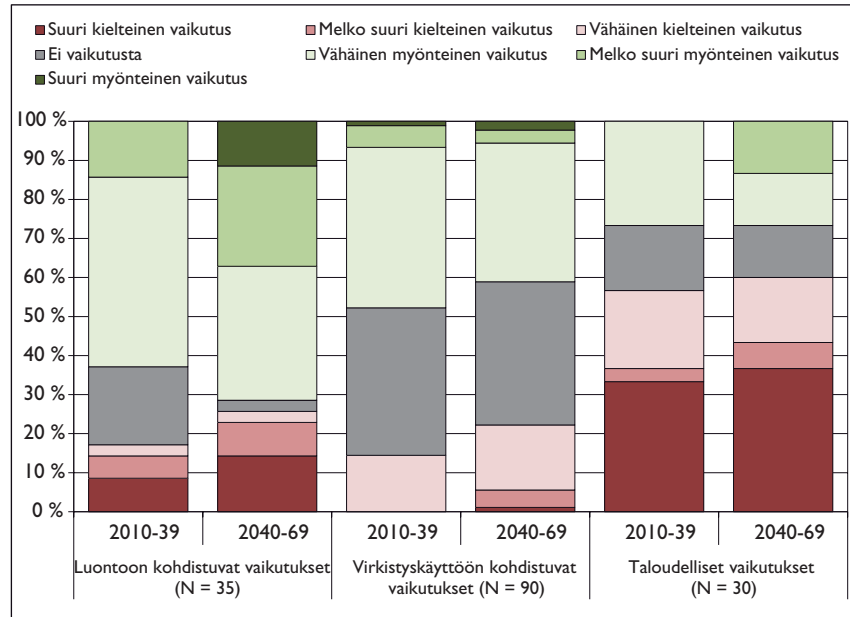
Saimaa ja Vuoksi

Vaikutukset yleisesti

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia Saimaalla ja Vuoksessa tarkasteltiin viidellä ilmastokeskenariolla yhteensä 35 mittarilla (Liite 2, Taulukko 1). Tarkastellut skenaariot olivat 1 (Ka A1B), 10 (CCSM3 A1B), 15 (RCA3 Ech5 A1B), 17 (RCA3 Had A1B) ja 19 (HIRHAM ARP A1B) (katso Taulukko 3). Vesiluontoon kohdistuvia vaikutuksia arvioitaessa kiinnitettiin kahdessa mittarissa huomiota saimaannorpan talviaikaiseen pesintään. Virkistyskäyttöön kohdistuvia vaikutuksia kuvaavien mittareiden määrää lisää se, että vedenkorkeuksille määritettiin virkistyskäytön laadun kannalta kolme eri tasoa joiden esiintyvyyttä mitattiin neljänä eri ajankohtana.

Mittaritarkastelujen perusteella vaikutukset vesistön tilaan ja käyttöön eroavat toisistaan huomattavasti eri skenaarioissa. Vertailujaksoon nähden melko suuria tai suuria kielteisiä muutoksia tapahtuu ensimmäisellä tarkastelujaksolla 11 % tarkastellusta 34 mittarista ja jälkimmäisellä jaksolla 19 % mittareista (Kuva 21). Melko suuria tai suuria myönteisiä vaikutuksia tapahtuu ensimmäisellä tarkastelujaksolla 7 % tarkastelluista mittareista ja jälkimmäisellä jaksolla 13 % mittareista. Huomattavimpina kielteisinä vaikutuksina voidaan pitää vaikutuksia saimaannorpan pesintään ja tulvien esiintymiseen. Huomattavimmat myönteiset vaikutukset ajoittuvat jäidenlähtöön ja sen jälkeiseen vedenkorkeuden pysyvyyteen ja vaikuttavat mm. kevätkutuisten kalojen ja lintujen lisääntymiseen.

Kuva 21. Mittareiden muutosten prosenttiosuudet vaikutustyypeittäin Saimaalla ja Vuoksessa tarkastelujaksoilla 2010–39 ja 2040–69, kun vertailussa on mukana viisi ilmastomuutosskenaariota.

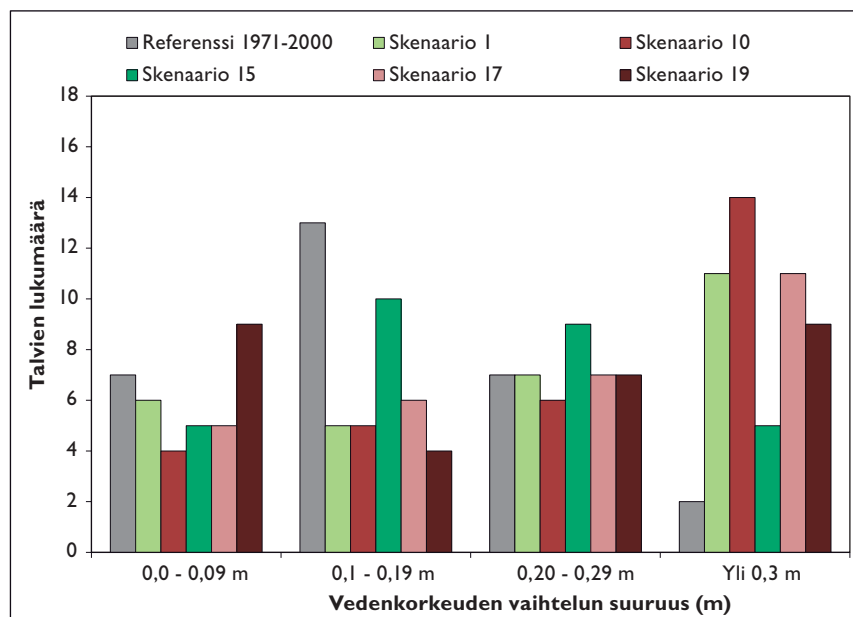


Vesiluontoon kohdistuvat vaikutukset

Skenaarioissa vertailujaksoa suurempi talvinen vedenkorkeuden vaihtelu vaikuttaa saimaannorpan pesintään, sillä Saimaan juokutusstrategiassa sen onnistumisen kannalta kriittiseksi määritelty muutos (lasku tai nousu) 0,20 m (Höytämö ja Leiviskä, 2009) ylittyy selvästi aikaisempaa useammin: tarkastelujaksolla 2010–39 talvia, jolloin raja ylittyy, esiintyy 8–19 kpl ja jaksolla 2040–69 vastaavasti 11–20 kpl (Kuva 22). Vertailujaksolla ylityksiä on esiintynyt 9 talvena.

Valtaosassa skenaarioita muut tarkastellut vaikutukset vesiluonnon mittareihin ovat positiivisia. Lintujen pesinnän aikana tapahtuva vedenpinnan nousu pienenee, sillä kevättulvaa ei välttämättä muodostu, vaan vedenkorkeuden rytmi on jäidenlähdön aikaan laskeva. Kesäinen vedenkorkeuden vaihtelu lisää saraikkovyöhykkeen laajuutta, mutta toisaalta saraikko saattaa kärsiä tulvan epäsäännöllisyydestä. Lisäksi keväisin vedenkorkeus saraikossa on hauen kudun kannalta nykyistä korkeammalla tasolla.

Kuva 22. Vedenkorkeuden vaihtelun suuruus aikavälillä jäätymisspäivä – 20.3. vertailujaksolla ja skenaarioissa tarkastelujaksolla 2040–69.



Virkistyskäyttöön kohdistuvat vaikutukset

Touko-lokakuun virkistyskäytön kannalta vedenkorkeudet pysyvät skenaarioissa pääosin samana tai muuttuvat lievästi myönteisesti. Tarkastelujaksolla 2040–69 vedenkorkeus on kesäkuun puolivälistä elokuun loppuun ulottuvana ajankohtana 0–13 (jaksolla 2010–39 2–12) prosenttiyksikköä vertailujaksoa useammin virkistyskäytön kannalta hyvällä tasolla (75,8–76,1 m). Vertailujaksolla vedenkorkeus pysyy ko. vyöhykkeellä kolmasosan ajasta. Veneilyä haittaavien alle 75,10 m vedenkorkeuksien lukumäärä ei muutu missään skenaariossa. Sen sijaan Vuoksen käyttöä touko-lokakuussa haittaavia yli 800 m³/s virtaamia esiintyy kahdessa skenaariossa (skenaariot 15 ja 19) vertailujaksoa enemmän: tarkastelujaksolla 2040–69 keskimäärin n. 12–14 (jaksolla 2010–39 n. 25–27) vuorokautena useammin kuin vertailujaksolla (keskimäärin 19 vuorokautena). Jääpeitteisen kauden lyhenemisen vaikutusta virkistyskäyttöön, mm. talvikalastukseen, ei tutkimuksessa arvioitu.

Taloudelliset vaikutukset

Talvikauden kasvavat valunnat aiheuttavat kaikissa skenaarioissa sekä Saimaan tulvarajan 76,50 m että Vuoksen tulvarajan 900 m³/s ylityksiä vertailujaksoa selvästi useammin. Lisäksi hyydetulvien riski kasvaa. Yli 76,50 m vedenkorkeuksia esiintyy vuosittain tarkastelujaksolla 2010–39 skenaariosta riippuen keskimäärin 6–15 vuorokautena useammin kuin vertailujaksolla ja jaksolla 2040–69 vastaavasti keskimäärin 6–39 vuorokautena useammin. Vesiliikenteelle haittaa aiheuttavien alle 75,10 m vedenkorkeuksien määrä ei skenaarioissa eroa vertailujaksosta.

Vesivoimalaitosten energiantuotanto on skenaarioissa pääosin vertailujaksoa suurempi (1–18 %). Ainoastaan skenaariossa 19 (HIRHAM ARP A1B) tarkastelujaksolla 2040–69 energiantuotanto on vertailujaksoa n. 3 % pienempi ja skenaariossa 1 (Ka A1B) tarkastelujaksolla 2010–39 yhtä suuri kuin vertailujaksolla. Virtaamat kuitenkin jakaantuvat vuodenaikoihin nähden epätasaisesti. Tällöin myös ohijuoksutusten määrä voimalaitoksilla lisääntyy kaikissa skenaarioissa kummallakin tarkastelujaksolla.

Yhteenvedo

Taulukossa 6 on esitetty yhteenvedo skenaarioiden vaikutuksista vertailujaksoon verrattuna tarkastelujaksolla 2010–39 ja 2040–69. Pielisen tapaan myös Saimaalla valtaosa vaikutuksista aiheutuu talvikauden vedenkorkeuden muutoksesta. Talvialeneman pienentyminen tai jopa poistuminen vaikuttaa myönteisesti valtaosaan vesiluonnon tilaa kuvaavista mittareista. Talvikauden aikana rytmiltään kasvavat vedenkorkeudet kuitenkin aiheuttavat huomattavia kielteisiä vaikutuksia saimaanorpan pesinnälle.

Talven vedenkorkeuksien nousu referenssijaksolta johtaa nykyistä useammin haitallisen korkeisiin vedenkorkeuksiin (yli NN+ 76,50 m), joita esiintyy kummallakin tarkastelujaksolla nykyistä huomattavasti enemmän. Myös Vuoksen virtaama ylittää haitallisen virtaaman rajan (900 m³/s) selvästi vertailujaksoa useammin ja lisäksi hyydetulvien riski kasvaa. Vuoksen nykyistä suurempi virtaama vaikuttaa vesivoimantuotantoon myönteisesti, mutta samalla myös ohijuoksutusten määrä kasvaa. Vesiliikenteen ja virkistyskäytön kannalta vedenkorkeuksien muutos aiheuttaa vain vähäisiä vaikutuksia.

Taulukko 6. Yhteenveto ilmastonmuutoskenaarioiden vaikutuksista Saimaalla ja Vuoksessa ajanjaksoilla 2010–39 ja 2040–69. Vaikutusta on verrattu vertailujaksoon 1971–2000.

Arviointiasteikko: --- = suuri kielteinen vaikutus, -- = melko suuri kielteinen vaikutus, - = vähäinen kielteinen vaikutus, 0 = ei vaikutusta, + = vähäinen myönteinen vaikutus, ++ = melko suuri myönteinen vaikutus, +++ = suuri myönteinen vaikutus.

	Skenaario I Ka AIB		Skenaario 17 RCA3 Had AIB		Skenaario 15 RCA3 Ec5 AIB		Skenaario 19 HIRHAM ARP AIB		Skenaario 10 CCSM3 AIB	
	2010–39	2040–69	2010–39	2040–69	2010–39	2040–69	2010–39	2040–69	2010–39	2040–69
SAIMAA										
Rantavyöhyke	+	++	+	++	0	+	+	+	+	+
Saimaannorppa	--	--	--	---	0	---	--	---	---	---
Kalakannat	+	+++	+	+++	+	++	++	+++	++	+++
Linnusto	+	+	+	+	0	+	+	+	++	++
Virkistyskäyttö	0	0	+	+	+	+	+	0	-	-
Vesiliikenne ja uitto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tulvavahingot	-	--	--	---	-	--	-	-	-	--
VUOKSI										
Virkistyskäyttö	0	0	0	-	0	-	0	-	0	0
Tulvavahingot	-	--	---	---	-	--	--	-	-	-
Vesiliikenne ja uitto	0	0	0	-	0	-	0	-	0	0
Vesivoiman tuotanto	0	+	+	++	+	+	+	-	+	++
Ohijouksutusten määrä	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

6.2

Kymijoki

6.2.1

Hydrologiset skenaariot

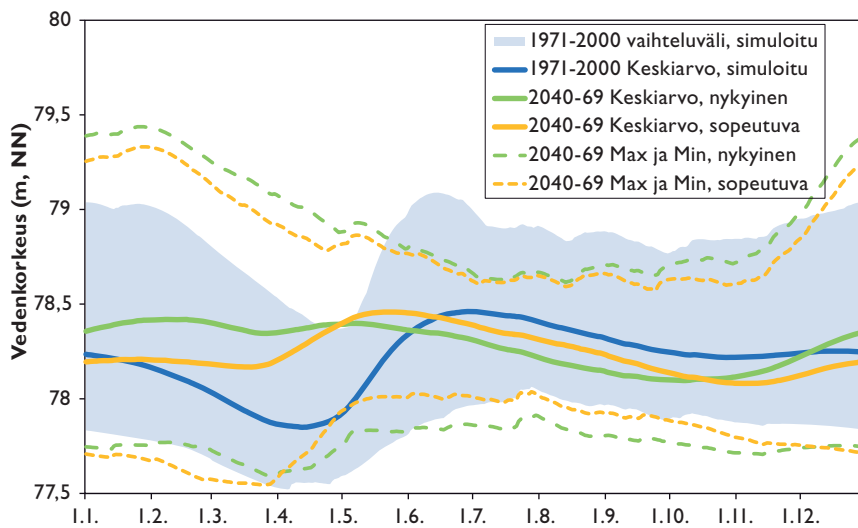
Simuloinnit tehtiin kahdella oletuksella ilmastonmuutosjakson säännöstelystä. Ensimmäisessä vaihtoehdossa pyrittiin noudattamaan nykyisiä säännöstelylupia ja -käytäntöjä. Sopeutuvassa vaihtoehdossa ilmastonmuutosjakson säännöstelyohjeita muokattiin referenssijakson säännöstelyohjeisiin nähden siten, että kevätalennus oli etenkin vesistön latvajärvissä lauhoina talvina nykyistä vähäisempi ja sen ajoitus oli nykyistä aiemmin. Lisäksi vedenkorkeuksia pyrittiin loppusyksystä pitämään hieman alempana kuin nykyisen kaltaisen säännöstelyn mukaisessa vaihtoehdossa, jotta talven tulviin oltaisiin paremmin varautuneita. Tämä sopeutuva säännöstelyvaihtoehto on tulevaisuudessa perusteltu, koska kevättulvat eivät enää aiheuta suurimpia riskejä ja niihin varautumista voidaan siten vähentää. Päijänteen säännöstelyä muokattiin lisäksi niin, että juoksutuksia kasvatetaan tulvatilanteissa nykyistä suuremmiksi alemmilla vedenkorkeuksilla ja syksyn vedenkorkeuksia pidettiin aikaisempaan versioon nähden alempana. Tällä vaihtoehdolla haluttiin arvioida mahdollisuuksia pienentää Päijänteen tulvia säännöstelyn keinoin.

Päijänteessä ilmastonmuutos muuttaa selvästi järven vedenkorkeuksien vuositaitaista rytmiä ja lisää talvitulvien suuruutta (Kuva 23). Muutos on selvä suurimmalla osalla skenaarioista jo jaksolla 2010–39 (Liite 1, Kuva 5a) ja voimistuu entisestään jaksolla 2040–69 (Kuva 23). Sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla voidaan vähentää ilmastonmuutoksen vaikutuksia Päijänteen vedenkorkeuteen ja alentaa tulvaveden-

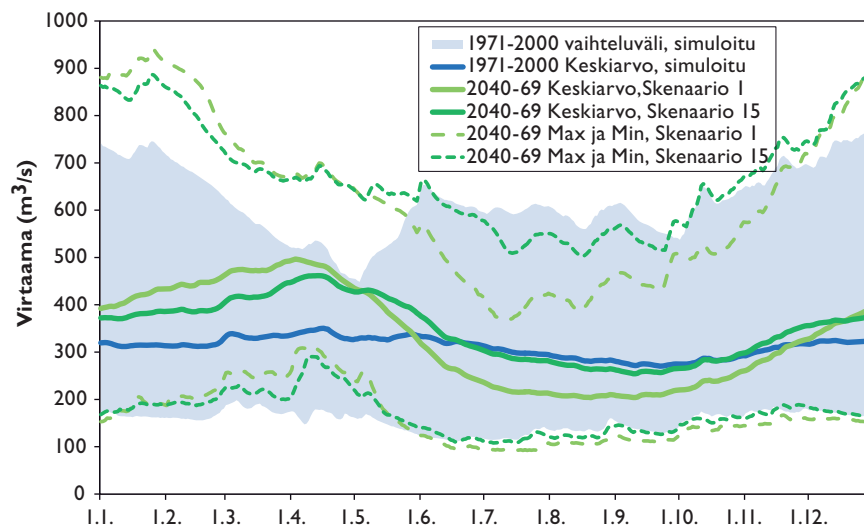
korkeuksia sekä nostaa kesän alhaisimpia vedenkorkeuksia. Myös sopeutuvassa säännöstelyvaihtoehdossa talven ylimmät vedenkorkeudet ovat useimmilla skenaarioilla referenssijakson tulvia suurempia ja kesän alimmat vedenkorkeudet referenssijakson alimpia vedenkorkeuksia alhaisempia.

Kymijoessa sekä talven tulvat että kesän kuivuus pahenevat ilmastonmuutoksen vaikutuksesta (Kuva 24). Kymijoen tulviin ja kuivuuksiin säännöstelyn muutoksella on vain melko vähäisiä vaikutuksia. Kasvavat talvivirtaamat lisäävät entisestään hyydetulvan riskiä Kymijoessa. Kymijoessa on jo useana talvena 2000-luvulla kärsitty hyyteen aiheuttamista ongelmista.

Muissa suurissa järvissä kuten Puulassa tulokset ovat melko samankaltaisia kuin Päijänteessä (Kuva 25). Erityisesti kesän alhaisiin vedenkorkeuksiin Puulassa voidaan vaikuttaa säännöstelykäytäntöjä muuttamalla. Tulvien suhteen säännöstelyn vaikutusmahdollisuudet riippuvat mm. juoksutuskapasiteetista korkeilla vedenkorkeuksilla. Jos juoksutuskapasiteetti on rajallinen, voi korkeimpien talvitulvien pienentäminen säännöstelykäytäntöjä muuttamalla olla vaikeaa. Kymijoen vesistöalueen pienissä latvajärvisä ilmastonmuutoksen vaikutukset poikkeavat suurista järvistä, koska siellä tulvat ovat lumen sulamisesta aiheutuvia ja kesän kuivuus ei useinkaan ole yhtä suuri ongelma. Latvajärvien tulovirtaamien muutokset ovat vastaavia kuin Vuoksen vesistöjen vastaavan kaltaisissa järvissä (Liite 1, Kuvat 1c ja 3c), mutta säännöstelyohjeiden muutostarpeet riippuvat kunkin järven säännöstelyluvista.

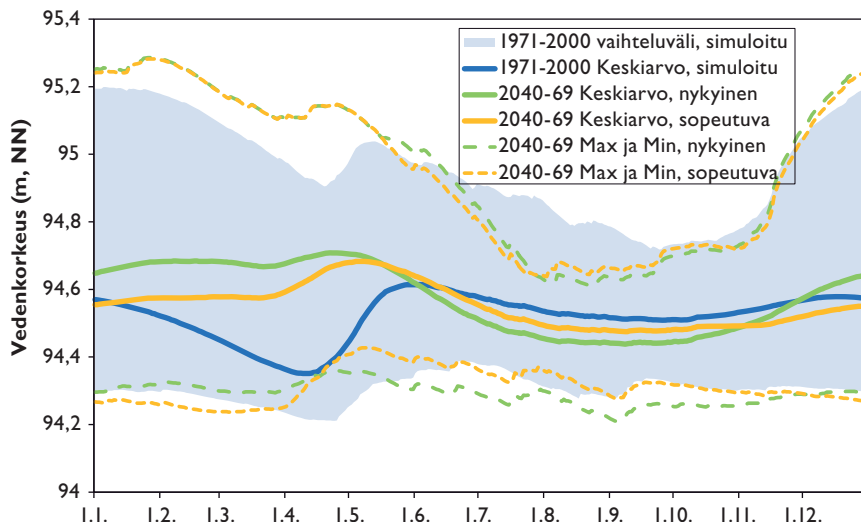


Kuva 23. Päijänteen vedenkorkeuden minimi, maksimi ja keskiarvo referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla.



Kuva 24. Kymijoen virtaaman minimi, maksimi ja keskiarvo referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 kahdella eri skenaariolla (skenaario I (Ka A1B) ja skenaario 15 (RCA3 Ech5 A1B)). Skenaariossa 15 lämpötilan nousu on keskimääräistä pienempää.

Kuva 25. Puulan vedenkorkeuden minimi, maksimi ja keskiarvo referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla.



6.2.2

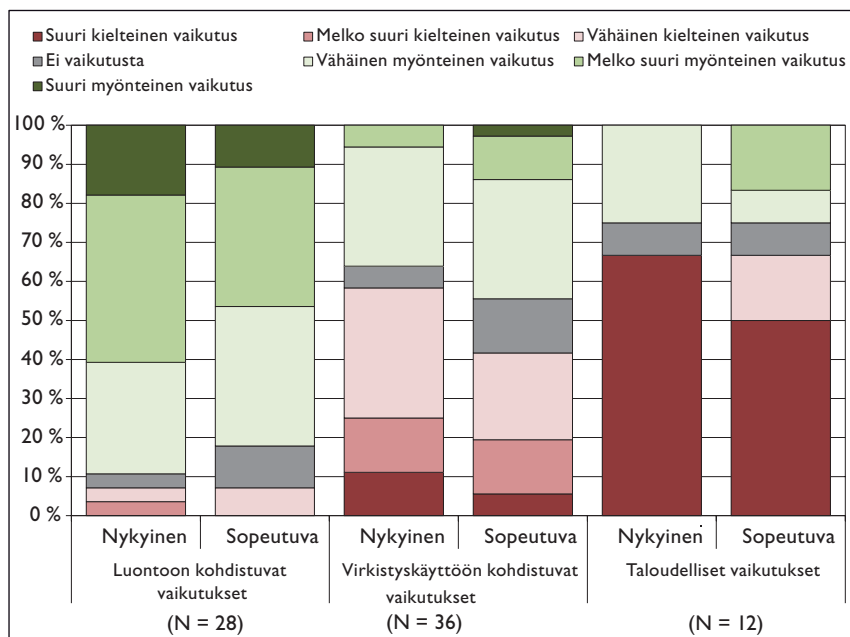
Vaikutustarkastelut

Vaikutukset yleisesti

Kymijoen vesistöalueella vaikutuksia tarkasteltiin Päijänteellä ja Kymijoella neljällä skenaariolla 19 mittarilla (Liite 2, Taulukko 1). Tarkastellut skenaariot olivat 1 (Ka A1B), 15 (RCA3 Ec5 A1B), 17 (RCA3 Had A1B) ja 19 (HIRHAM ARP A1B) (katso Taulukko 3). Tarkasteluiden perusteella ilmastonmuutoksen vaikutukset vaihtelevat skenaarioiden välillä. Sopeutuvassa vaihtoehdossa riski kielteisiin vaikutuksiin on pienempi kuin nykyisessä juoksutuskäytännössä (Kuva 26). Sopeutuvassa vaihtoehdossa melko suuria tai suuria kielteisiä muutoksia tapahtuu tarkastelujaksolla 2010–39 yhteensä 13 % mittareista (nykykäytännössä 14 %) ja jälkimmäisellä jaksolla 17 % (24 %) mittareista. Melko suuria tai suuria myönteisiä muutoksia tapahtuu sopeutuvassa vaihtoehdossa ensimmäisellä tarkastelujaksolla 13 % (5 %) ja jälkimmäisellä 26 % (25 %) mittareista.

Merkittävimät kielteiset vaikutukset kohdistuvat kummallakin juoksutuksella tulvien aiheuttamien taloudellisten vaikutusten kasvuun.

Kuva 26. Mittareiden muutosten prosenttiosuudet vaikutustyypeittäin Päijänteellä ja Kymijoella tarkastelujaksolla 2040–69, kun vertailussa on mukana neljä ilmastonmuutosskenaariota.



Vesiluontoon kohdistuvat vaikutukset

Päijänteen vedenkorkeuden talviaikainen alenema pienenee. Tämä vaikuttaa myönteisesti mm. syyskutusiin kaloihin ja pohjalehtiskasvustoon. Samalla kevättulvan suuruus verrattuna avovesikauden keskivedenkorkeuteen kasvaa hiukan, mikä saattaa vaikuttaa myönteisesti kevätkutusiin kaloihin ja rannan vyöhykkeisyyteen. Vedenpinnan nousu kuitenkin ajoittuu lintujen pesintäaikaan verrattuna niin, että pesintä ei häiriinny.

Virkistyskäyttöön kohdistuvat vaikutukset

Päijänteen ja Kymijoen touko-lokakuun virkistyskäytön kannalta vaikutukset ovat jokaisessa skenaariossa pääosin kielteisiä. Vaikutuksen suuruuden osalta skenaarioiden välillä on kuitenkin runsaasti vaihtelua. Sopeutuvalla juoksutuksella mahdollisuus kielteisiin vaikutuksiin on nykyistä juoksutusta hiukan pienempi. Kielteiset vaikutukset johtuvat Päijänteellä nykyistä alemmista kesävedenkorkeuksista ja Kymijoella pienemmistä virtaamista, mitkä vaikeuttavat mm. rantojen käyttöä ja joen koskimatkailua.

Taloudelliset vaikutukset

Korkeiden vedenkorkeuksien ja suurten virtaamien aiheuttamien taloudellisten vahinkojen määrä on pääosin suurempi kuin vertailujaksolla. Ainoastaan skenaariossa 19 (HIRHAM ARP A1B) tarkastelujaksolla 2040–69 sopeutuvalla juoksutuksella Päijänteen korkeista vedenkorkeuksista aiheutuu vähemmän taloudellista haittaa kuin vertailujaksolla.

Tuotetun energian kokonaismäärä Kymijoella kasvaa skenaarioita 1 (Ka A1B) ja 19 (HIRHAM ARP A1B) lukuun ottamatta kummallakin tarkastelujaksolla. Edellisessä skenaariossa keskimääräinen energiantuotanto on kummallakin tarkastelujaksolla sekä sopeutuvassa että nykyisessä juoksutuksessa yhtä suuri kuin vertailujaksolla. Jälkimmäisessä skenaariossa energiantuotanto on jälkimmäisellä jaksolla sopeutuvassa vaihtoehdossa n. 11 % vertailujaksoa pienempi (muuten vertailujaksoa n. 6 % suurempi). Muissa skenaariossa keskimääräinen energiantuotanto on tarkastelujaksolla 2010–39 kummassakin juoksutuksessa 3–11 % ja jälkimmäisellä jaksolla sopeutuvassa vaihtoehdossa n. 1–16 % (nykykäytännössä n. 4–11 %) vertailujaksoa suurempi.

Yhteenveto

Taulukossa 7 on esitetty yhteenveto skenaarioiden vaikutuksista vertailujaksoon verrattuna tarkastelujaksolla 2040–69. Tarkastelujakson 2010–39 yhteenveto on esitetty Liitteen 2 Taulukossa 4. Merkittävimmät kielteiset vaikutukset muodostuvat talvikauden korkeiden vedenkorkeuksien ja suurten virtaamien aiheuttamista tulvavahingoista. Kielteisiä vaikutuksia kohdistuu myös Kymijoen kesänaikaiseen virkistyskäyttöön. Päijänteen virkistyskäyttöön kohdistuvia kielteisiä vaikutuksia pystytään lieventämään sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla.

Taulukko 7. Yhteenveto ilmastonmuutoskenaarioiden vaikutuksista Päijänteellä ja Kymijoella tarkastelujaksolla 2040–69. Vaikutusta on verrattu vertailujaksoon 1971–2000.

Arviointiasteikko: --- = suuri kielteinen vaikutus, -- = melko suuri kielteinen vaikutus, - = vähäinen kielteinen vaikutus, 0 = ei vaikutusta, + = vähäinen myönteinen vaikutus, ++ = melko suuri myönteinen vaikutus, +++ = suuri myönteinen vaikutus.

	Skenaario I Ka AIB		Skenaario I9 HIRHAM ARP AIB		Skenaario I5 RCA Ec5 AIB		Skenaario I7 RCA3 Had AIB	
	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva
PÄIJÄNNE								
Rantavyöhyke	++	+	+	+	+	+	++	+
Kalakannat	+++	+++	+++	++	++	++	+++	++
Linnusto	++	+	++	++	+	+	++	+
Virkistyskäyttö	--	++	--	0	0	++	0	++
Tulvavahingot	---	---	---	++	---	---	---	---
KYMIJOKI								
Kalakannat	+++	+++	+++	+++	-	-	--	-
Virkistyskäyttö	--	--	---	---	-	-	0	0
Tulvat	---	---	---	-	---	---	---	---
Energiantuotanto	0	0	+	-	+	+	+	++

6.3

Kokemäenjoki

6.3.1

Hydrologiset skenaariot

Kokemäenjoella tarkasteltiin useita vaihtoehtoisia säännöstelykäytäntöjä ilmastonmuutosjaksoilla. Tässä on esitetty kaksi vaihtoehtoa, joista ensimmäisessä säännöstelyohjeita muokattiin referenssijakson säännöstelyohjeisiin nähden vain vähän (nykyisen kaltainen säännöstelyvaihtoehto). Säännöstelyohjeessa kevätkuoppa pyritään yhä tekemään vain hieman nykyistä loivempaan. Toisessa vaihtoehdossa (sopeutuva säännöstelyvaihtoehto) säännöstelyä on muokattu edellistä vaihtoehtoa voimakkaammin. Tällöin talvella pyritään tekemään nykyistä selvästi loivempi vedenkorkeuden alennus, jonka teko aloitetaan tammikuun alussa ja joka lopetetaan nykyistä aiemmin. Kuoppaa ei kuitenkaan tarvitse tehdä jos virtaamat talvella ovat suuria. Juoksutukset pyritään pitämään mahdollisuuksien mukaan vesivoimantuotannolle sopivissa rajoissa. Laskelmissa juoksutuksia suurennettiin yli määritellyn tavoitemaksimin vasta kun vedenkorkeus oli nousemassa haitallisen korkealle. Lisäksi vedenkorkeuksia alennetaan jo virkistyskauden päätyttyä loka-marraskuussa, jotta talven yleistyviä tulvia ja hyydeongelmia varten saadaan varastotilaa.

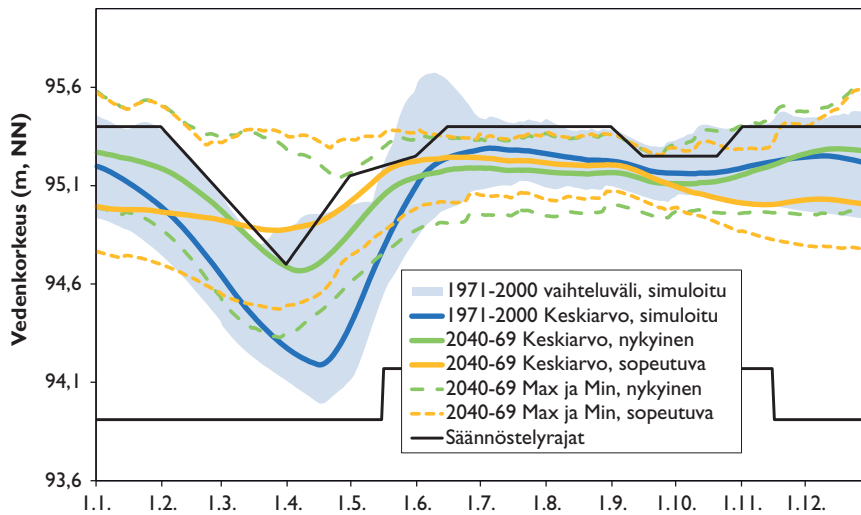
Sopeutuva säännöstelyvaihtoehto toimii selvästi nykyisen kaltaista säännöstelyvaihtoehtoa paremmin talven ja kevään aikana jaksoilla 2040–69 ja 2070–99. Talven juoksutukset eivät sopeutuvassa vaihtoehdossa nouse yhtä suuriksi, eikä kevään juoksutuksia tarvitse pienentää yhtä paljoa (Kuva 28). Järvet myös saadaan varmemmin kesäksi riittävän korkealle tasolle (Kuva 27). Järvien pinnankorkeuksien laskeminen aloitetaan jo lokakuussa, jolloin virtaamat ovat vielä melko pienet. Etuna tästä on, että järvien pinnanlaskua tehdään ajankohtana, jolloin virtaamat ovat pieniä eikä laskun takia juuri synny ohijuoksutustarvetta. Lisäksi talven tulvia ja hyydeongelmia varten on enemmän varastokapasiteettia. Huonona puolena on vesivoimantuotanto-

nolle aiheutuva putouskorkeuden menetys syksyn ja talven aikana. Nyt tehdyissä laskelmissa vedenkorkeuden aleneminen ei kuitenkaan ole kovin suuri, noin 15–30 cm. Suurilla vedenkorkeuksilla juoksuohjeet olivat samanlaisia, joten suurimpiin talven vedenkorkeuksiin säännöstely ei vaikuta kovin merkittävästi.

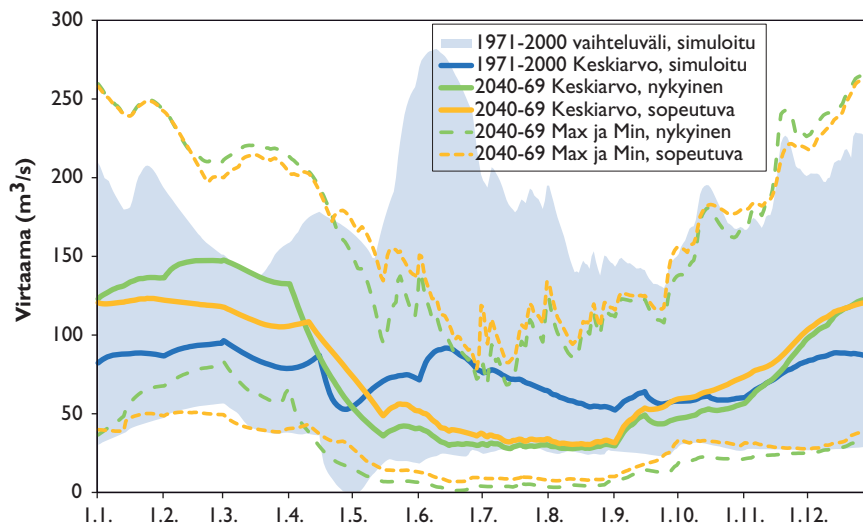
Näsjärven tulovirtaamat kasvavat jaksolla 2040–69 huomattavasti joulukuusta ja pienenevät touko-syyskuussa (Liite 1, Kuva 7c). Eri skenaarioiden välillä on kuitenkin selviä eroja. Joillain skenaarioilla kevättulvat katoavat lähes kokonaan, joillain vain pienenevät ja aikaistuvat. Näsjärvellä nykyisestä säännöstelyluvasta ongelmaksi muodostuu tulevaisuudessa jyrkkä kalenteriin sidottu vedenkorkeuksien kevätkuoppa (Kuva 27). Tämän muodostaminen kasvattaa juoksuvoimia tammi-maaliskuussa, jolloin ne muutenkin ovat usein suuria jaksolla 2040–69 (Kuva 28).

Vanajavedellä nykyinen säännöstelylupa on varsin joustava, eikä pakollista kevätkuoppaa ole. Luvan muuttaminen ei siten todennäköisesti ole tarpeen, mutta säännöstelykäytäntöjen ja tavoitevedenkorkeuksien muuttaminen voi tulla tarpeelliseksi (Kuva 29). Säännöstelykäytännön muuttaminen auttaa Kokemäenjoen alaosan tulviin ja jäädytysajoihin varautumisessa.

Porin tulvien suuruuteen voidaan vaikuttaa lähinnä lyhytaikaisella säännöstelyllä. Pitkäaikaisella säännöstelyllä ei Porin tulviin ole keskimäärin kovin suurta vaikutusta. Suurimpien tulvien aikana myös lyhytaikaisen säännöstelyn mahdollisuudet ovat rajalliset, sillä tällöin myös vesistön säännöstellyt järvet ovat ylärajoillaan. Lyhytaikaissäännöstelyä on tarkasteltu kappaleessa 6.3.2 Porin tulvien näkökulmasta.

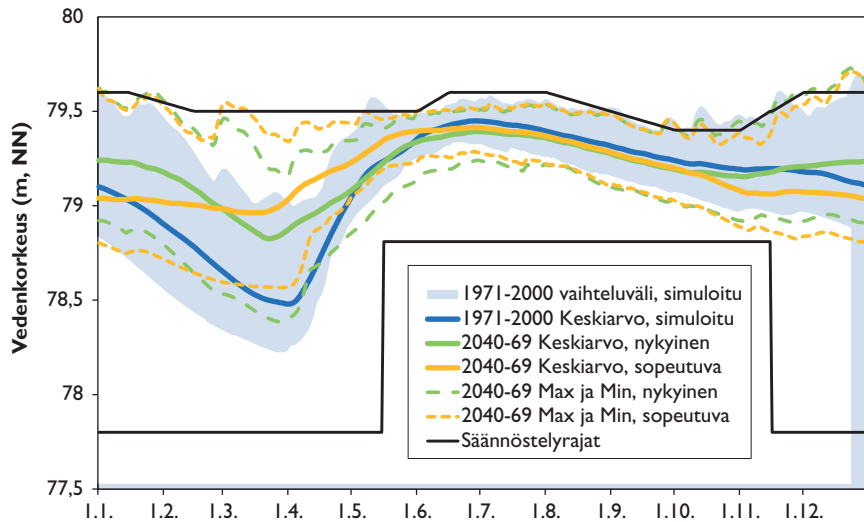


Kuva 27. Näsjärven vedenkorkeuden minimi, maksimi ja keskiarvo referenssijaksolla 1971–2000 ja 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla.



Kuva 28. Näsjärven lähtövirtaaman minimi, maksimi ja keskiarvo referenssijaksolla 1971–2000 ja 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla.

Kuva 29. Vanajavesi vedenkorkeuden minimi, maksimi ja keskiarvo referenssijaksolla 1971–2000 ja 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla.



6.3.2

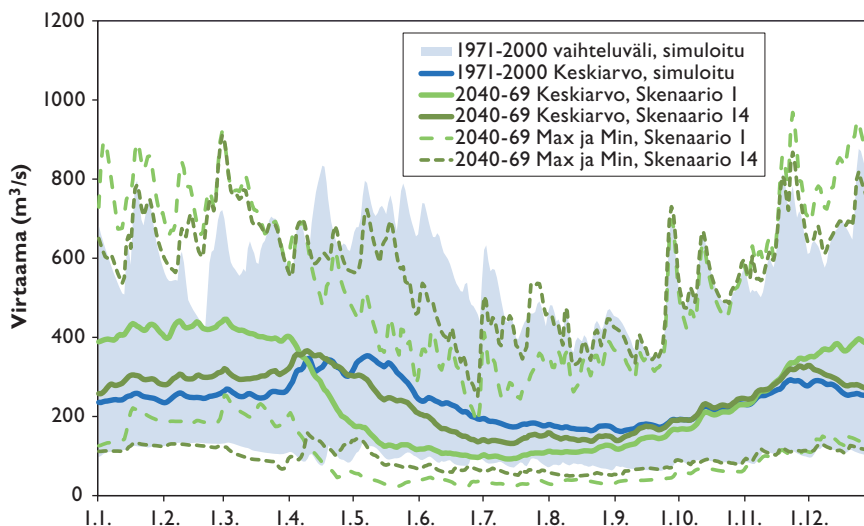
Porin tulvat

Jaksolla 2040–69 virtaamat Porissa keskimäärin kasvavat marraskuun ja maaliskuun välisenä aikana verrattuna referenssijaksoon ja pienenevät touko-syyskuussa (Kuva 30). Talven tulvahuiput kasvavat referenssijaksolta, kun taas kevään lumen sulamistulvat pienenevät selvästi. Tulosten mukaan tulvariski todennäköisesti kasvaa Kokemäenjoella. Talven 2007–2008 virtaamat olivat melko lähellä jaksolle 2040–69 ennakoituja keskimääräisiä virtaamia skenaariolla 1. Talvi 2007–2008 antaa siis hyvän kuvan tulevaisuuden talvista, jolloin virtaama on pitkiä aikoja suuri ja tulvia saattaa esiintyä. Kesän ja alkusyksyn keskimääräiset virtaamat ja alhaisimmat virtaamat pienenevät suurimmalla osalla skenaarioista jaksolla 2040–69.

Erilaisilla yläpuolisten säännöstelyjen järvien säännöstelyvaihtoehdoilla voidaan arvioida säännöstelykäytäntöjen keskimääräistä vaikutusta Porin virtaamiin. Vaikutus on suurin keski- ja minimivirtaamissa. Suurimmilla virtaamilla järvet ovat joka tapauksessa ylärajoillaan tai niiden yli, ja eri säännöstelyvaihtoehdot eivät keskimäärin suuresti eroa toisistaan. Lyhytaikaisella säännöstelyllä, jota ei ole huomioitu Kuvassa 30, voidaan kuitenkin leikata hetkellisiä virtaamahuippuja.

Lyhytaikaisäännöstelyn vaikutusta on arvioitu erikseen Kokemäenjoen vesistölle tehdyllä tarkemmalla säännöstelytarkastelulla, jossa neljästä järviältä koostuvan simulointi- ja optimointimallin avulla on pyritty jakamaan tulvariskiä vesistön suurten järvien ja Harjavallan alapuolisen osan kesken. Tarkastelussa mukana olleet järviältä olivat Vanajavesi, Näsijärvi, Pyhäjärvi ja Rautavesi. Muut järvet on säännöstelty kuten Vesistömallijärjestelmässä, ja järvien ja jokien tulovirtaamat on laskettu Vesistömallijärjestelmällä vastaavasti kuin muut hydrologiset skenaariot.

Optimointimallin periaatteena on yrittää pitää Harjavallan virtaama annetun ns. kriittisen virtaaman alapuolella, mikäli järviältaissa on säännöstelytilavuutta jäljellä. Toisaalta, mikäli vesistön yhteenlaskettu tulovirtaama uhkaa ylittää Harjavallan kriittisen virtaaman, pyritään järviin saamaan lisää tilaa juoksumalla vettä Kokemäenjokeen. Tämä tapahtuu kuitenkin kriittisen virtaaman puitteissa. Talviajalle on määritelty erikseen muita vuodenaikoja pienempi kriittinen virtaama. Järvien nykyiset säännöstelylupien rajat voidaan myös ylittää tietyn suuruisena, mikäli tämä vaihtoehto halutaan ottaa mukaan tarkasteluun. Simuloitavien järvien säännöstelytilavuuden alaraja myötäilee säännöstelyluvan ylärataa halutulla etäisyydellä ja kullekin järvelle lasketaan tavoitekorkeus, johon tulvaolosuhteet huomioiden pyritään.



Kuva 30. Porin maksimi-, mini- ja keskivirtaama referenssijaksolla ja jaksolla 2040–69 kahdella eri skenaariolla (skenaario I (Ka AIB) ja skenaario 14 (RCA3 Ech5 AIB)). Skenaariossa 14 sadannan lämpötilan nousu on keskimääräistä pienempää.

Tavoitekorkeuden laskentaperusteena voidaan käyttää joko halutun pituisen jakson havaittua sadesummaa tai se voidaan myös asettaa kiinteäksi tietyllä etäisyydellä säännöstelyn ylärajasta haettaessa esim. sopivaa varautumistasoa mahdollisia tulvia varten. Tarkempi säännöstelysimulointi suoritetaan vuosikohtaisesti.

Tulosten mukaan esimerkiksi vuoden 1974–75 talvitulvan suurimpia virtaamia Kokemäenjoessa olisi voitu hillitä säännöstelyn avulla, kun niitä verrataan Vesistömallijärjestelmällä simuloituihin virtaamiin, joissa säännöstelyn optimointia ei ole (Kuva 31). Tulvan aikaista maksimivirtaamaa Harjavallassa saadaan lyhytaikais-säännöstelyn avulla pienentettyä Kuvan 31 esimerkkitapauksessa noin 840 m³/s:stä 800 m³/s:iin. Tammikuulle 1975 sijoittuva toinen tulvahuippu on saatu pienennettyä noin 750 m³/s:stä 650 m³/s:iin. Järvien ylärajan suurin sallittu ylitys on asetettu 15 cm:iin, kun esim. Vesistömallijärjestelmän laskennoissa Vanajaveden yläraja on ylitetty vahinkoja aiheuttavasti noin 35 cm:llä (Kuva 32).

Jaksolla 2010–39 talvea 1974–75 vastaavassa tilanteessa Harjavallan virtaamien optimointi on vaikeampaa kasvaneista tulovirtaamista johtuen (Kuvat 33 ja 34). Tällöin maksimivirtaamaa saadaan pienentettyä selvästi vähemmän. Kuvan 33 esimerkkitapauksessa joulukuun lopun ensimmäinen tulvahuippu on saatu pienennettyä 870 m³/s:stä 780 m³/s:iin. Järvien varastotilan täyttäminen näkyy kuitenkin seuraavassa suuremmassa tulvahuipussa, jossa Vesistömallijärjestelmän 790 m³/s virtaama on huomattavasti optimoitua n. 910 m³/s pienempi. Tässä suurentunut virtaamahuippu on sitäkin vaarallisempi, koska kriittinen virtaama on talviaikaan 600 m³/s, joka indikoi ilman kylmenemistä ja hyhyderiskin kasvamista.

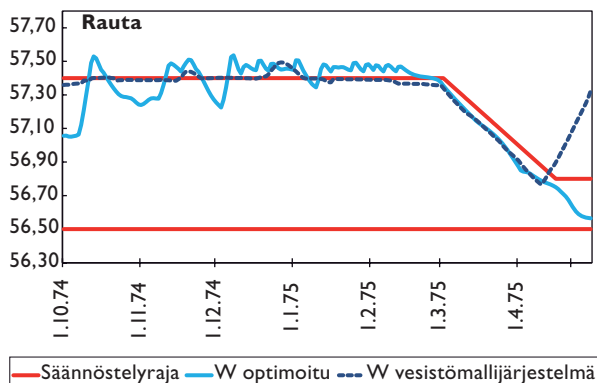
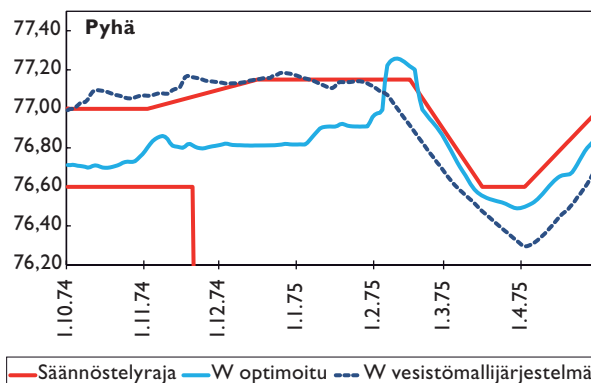
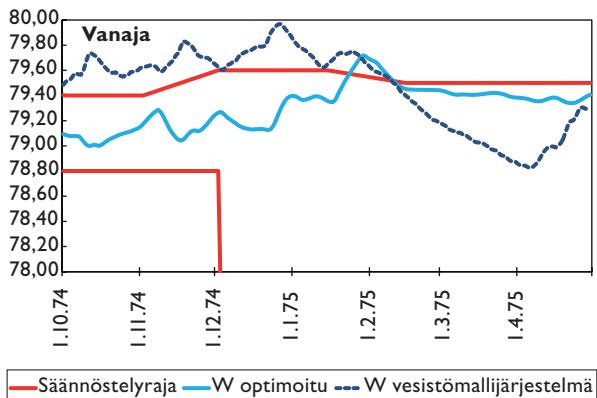
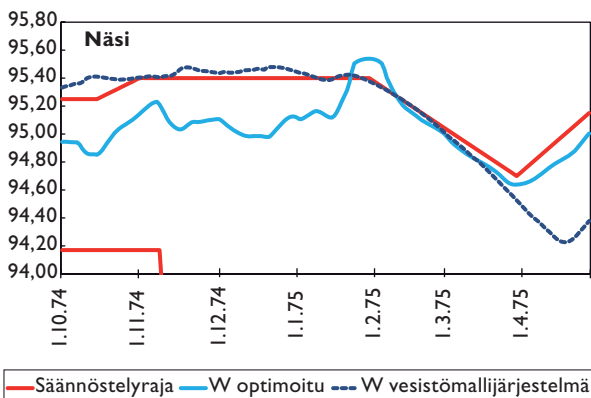
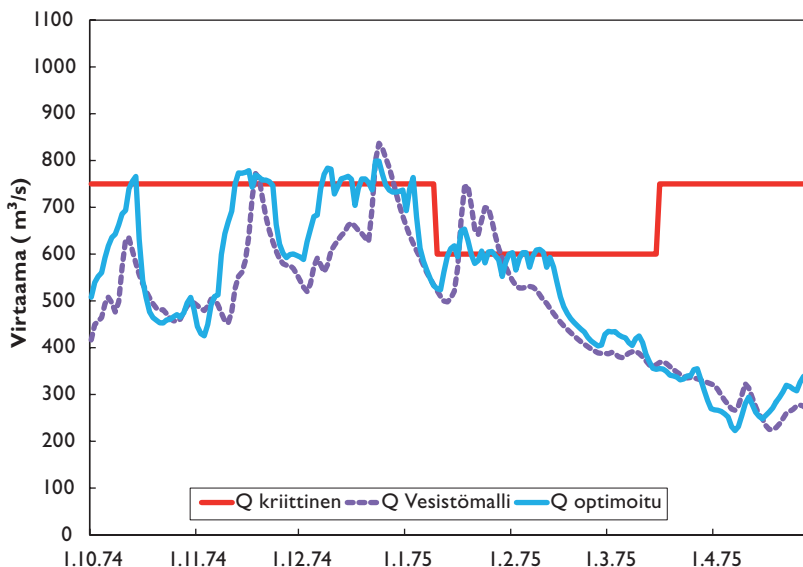
Samansuuntaisia tuloksia on nähtävissä myös muilla tarkastelluilla vuosilla. On huomattava, että kumpikaan säännöstelytapa ei ota kovin hyvin huomioon esim. eri voimalaitoksissa tapahtuvia hyhydeongelmia eikä pyri optimoimaan juoksutuksia lauhempien ja kovien pakkasjaksojen kesken. Todellisuudessa juoksutuksia jouduttaisiin todennäköisesti optimoimaan päivittäisistä lämpötiloista riippuen, mikäli virtaamat näyttäisivät väistämättä ylittävän tulvavahinkojen rajat.

Säännöstelyt optimoivaa mallia on käytetty arvioitaessa syys- ja talvitulviin varautuvaa järvien vedenpinnan lähtötasoa. Yläpuolisten järvien säännöstely on tiettyyn rajaan saakka tehokas keino pienentää Kokemäenjoen tulvien suuruutta. Ongelmana on, että säännöstely on sitä tehokkaampi apukeino, mitä pienemmästä tulvasta on kysymys. Sen avulla pystytään pienentämään keskikokoisia tulvia ja estämään vahinkojen syntymistä. Mutta mitä suurempaa ja harvinaisempaa tulvaa tarkastellaan, sitä rajallisempia ovat säännöstelyn vaikutusmahdollisuudet. Jos kyseessä on poikkeuksellisen suuri tulva, jonka toistumisaika on esimerkiksi kerran 100 vuodessa, tulva-aikana yläpuolisten järvien vedenkorkeudet ovat nousseet korkealle. Tällöin

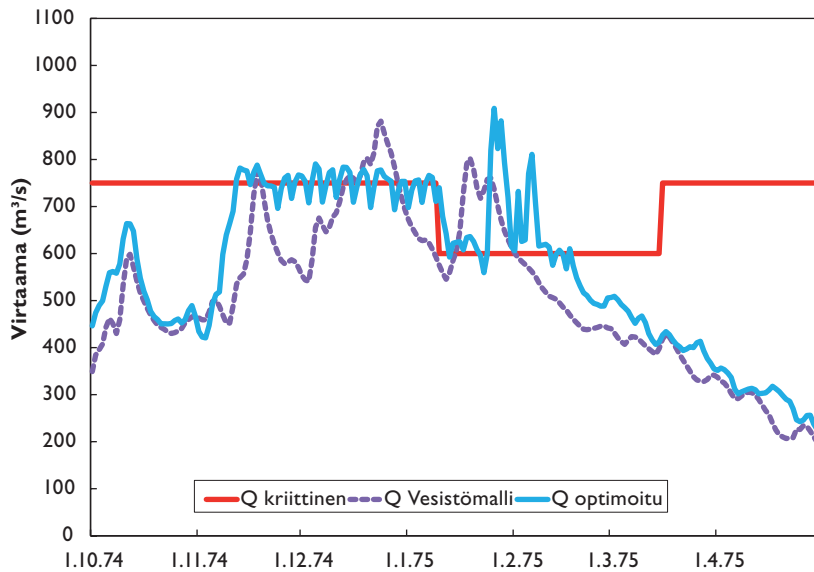
niiden käytettävissä oleva varastotilavuus on tavanomaista pienempi ja siten mahdollisuudet pienentää juoksutuksia ovat vähäisempiä kuin pienemmillä tulvilla. Ongelman muodostavat myös useamman huipun sisältävät tulvat, jollainen myös vuoden 1974–75 talvitulva oli. Tällöin voidaan järvien varastotilavuutta käyttää ensimmäisen tulvan torjumiseen ja toisen tulvahuipun syntyessä ei varastotilavuutta enää ole jäljellä. Säännusteet ovat luotettavia pääsäännöllisesti noin viisi vuorokautta eteenpäin, joten esim. rankoista sateista johtuvaa toista virtaamahuippua ei todennäköisesti pystytä ennakoimaan kovin paljoa etukäteen. Koska suuren tulvan tapauksessa säännöstelyn vaikutuskeinot ovat rajalliset, tulisi säännöstelyn olla vain yksi osa tulvatorjunnan keinoista Kokemäenjoella.

Kuva 31. Talven 1974–75 Harjavallan virtaamat. Vertailukohtana Vesistömallijärjestelmän Harjavallan simuloitu virtaama.

Kuva 32. ↓ Talven 1974–75 vedenkorkeudet optimoiduissa järviissä. Vertailukohtana Vesistömallijärjestelmän simuloitut vedenkorkeudet.

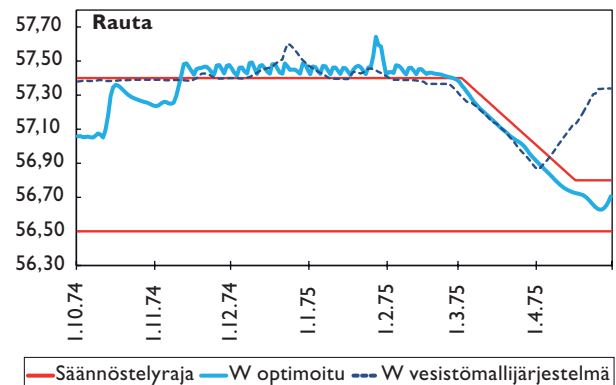
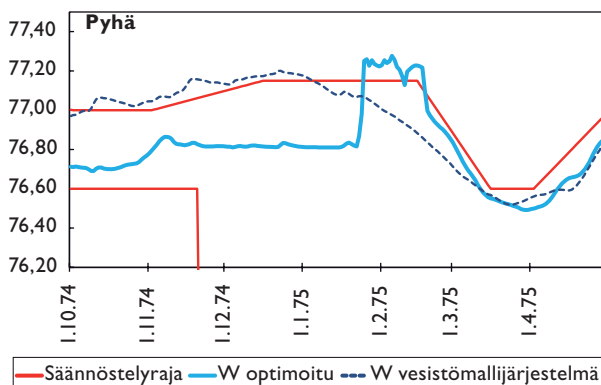
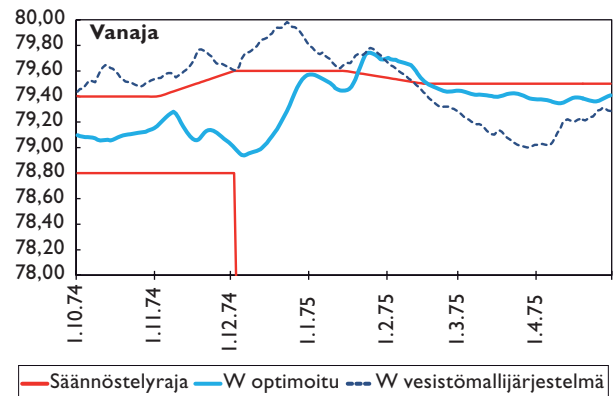
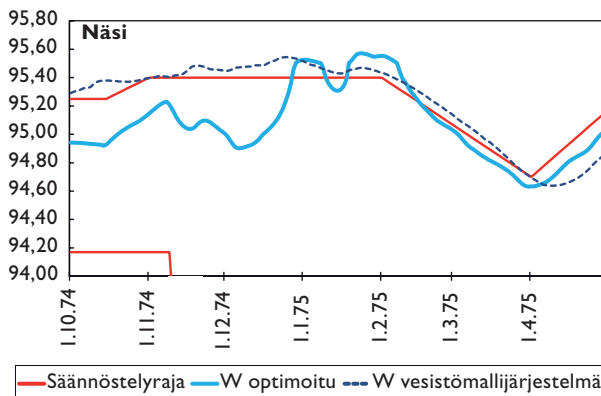


Säännöstelyn lisäksi muita merkittäviä tulvatorjunnan keinoja Kokemäenjoella ovat mm. maankäytön ohjaus, pengerrykset, ruoppaukset ja Säpilän mutkan oikaisu. Lupahakemusvaiheessa Varsinais-Suomen ELY-keskuksessa olevan Säpilän mutkan oikaisun vaikutusta ei ole tässä tutkimuksessa tarkasteltu, mutta toteutuessaan se alentaa tulvan aikaisia vedenkorkeuksia Kokemäenjoen keskiosan eri kohdilla 0,2–1,0 m (Aaltonen 2010). Oikaisu-uoma mahdollistaisi Kokemäenjoen 600 m³/s virtaaman kasvattamisen noin 80 m³/s:lla ilman että keskiosan vedenkorkeudet nousisivat nykyisestä. Tämä mahdollistaa runsasvetisinä aikoina suuremmat juoksutuksen järkevistä ja siten niiden varastotilan säilyttämisen. Lisäksi järvien täytyttyä ensimmäisen tulvahuipun aikana, uoma parantaa mahdollisuutta varautua toiseen tulvahuippuun vedenkorkeuksia alentamalla.



Kuva 33. Talve 1974–75 vastaavat Harjavallan virtaamat jaksolla 2010–39 (skenaario I). Vertailukohtana Vesistömallijärjestelmän Harjavallan simuloitu virtaama.

Kuva 34. ↓ Ilmastonmuutosjakson 2010–39 (skenaario I) talvea 1974–75 vastaavat järvien vedenkorkeudet. Vertailukohtana Vesistömallijärjestelmän simuloimat vedenkorkeudet.



Tulvantorjunnan toimintasuunnitelmiin kerätään tärkeää tietoa tulviin varautumista ja tulvan aikaista toimintaa varten. Kokemäenjoen säännöstelyssä tärkeää olisi ennakoiti ja vesistön kokonaisvaltainen tarkastelu, jotta kokonaisvahinkoja saadaan minimoitua. On tärkeää tietää, mille korkeudelle yläpuolisia järviä voidaan hätätapauksessa nostaa ilman, että aiheutetaan suurta vahinkoa. Pirkanmaan, Varsinais-Suomen ja Satakunnan ELY-keskuksissa on kerätty tietoa vahingoista osana tulvantorjunnan toimintasuunnitelman tekoa.

6.3.3

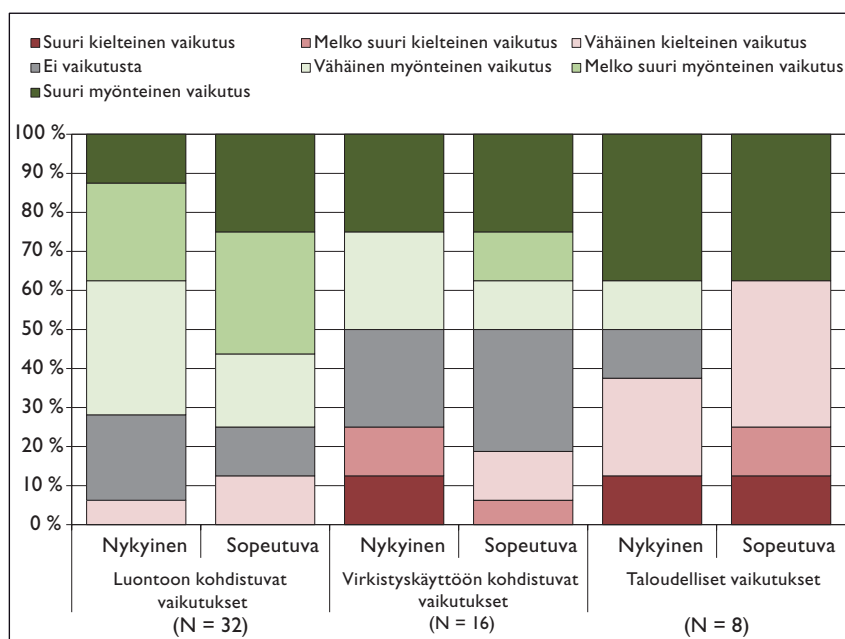
Vaikutustarkastelut

Vaikutukset yleisesti

Kokemäenjoen vesistöalueella vaikutuksia tarkasteltiin Näsijärvellä ja Vanajavedellä neljällä skenaariolla 14 mittarilla (Liite 2, Taulukko 1). Lisäksi neljällä mittarilla arvioitiin laajemmin vaikutuksia Kokemäenjoen vesistöalueella (Liite 2, Taulukko 1). Tarkastellut skenaariot olivat 1 (Ka A1B), 11 (CCSM3 A2), 13 (RCA3(C4I) Had A1B) ja 14 RCA3 Ech5 A1B 50 (katso Taulukko 3). Tarkasteluiden perusteella skenaarioiden välillä on kummallakin järvellä suurempia eroja kuin juoksutusikäntöjen välillä. Sopeutuvassa vaihtoehdossa mahdollisuus kielteisiin vaikutuksiin on kuitenkin hiukan pienempi ja myönteisiin suurempi kuin nykyisessä juoksutusikäntössä.

Näsijärvellä ei tarkastelujaksolla 2010–39 tapahdu melko suuria tai suuria kielteisiä muutoksia lainkaan kummassakaan vaihtoehdossa (Liite 2, Kuva 3). Jälkimmäisellä jaksolla vastaavia muutoksia tapahtuu sopeutuvassa vaihtoehdossa 5 % (nykykäytännössä 9 %) mittareista (Kuva 35). Huomattavimmat kielteiset vaikutukset kohdistuvat kummallakin juoksutuksella virkistyskäyttöön ja vesiliikenteeseen. Melko suuria tai suuria myönteisiä muutoksia tapahtuu sopeutuvassa vaihtoehdossa ensimmäisellä tarkastelujaksolla 30 % (45 %) ja jälkimmäisellä 34 % (48 %) mittareista. Eniten myönteisiä vaikutuksia kohdistuu kummallakin tarkastelujaksolla vesiluonnon mittareihin. Vanajavedellä tapahtuu tarkastelujaksolla 2010–39 melko suuria tai suuria kielteisiä muutoksia sopeutuvassa vaihtoehdossa 4 % (nykykäytännössä 5 %) mittareista (Liite 2, Kuva 4). Jälkimmäisellä jaksolla vastaavia muutoksia tapahtuu 2 % (7 %) mittareista (Kuva 36). Melko suuria tai suuria myönteisiä muutoksia tapahtuu sopeutuvassa vaihtoehdossa ensimmäisellä tarkastelujaksolla 18 % (11 %) ja jälkimmäisellä

Kuva 35. Mittareiden muutosten prosenttiosuudet vaikutustyypeittäin Näsijärvellä tarkastelujaksolla 2040–69, kun vertailussa on mukana neljä ilmastonmuutoskenaariota.



23 % (20 %) mittareista. Huomattavimmat kielteiset vaikutukset kohdistuvat kummallakin tarkastelujaksolla vesiliikenteeseen. Osassa skenaarioista myös virkistyskäyttöön ja tulvavahinkoihin kohdistuu kielteisiä vaikutuksia. Eniten myönteisiä vaikutuksia kohdistuu kummallakin tarkastelujaksolla vesiluonnon mittareihin.

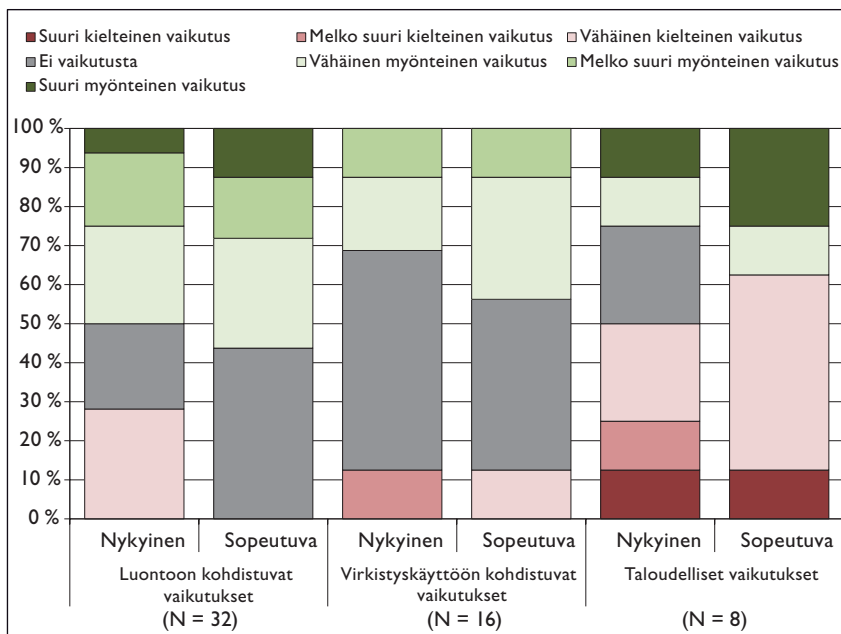
Vesiluontoon kohdistuvat vaikutukset

Vedenkorkeuden alenema talvella on kummallakin järvellä vertailujaksoa pienempi kaikissa skenaarioissa sekä nykyisellä että sopeutuvalla juoksutuksella. Tämän seurauksena jäätyvä ja jään painama rantavyöhyke pienentyvät ja se vaikuttaa myönteisesti mm. syyskutuisiin kaloihin, pohjalehtiskasvustoon ja rapukantoihin. Kevättulvan suuruus kuitenkin pienenee, mikä vaikuttaa kielteisesti kevätkutuisiin kaloihin ja rannan vyöhykkeisyyteen, jolloin esim. sarakasvillisuusvyöhyke kapenee. Vedenpinnan nousu lintujen pesintäaikaana on kummallakin järvellä molemmilla tarkastelujaksolla valtaosassa skenaarioita pienempi kuin vertailujaksolla. Ainoastaan Vanajavedellä nykyisellä säännöstelyvaihtoehdolla skenaarioissa 1 (Ka A1B) ja 11 (CCSM3 A2) jälkimmäisellä tarkastelujaksolla vedenpinnan nousu on vertailujaksoa suurempi.

Virkistyskäyttöön kohdistuvat vaikutukset

Näsjärvellä touko-lokakuun virkistyskäytön kannalta vaikutukset ovat ensimmäisellä tarkastelujaksolla pääosin myönteisiä, mutta jälkimmäisellä vaihtelua on enemmän. Sopeutuvalla juoksutuksella vaikutukset ovat nykyistä juoksutusta hiukan myönteisempiä kummallakin tarkastelujaksolla. Jälkimmäisellä tarkastelujaksolla skenaarioissa 1 (Ka A1B) ja 11 (CCSM3 A2) vaikutukset ovat kuitenkin kummallakin vaihtoehdolla kielteisiä. Tämä johtuu etenkin alkukesän matalista vedenkorkeuksista, minkä takia vedenkorkeus on virkistyskäytön kannalta hyvällä tasolla vertailujaksoa harvemmin.

Vanajavedellä vaikutukset vaihtelevat kummallakin tarkastelujaksolla skenaarioiden välillä, mutta vaikutusten suuruus ei ole yhdessäkään skenaariossa suuri. Jälkimmäisellä tarkastelujaksolla virkistyskäyttöön kohdistuvien vaikutusten määrä on pienempi kuin ensimmäisellä. Myös Vanajavedellä alkukesän alhaiset vedenkorkeudet haittaavat virkistyskäyttöä. Tarkastelujaksolla 2040–69 virkistyskäytön kannalta hyvä vedenkorkeuden taso saavutetaan 4–30 vuorokautta myöhemmin kuin vertailujaksolla.



Kuva 36. Mittareiden muutosten prosenttiosuudet vaikutustyypeittäin Vanajavedellä tarkastelujaksolla 2040–69, kun vertailussa on mukana neljä ilmastonmuutosskenaariota.

Taloudelliset vaikutukset

Tulvien lukumäärät ja niiden aiheuttamat taloudelliset haitat vaihtelevat skenaarioissa ja tarkastelujaksolla paljon. Tarkastelujaksolla 2010–39 korkeiden vedenkorkeuksien aiheuttamat tulvavahingot ovat Näsijärvellä vertailujaksoa pienempiä kaikissa skenaarioissa ja Vanajavedellä skenaariota 13 (RCA3 (C4I) Had A1B) lukuun ottamatta kaikissa. Tarkastelujaksolla 2040–69 haitan määrä on Näsijärvellä ainoastaan skenaariossa 13 (RCA3(C4I) Had A1B) suurempi kuin vertailujaksolla. Vanajavedellä haitan määrä on tämän lisäksi vertailujaksoa suurempi myös skenaariossa 1 (Ka A1B) nykykäytännöllä. Kokemäenjoen keskiosassa suuria virtaamia esiintyy kaikissa skenaarioissa kummallakin säännöstelyvaihtoehdolla vertailujaksoa useammin.

Vesivoimalaitosten keskimääräinen vuosituotanto vaihtelee enemmän skenaarioiden kuin juoksutuskäytäntöjen välillä. Keskimääräinen energiantuotanto kasvaa skenaariota 1 (Ka A1B) lukuun ottamatta kummallakin tarkastelujaksolla. Skenaariossa 1 keskimääräinen energiantuotanto on kummallakin tarkastelujaksolla sekä sopeutuvassa että nykyisessä juoksutuksessa n. 2–3 % vertailujaksoa pienempi. Muissa skenaariossa keskimääräinen energiantuotanto on tarkastelujaksolla 2010–39 kummallakin säännöstelyvaihtoehdolla 1–9 % ja jälkimmäisellä jaksolla sopeutuvalla vaihtoehdolla n. 1–10 % vertailujaksoa suurempi.

Yhteenveto

Taulukossa 8 on esitetty yhteenveto skenaarioiden vaikutuksista vertailujaksoon verrattuna tarkastelujaksolla 2040–69. Tarkastelujakson 2010–39 yhteenveto on esitetty Liitteen 2 Taulukossa 5.

Valtaosa vaikutuksista aiheutuu talvikauden vedenkorkeuden muutoksesta verrattuna nykytilaan ja alkukesän alenevista vedenkorkeuksista. Talvialeneman pienentyminen tai jopa poistuminen vaikuttaa myönteisesti osaan vesiluonnon tilaa kuvaavista mittareista, mutta toisaalta matala kevättulva saattaa vaikuttaa osaan niistä kielteisesti. Lisäksi etenkin alkukesän matalat vedenkorkeudet aiheuttavat haittaa virkistyskäytölle. Tulvien aiheuttamat taloudelliset vahingot järvillä ovat valtaosassa skenaarioita pienempiä kuin vertailujaksolla, mutta Kokemäenjoen ylivirtaamien lukumäärä on suurempi. Virtaamat eivät kuitenkaan kasva vuodenajoittain tasaisesti, mikä vaikuttaa energiantuotantoon: tuotetun energian määrä kasvaa vain yhdessä skenaariossa, mutta ohijuoksutusten määrät kaikissa skenaarioissa.

Taulukko 8. Yhteenveto ilmastonmuutosskenaarioiden vaikutuksista Näsijärvellä ja Vanajavedellä tarkastelujaksolla 2040–69. Vaikutusta on verrattu vertailujaksoon 1971–2000.

Arviointiasteikko: --- = suuri kielteinen vaikutus, -- = melko suuri kielteinen vaikutus, - = vähäinen kielteinen vaikutus, 0 = ei vaikutusta, + = vähäinen myönteinen vaikutus, ++ = melko suuri myönteinen vaikutus, +++ = suuri myönteinen vaikutus.

	Skenaario I Ka AIB		Skenaario I3 RCA3(C4I) Had AIB		Skenaario II CCSM3 A2		Skenaario I4 RCA3 Ech5 AIB 50	
	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva
NÄSIJÄRVI								
Rantavyöhyke	0	+	+	+	0	+	+	0
Kalakannat	++	+++	++	+++	++	+++	++	+++
Linnusto	+	++	+	++	+	++	+	++
Virkistyskäyttö	-	-	++	++	-	0	++	++
Vesiliikenne	-	-	0	-	-	--	+	-
Tulvavahingot	+++	+++	---	---	+++	+++	+++	+++
VANAJAVESI								
Rantavyöhyke	0	0	0	0	0	0	0	0
Kalakannat	0	+	+	++	0	+	0	++
Linnusto	-	0	0	+	-	0	0	+
Virkistyskäyttö	0	0	0	+	0	0	0	0
Vesiliikenne	-	-	0	-	-	-	0	-
Tulvavahingot	--	+	---	---	+	+++	+++	+++
KOKEMÄENJOKI								
Tulvat	---	--	---	---	--	-	-	-
Energiantuotanto	-	-	++	++	0	0		

6.3.4

Porin hyderiskitarkastelut

Tämä hankkeen osa on tehty yhteistyössä ”Jokijäät ja ilmastonmuutos” -projektin kanssa (Aaltonen ym. 2010). Hyyteen syntyminen edellyttää veden alijäähtymistä jäätympisteensä alapuolelle. Tämä tapahtuu, kun veden hetkellisesti luovuttaman lämpöenergian määrä nousee suureksi. Tällaiset olosuhteet syntyvät, kun ilman lämpötila on alhainen (-6 °C tai alempi) ja kun jääkantta ei vielä ole. Joessa pyörteinen virtaus sekoittaa alijäähtynyttä vettä ja hyyteen muodostusta tapahtuu koko joen syvyydeltä. (Daly 1991) Hyyteen muodostumiselle kriittiseksi ilmanlämpötilaksi on esitetty mm. -6 °C tai alempi (Daly 1991) tai -8 °C tai alempi (USACE 2002). Selkeä ja tuulinen sää edesauttavat veden alijäähtymistä.

Kun tiedetään, että kylmä ilman lämpötila yhdessä suuren, jääkannen muodostumista estävän virtaaman kanssa edesauttavat haitallisen hyyteen muodostumista, voidaan näistä tehtyjen havaintojen tai laskentatulosten avulla arvioida hyyderiskiä. Kolmanneksi parametriksi voidaan ottaa lisäksi arvio jääkannen paksuudesta, joka voidaan selvittää karkeasti esimerkiksi pakkassummamenetelmän avulla. Tämä yksinkertainen menetelmä ei ota huomioon esimerkiksi pitempään auki pysyviä koskipaikkoja.

Edellä kuvattujen ehtojen toteutuminen voidaan helposti selvittää taulukkolaskentaohjelman avulla, jos ilman lämpötila, virtaama ja valinnainen jäänpaksuus ovat omina aikasarjoinaan. Muodostamalla kustakin suureesta samankokoinen matriisi ja antamalla kullekin jokin ehto, voidaan laskea niiden ajanhetkien summa, joissa kaikki annetut ehdot toteutuvat.

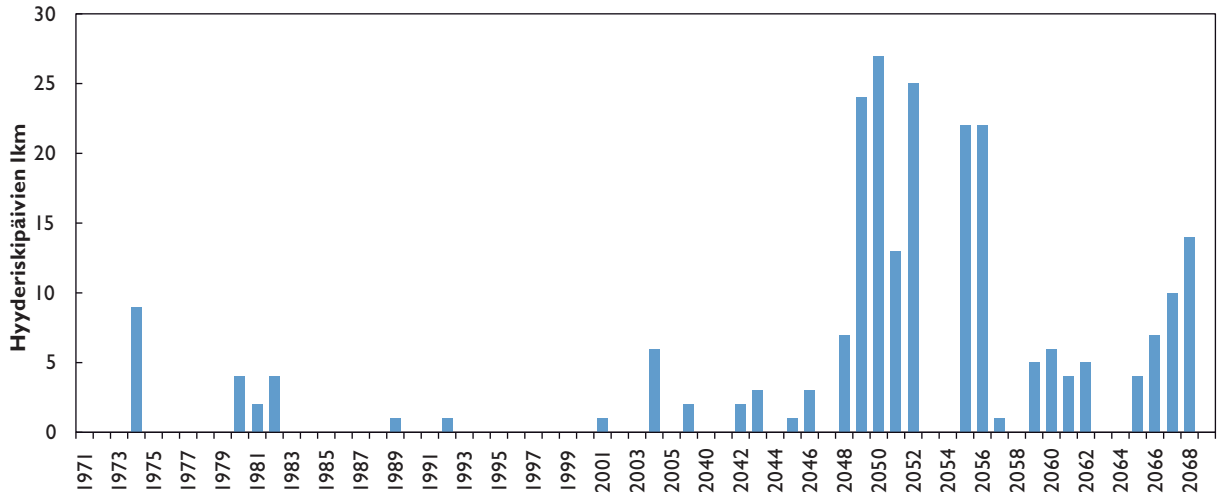
Edellä kuvattua menetelmää sovellettiin Porin kaupungin kohdalla. Ilman lämpötilan ja virtaaman kynnsarvoja arvioitiin havaittujen hyydetalvien avulla. Tavoitteena oli saada havaituille hyydetalville arvot täyttäviä hyyderiskipäiviä ja mahdollisimman vähän muita hyyderiskipäiviä sisältäviä talvia. Koska jäänpaksuuslaskentaa ei käytetty, lisättiin kynnsarvoksi vähintään -1 °C ilman lämpötilan viikkokeskiarvo. Tällä pyrittiin eliminoimaan hyyteen muodostumisen kannalta liian lämmin jokivesi. Havaitut hyydeltalvet (1974–75, 1981–82, 1982–83 ja 2004–05) saavutettiin kynnsarvoilla $Q > 400\text{ m}^3/\text{s}$ ja $T \leq -4\text{ °C}$. Havaittujen talvien lisäksi havaintoihin perustuvalta kalibrointijaksolta 1971–2007 lukeutui mukaan viisi talvea, joissa hyyderiskipäiviä oli 1–4 kpl.

Tulevaisuuden hyyderiskipäiviä tarkasteltiin neljän, jaksolle 2040–69 sijoittuvan ilmastonmuutosskenaarion avulla. Skenaarit valittiin yhteensä 14 eri skenaarion joukosta siten, että ne kuvaavat kattavasti mahdollisia vesistön hydrologisia muutoksia. Skenaario 1 (Ka A1B) on keskimääräinen skenaario, skenaarit 11 (CCSM3 A2), 13 (RCA3(C4I) Had A1B) ja 14 (RCA3 Ech5 A1B 50) kuvaavat ilmastonmuutoksen erilaisia mahdollisia vaikutuksia (keskimääräistä lämpimämpi, märempi ja kylmempi skenaario). Säännöstelykäytännön osalta nykyisiä käytäntöjä on muutettu vain vähän (kappaleen 6.3.1. nykyisen kaltainen säännöstely).

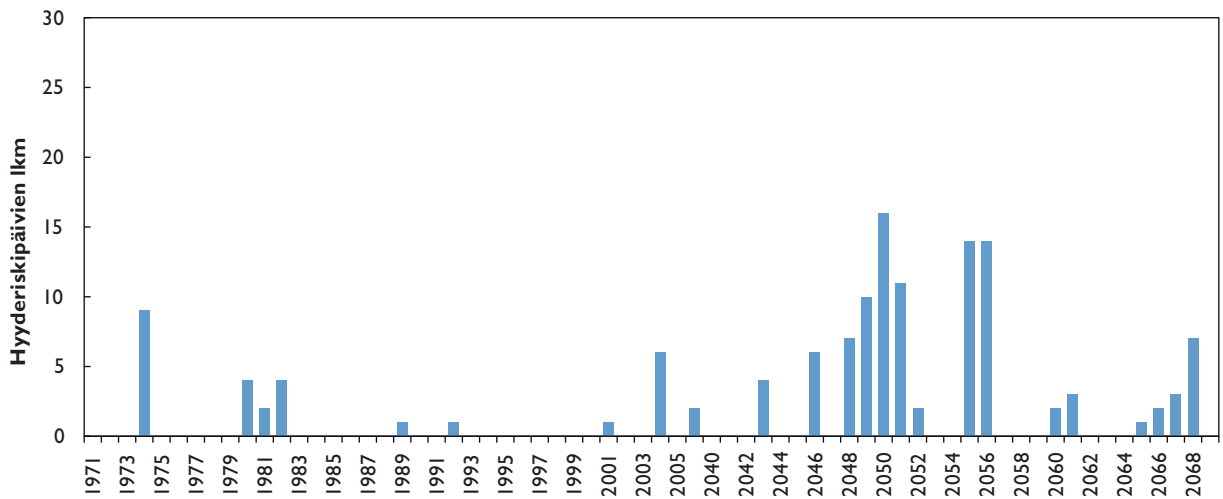
Havaitulla jaksolla hyyderiskipäivätarkastelu antoi yhteensä 30 hyyderiskipäivää 9 talven aikana. Ilmastonmuutosskenaarioilla hyyderiskipäivien lukumäärä vaihteli 102–230 päivän välillä ja talvien lukumäärä 15–22 välillä (Kuvat 37 ja 38). Pienin hyyderiskipäivämäärä saavutettiin skenaariolla 14 (RCA3 Ech5 A1B 50), jossa lämpötilan nousut ovat keskimääräistä pienempiä (102 päivää, 15 talvea) ja suurin skenaariolla 13 (RCA3(C4I) Had A1B), jossa sadannan kasvut ovat keskimääräistä suurempia (230 päivää, 22 talvea). Kuvissa 37 ja 38 on esitetty hyyderiskipäivien lukumäärät havaitulla 1971–2007 jaksolla ja ilmastonmuutosjaksolla 2040–69 skenaarioilla 11 ja 14 (11 on lämmin ja 14 kylmä skenaario).

Kun tarkasteltiin hyyderiskipäivien kuukausittaista jakautumista loka-helmikuulle, tammikuu oli myös tulevaisuudessa kaikkein eniten hyyderiskipäiviä sisältävä kuukausi. Kuten Kuva 39 osoittaa, oli tulevaisuuden skenaarioissa myös muina kuukausina, etenkin joului- ja helmikuussa huomattava määrä hyyderiskipäiviä. Hyyderiskipäiviä esiintyi paljon myös maaliskuussa.

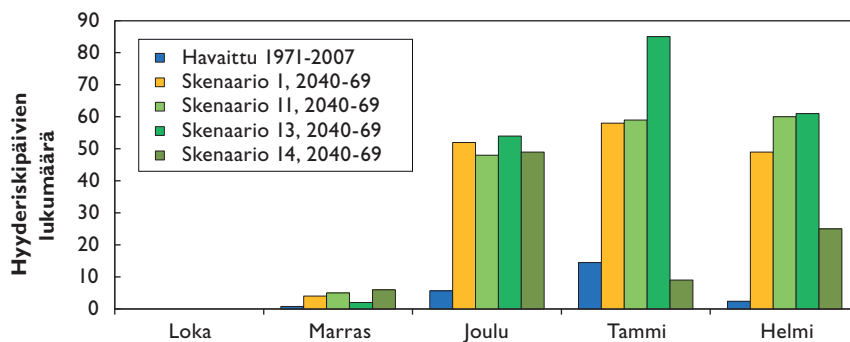
Vaikka hajonta sekä talvien että päivien määrän välillä oli suurta, on tuloksista kuitenkin nähtävissä hyyderiskipäivien selvästi kohonnut määrä tulevaisuudessa. Hyyderiskipäivien määrän kasvun suurin tekijä on kasvava talviajan virtaama, joka hidastaa jääkannen syntymistä ja näin ollen yhdessä sään äkillisesti kylmetessä lisää riskiä. Säännöstelykäytännön vaikutus (luvun 6.3.1. nykyisen kaltainen tai sopeutuva säännöstelyvaihtoehto) hyyderiskipäiviä sisältävien talvien lukumäärään oli 1–3 talvea jaksolla 2040–69. Säännöstelykäytännön vaikutus hyyderiskipäiviä sisältävien talvien hyyderiskipäivien lukumäärään oli myös vähäinen, sillä erotukset hyyderiskipäivien lukumäärässä säännöstelykäytännöstä riippuen olivat välillä 0–1 päivää. Lyhytaikaissäännöstelyllä, jota ei simuloituissa virtaamissa ole huomioitu, voidaan vaikuttaa merkittävästi hyyteen muodostumiseen. Yläpuolisten järvien juoksutuksia säätämällä Kokemäenjoen virtaamaa voidaan pienentää hyyderiskipäivien aikana ja jokeen voidaan luoda jääkannen muodostumisen kannalta sopivat olosuhteet virtaamia pienentämällä.



Kuva 37. Hyyderiskipäivien vuosittainen lukumäärä havaitulla jaksolla 1971–2007 ja skenaariolla II (CCSM3 A2, lämmin skenaario) jaksolla 2040–69.



Kuva 38. Hyyderiskipäivien vuosittainen lukumäärä havaitulla jaksolla 1971–2007 ja skenaariolla I4 (RCA3 Ech5 A1B 50, kylmä skenaario) jaksolla 2040–69.



Kuva 39. Hyyderiskipäivien kuukausittaiset summat havaitulla jaksolla 1971–2007 ja neljällä ilmastomuutosskenaariolla jaksolla 2040–69. Havaintojakson arvot on skaalattu vastaamaan 30 vuoden jaksota.

Karvianjoki

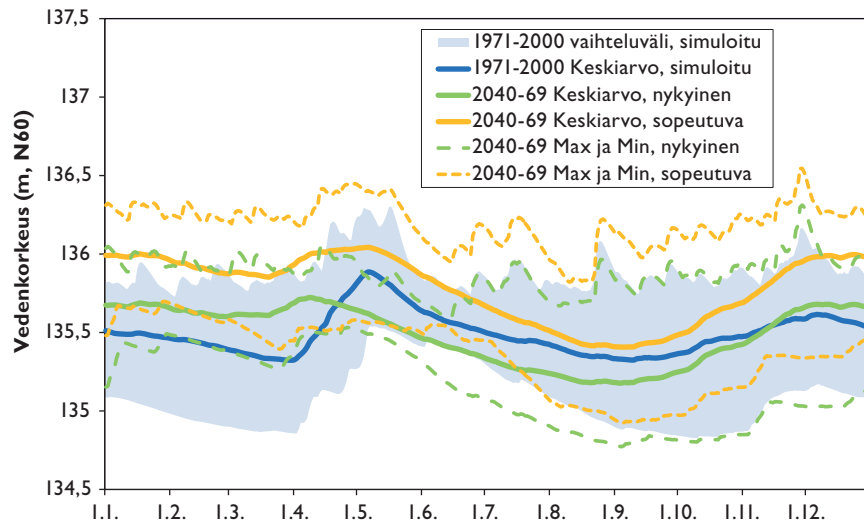
6.4.1

Hydrologiset skenaariot

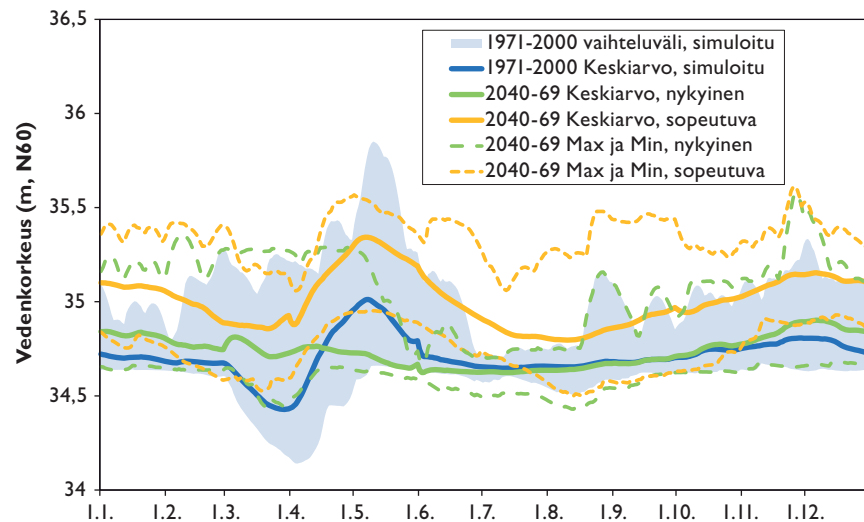
Karvianjoen vesistössä nykyiset säännöstelyluvut ovat osoittautuneet epäkäytännöllisiksi jo nykyisessä ilmastossa. Säännöstelykäytäntöjen kehittämistä arvioidaan tarkemmin meneillään olevassa Karvianjoen säännöstelyprojektissa, jossa ehdotetaan uusia säännöstelyvaihtoehtoja muun muassa Isojärvelle, Karhijärvelle ja Karvianjärvelle. WaterAdapt-hankkeessa on tutkittu eri säännöstelyvaihtoehtojen toimivuutta tulevassa ilmastossa.

Tarkasteltujen järvien nykyiset säännöstelykäytännöt osoittautuvat tulevaisuudessa ongelmallisiksi erityisesti kesän tavoitekorkeuksien saavuttamisen kannalta. Jaksolla 2040–69 Karvianjärven (Kuva 40) ja Isojärven (Kuva 41) vedenkorkeudet jäävät nykyisiä lupaehdoja noudatettaessa kesällä keskimäärin referenssijakson minimivedenkorkeuksien tasolle ja minimivedenkorkeudet alenevat Karvianjärvellä noin 20 cm ja Isojärvellä noin 10 cm referenssijaksoon verrattuna. Karvianjoen säännöstelyprojektissa esitetystä vaihtoehdosta, jossa Isojärven sopeutuvalla säännöstelyllä sekä

Kuva 40. Karvianjärven vedenkorkeuden keskiarvo, minimi ja maksimi referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla.



Kuva 41. Isojärven vedenkorkeuden keskiarvo, minimi ja maksimi referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla.



Karvianjärven säännöstelyn aloittamisella vedenpintoja nostettaisiin keväällä nykyistä korkeammalle, kesän tavoitekorkeudet saavutettaisiin huomattavasti nykyistä säännöstelykäytäntöä paremmin. Vedenpintojen nostaminen keväällä edesauttaisi myös jokien virkistyskäyttöä – melontaa ja kalastusta –, kun säännöstellyistä järivistä voitaisiin kesällä juoksuttaa suurempia vesimääriä. Toisaalta vaihtoehtoisella säännöstelyllä voi olla myös maatalouden kannalta haitallisia vaikutuksia, jos keväinen vedenpintojen nosto vaikeuttaa peltojen kylvöä.

Karvianjoen vesistön suurimmat tulvat tulevat ilmastonmuutoksen seurauksena ajoittumaan tulevaisuudessa loppusyksyyn. Jokien virtaamat kasvavat myös talvella huomattavasti referenssijaksoon verrattuna. Kevään lumen sulamisesta aiheutuvat tulvat sen sijaan pienenevät ja tulevat olemaan jatkossa talvitulvien suuruisia.

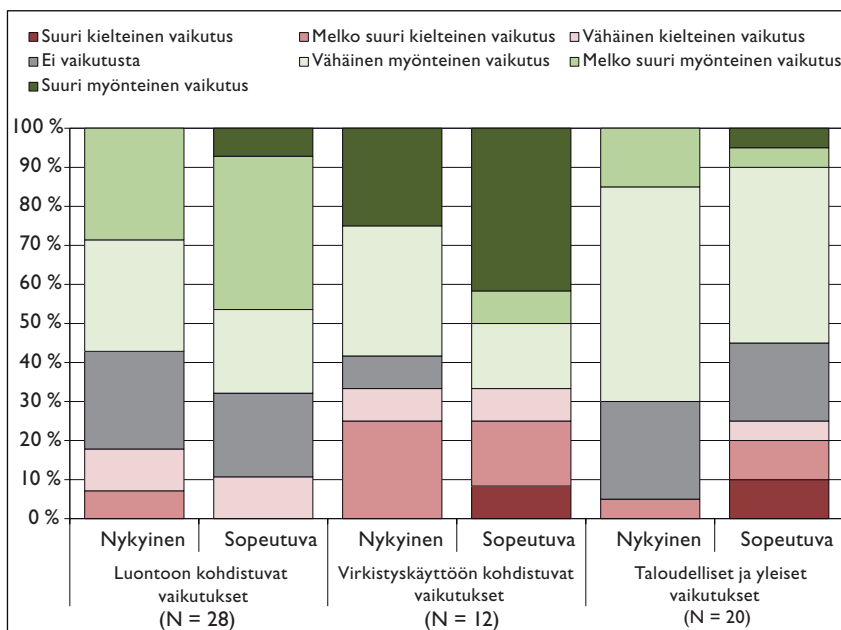
6.4.2

Vaikutustarkastelut

Vaikutukset yleisesti

Karvianjoen vesistöalueella vaikutuksia tarkasteltiin neljällä eri ilmastoskenaariolla. Karvianjärveä ja -jokea tarkasteltiin yhteensä 15 mittarilla sekä Isojärveä ja Merikarvianjokea yhteensä 17 mittarilla (Liite 2, Taulukko 1 ja 2). Tarkastellut skenaariot olivat 1 (Ka A1B), 15 (RCA Ec5 A1B), 17 (RCA3 Had A1B) ja 19 (HIRHAM ARP A1B) (katso Taulukko 3). Sekä Karvianjärvellä että Isojärvellä on sopeutuvassa säännöstelyvaihtoehdossa periaatteena ollut virkistyskäytön kannalta riittävän korkean vedenkorkeuden ylläpitäminen kesäaikana ja samalla alapuolisten jokien virtaamien ylläpitäminen vesiluonnon ja virkistyskäytön kannalta riittävänä.

Karvianjärvellä ja -joella tapahtuu jaksolla 2010–39 sopeutuvassa säännöstelyvaihtoehdossa melko suuria tai suuria kielteisiä vaikutuksia 15 % (nykykäytännössä 5 %) mittareista (Liite 2, Kuva 5). Melko suuria tai suuria myönteisiä tapahtuu sopeutuvassa vaihtoehdossa 25 % (8 %) mittareista. Jaksolla 2040–69 melko suuria tai suuria kielteisiä vaikutuksia tapahtuu sopeutuvassa vaihtoehdossa 12 % (10 %) ja vastaavia myönteisiä 35 % (23 %) mittareista (Kuva 42). Huomattavimmat kielteiset vaikutukset muodostuvat sopeutuvassa vaihtoehdossa taloudellisina haittoina maanviljelylle ja nykyvaihtoehdossa virkistyskäytölle. Huomattavimmat myönteiset vaikutukset kohdistuvat kummassakin vaihtoehdossa virkistyskäyttöön.



Kuva 42. Mittareiden muutosten prosenttiosuudet vaikutustyyppittäin Karvianjärvellä ja -joella tarkastelujaksolla 2040–69, kun vertailussa on mukana neljä ilmastomuutoskenaariota.

Isojärvellä ja Merikarvianjoella sopeutuvassa vaihtoehdossa tapahtuu tarkastelujaksolla 2010–39 melko suuria tai suuria kielteisiä vaikutuksia 17 % (nykykäytännössä 14 %) mittareista (Liite 2, Kuva 6) ja jaksolla 2040–69 8 % (25 %) mittareista (Kuva 43). Melko suuria tai suuria myönteisiä muutoksia tapahtuu sopeutuvassa vaihtoehdossa ensimmäisellä tarkastelujaksolla 23 % (2 %) ja jälkimmäisellä 23 % (5 %) mittareista. Huomattavimmat myönteiset vaikutukset kohdistuvat kummallakin tarkastelujaksolla vesiluonnon mittareihin ja huomattavimmat kielteiset taloudellisiin vaikutuksiin.

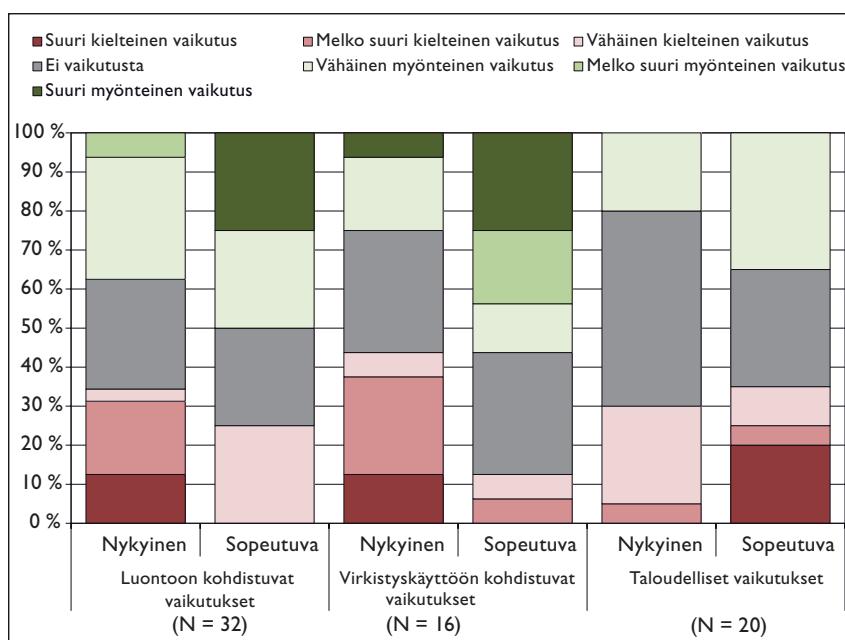
Vesiluontoon kohdistuvat vaikutukset

Vedenkorkeuden talvialenema on jokaisella järvellä vertailujaksoa pienempi kaikissa skenaarioissa sekä nykyisellä että sopeutuvalla juoksutuksella. Tämän seurauksena jäätyvä ja jäänpainama rantavyöhyke pienentyvät ja se vaikuttaa myönteisesti mm. syyskutuisiin kaloihin ja pohjalehtiskasvustoon. Nykykäytännössä kevättulvan suuruus kuitenkin pienenee, mikä vaikuttaa kielteisesti rannan vyöhykkeisyyteen ja saattaa aiheuttaa haittaa hauen lisääntymiselle järvissä. Nykykäytännössä myös Merikarvianjoen pienimmät virtaamat pienenevät, mikä saattaa vaikuttaa kielteisesti lohikaloihin. Sopeutuvassa vaihtoehdossa järvien vedenkorkeus nostetaan keväällä korkeammalle, jolloin edellä esitettyjä kielteisiä vaikutuksia ei esiinny.

Virkistyskäyttöön kohdistuvat vaikutukset

Kummallakin järvellä merkittävin virkistyskäyttöä haittaava tekijä on liian matala vedenkorkeus kesällä. Pieni kesäaikainen virtaama haittaa myös Merikarvianjoen virkistyskäyttöä. Nykyisellä säännöstelyvaihtoehdolla kesän alimmat vedenkorkeudet laskevat tulevaisuudessa. Sopeutuvassa vaihtoehdossa tähän varaudutaan nostamalla vedenkorkeutta keväällä runsaasti, jolloin vedenkorkeus ei alita hyväksi koetun virkistyskäyttötason alarajaa yhtä usein kuin nykykäytännössä. Samalla kuitenkin hyvän tason ylärajan ylityksiä esiintyy sopeutuvassa vaihtoehdossa nykykäytäntöä useammin. Kielteisenä vaikutuksena voidaan myös kokea vedenkorkeuden runsas vaihtelu kevättulvasta alkusyksyyn.

Kuva 43. Mittareiden muutosten prosenttiosuudet vaikutustyypeittäin Isojärvellä ja Merikarvianjoella tarkastelujaksolla 2040–69, kun vertailussa on mukana neljä ilmastonmuutosskenaariota.



Taloudelliset ja yleiset vaikutukset

Taloudelliset vaikutukset kohdistuvat alueen maanviljelijöihin, sillä vedenkorkeuden nostaminen keväällä aiheuttaa peltojen vettymistä. Nykyisessä säännöstelykäytännössä vettäminen on vähäistä. Sopeutuvassa vaihtoehdossa kuitenkin vedenkorkeuksia nostetaan kummallakin järvellä virkistyskäytön ja vesiluonnon kannalta otollisesti etenkin alkukesästä runsaasti, jolloin vettäminen tapahtuu nykyistä huomattavasti enemmän.

Karvianjoella keskimääräinen energiantuotanto on tarkastelujaksolla 2010–39 sopeutuvassa vaihtoehdossa n. 8–15 % (nykykäytännössä n. 5–13 %) ja jälkimmäisellä jaksolla n. 3–18 % (n. 1–16 %) vertailujaksoa suurempi. Merikarvianjoella keskimääräinen energiantuotanto kasvaa skenaarioita 1 (Ka A1B) ja 18 (HadRM Had A1B) lukuun ottamatta. Mainituissa skenaarioissa keskimääräinen tuotanto on nykykäytännössä jaksolla 2040–69 n. 3–7 % vertailujaksoa pienempi, mutta sopeutuvassa vaihtoehdossa n. 2–5 % vertailujaksoa suurempi. Muissa skenaarioissa tuotanto on tarkastelujaksolla 2010–39 sopeutuvassa vaihtoehdossa n. 8–9 % (nykykäytännössä n. 0–2 %) ja jälkimmäisellä jaksolla n. 5–9 % (n. 0–2 %) vertailujaksoa suurempi.

Taulukko 9. Yhteenvedo ilmastonmuutosskenaarioiden vaikutuksista Karvianjärvellä ja -joella sekä Isojärvellä ja Merikarvianjoella tarkastelujaksolla 2040–69. Vaikutusta on verrattu vertailujaksoon 1971–2000.

Arviointiasteikko: --- = suuri kielteinen vaikutus, -- = melko suuri kielteinen vaikutus, - = vähäinen kielteinen vaikutus, 0 = ei vaikutusta, + = vähäinen myönteinen vaikutus, ++ = melko suuri myönteinen vaikutus, +++ = suuri myönteinen vaikutus.

	Skenaario 1 Ka A1B		Skenaario 19 HIRHAM ARP A1B		Skenaario 15 RCA3 Ec5 A1B		Skenaario 17 RCA3 Had A1B	
	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva
KARVIANJÄRVI								
Rantavyöhyke	0	+	+	++	0	+	-	+
Kalakannat	+	+	++	+++	+	+	0	+
Linnusto	0	0	0	0	0	0	0	0
Virkistyskäyttö	-	0	-	0	-	+	0	0
Taloudelliset vaikutukset	+	-	++	-	0	--	0	--
KARVIANJOKI								
Virkistyskäyttö	+++	+++	+	+	+++	+++	+++	+++
Tulvat	+	+	+	+	0	+	+	+
Energiantuotanto	+	+	+	+	+	+	++	++
ISOJÄRVI								
Rantavyöhyke	-	+	-	+	-	0	-	0
Kalakannat	+	++	+	++	0	+	0	+
Linnusto	0	0	0	0	0	0	0	0
Virkistyskäyttö	+++	-	-	+++	-	+++	+	++
Taloudelliset vaikutukset	+	---	+	---	0	---	-	---
MERIKARVIANJOKI								
Kalakannat	--	+	---	+	-	+	0	+
Virkistyskäyttö	---	0	0	++	-	++	-	0
Tulvat	0	+	+	+	0	+	0	0
Energiantuotanto	-	0	-	0	+	0	--	-

Yhteenveto

Taulukossa 9 on esitetty yhteenveto skenaarioiden vaikutuksista vertailujaksoon verrattuna tarkastelujaksolla 2040–69. Tarkastelujakson 2010–39 yhteenveto on esitetty Liitteen 2 Taulukossa 6. Tuloksia tarkastellessa on otettava huomioon, että sopeutuvassa vaihtoehdossa on lähtökohtana ollut parantaa olosuhteita virkistyskäytön ja vesiluonnon kannalta. Tavoitteiden saavuttamiseksi asetetut vedenkorkeudet kuitenkin aiheuttavat peltojen vettymistä ja taloudellista haittaa maanviljelylle. Nykykäytännössä sen sijaan eniten haittaa kohdistuu virkistyskäytölle ja vesiluonnolle.

6.5

Oulujoki

6.5.1

Hydrologiset skenaariot

Oulujoen vesistössä ilmastonmuutosjakson hydrologiset simuloinnit on tehty referenssijaksosta vähän muutetulla, nykyisiä lupaehtoja noudattavilla säännöstelyvaihtoehdolla, sekä voimakkaammin muutetulla ilmastonmuutokseen sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla. Oulujärven yläpuolisissa säännöstelyissä järvissä nykyisten lupaehtojen mukaiset kevätkuopat aiheuttavat tulevaisuudessa ongelmia kesän tavoitekorkeuksien saavuttamisessa. Tämän lisäksi syksyn ja alkutalven sademäärien kasvu ja talven viivästyminen lisäävät tulvariskiä Oulujärvellä ja erityisesti Oulujoen alajuoksulla, jossa alkutalven virtaamien kasvu voi aiheuttaa entistä useammin hyideongelmia. Oulujoen vesistössä ilmastonmuutoksen vaikutuksiin voidaan kuitenkin sopeutua säännöstelykäytäntöjä ja nykyisiä lupaehtoja muuttamalla.

Tulosten perusteella nykyisten säännöstelylupien mukainen säännöstely toimii kohtuullisen hyvin vielä lähitulevaisuudessa, jaksolla 2010–39 (Liite 1, Kuvat 11–13). Suurimmat muutokset näkyvät syys- ja talvivirtaamien kasvussa, mikä saattaa joissakin tapauksissa johtaa säännöstelyn ylärajojen ylitykseen. Myös kesän minimivedenkorkeudet alenevat huomattavasti referenssijakson vedenkorkeuksista. Tämä johtuu lumipeitteen vähenemisestä sekä kevään aikaistumisesta, minkä seurauksena kevään tulovirtaama ei enää joka vuosi riitä nostamaan järven pintaa tavalliseen kesäkorkeuteen. Jaksolle 2040–69 tehdyissä simuloinneissa (Kuvat 44–46) muutokset näkyvät selkeämmin ja kesän alhaisimmat vedenkorkeudet jäivät nykyisten säännöstelykäytäntöjen mukaan hyvin alas kaikilla tarkastelluilla järvillä. Tämän lisäksi syys- ja talvivirtaamien kasvu lisää Oulujärvellä riskiä säännöstelyrajojen ylityksiin. Seuraavassa on esitetty tuloksia Kiantajärvelle, Oulujärvelle ja Oulujoelle Merikoskella. Nuasjärvelle vastaavat kuvat on esitetty Liitteen 1 Kuvassa 13.

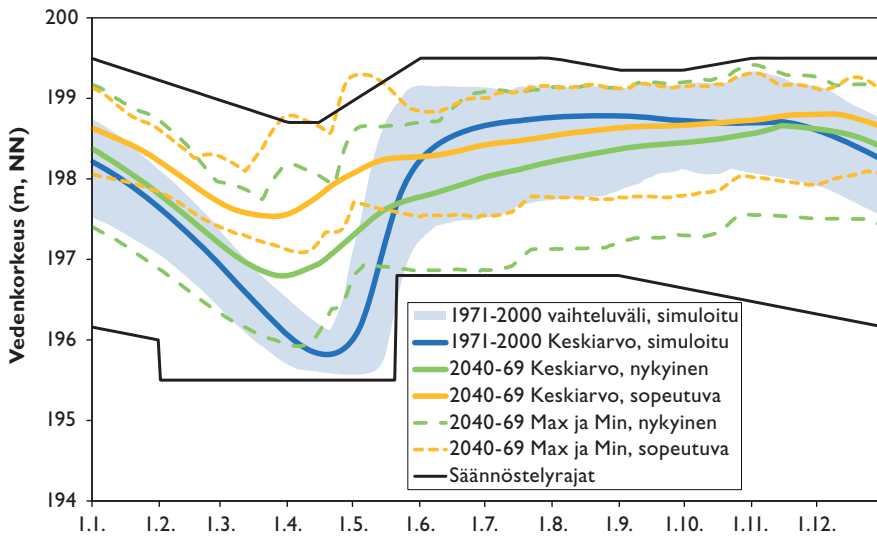
Kiantajärvi

Kiantajärvi sijaitsee Oulujoen vesistön koillisosassa, jonne lunta kertyy muuta Oulujoen vesistöaluetta enemmän. Järven valuma-alueella on muutamia luonnontilaisia järviä, mutta sulannan aiheuttama kevättulva nostaa järven pinnan verrattain nopeasti. Tämän vuoksi Kiantajärvellä on varauduttu kevättulvaan laskemalla järven pintaa talven aikana 2,5–3,5 m tyypillisen kesävedenkorkeuden alapuolelle.

Ilmastonmuutoksen suurin vaikutus Kiantajärvellä, kuten muuallakin Oulujoen vesistössä, näkyy syksyn ja talven virtaamien kasvuna sekä kevättulvan pienentymisenä (Kuva 44). Kevään tulovirtaaman pienentyminen johtaa nykyisen kaltaisella säännöstelyllä jaksolla 2040–69 joinain vuosina hyvin alhaisiin kesävedenkorkeuksiin. Kiantajärven kesävedenkorkeuksia voitaisiin nostaa madaltamalla ja aikaistamalla nykyisten säännöstelykäytäntöjen mukaista kevätkuoppaa. Kuvassa 44 esitetyllä so-

peutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla on pyritty nostamaan Kiantajärven kesävedenkorkeus vastaamaan paremmin referenssijaksen vedenkorkeuksia. Tämä aiheuttaa joinakin keväinä nykyisten lupaehtojen mukaisten ylärajojen rikkomisen, joten kevään aikaistumisen johdosta nykyisen luvan mukaista säännöstelyn ylärajaa keväällä joudutaan todennäköisesti lähivuosisikymmenien aikana harkitsemaan uudelleen.

Toinen merkittävä muutos näkyy talven tulovirtaamissa, jotka kasvavat jaksolle 2040–69 mennessä keskimäärin 60 % referenssijaksosta (Liite 1, Kuva 11c). Talven tulovirtaamat jäävät kevättulvaa pienemmiksi eivätkä aiheuta ongelmia lupaehtojen noudattamisessa. Talvikauden juoksuksia joudutaan kuitenkin lisäämään tuntuvasti, mikä näkyy kasvavina virtaamina vesistön alajuoksulla.



Kuva 44. Kiantajärven vedenkorkeuksien keskiarvo, minimi ja maksimi referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla.

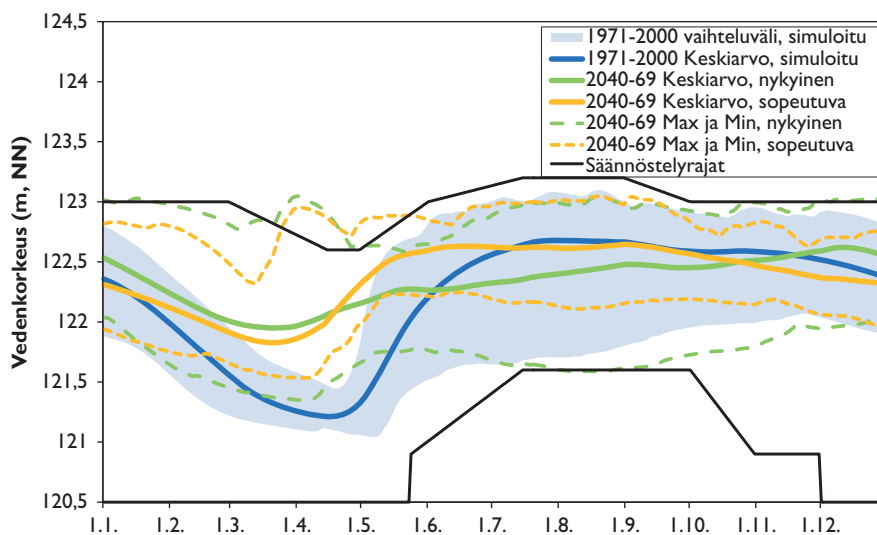
Oulujärvi

Oulujärven tulovirtaama koostuu järven lähialueen valunnan lisäksi Hyrynsalmen ja Sotkamon reiteiltä tulevista virtaamista. Ilmastonmuutoksen vaikutus näkyy selvimmin talven tulovirtaamissa, jotka kasvavat referenssijaksosta 50–60 % (Liite 1, Kuva 12c). Oulujärven tulovirtaamaan voidaan vaikuttaa jonkin verran yläpuolisten järvien säännöstelykäytäntöjä muokkaamalla. Kuvassa 45 esitetyssä sopeutuvassa säännöstelyvaihtoehdossa järvien pintoja on laskettu syksyllä tavallista alemmaksi talvivirtaamien kasvun hillitsemiseksi. Oulujärven yläpuolisten järvien sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla on Oulujärven talven keskimääräistä tulovirtaamaa pienennetty 5–10 %. Säännöstelyn vaikutus talven maksimitulovirtaamiin jää kuitenkin vähäiseksi.

Samoin kuin muissa vesistön järvissä Oulujärven säännöstelyä on sopeutuvassa vaihtoehdossa muokattu loiventaen ja aikaistaen kevätkuopan tekoa. Järven pinnan laskeminen on sopeutuvassa säännöstelyssä aloitettu jo varhain syksyllä, mikä helpottaa talven tulovirtaamien kasvusta aiheutuviin tulviin varautumista ja pienentää hyydetulvien riskiä Oulujoen alajuoksulla. Kevätkuopan madaltaminen puolestaan nostaa järven kesävedenkorkeuksia lähemmäs referenssijaksolla vallinneita tasoja.

Nykyisten säännöstelykäytäntöjen mukaisella säännöstelyvaihtoehdolla talvitulovirtaamien kasvu voi aiheuttaa jo lähitulevaisuudessa 2010–39 säännöstelyrajojen ylityksiä (Liite 1, Kuva 12a) ja ylitykset yleistyvät entisestään jaksolla 2040–69 (Kuva 45). Tällöin järven juoksutusta on nostettava lupaehtojen mukaisesti 700 m³/s:iin (Liite 1, Kuva 12e), mikä voi hyydetilanteissa aiheuttaa merkittäviä vahinkoja Oulujoen alajuoksulla (Kuvassa 46 vastaavat virtaamat Merikosken voimalaitoksella). Sopeutuvalla säännöstelyllä nykyisen lupaehdon mukaisen ylärajan ylityksiin joudutaan vain runsaslumisten talvien aiheuttamien kevättulvien johdosta. Kevättulvien

välttämiseksi sopeutuvassa säännöstelyvaihtoehdossa nostetaan järven juoksutusta nykyistä säännöstelykäytäntöä alemmilla vedenkorkeuksilla 450 m³/s:iin eikä juoksutusta ole nostettu nykyisten lupaehtojen mukaisesti 700 m³/s:iin kevätkuopan ylittymisen jälkeen. Näin kevään suurimpien vedenkorkeuksien aikaan voidaan vedenkorkeuden nousua hillitä tulevaisuudessa nykykäytäntöä pienemmillä juoksutuksilla (Liite 1, Kuva 12e).



Kuva 45. Oulujärven vedenkorkeuksien keskiarvo, minimi ja maksimi referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla.

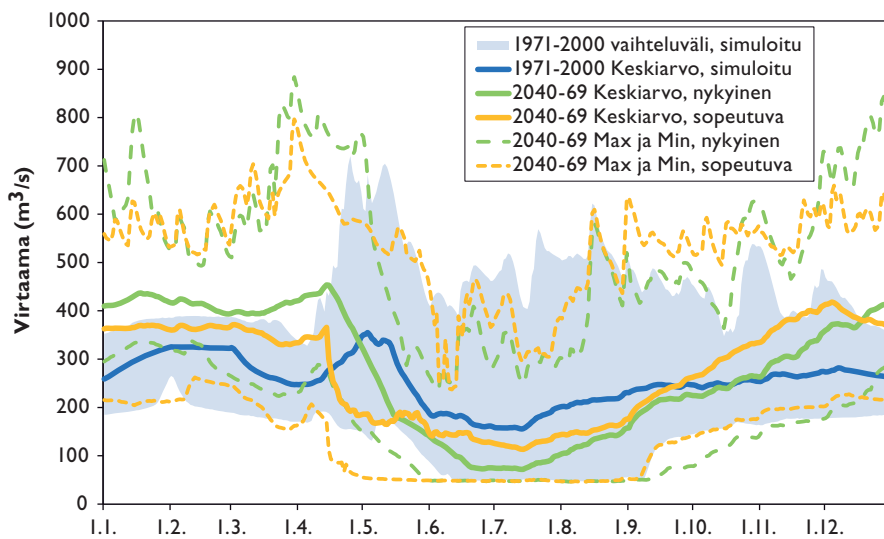
Merikoski

Virtaamien suuruudet Oulujoen suulla sijaitsevassa Merikosken voimalaitoksessa riippuvat pitkälti Oulujärven säännöstelystä. Kuvassa 46 on esitetty ilmastonmuutoksen (skenaario 1) sekä kahden yllä esitettyjen säännöstelyvaihtoehtojen vaikutusta Merikosken virtaamiin jaksolla 2040–69. Ilmastonmuutoksen merkittävin vaikutus Oulujoella on talvivirtaamien kasvu, joka voi aiheuttaa hyydetilanteissa ongelmia erityisesti Oulujoen alajuoksulla. Nykyisten lupaehtojen ja säännöstelykäytäntöjen mukaisella säännöstelyllä talven keskimääräinen virtaama kasvaa jaksolla 2040–69 referenssijakson talven maksimivirtaamien tasolle ja maksimivirtaamat jo kevättulvien suuruisiksi. Talven maksimivirtaamia pystytään hillitsemään sopeutuvalla säännöstelyllä, jossa Oulujärven vedenkorkeutta lasketaan talveksi syksyn juoksutuksia lisäämällä. Tämä pienentää talvitulvien riskiä merkittävästi, kun alkutalvella kertyneen lumen nopeaan sulamiseen voidaan varautua paremmin hyydetilanteiden uhatessa.

Ilmastonmuutos ja eri säännöstelykäytännöt vaikuttavat Merikosken tulvien toistuvuuteen. Jaksolle 2010–39 tehdyissä laskelmissa suurimpien virtaamien suuruudessa ei ole tapahtunut merkittävää muutosta ja nykyisten säännöstelylupien mukaiset ohjeet toimivat verrattain hyvin, vaikka talvien suuret virtaamat ovatkin lisääntyneet jo kyseisellä jaksolla. Jaksolle 2040–69 tehdyissä laskelmissa maksimivirtaamat kasvavat jo merkittävästi. Nykyisten lupaehtojen mukaisilla säännöstelyillä kerra 20 vuodessa toistuvat ja sitä suuremmat tulvat kasvavat skenaariolla 1 yli 20 %. Sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla suuriin tulviin voidaan vaikuttaa huomattavasti, mutta ilmastonmuutoksen vaikutus lisäisi tulvien suuruutta 10–15 % säännöstelyn muuttamisesta huolimatta.

Oulujoen virtaamien suuruuteen voidaan siis vaikuttaa merkittävästi säännöstelykäytäntöjä muuttamalla. Vesistömallijärjestelmän simuloinneissa säännöstely on toteutettu kappaleessa 3.3 kuvattujen säännöstelyohjeiden avulla. Säännöstelyohjeet

ovat koko 30 vuoden jaksolle samat eivätkä ota huomioon lyhytaikaissäätönsäätelyn vaikutuksia, minkä vuoksi esimerkiksi referenssijakson 1971-2000 simuloitujen vedenkorkeudet ja virtaamat eivät vastaa havaittuja arvoja. Simuloinneissa käytetyssä lupaehtojen mukaisessa sääntönsäätelyssä on syys- ja talvitulviin varauduttu pitämällä vedenkorkeudet riittävän alhaalla sääntönsäätelyrajan rikkomisen välttämiseksi. Vastaavanlainen varautuminen ei kuitenkaan jaksolla 2040–69 enää riitä, koska tällä sääntönsäätelyvaihtoehdolla ylärajan ylityksiltä ei enää vältytä ja Oulujoen virtaamat kasvavat merkittävästi. Tulevaisuudessa syksyn ja alkutalven lumen sulannan tai rankkasateiden aiheuttamiin äkillisiin tulovirtaaman kasvuihin on siis syytä varautua entistä paremmin pitkä- ja lyhytaikaissäätönsäätelyn avulla sekä kehittämällä tulovirtaamaennusteita vastaamaan sääntönsäätelyn tarpeita entistä paremmin.



Kuva 46. Merikosken virtaamisen keskiarvo, minimi ja maksimi referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla sääntönsäätelyvaihtoehdolla.

6.5.2

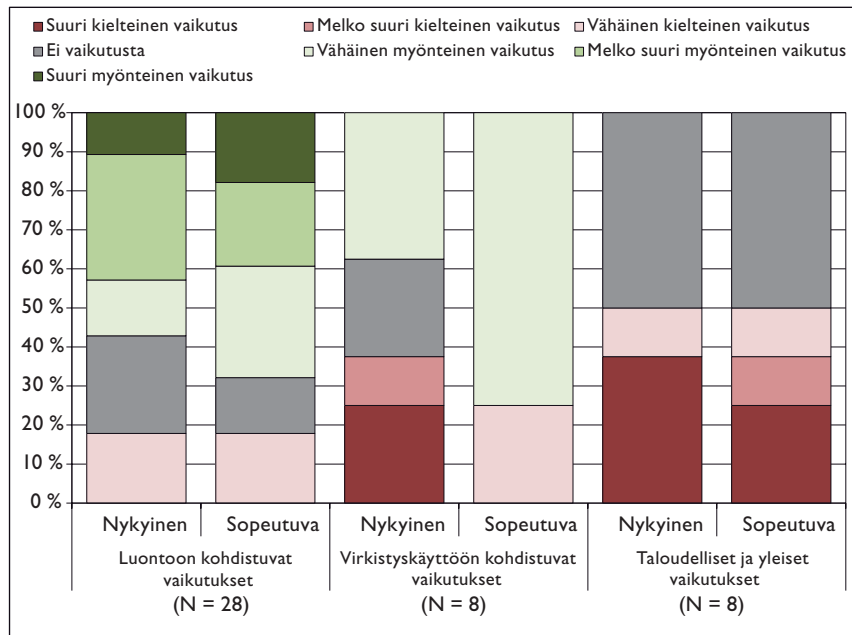
Vaikutustarkastelut

Vaikutukset yleisesti

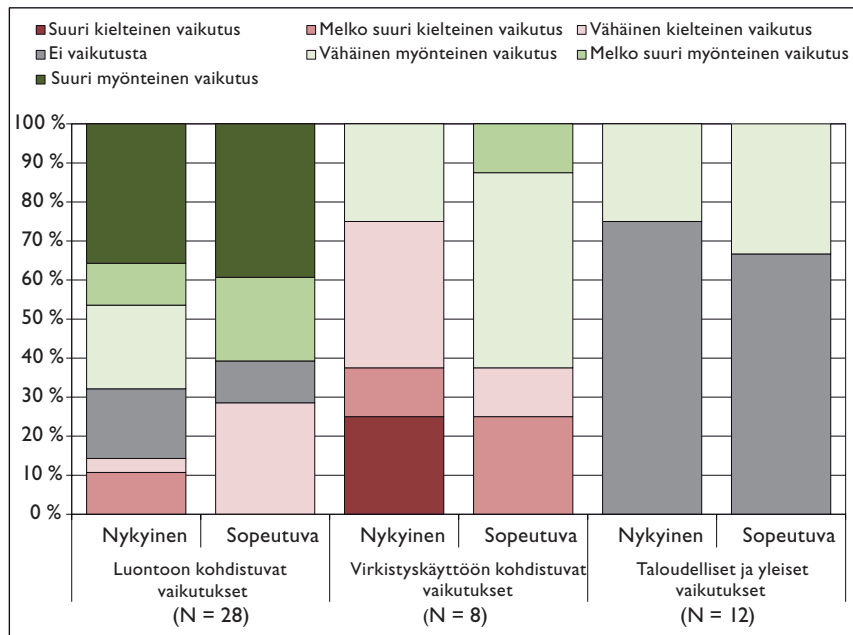
Oulujoen vesistöalueella vaikutuksia tarkasteltiin Oulujärvellä, Kiantajärvellä ja Nuasjärvellä neljällä skenaariolla 14 mittarilla (Liite 2, Taulukko 1). Lisäksi arvioitiin ilmastonmuutoksen vaikutuksia Oulujoen energiantuotantoon ja hyyderisktiin (Liite 2, Taulukko 2). Tarkastellut skenaariot olivat 1 (Ka A1B), 15 (RCA3 Ech5 A1B), 17 (RCA3 Had A1B) ja 18 (HadRM Had A1B), (katso Taulukko 3).

Mittaritarkasteluiden perusteella järvillä esiintyy pääosin vain vähäisiä vaikutuksia. Mahdollisuus kielteisiin vaikutuksiin on suurin Oulujärvellä, sillä Kianta- ja Nuasjärvellä ei tapahdu lainkaan suuria kielteisiä vaikutuksia. Oulujärvellä jaksolla 2010–39 tapahtuu kummallakin sääntönsäätelyvaihtoehdolla melko suuria tai suuria kielteisiä vaikutuksia 9 % mittareista. Melko suuria tai suuria myönteisiä tapahtuu sopeutuvassa vaihtoehdossa 27 % (nykykäytännössä 11 %) mittareista. Jaksolla 2040–69 melko suuria tai suuria kielteisiä vaikutuksia tapahtuu sopeutuvassa vaihtoehdossa 7 % (14 %) ja vastaavia myönteisiä 27 % (25 %) mittareista (Kuva 47). Huomattavimmat kielteiset vaikutukset muodostuvat kummassakin vaihtoehdossa taloudellisista ja yleisistä haitoista. Huomattavimmat myönteiset vaikutukset kohdistuvat vesiluonnon mittareihin.

Kuva 47. Mittareiden muutosten prosenttiosuudet vaikutustyypeittäin Oulujärvellä tarkastelujaksolla 2040–69, kun vertailussa on mukana neljä ilmastonmuutosskenaariota.



Kuva 48. Mittareiden muutosten prosenttiosuudet vaikutustyypeittäin Kiantajärvellä tarkastelujaksolla 2040–69, kun vertailussa on mukana neljä ilmastonmuutosskenaariota.



Kiantajärvellä sopeutuvassa vaihtoehdossa tapahtuu tarkastelujaksolla 2010–39 melko suuria tai suuria kielteisiä vaikutuksia 2 % (nykykäytännössä 6 %) mittareista ja jaksolla 2040–69 4 % (13 %) mittareista (Kuva 48). Melko suuria tai suuria myönteisiä muutoksia tapahtuu sopeutuvassa vaihtoehdossa ensimmäisellä tarkastelujaksolla 33 % (19 %) ja jälkimmäisellä 38 % (27 %) mittareista. Huomattavimmat myönteiset vaikutukset kohdistuvat kummallakin tarkastelujaksolla vesiluonnon mittareihin ja huomattavimmat kielteiset vaikutukset virkistyskäyttöön.

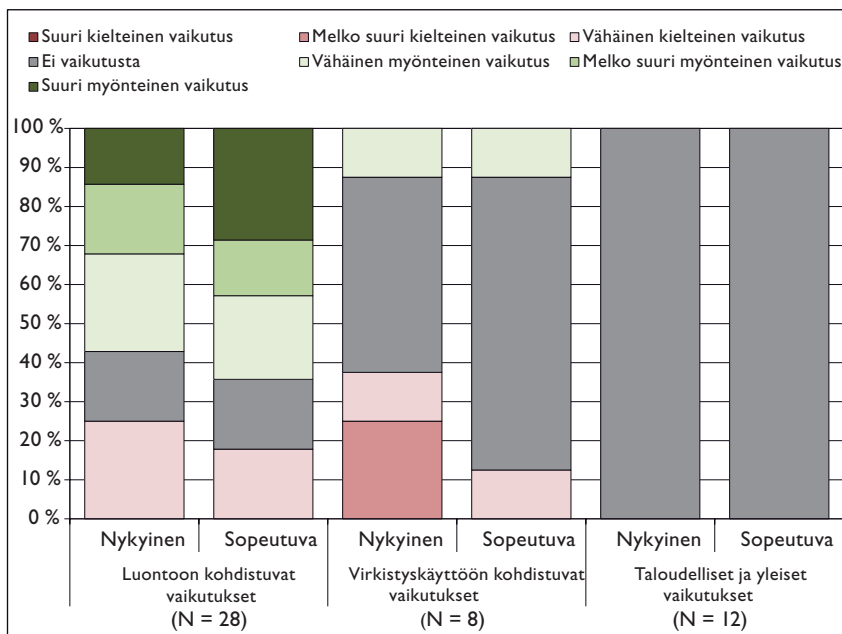
Nuasjärvellä ei kummassakaan säännöstelykäytännössä tapahdu tarkastelujaksolla 2010–39 melko suuria tai suuria kielteisiä vaikutuksia. Sopeutuvassa vaihtoehdossa niitä ei tapahdu myöskään jaksolla 2040–69 (Kuva 49) (nykykäytännössä 4 % mittareista). Melko suuria tai suuria myönteisiä muutoksia tapahtuu sopeutuvassa vaihtoehdossa kummallakin tarkastelujaksolla 25 % mittareista. Nykykäytännössä vastaavia muutoksia tapahtuu edellisellä jaksolla 17 % ja jälkimmäisellä 19 % mittareista. Huomattavimmat myönteiset vaikutukset kohdistuvat kummallakin tarkastelujaksolla vesiluonnon mittareihin.

Vesiluontoon kohdistuvat vaikutukset

Vedenkorkeuden talvialenema on jokaisella järvellä vertailujaksoa pienempi kaikissa skenaarioissa sekä nykyisellä että sopeutuvalla juoksutuksella. Tämän seurauksena jäätyvä ja jään painama rantavyöhyke pienentyvät ja se vaikuttaa myönteisesti mm. syyskutuisiin kaloihin ja pohjalehtiskasvustoon. Kevättulva kuitenkin pienenee ja nopeutuu, mikä vaikuttaa kielteisesti rannan vyöhykkeisyyteen ja saattaa aiheuttaa haittaa hauen lisääntymiselle.

Virkistyskäyttöön kohdistuvat vaikutukset

Matalan kevättulvan vaikutuksesta kesänaikainen vedenkorkeus vaihtelee skenaarioissa vertailujaksoa vähemmän, minkä virkistyskäyttäjät saattavat osittain kokea myönteiseksi. Kielteisiä vaikutuksia muodostuu kuitenkin siitä, että kesäkauden vedenkorkeudet ovat etenkin Oulujärvellä ja Kiantajärvellä nykyistä huomattavasti matalammalla. Vedenkorkeus alittaa virkistyskäytön kannalta esitetyt tavoitetasot ajankohtana 20.6.–31.8 useammin kuin vertailujaksolla. Sopeutuvassa vaihtoehdossa alituksia tapahtuu vähemmän kuin nykyisen kaltaisessa vaihtoehdossa.



Kuva 49. Mittareiden muutosten prosenttiosuudet vaikutustyypeittäin Nuasjärvellä tarkastelujaksolla 2040–69, kun vertailussa on mukana neljä ilmastonmuutosskenaariota.

Taloudelliset ja yleiset vaikutukset

Taloudelliset ja yleiset vaikutukset muodostuvat kaikilla järvillä lupaehtojen mukaisen ylärajan ylityksistä ja alarajan alituksista. Lupaehtojen mukainen kevätkuoppa ylittyy etenkin Oulujärvellä, missä ylityksiä tapahtuu kummallakin säännöstelykäytännöllä valtaosassa skenaarioista. Tämä osoittaa, että säännöstelykäytäntö ei toimi muuttuvassa ilmastossa. Muuna aikana tapahtuvat ylitykset eivät ole yhtä suurilukuisia, mutta ne voivat etenkin keskitalvella aiheuttaa suurten juoksutusten takia ongelmia alajuoksulla.

Oulujoen kaikkien vesivoimalaitosten yhteenlaskettu keskimääräinen vuosituotanto kasvaa jokaisessa skenaariossa. Tarkastelujaksolla 2010–39 keskimääräinen energiantuotanto on kummassakin juoksutuksessa n. 3–15 % vertailujaksoa suurempi. Jälkimmäisellä jaksolla keskimääräinen tuotanto on sopeutuvassa vaihtoehdossa n. 5–18 % (nykykäytännössä n. 4–17 %) vertailujaksoa suurempi. Samalla myös ohijuoksutusten määrä kasvaa.

Yhteenveto

Taulukossa 10 on esitetty yhteenveto skenaarioiden vaikutuksista vertailujaksoon verrattuna tarkastelujaksolla 2040–69. Tarkastelujakson 2010–39 yhteenveto on esitetty Liitteen 2 Taulukossa 7. Valtaosa vaikutuksista aiheutuu talvikauden vedenkorkeuden muutoksesta verrattuna nykytilaan ja kesän alenevista vedenkorkeuksista. Talvialeneman pieneneminen tai jopa poistuminen vaikuttaa myönteisesti osaan vesiluonnon tilaa kuvaavista mittareista, mutta toisaalta matala kevättulva saattaa vaikuttaa niihin kielteisesti. Kesän matalat vedenkorkeudet vaikuttavat kielteisesti myös virkistyskäyttöön. Järvien nykyisten säännöstelylupaehtojen noudattaminen saattaa aiheuttaa ongelmia alajuoksulla suurten juokсутusten takia.

Taulukko 10. Yhteenveto ilmastonmuutoskenaarioiden vaikutuksista Oulu-, Kianta- ja Nuasjärvelä tarkastelujaksolla 2040–69. Vaikutusta on verrattu vertailujaksoon 1971–2000.

Arviointiasteikko: --- = suuri kielteinen vaikutus, -- = melko suuri kielteinen vaikutus, - = vähäinen kielteinen vaikutus, 0 = ei vaikutusta, + = vähäinen myönteinen vaikutus, ++ = melko suuri myönteinen vaikutus, +++ = suuri myönteinen vaikutus.

	Skenaario I Ka AIB		Skenaario 18 HadRM Had AIB		Skenaario 15 RCA3 Ec5 AIB		Skenaario 17 RCA3 Had AIB	
	Nykyinen	Sopetuva	Nykyinen	Sopetuva	Nykyinen	Sopetuva	Nykyinen	Sopetuva
OULUJÄRVI								
Rantavyöhyke	0	0	+	0	0	0	0	0
Kalakannat	+	++	++	++	+	++	+	++
Linnusto	++	++	++	++	+	+	+	+
Virkistyskäyttö	--	0	--	0	0	+	-	+
Yleiset vaikutukset	-	-	--	-	-	--	---	-
KIANTAJÄRVI								
Rantavyöhyke	0	+	0	+	0	+	0	+
Kalakannat	++	++	++	++	++	++	++	++
Linnusto	+	++	+	++	+	++	+	++
Virkistyskäyttö	---	-	---	-	+	++	--	-
Yleiset vaikutukset	+	+	0	+	+	+	+	+
NUASJÄRVI								
Rantavyöhyke	0	0	0	0	0	0	0	0
Kalakannat	++	++	++	++	++	+	++	++
Linnusto	+	++	+	++	+	++	+	++
Virkistyskäyttö	--	0	--	-	-	0	0	0
Yleiset vaikutukset	0	0	0	0	0	0	0	0
OULUJOKI								
Energiantuotanto	+	+	+	+	++	++	++	++

Paatsjoki, Inari

Hydrologiset skenaariot

Pohjois-Suomessa ilmastonmuutoksen hydrologiset vaikutukset näkyvät lumipeitteisen kauden lyhentymisenä sekä syys- ja talvivirtaamien kasvuna. Talvien lyhentymisen ja leudontumisen johdosta Inarijärven valuma-alueen lumen keskimääräisen maksimiviesiarvon ja kevään tulvavolyymien ennakoitaan pienenevän. Talvisadannan lisääntyessä lumen maksimiviesiarvot pysyvät kuitenkin runsaslumisina talvina vielä vuosisadan puolivälissä lähellä referenssijakson maksimiviesiarvoja ja kevätsateiden kasvaessa Paatsjoen vesistössä on syytä varautua vielä vuosisadan puolivälissäkin saman suuruisiin tulviin kuin referenssijaksolla.

Kuvassa 50 on esitetty Ivalojoen päivittäiset minimi-, maksimi- ja keskivirtaamat referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolle 2040–69 kahdella eri skenaariolla. Talvikauden lyhentyminen näkyy skenaarioissa loppusyksyllä ja alkutalvella kasvavina virtaamina sekä kevättulvan aikaistumisena. Kuvassa esitetyt skenaariot ovat skenaario 1 (Ka A1B eli 19 globaalin ilmastomallin keskiarvoskenaario) ja skenaario 18 (HadRM Had A1B), jossa on suuret talvilämpötilan muutokset. Useimpien ilmastoskenaarioiden mukaan suurimmat kevättulvat säilyvät vielä vuosisadan puolivälissä referenssijakson tulvien suuruisina, mutta keskimäärin kevään tulovirtaamahuiput kuitenkin pienenevät ja aikaistuvat lumipeitteisen kauden lyhentyessä. Kuvassa 50 esitetyssä skenaariossa 18 (HadRM Had A1B) suuremmat talvilämpötilojen muutokset johtavat muita skenaarioita suurempaan talvivirtaamien kasvuun ja kevättulvien pienemiseen.

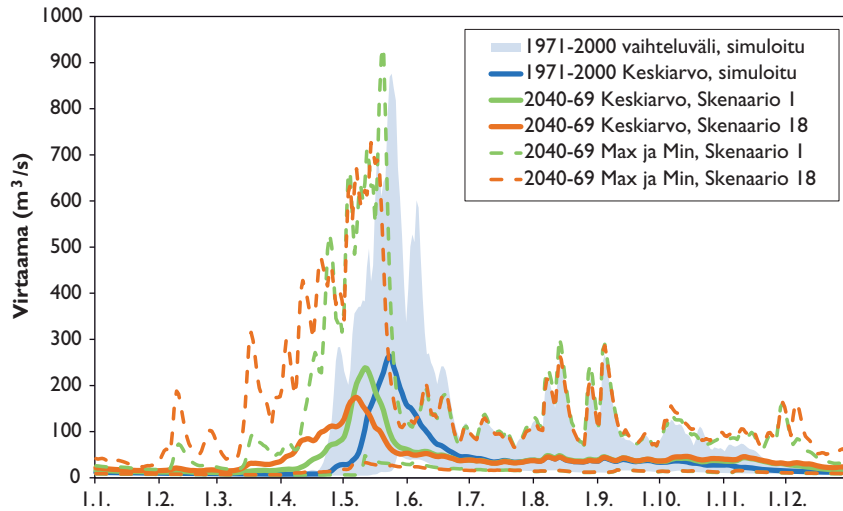
Kevään aikaistuminen ja talvivirtaamien kasvu tuovat mukanaan lisää haasteita Inarijärven säännöstelyyn. Nykyisen lupaehdon mukaan vedenpinta on laskettava 1. toukokuuta mennessä tasolle 118,00 m +Nhanke. Jaksolla 2040–69 (Kuva 51) ja jossain määrin jo lähitulevaisuudessa 2010–39 (Liite 1, Kuva 14a, b) lupaehdon mukaisen kevätkuopan tekeminen tulee tuottamaan vaikeuksia talvivirtaamien kasvun ja kevättulvan aikaistumisen vuoksi. Lupaehtojen mukainen jyrkkä kevätkuoppa vaikeuttaa myös vedenkorkeuden nostamista kesän tavoitetasolle. Kevätkuoppaa joudutaan todennäköisesti aikaistamaan ja madaltamaan tai ainakin muuttamaan joustavammaksi. Runaslumisina talvina täytyy kuitenkin edelleen varautua nykyisen kaltaisiin kevättulviin.

Kuvassa 51 referenssijakson ja jakson 2040–69 vedenkorkeuden päivittäiset minimi-, maksimit ja keskiarvot on esitetty tasossa Nhanke = N60 - 0,27 m, jota on käytetty valtiosopimuksissa vuosina 1956 ja 1959. Nykyisten lupaehtojen mukaisessa säännöstelyssä säännöstelyn ylärajan noudattamisesta on luovuttu, mikäli kevättulva tulee ennen toukokuuta. Tällöin nykyisen säännöstelyn ylärajan tiukka noudattaminen vaatisi merkittäviä ohijuoksutuksia tai johtaisi hyvin alhaisiin vedenkorkeuksiin tulevana kesänä. Inarijärven sopeutuvassa säännöstelyvaihtoehdossa nykyisen lupaehdon määräämää kevätkuoppaa ei edes yritetä tehdä, vaan vedenpinta laskeaan huhtikuun puoleen väliin mennessä talven tulovirtaamista riippuen tasolle 117,80–118,50 m +Nhanke. Kevätkuopan madaltamisella ja aikaistamisella pyritään vähentämään talviaikaisia ohijuoksutuksia ja helpottamaan alkukesän tavoitekorkeuden saavuttamista lisäämättä tulvariskiä Inarijärvellä.

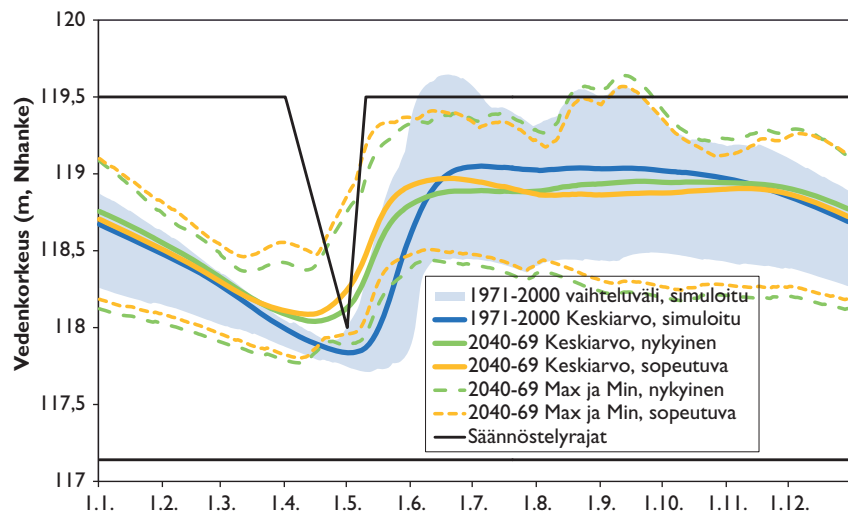
Inarijärven sopeutuvassa säännöstelyvaihtoehdossa on huomioitu myös syysvirtaamien kasvu laskemalla vedenpintaa noin 20 cm kesä-heinäkuun aikana. Vedenkorkeuden laskemisella pyritään vähentämään lupaehdon ylärajan ylityksiä ja ohijuoksutuksia syystulvien aikaan. Talveksi vedenpinta pyritään nostamaan sopeu-

tuvasa säännöstelyssä lähelle samaa tasoa kuin nykyisen kaltaisella säännöstelyllä. Talven keskimääräinen lähtövirtaama jää kuitenkin madalletun kevätkuopan vuoksi sopeutuvassa säännöstelyssä noin 5 % nykyisen kaltaista säännöstelyä pienemmäksi (Liite 1, Kuva 14e).

Kuva 50. Ivalojoen, Pajakosken virtaamien keskiarvo, minimi ja maksimi referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 kahdella ilmastoskenaariolla: skenaariolla I (Ka A1B) ja skenaariolla 18 (HadRM Had A1B). Skenaariossa 18 lämpötilan nousu on keskimääräistä suurempaa.



Kuva 51. Inarijärven vedenkorkeuden keskiarvo, minimi ja maksimi referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 nykyisen kaltaisella sekä sopeutuvalla säännöstelyllä.



6.6.2

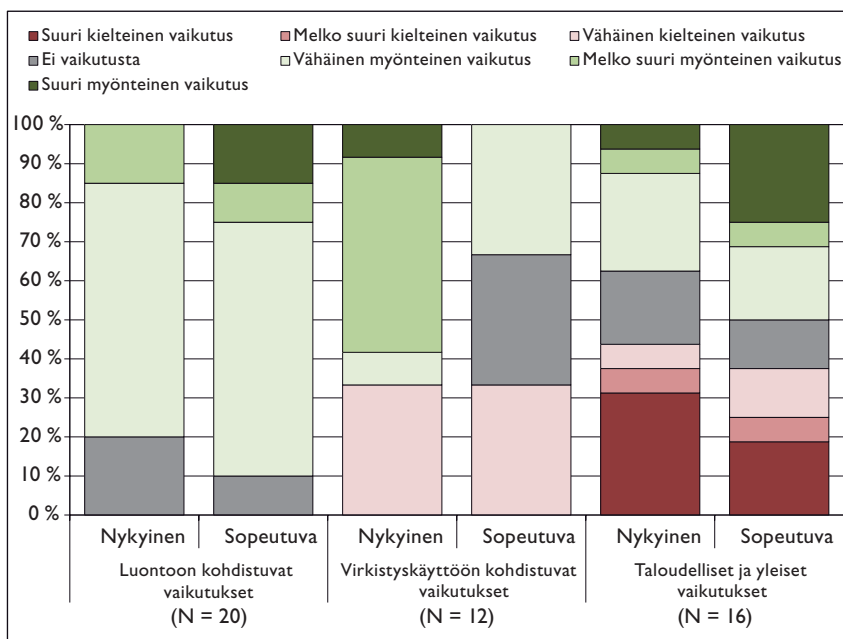
Vaikutustarkastelut

Vaikutukset yleisesti

Paatsjoen vesistöalueella vaikutuksia tarkasteltiin Inarijärvellä ja Paatsjoella neljällä skenaariolla 13 mittarilla (Liite 2, Taulukko 1 ja 2). Tarkastellut skenaariot olivat 1 (Ka A1B), 15 (RCA3 Ech5 A1B), 17 (RCA3 Had A1B) ja 18 (HadRM Had A1B) (katso Taulukko 3). Tarkasteluiden perusteella ilmastomuutoksen vaikutukset vaihtelevat skenaarioiden välillä, mutta myös säännöstelyllä voi olla merkittävä vaikutus (Kuva 52). Sopeutuvassa vaihtoehdossa painotettiin tulvasuojelua ja kesäaikaista luonnonmukaista mukailevaa alenevaa vedenkorkeutta. Vaihtoehdossa sekä mahdollisuus kielteisiin että myönteisiin vaikutuksiin ovat pienempiä kuin nykyisellä säännöstelykäytännöllä. Sopeutuvassa vaihtoehdossa melko suuria tai suuria kielteisiä muutoksia tapahtuu tarkastelujaksolla 2010–39 yhteensä 8 % mittareista (nykykäytännössä

13 %) ja jälkimmäisellä jaksolla 6 % (13 %) mittareista. Melko suuria tai suuria myönteisiä muutoksia tapahtuu sopeutuvassa vaihtoehdossa ensimmäisellä tarkastelujaksolla 21 % (25 %) ja jälkimmäisellä 29 % (38 %) mittareista.

Merkittävimmät kielteiset vaikutukset kohdistuvat nykyisellä juoksutuskäytännöllä tulvien aiheuttamien taloudellisten vaikutusten kasvuun ja rantavyöhykkeeseen. Sopeutuvassa vaihtoehdossa merkittävimmät kielteiset vaikutukset kohdistuvat ohijuoksutusten lisääntymiseen voimalaitoksilla.



Kuva 52. Mittareiden muutosten prosenttiosuudet vaikutustyypeittäin Inarijärvellä ja Paatsjoella tarkastelujaksolla 2040–69, kun vertailussa on mukana kaikki ilmastonmuutosskenaariot.

Vesiluontoon kohdistuvat vaikutukset

Inarijärvellä vedenkorkeuden talviaikainen alenema pienenee kaikilla skenaariolla. Tämä vaikuttaa myönteisesti mm. syyskutuisiin kaloihin ja pohjalehtiskasvustoon. Sopeutuvassa säännöstelyssä on pyritty pitämään kesäkauden vedenkorkeus laskevana, sillä tämä saattaa vaikuttaa myönteisesti esim. ilmaversoiseen kasvillisuuteen.

Virkistyskäyttöön kohdistuvat vaikutukset

Inarijärven virkistyskäytön kannalta vaikutukset ovat kaikissa skenaariossa osin kielteisiä. Vaikutuksen suuruuden osalta skenaarioiden välillä on kuitenkin runsaasti vaihtelua. Kummallakin juoksutuksella kielteiset vaikutukset johtuvat Inarijärvellä nykyistä alemmista kesävedenkorkeuksista. Sopeutuvalla juoksutuksella mahdollisuus kielteisiin vaikutuksiin on nykyistä juoksutusta hiukan suurempi, sillä vaihtoehdossa painotetaan tulvasuojelua, mikä vaikuttaa vedenkorkeuteen etenkin alkusyksystä.

Taloudelliset vaikutukset

Eroosiota ja mahdollisia tulvia aiheuttavien vedenkorkeuksien lukumäärä on kaikissa skenaariossa nykyisellä juoksutuksella suurempi kuin vertailujaksolla. Sopeutuvalla juoksutuksella lukumäärä on vertailujaksoon nähden huomattavasti pienempi.

Paatsjoen voimalaitoksilla tuotetun energian keskimääräinen vuosituotanto on tarkastelujaksolla 2010–39 sopeutuvassa vaihtoehdossa n. 1–12 % (nykykäytännössä n. 2–14 %) vertailujaksoa suurempi. Tarkastelujaksolla 2040–69 tuotanto on vastaavasti n. 7–15 % (n. 8–16 %) vertailujaksoa suurempi. Samalla kuitenkin myös ohijuoksutusten määrät kasvavat.

Yhteenveto

Taulukossa 11 on esitetty yhteenveto skenaarioiden vaikutuksista vertailujaksoon verrattuna tarkastelujaksolla 2040–69. Tarkastelujakson 2010–39 yhteenveto on esitetty Liitteen 2 Taulukossa 8. Merkittävimmät kielteiset vaikutukset muodostuvat nykyisellä juoksutuksella mahdollisesti tulvavahinkoja aiheuttavien vedenkorkeuksien lukumäärän lisääntymisestä. Sopeutuvalla säännöstelykäytännöllä korkeiden vedenkorkeuksien lukumäärää voidaan vähentää huomattavasti, mutta samalla virkistyskäyttömahdollisuudet heikkenevät hiukan.

Taulukko 11. Yhteenveto ilmastomuutosskenaarioiden vaikutuksista Inarijärvellä ja Paatsjoella tarkastelujaksolla 2040–69. Vaikutusta on verrattu vertailujaksoon 1971–2000.

Arviointiasteikko: --- = suuri kielteinen vaikutus, -- = melko suuri kielteinen vaikutus, - = vähäinen kielteinen vaikutus, 0 = ei vaikutusta, + = vähäinen myönteinen vaikutus, ++ = melko suuri myönteinen vaikutus, +++ = suuri myönteinen vaikutus.

	Skenaario 1 Ka A1B		Skenaario 18 HadRM Had A1B		Skenaario 15 RCA Ec5 A1B		Skenaario 17 RCA3 Had A1B	
	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva
INARI								
Rantavyöhyke	+++	++	+++	+++	+	++	+	++
Virkistyskäyttö	+	-	+	0	+	0	+	0
Tulvavahingot	---	+++	---	+++	---	+++	---	+++
PAATSJOKI								
Tulvat	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Energiantuotanto	++	0	+	0	+	+	+	+

6.7

Hydrologiset skenaariot muissa vesistöissä

6.7.1

Jänisjoki

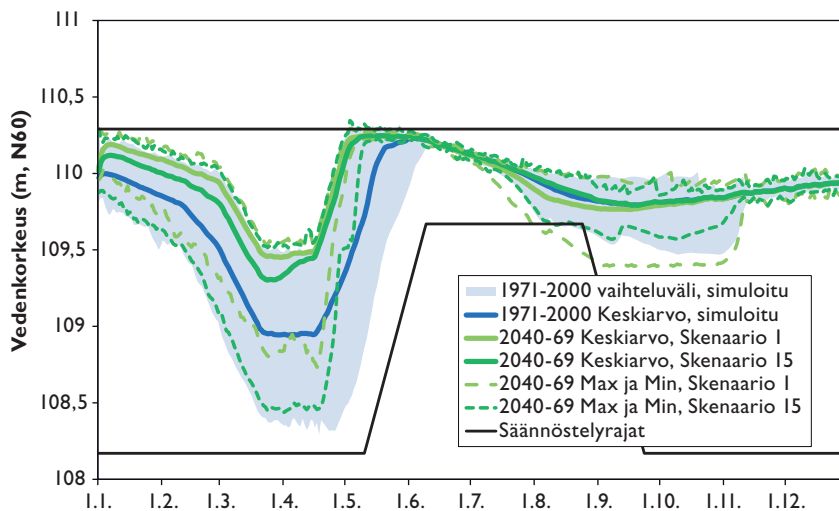
Ilmastomuutoksen vaikutuksia Jänisjoen vesistöissä tarkasteltiin EKOVIIR-vaihtoehdon säännöstelyohjetta soveltavalla säännöstelymallilla (Sutela ym. 2009), jonka syötteenä käytettiin Vesistömallijärjestelmällä laskettuja jaksojen 2010–39, 2040–69 ja 2070–99 Eimisjärven ja Loitimon päivittäisiä tulovirtaamia. Vuosittaisen talvialeneman laskenta perustui kunkin vuoden lumen vesi-arvon suhteeseen pitkän ajan tilastoon eli vuosien 1971–2000 lumen vesi-arvoihin. Ilmastomuutoksen vaikutuksia tarkasteltiin Loitimon keskivedenkorkeuden, Ruskeakosken juoksutuksen, Jänisjoen neljän voimalaitoksen vuositehon sekä säännöstelyrajan ylärajan ja alarajan ylitysten lukumäärän avulla. Jaksolle 2040–69 tarkasteltiin neljää ilmastoskenaariota: skenaarioita 1 (Ka A1B) ja 15 (RCA3 Ec5 A1B) (Kuva 53), 17 (RCA3 Had A1B) sekä 18 (HadRM Had A1B) (Liite 1, Kuva 15d). Skenaariota 1 (Ka A1B) tuloksia jaksolla 2010–39 on esitetty Liitteen 1 Kuvassa 15.

Kesä-joulukuun keskivedenkorkeus Loitimolla oli kaikilla ilmastomuutosskenaarioilla lähellä säännöstelyohjeen mukaisia vedenkorkeuksia. Simuloidut vedenkor-

keudet olivat 1–6 cm alempana kuin ohjeen keskivedenkorkeus (N60+109,95), kun poikkeama referenssijaksolla 1971–2000 oli keskimäärin 2 cm alle. Referenssijaksolla 1971–2000 puolet kesä-joulukuun keskivedenkorkeuksista vaihteli 5 cm sisällä. Ilmastomuutosjaksoilla vastaava vaihtelu oli 3–10 cm. Koska tammikuun alun ja toukokuun puolenvälin väliset vedenkorkeudet perustuvat säännöstelymallissa lumen vesiarvosta riippuvaan tavoitekorkeuteen ja lumen vesiarvon määrän on arvioitu pienenevän, ovat tammi-huhtikuun keskivedenkorkeudet jopa 30–43 cm korkeammalla kuin 1971–2000 simuloituilla arvoilla.

Säännöstelyn ylärajan ylitykset tulisivat pääsääntöisesti vähenemään. Tämä johtuu pääosin kevättulvahuipun pienenevästä ja jakaantumisesta pidemmälle aikavälille. Simuloidulla jaksolla 1971–2000 säännöstelyn ylärajan ylityksiä esiintyi Loitimolla yhteensä 12 vuorokautena ja 8 eri vuotena. Jaksolla 2010–39 (Liite 1, Kuva 15a) ja 2070–99 ylärajanylityksiä esiintyy vain yhtenä vuotena yhden vuorokauden pituiseksi. Jaksolla 2040–69 ylärajan ylityksiä oli skenaariosta riippuen yhteensä 1–26 vuorokautena (1, 4, 13 ja 26 vrk) ja 1–10 vuotena (1, 2, 5 ja 10 v.). Säännöstelyn alarajan alituksia esiintyi simuloidulla jaksolla 1971–2000 neljänä vuotena yhteensä 27 vuorokautena. Skenaariossa 1 (Ka A1B) 2010–39 ja 2070–99 alarajanalitusvuosia oli 15 ja 11 ja vuorokausia yhteensä 219 ja 133 kpl. Jaksolla 2040–69 tällaisia vuosia oli 2–11 kpl (2, 3, 7 ja 11) ja vuorokausia 8–131 (8, 34, 77 ja 131). Säännöstelymallin tekemiä säännöstelypäätöksiä on tarkasteltava kriittisesti, mutta nämä tulokset yhdessä edellä esitettyjen kuukauden keskivedenkorkeuksien kanssa antavat suuntaa siitä, että tulevaisuudessa säännöstelyrajojen ylitykset vähenevät, mutta kuivempien vuosien lukumäärä ja kuivuusjaksojen kesto pitenee.

Loitimon vedenkorkeuden keskivedenkorkeus sekä vaihteluväli vertailujaksolla 1971–2000 sekä vastaavat arvot jaksolla 2040–69 kahdella skenaariolla on esitetty Kuvassa 53.



Kuva 53. Loitimon simuloitu keskivedenkorkeus ja vaihteluväli jaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 kahdella eri skenaariolla (skenaario I (Ka A1B) ja skenaario 15 (RCA3 Ech5 A1B)). Skenaariossa 15 lämpötilan nousu on keskimääräistä pienempää.

6.7.2

Vantaanjoki

Vantaajoella tarkasteltiin Tuusulanjärven säännöstelyä ja Vantaanjoen virtaamaa. Vantaanjoen tulvia on tarkasteltu myös "Julia 2030" -projektissa osana pääkaupunkiseudun ilmastomuutoksen sopeutumisstrategian taustaselvityksiä (Veijalainen ym. 2010).

Tuusulanjärvellä ilmastonmuutos ei aiheuta merkittäviä muutostarpeita säännöstelyluvuissa. Talven vedenkorkeudet nousevat ja riski ylittää säännöstelyn yläraja talven ja kevään aikana kasvaa jaksolla 2040–69 (Kuva 54). Toisaalta huhti-toukokuun korkeimmat vedenkorkeudet alenevat selvästi. Kesän alimmat vedenkorkeudet alenevat, ja nykyisen kaltaisella säännöstelykäytännöllä säännöstelyn alaraja uhkaa jaksolla 2040–69 alittua kesällä kuivimpina vuosina. Sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla, jossa vedenkorkeuden nosto aloitetaan aiemmin keväällä ja vedenkorkeus nostetaan huhti-toukokuussa korkeammalle, alimpia vedenkorkeuksia saadaan nousemaan säännöstelyn alarajan tuntumaan.

Tuloksen perusteella Vantaanjoen pääuomassa (Oulunkylä ja Myllymäki) suuret tulvat keskimäärin pienenevät ilmastonmuutoksen vaikutuksesta johtuen lumen määrän vähenemisestä (Kuva 55). Vantaanjoen pienemmissä sivuhaaroissa Keravanjoessa (Hanala) ja Lepsämänjoella tulvat pysyvät nykyisellään tai kasvavat hieman jaksolla 2010–30 ja 2040–69 johtuen lähinnä rankkojen sateiden ja talvitulvien lisääntymisestä. Tulokset riippuvat käytetystä ilmastoskenaariosta ja käytetyistä oletuksista rankkojen sateiden kasvulle (Veijalainen ym. 2010). Vantaanjoella ilmastonmuutos ei siis ilmeisesti aiheuta kovin merkittäviä muutostarpeita tulviin varautumisessa.

6.7.3

Karjaanjoki

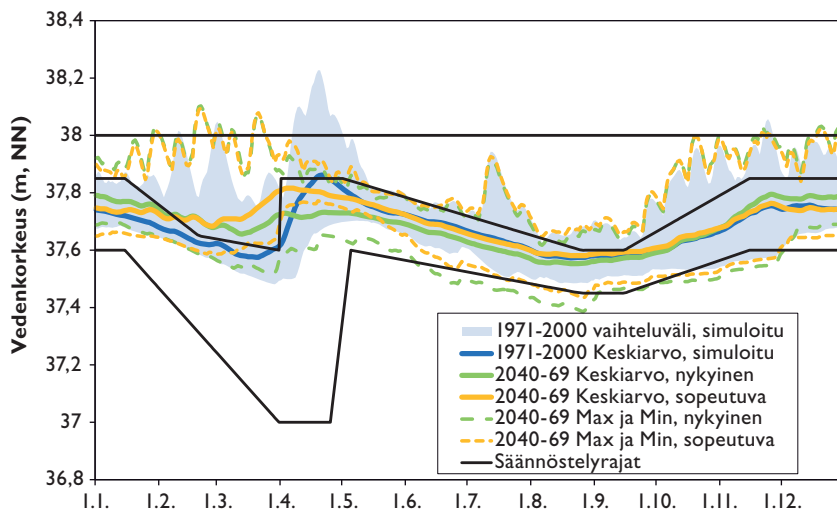
Karjaanjoen vesistöissä talvitulvat ja järvien nostaminen kesän tavoitetasolle tulevat olemaan jo lähitulevaisuudessa 2010–39 entistä haasteellisempia (Liite 1, Kuva 17a). Vesistön suurimmilla järvillä – Lohjanjärvellä ja Hiidenvedellä – nykyisten säännöstelykäytäntöjen mukaisen kevätkuopan teko ei useimpina vuosina jaksolla 2040–69 ole kannattavaa, koska lumen vesiarvo on yleensä varsin vähäinen. Talvitulvat, joita Karjaanjoella esiintyy jo nykyisin, yleistyvät ilmastonmuutoksen vaikutuksesta ja vedenkorkeudet nousevat usein referenssijaksen tulvia korkeammalle.

Lohjanjärven simuloinneissa on ilmastonmuutosjaksolla tarkasteltu kahta eri säännöstelyvaihtoehtoa (Kuva 56). Ensimmäisessä vaihtoehdossa säännöstely vastaa nykyisen kaltaisia käytäntöjä ja ovat lupaehtojen mukaisia. Sopeutuvassa säännöstelyvaihtoehdossa syksyn juoksutuksia on lisätty talvitulvien pienentämiseksi ja kevätkuoppaa madallettu. Muutokset eivät juuri vaikuta talvitulvien kokoon ellei syysvedenkorkeuksia lasketa nykyistä alemmaksi ja syksyn maksimijuoksutuksia lisätä nykyisten lupaehtojen sallimaa maksimijuoksutusta, 50 m³/s, suuremmaksi. Kevätkuopan madaltamisella voidaan sen sijaan vaikuttaa kesän minimivedenkorkeuksiin (Kuva 56 ja Liite 1, Kuva 17a). Kesän tavoitekorkeuksien saavuttaminen vaatii lupaehtojen muuttamista tulevaisuudessa. Jos kevätkuoppaa madalletaan riittävästi, voidaan vähäisempiin lumimääriin ja aikaistuvaan kevääseen sopeutua ja kesän tavoitekorkeudet pystytään pääosin saavuttamaan.

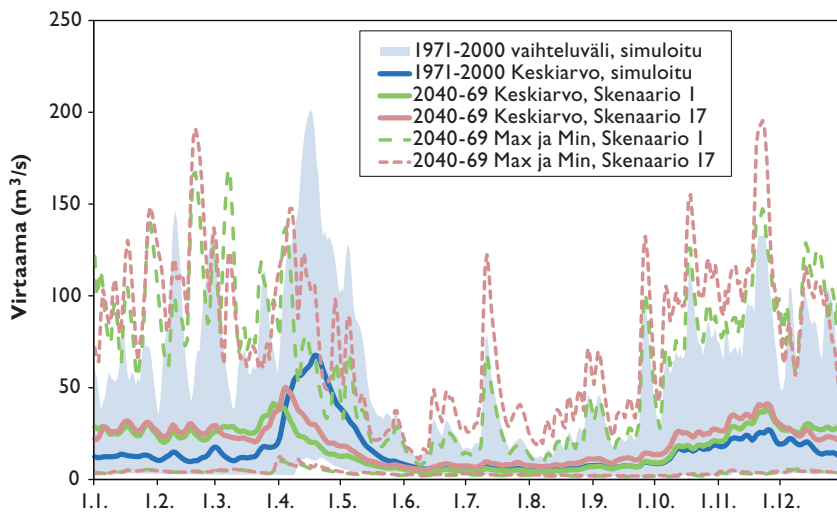
6.7.4

Eurajoki

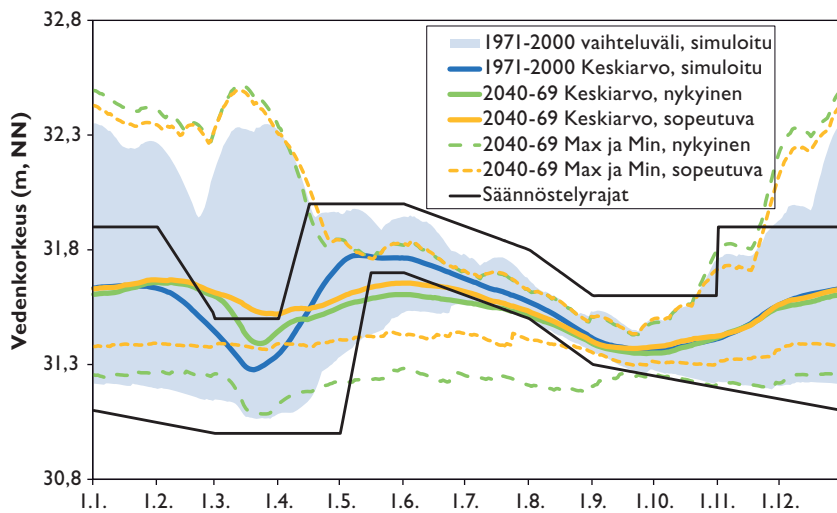
Eurajoella Säskylän Pyhäjärvellä talven vedenkorkeudet kasvavat ilmastonmuutoksen vaikutuksesta ja kesän alimmat vedenkorkeudet puolestaan alenevat (Kuva 57). Useimmilla skenaarioilla ilmastonmuutos lisää sekä tulva- että kuivuusriskiä Säskylän Pyhäjärvellä. Suurimmalla osalla skenaarioista alimmat vedenkorkeudet Pyhäjärvellä laskevat, mutta niillä skenaarioilla, joilla sadanta lisääntyy ilmastonmuutoksen seurauksena eniten, alhaisimmat vedenkorkeudet pysyvät ennallaan tai jopa nousevat referenssijaksoon nähden (Kuva 57 ja Liite 1, Kuva 18d). Simuloinneissa tarkasteltiin kahta vaihtoehtoista säännöstelykäytäntöä ilmastonmuutostilanteessa, nykyisen kaltaista ja sopeutuvaa säännöstelyvaihtoehtoa. Toisessa vaihtoehdossa



Kuva 54. Tuusulanjärven vedenkorkeuksien keskiarvo, minimi ja maksimi referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla.



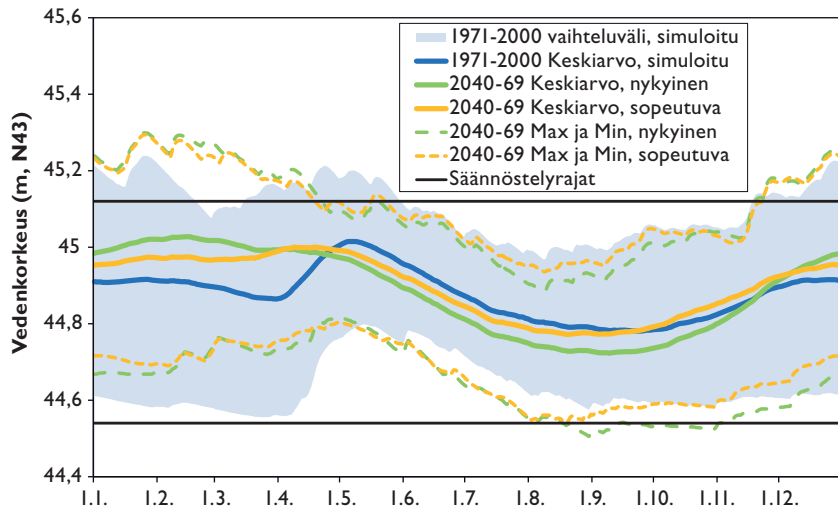
Kuva 55. Vantaanjoen Oulunkylän simuloitujen virtaamien keskiarvo, minimi ja maksimi referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 kahdella eri skenaariolla (skenaario I (Ka AIB) ja skenaario 17 (RCA3 Had AIB)). Skenaariossa 17 sadannan kasvu on keskimääräistä suurempaa.



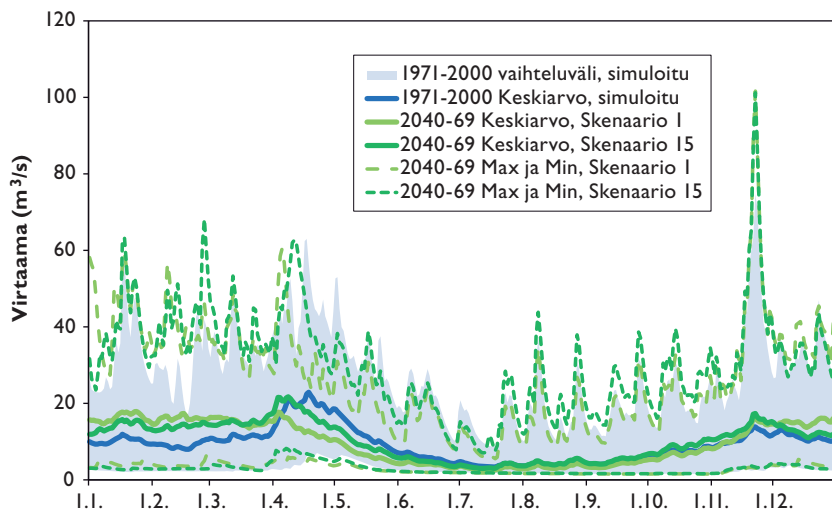
Kuva 56. Lohjanjärven vedenkorkeuden keskiarvo, minimi ja maksimi referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyohjeella.

säännöstelykäytäntö oli samankaltainen kun nykytilanteessa ja toisessa vaihtoehdossa säännöstelyohjeita muokattiin voimakkaammin nykyisestä. Säkylän Pyhäjärvellä kahdella vaihtoehdoisella säännöstelykäytännöllä ei simuloinneissa ollut kovin merkittävää vaikutusta järven vedenkorkeuksiin. Jakson 2040–69 kesän keskimääräisiä vedenkorkeuksia ja loppukesän ja syksyn alhaisimpia vedenkorkeuksia pystytään sopeutuvassa vaihtoehdossa nostamaan jonkin verran. Säännöstelyn tehokkaampi sopeutuminen tulevaan ilmastoon vaatisi muutoksia järven minimi- ja maksimijuoksuksiin.

Kuva 57. Säkyllän Pyhäjärven vedenkorkeuden keskiarvo, minimi ja maksimi referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla.



Kuva 58. Eurajoenjoen Pappilankosken simuloitujen virtaamien keskiarvo, minimi ja maksimi referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 kahdella eri skenaariolla (skenaario I (Ka AIB) ja skenaario I5 (RCA3 Ech5 AIB)). Skenaariossa I5 lämpötilan nousu on keskimääräistä pienempää.



Eurajoessa Pappilankoskessa suurimmat virtaamat ovat tulevaisuudessa loppusyksyllä ja talvella (Kuva 58). Syksyn ja talven virtaamahuiput kasvavat referenssijaksolta jaksolle 2040–69 ja Eurajoen tulvariski kasvaa suurimmalla osalla ilmastoskenaarioita. Talven virtaamien kasvu voi lisätä myös hyödetulvien riskiä. Toukokuun ja alkukesän virtaamat ovat jaksolla 2040–69 keskimäärin nykyistä pienempiä.

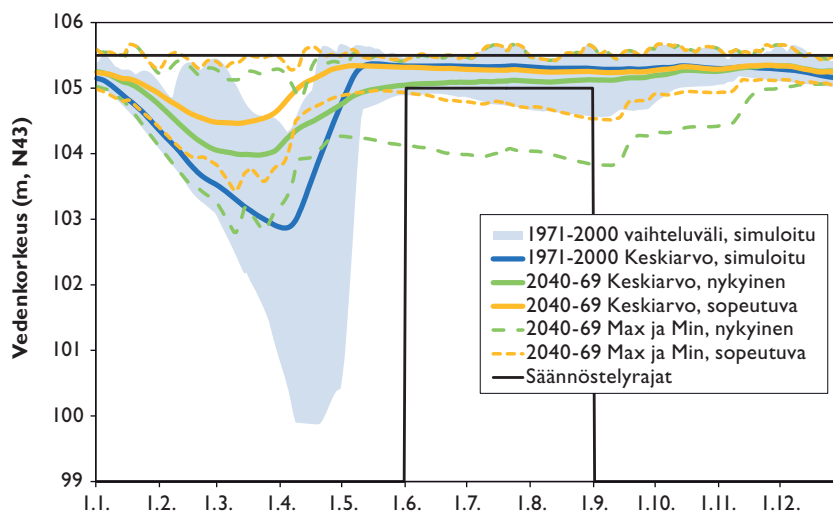
6.7.5

Kyrönjoki

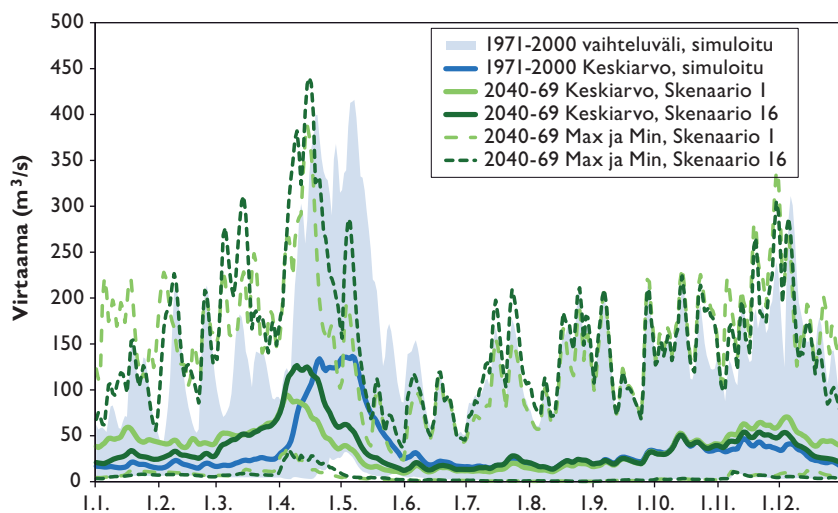
Kyrönjoella tarkasteltiin erityisesti Kalajärven säännöstelyä. Kalajärvellä ilmastonmuutoksen vaikutuksiin voidaan sopeutua säännöstelylupaa muuttamatta, sillä nykyinen lupa on varsin joustava eikä sisällä pakollista kevätalenemaa. Jaksolla 2040–69 lumen vesiarvo ei enää yleensä ole niin suuri, että Kalajärveä pitäisi laskea lähelle säännöstelyn alarajaa. Ilmastonmuutokseen voidaan Kalajärvellä sopeutua muuttamalla säännöstelykäytäntöjä nykyisen luvan sisällä siten, että kevätkuoppa tehdään pienempänä ja vedenkorkeus nostetaan lähelle säännöstelyn ylärajaa jo aiemmin keväällä (Kuva 59). Näin voidaan varautua entistä suurempaan kuivan kesän riskiin, joka aiheutuu aikaisemmasta keväästä ja kesän suuremmasta haihdunnasta (Liite 1, Kuva 19c). Kalajärven säännöstelyn kannalta suurin riski voi olla Kyrönjoen alivirtaamien pieneminen (Kuva 60). Tällöin voidaan nykyisen luvan mukaan Ka-

lajärven kesän vedenkorkeuden alaraja alittaa Kyrönjoen tilanteen helpottamiseksi. Tätä vaihtoehtoa ei kuitenkaan ole tarkasteltu tehdyissä laskelmissa.

Kyrönjoella tulvat keskimäärin pysyvät ennallaan tai pienenevät (Kuva 60). Syksyn ja talven tulvat kasvavat, mutta kevään lumen sulamistulvat sen sijaan pienenevät (Kuva 60). Jaksolla 2040–69 esiintyy kuitenkin vielä suuriakin kevättulvia, mutta ne ovat nykyistä harvinaisempia. Laskelmissa on huomioitu Kyrönjoen tulva-alueet, joille vesi päästetään kun vedenkorkeus Nikkolassa ylittää tulvarajan. Referenssijaksolla tulvaraja ylitettiin ja vettä johdettiin tulva-alueille mallin simuloinneissa kolme kertaa 30 vuoden aikana, kun taas jaksolla 2040–69 skenaariolla 1 näin tapahtui kerran. Jääpadot ovat nykytilanteessa yleisiä Kyrönjoella. Vaikka jäänpaksuus ilmastomuutoksen myötä keskimäärin heikkeneekin, voivat talven äkilliset virtaaman nousut ja kevään entistä aikaisemmat virtaamahuiput jatkossakin aiheuttaa jääpatoriskejä Kyrönjoella.



Kuva 59. Kalajärven vedenkorkeuden keskiarvo, minimi ja maksimi referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla.



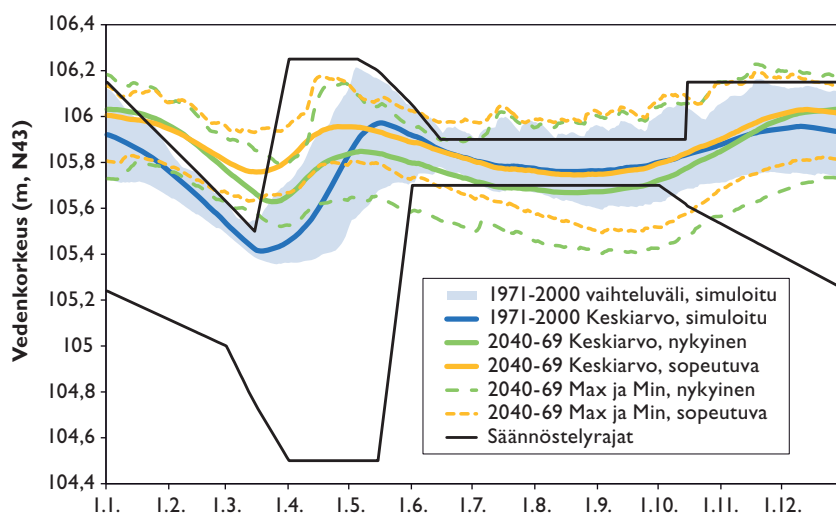
Kuva 60. Kyrönjoen Hanhikosken virtaaman keskiarvo, minimi ja maksimi referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 kahdella eri skenaariolla (skenaario 1 (Ka A1B) ja skenaario 16 (REMO Ech5 A1B)). Skenaariossa 16 lämpötilan nousu on keskimääräistä pienempää.

Lapuanjoki

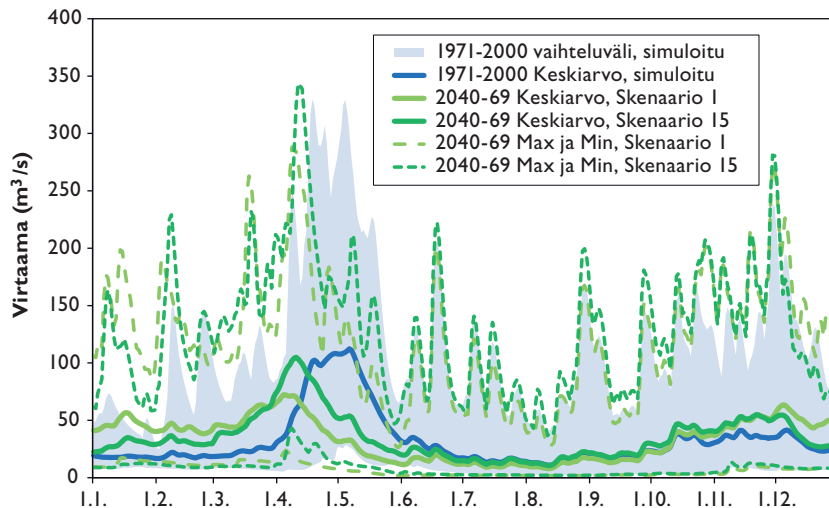
Lapuanjoella keskityttiin pääosin tarkastelemaan Nurmojoen yläosan järviä, joiden säännöstelyn kehittämisselvitystä Pohjanmaan ELY-keskus teki samaan aikaan. Ilmastomuutosarvioita käytettiin taustatietona tässä selvityksessä. Lapuanjoella nykyisten säännöstelylupien ongelmakohdat tulevaisuudessa ovat kevätkuopan koko ja ajoitus. Jo viimeisten lauhojen vuosien aikana luvan määrittelemää ylärajaa on rikottu maaliskuun aikana, jotta on vältytty suurilta talviaikaisilta juoksutuksilta. Kun kevättulvien koko pienenee ja ajoitus aikaistuu 2040–69 mennessä, ei nykyinen lupa kalenteriin sidottuine kevätkuoppineen enää vastaa uusia olosuhteita. Nykyisen luvan mukaan vedenkorkeuksia lasketaan tammi-maaliskuussa, jolloin tulovirtaamat jaksolla 2040–69 ovat suuria. Vastaavasti vedenkorkeuden nostaminen tapahtuu nykyluvassa huhti-toukokuussa, mikä voi tulevaisuudessa lauhoina vuosina olla ongelmallinen ajankohta, kun noston aikaan lumen sulamistulva on jo ohi ja erityisesti jos kevät on kuiva. Kevään aikaistuminen ja kesän virtaamien pieneneminen lisäävät kesän alhaisten vedenkorkeuksien riskiä. Ongelmat ovat samankaltaisia suurimmas-
sa osassa Nurmojoen latvaosan järviä, esimerkkinä toimii Kuorasjärvi (Kuva 61).

Tarkastellussa sopeutuvassa vaihtoehdossa on pyritty huomioimaan nämä nykyisen luvan ongelmakohdat. Kevätkuoppa tehdään nykyistä aikaisemmin ja lauhoina vuosina se tehdään nykyistä pienempänä (Kuva 61). Vedenkorkeuksia lähdetään myös keväällä nostamaan entistä aikaisemmin juoksutuksia pienentämällä (Liite 1, Kuva 20e) välittämättä nykyisistä säännöstelyrajoista. Näillä muutoksilla Nurmojoen altailla pystytään ilmastomuutoksen vaikutuksiin sopeutumaan melko hyvin. Kesän alimmat vedenkorkeudet ovat myös sopeutuvassa vaihtoehdossa suurimmalla osalla skenaarioista hieman referenssijakoa alhaisemmat, mutta ero on vain noin 15–20 cm.

Lapuanjoella tulvariski pysyy jaksolle 2040–69 mennessä nykyisellään tai pienenee, riippuen tarkastellusta skenaariosta (Kuva 62). Tulvat siirtyvät entistä enemmän kevästä syksylle ja talvelle. Suuria kevättulvia esiintyy kuitenkin yhä, mutta entistä harvemmin. Säännöstelyn keskimääräiset vaikutukset Lapuanjoen alaosan virtaamiin ovat pieniä. Lyhytaikaissäännöstelyllä pystytään hetkellisesti leikkaamaan tulvahuipuja, mutta tätä mahdollisuutta ei ole tarkasteltu Lapuanjoella. Minimivirtaamat pienenevät ja kesällä ja syksyllä kuivuus voi olla entistä suurempi ongelma.



Kuva 61. Kuorasjärven vedenkorkeuden keskiarvo, minimi ja maksimi referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla.



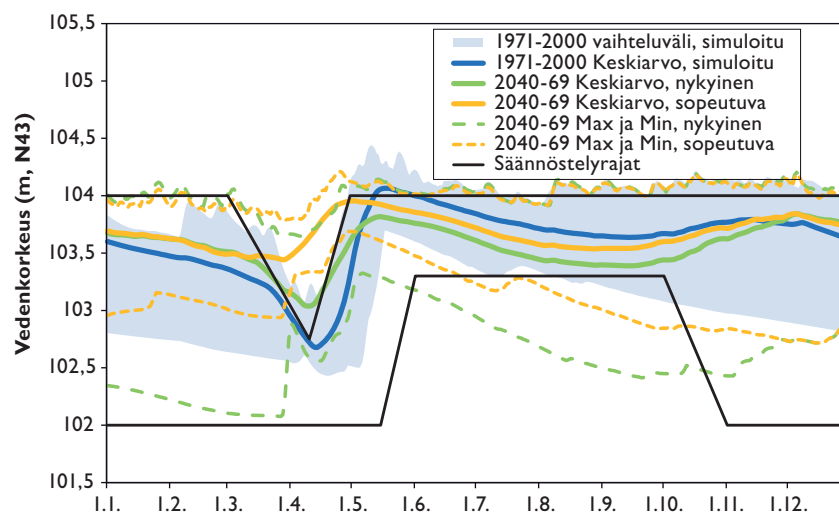
Kuva 62. Lapuanjoen Kepon simuloitujen virtaamien keskiarvo, minimi ja maksimi referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 kahdella eri skenaariolla (skenario I (Ka AIB) ja skenaario 15 (RCA3 Ech5 AIB)). Skenariossa 15 lämpötilan nousu on keskimääräistä pienempää.

6.7.7

Siikajoki

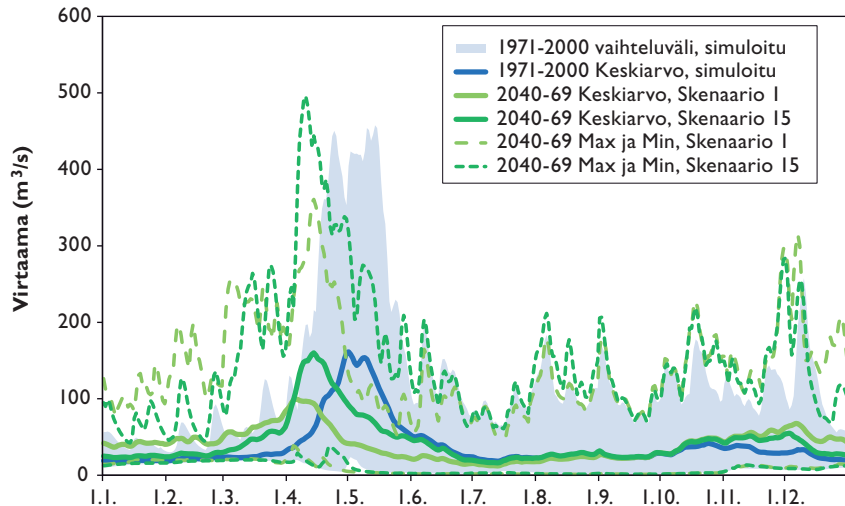
Siikajoella tarkasteltiin erityisesti Kortteisen allasta, jonka säännöstelyn kehittämistä selvitettiin samaan aikaan. Myös sen yläpuolisten Vähä- ja Isolamujärven säännöstelyjä tarkasteltiin, jotta niiden vaikutusta Kortteisen tulovirtaamiin voitiin arvioida. Kortteisen säännöstelyrajojen ylärajaa rikotaan jo nykytilanteessa ajoittain, esim. vuoden 2011 keväällä vedenkorkeus nousi aiemmin kuin säännöstelyn yläraja sallii.

Jaksolla 2040–69 säännöstelyn ylärajan mukainen jyrkkä vedenkorkeuden alennus maaliskuuhuhtikuussa ei ole enää joka vuosi tarkoituksenmukainen, sillä kevään tulovirtaamat keskimäärin aikaistuvat ja pienenevät. Jos nykyisen kaltainen kevätkuoppa tehdään joka vuosi huomioimatta talven lumi- ja vesitilannetta, voi vedenkorkeuden nostaminen tavanomaiselle kesätasolle olla ongelmallista niinä vuosina, jolloin lunta on vähän ja kevät on kuiva (Kuva 63). Kesän tulovirtaamat pienenevät pidemmän ja lämpimämmän kesän myötä, jolloin kesän kuivuus saattaa muodostua entistä suuremmaksi ongelmaksi (Liite 1, Kuva 21c). Sopeutuvalla säännöstelyllä pystytään kesän alimpia vedenkorkeuksia nostamaan. Kevättulvien pienemisen myötä tulvariski pienenee, vaikka kesän ja syksyn rankkasateista aiheutuneet tulvat sekä talven tulvat kasvavatkin.



Kuva 63. Kortteisen vedenkorkeuden keskiarvo, minimi ja maksimi referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla.

Kuva 64. Siikajoen Länkelän simuloitujen virtaamien keskiarvo, minimi ja maksimi referenssjaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 kahdella eri skenaariolla (skenaario 1 (Ka AIB) ja skenaario 15 (RCA3 Ech5 AIB). Skenaariossa 15 lämpötilan nousu on keskimääräistä pienempää.



Siikajoessa tulvat pienenevät 2040–69 mennessä suurimmalla osalla skenaarioita lumen sulamistulvien pienenemisen myötä (Kuva 64). Kylmimmillä skenaarioilla (skenaario 15) tulvat kuitenkin pysyvät melko samansuuruisina kuin referenssjaksolla.

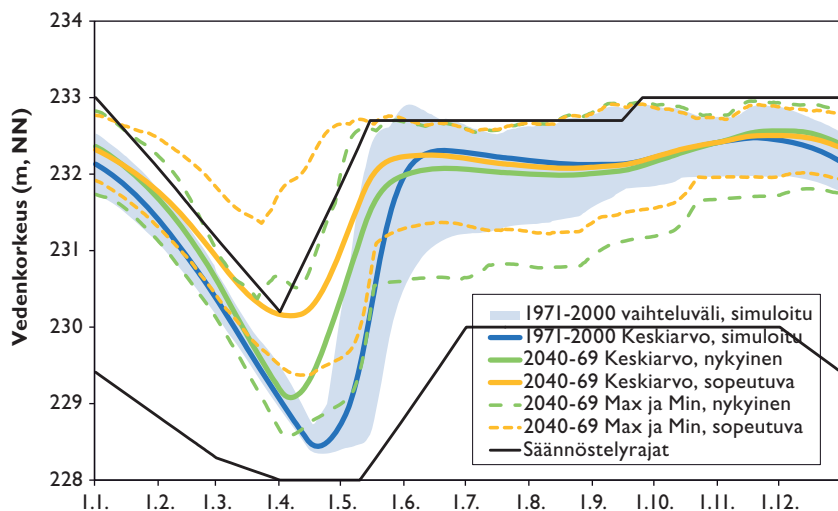
6.7.8

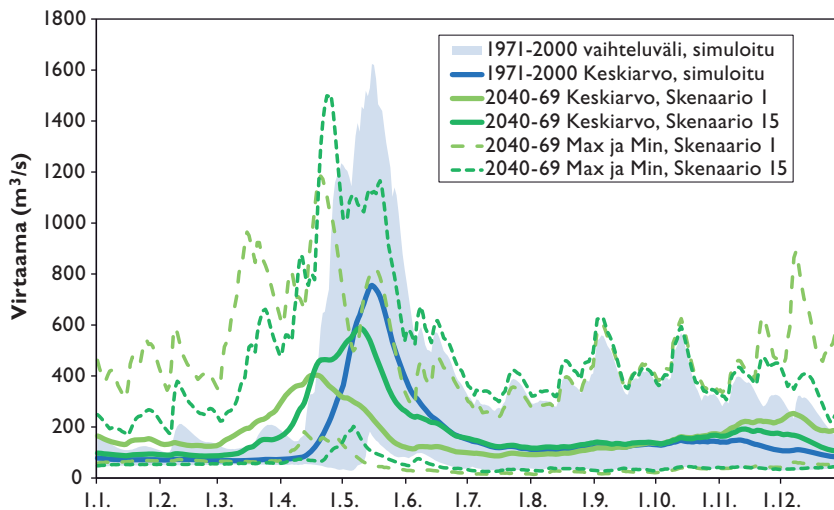
Iijoki

Iijoen merkittävimmät säännöstellyt järvet ovat vesistöalueen latva-alueella sijaitsevat Koston- ja Irnijärvi. Koska näiden järvien varastotilavuus on vesistöalueen kokoon suhteutettuna pieni, ja ne sijaitsevat kaukana alajuoksun merkittävimmistä tulvakohdeista, ei niiden avulla voida merkittävästi vaikuttaa Iijoen alajuoksun tulvien kokoon.

Kostonjärvessä ei ole merkittävää tarvetta säännöstelylupien tarkastamiseen vielä jaksolla 2010–39, jolloin muutokset nykytilaan nähden ovat verrattain pieniä (Liite 1, Kuva 22a). Jaksolla 2040–69 talven virtaamat kasvavat ja kevät aikaistuu ja lauhimpina talvina säännöstelyn ylärajan noudattaminen johtaa suuriin talviaikaisiin juoksuksiin ja ohijuoksuusten lisääntymiseen (Liite 1, Kuva 22e). Talven juoksuusten kasvaminen saattaa lisätä hyydetulvan riskiä Kostonjoessa. Säännöstelyluvan ja -käytäntöjen muuttaminen siten että kevätkuoppa aikaistuisi ja loiventuisi vähentäisi suurten talviaikaisten juoksuusten tarvetta ja siten hyydetulvan riskiä sekä nostaisi kesän alimpia vedenkorkeuksia etenkin lämpimimmillä skenaarioilla jaksolla 2040–69 (Kuva 65). Irnijärvellä tulokset ovat varsin samankaltaisia kuin Kostonjärvellä.

Kuva 65. Kostonjärven vedenkorkeuden keskiarvo, minimi ja maksimi referenssjaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla.





Kuva 66. Iijoen Raasakan simuloitujen virtaamien keskiarvo, minimi ja maksimi referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 kahdella eri skenaariolla (skenaario I (Ka AIB) ja skenaario 15 (RCA3 Ech5 AIB)). Skenaariossa 15 lämpötilan nousu on keskimääräistä pienempää.

Iijoen pääuomassa talven virtaamat kasvavat ja kevättulvat aikaistuvat (Kuva 66). Lumen sulamistulvat säilyvät kuitenkin suurimpina tulvina jaksolla 2040–69. Tulvien koko pienenee suurimmalla osalla skenaarioita 2040–69 mennessä, mutta kylmimmillä ja runsassateisimmilla skenaariolla tulvat pysyvät lähes nykyisen suuruisina.

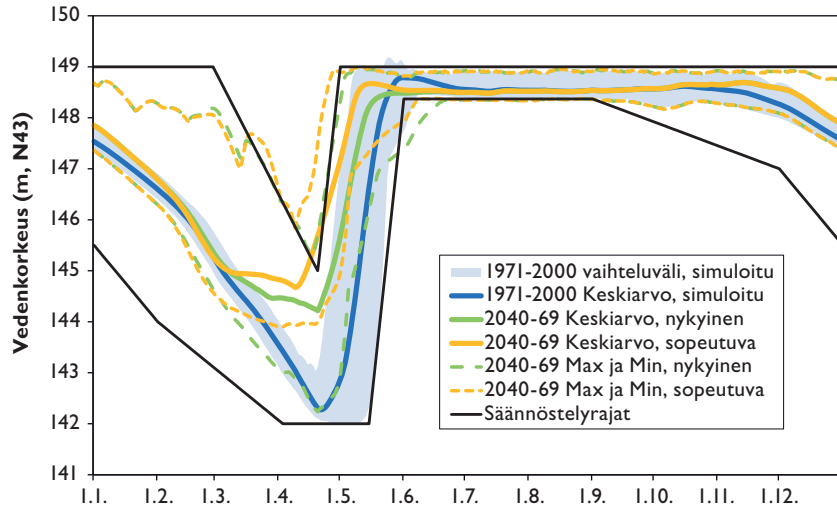
6.7.9

Kemijoki

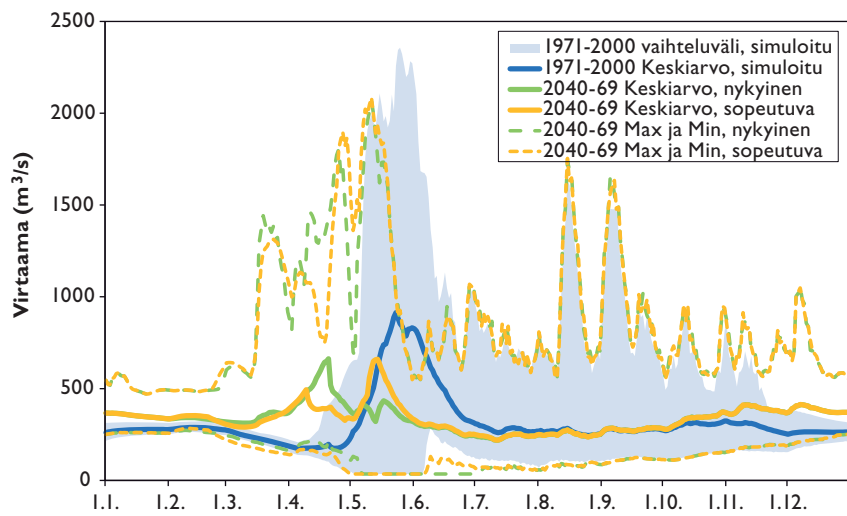
Kemijoen vesistöalueella tarkasteltiin erityisesti Kemijärven säännöstelyä. Säännöstelyn muutospainet Kemijärvellä alkavat muodostua jaksolla 2040–69, jolloin ilmasto on suurimmalla osalla ilmastoskenaarioista jo lämmennyt merkittävästi. Jaksolla 2010–39 muutokset ovat pienempiä ja nykyiset säännöstelykäytännöt toimivat pienin muutoksin. Jaksolla 2040–69 paineita muutokseen aiheuttaa kevätkuopan nykyinen ajoitus, jossa kuoppa on syvimmillään 20.4. Nykyisessä ilmastossa tulovirtaamat eivät kasva merkittävästi ennen tätä ajankohtaa, mutta ilmastonmuutoksen myötä lumi alkaa sulaa ja tulovirtaamat kasvaa nykyistä aikaisemmin. Tällöin tiukasti kalenteriin sidottu säännöstelylupa ei välttämättä ole enää joka vuosi tarkoituksenmukainen. Niinä vuosina jolloin lunta on kertynyt tavanomaista vähemmän ja sulaminen alkaa nykyistä aikaisemmin, voi järven pinnan nostaminen 1.6. mennessä luvan mukaiselle kesävedenkorkeudelle olla hankalaa loppukevään aiempaa selvästi pienempien virtaamien johdosta (Kuva 67). Lauhoina vuosina juoksutukset joudutaan talven aikana pitämään suurina, jos nykyistä ylärajaa halutaan noudattaa ja keväällä taas juoksutuksia joudutaan voimakkaasti pienentämään luvanmukaisten kesävedenkorkeuksien saavuttamiseksi (Kuva 68). Jaksolla 2040–69 voi siten syntyä tilanteita, joissa säännöstelyrajoja jouduttaisiin rikkomaan joko kevätkuopan ylärajalla 20.4. tai alkukesällä kesän vedenkorkeuksien alarajalla.

Ilmastonmuutokseen voidaan sopeutua muuttamalla nykyistä säännöstelylupaa. Tulosten perusteella tämä olisi hyödyllistä jaksolle 2040–69 mennessä. Jaksolla 2010–39 nykyinen säännöstelylupa toimii vielä ilman suurempia ongelmia. Sopeutuvassa vaihtoehdossa vedenkorkeutta alettaisiin keväällä nostaa nykyistä aikaisemmin ja/tai kevätkuoppaa ei tehtäisi yhtä syvänä ainakaan joka vuosi (Kuvat 67 ja 68). Kevätkuopan syvyydestä voisi myös tehdä ehdollisen, jolloin se riippuisi esim. lumen vesiarvosta tai tulovirtaamaennusteesta.

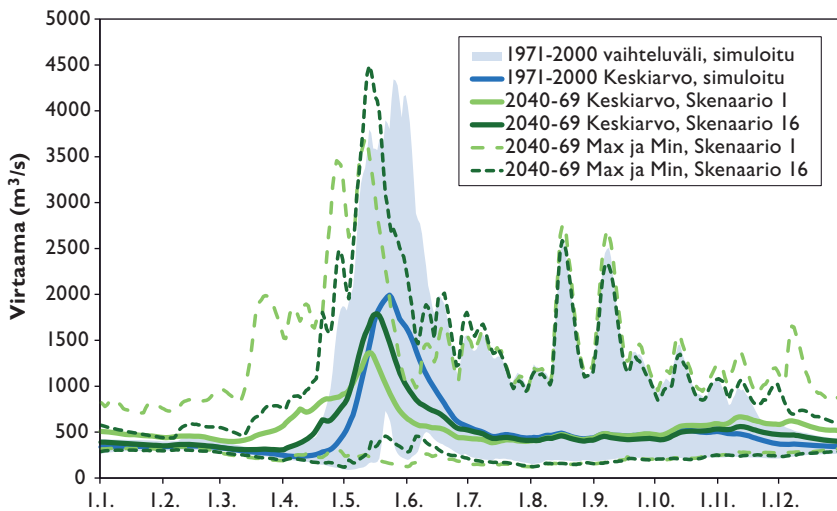
Kuva 67. Kemijärven vedenkorkeuden keskiarvo, minimi ja maksimi referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla.



Kuva 68. Kemijärven lähtövirtaaman eli Seitakorvan juoksuksen keskiarvo, minimi ja maksimi referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla.



Kuva 69. Kemijoki, Rovaniemen (Valajaskoski) simuloitujen virtaamien keskiarvo, minimi ja maksimi referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 kahdella eri skenaariolla (skenaario I (Ka AIB) ja skenaario I6 (REMO Ech5 AIB)). Skenaariossa I6 lämpötilan nousu on keskimääräistä pienempää.



Ilmastonmuutoksen myötä vuosien välinen vaihtelu kasvaa nykyisestä. Runsaslumisista talvia esiintyy edelleen, mutta myös lauhat talvet yleistyvät. Tämä vaikeuttaa säännöstelyn ennakoitua pitkällä aikavälillä. Syksyn ja alkutalven virtaamat kasvavat, mikä saattaa lisätä hyyeongelmia. Kemijoen tulvien koko pysyy entisellään tai pienenee 2040–69 mennessä, riippuen käytetystä ilmastoskenaariosta (Kuva 69).

Vaikutustarkastelujen yhteenveto

Vaikutustarkasteluiden perusteella ilmastonmuutoksen vaikutukset vaihtelevat sekä alueellisesti että eri ilmastoskenaarioiden välillä. Taulukossa 12 on esitetty yhteenveto ilmastonmuutostarkasteluiden tuloksista tarkastelluilla järvillä nykyisten säännöstelylupien mukaisilla säännöstelyillä tarkastelujaksolla 2040–69 verrattuna vertailujaksoon 1971–2000. Taulukossa on esitetty vaikutuskohteittain tarkastelluissa skenaarioissa esiintyvät suurin kielteinen ja myönteinen vaikutus. Vastaavat tiedot tarkasteltujen jokien osalta on esitetty Taulukossa 13.

Taulukko 12. Yhteenveto ilmastonmuutosskenaarioiden vaikutuksista tarkastelluilla järvillä vuosina 2040–69. Vaikutusta on verrattu vertailujaksoon 1971–2000 siten, että edellisenä on ilmoitettu skenaarioissa esiintyvä kielteis in ja jälkimmäisenä myönteisin vaikutus.

Arviointiasteikko: --- = suuri kielteinen vaikutus, -- = melko suuri kielteinen vaikutus, - = vähäinen kielteinen vaikutus, 0 = ei vaikutusta, + = vähäinen myönteinen vaikutus, ++ = melko suuri myönteinen vaikutus, +++ = suuri myönteinen vaikutus.

	Rantavyöhyke	Kalakannat	Linnusto	Virkistyskäyttö	Tulvat
Pielinen	+	- / +	+	-- / +	0 / +
Saimaa	0 / +	+ / ++	0 / +	- / +	-- / -
Näsijärvi	0 / +	++	+	- / ++	--- / +++
Vanajavesi	0	0 / +	- / 0	0 / +	-- / +++
Karvianjärvi	- / 0	0 / ++	0	- / 0	Ei tarkasteltu
Isojärvi	-	0 / +	0	- / +++	Ei tarkasteltu
Päijänne	+ / ++	++ / +++	+ / ++	-- / 0	---
Oulujärvi	0	+ / ++	+ / ++	-- / 0	---/-
Kiantajärvi	0	++	+	--- / +	Ei tarkasteltu
Nuasjärvi	0	+ / ++	+	-- / 0	Ei tarkasteltu
Inarjärvi	+ / +++	Ei tarkasteltu	Ei tarkasteltu	+	---

Taulukko 13. Yhteenveto ilmastonmuutosskenaarioiden vaikutuksista tarkastelluilla jokiosuuksilla vuosina 2040–69. Vaikutusta on verrattu vertailujaksoon 1971–2000 siten, että edellisenä on ilmoitettu skenaarioissa esiintyvä kielteis in ja jälkimmäisenä myönteisin vaikutus.

Arviointiasteikko: --- = suuri kielteinen vaikutus, -- = melko suuri kielteinen vaikutus, - = vähäinen kielteinen vaikutus, 0 = ei vaikutusta, + = vähäinen myönteinen vaikutus, ++ = melko suuri myönteinen vaikutus, +++ = suuri myönteinen vaikutus.

	Kalakannat	Virkistyskäyttö	Vesiliikenne	Energiantuotanto	Tulvat
Pielisjoki	Ei tarkasteltu	0	-	+	+++
Vuoksi	Ei tarkasteltu	- / 0	- / 0	- / ++	--- / -
Kokemäenjoki	Ei tarkasteltu	Ei tarkasteltu	Ei tarkasteltu	- / ++	--- / -
Karvianjoki	Ei tarkasteltu	+ / +++	Ei tarkasteltu	0 / +	0 / +
Merikarvianjoki	--- / 0	--- / 0	Ei tarkasteltu	-- / +	0 / +
Kymijoki	- / +++	--- / 0	Ei tarkasteltu	0 / +	---
Oulujoki	Ei tarkasteltu	Ei tarkasteltu	Ei tarkasteltu	+ / ++	Ei tarkasteltu
Paatsjoki	Ei tarkasteltu	Ei tarkasteltu	Ei tarkasteltu	+ / ++	+++

Valtaosassa tarkasteltuja järviä rantavyöhykkeeseen ja linnustoon ei kohdistu vaikutuksia tai vaikutukset ovat pääosin vähäisiä. Kalakantoihin ja linnustoon kohdistuvat vaikutukset ovat tarkasteltujen mittarien perusteella pääosin myönteisiä. Järvien virkistyskäyttöön kohdistuvat vaikutukset ja tulvien esiintyminen vaihtelevat erittäin paljon skenaarioiden välillä johtuen pääosin merkittävistä eroista eri ilmastoske-

naarioiden sadantojen muutoksissa. Kuivissa skenaarioissa pieni sadanta ja entistä pidempi kesä aikaansaavat sen, että vedenkorkeus on kesäkaudella erittäin alhaalla, mikä vaikeuttaa virkistyskäyttöä ja pienentää talvitulvien riskiä. Vastaavasti sadannan huomattava kasvu saattaa mahdollistaa järvien kesävedenkorkeuden ylläpitämisen virkistyskäytön kannalta otollisella tasolla, mutta myös aiheuttaa tulvariskin kasvamisen.

Jokiosuuksilla tarkastelut olivat järviä suppeampia ja painottuivat energiantuotantoon ja tulviin. Valtaosassa jokia ja skenaarioita tuotetun energian määrä on yhtä suuri tai suurempi kuin vertailujaksolla, mutta Vuoksen, Kokemäenjoen ja Merikarvianjoen kohdalla esiintyy jollain skenaariolla myös mahdollisuus tuotannon pienenemiseen. Jaksolla 2010–39 vesivoimatuotannon kasvu on nykyisen kaltaisella säännöstelyvaihtoehdolla keskimäärin 6 % (1–12 %) ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla keskimäärin 8 % (3–11 %). Jaksolla 2040–69 vastaavat arvot ovat nykyisen kaltaisella säännöstelyvaihtoehdolla 8 % (-3–12 %) ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla 8 % (4–11%). Tulvien lukumäärä vaihtelee jokiosuuksilla lähes yhtä runsaasti kuin järvillä. Tulvien muutoksia useammilla tarkastelukohteilla on esitetty Kappaleessa 7.

6.9

Ilmastoskenaarioiden erot ja epävarmuudet

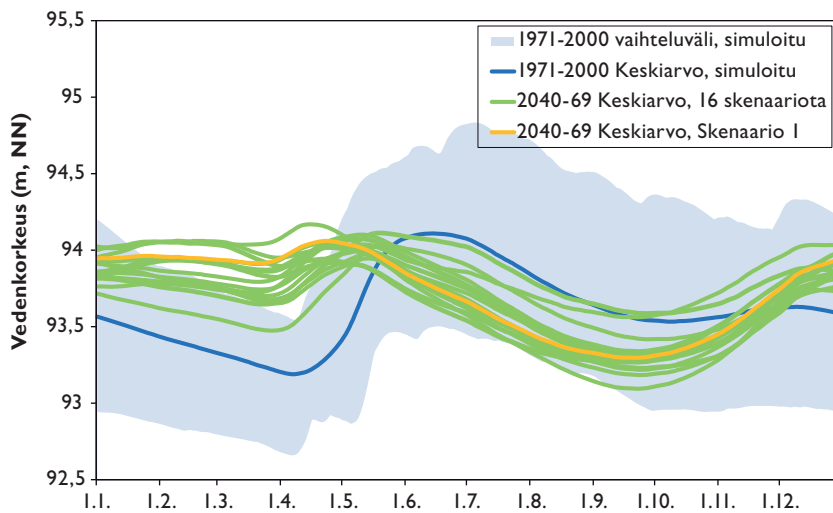
Raportin aiemmissa kuvissa on selkeyden vuoksi esitetty tuloksia vain yhdellä tai kahdella ilmastoskenaariolla. Simuloinnit on kuitenkin suurimmalla osalla kohteista tehty 12–17 skenaariolla ilmastomuutokseen liittyvän epävarmuuden kuvaamiseksi. Liitteiden kuvissa on esitetty tuloksia useammalla skenaariolla, jotka on valittu kuvaamaan eri ilmastoskenaarioiden tuottamia mahdollisimman erilaisia hydrologisia vaikutuksia tarkasteltavilla vesistöalueilla. Myös vaikutustarkasteluihin valittiin mahdollisimman erilaisia skenaarioita kuvaamaan ilmastomuutokseen liittyviä epävarmuuksia.

Ilmastoskenaariot antavat toisistaan poikkeavia arvioita ilmastomuutoksen aiheuttamasta lämpötilan noususta ja sadannan muutoksesta erilaisista päästöskenaarioista, ilmastomalleista ja mallien lähtöoletuksista johtuen. Myös ilmaston luonnollinen vaihtelu aiheuttaa epävarmuutta keskimääräisiin lämpötilan ja sadannan muutoksiin. Eri skenaariot erilaisine lämpötilan ja sadannan muutoksineen johtavat toisistaan selvästi poikkeaviin virtaamiin ja vedenkorkeuksiin (Kuvat 70 ja 71). Skenaarioissa, joissa lämpötilan nousu on keskimääräistä pienempää (esim. skenaario 15, Taulukko 3), virtaamat ja vedenkorkeudet ovat lähempänä referenssijakson tilannetta kuin muissa skenaarioissa. Suurimmat muutokset referenssijaksoon nähden saadaan usein skenaarioilla, joissa lämpötilan ja sadannan kasvu on suurta (esim. skenaario 17). Alhaisimmat vedenkorkeudet ja virtaamat syntyvät skenaarioilla, joissa lämpötila nousee keskimääräisesti tai sitä enemmän, mutta sadannan muutos on pientä (esim. skenaario 11, 18, 19). Sama skenaario ei välttämättä ole samanlainen eri puolilla Suomea ja eri ajanjaksoilla. Esim. skenaariossa 19 on muihin skenaarioihin verrattuna pienet sadannan muutokset jaksolla 2040–69, mutta jaksolla 2010–39 muutokset ovat lähellä keskiarvoa.

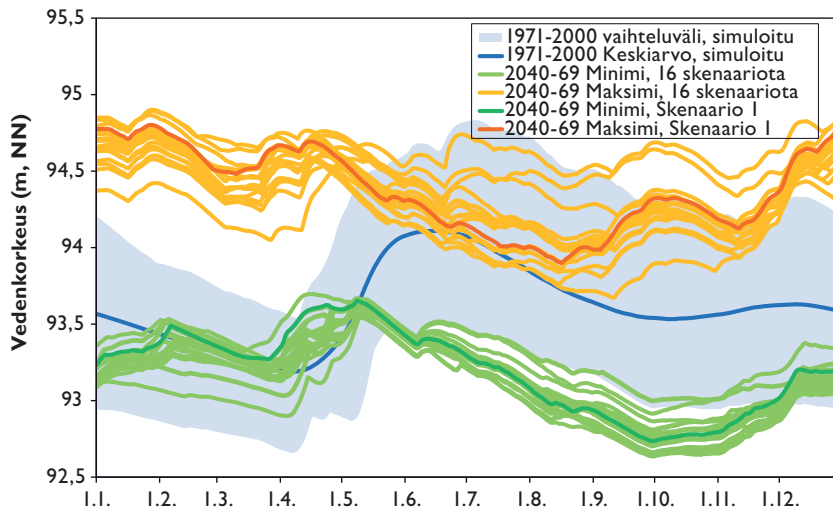
Kuvissa 70 ja 71 esitetyt muutokset Pielisen keskimääräisessä ja maksimi- ja minimivedenkorkeudessa 17 eri skenaariolla ovat samansuuntaisia, mutta eri skenaarioiden tuottama vaihteluväli on melko suuri. Suurimmalla osalla skenaarioista kesän minimivedenkorkeudet alenevat, mutta runsassateisimmalla skenaariolla näin ei käy. Suurimmat vedenkorkeudet kasvavat tai pysyvät entisellään useilla skenaarioilla verrattuna referenssijaksoon, mutta osalla skenaarioista maksimivedenkorkeudet myös pienenevät. Skenaario 1 (Ka A1B), jossa sadannan ja lämpötilan muutokset ovat 19 mallin keskiarvoja A1B päästöskenaariolla, tuottaa muihin skenaarioihin verrattuna

pääosin melko keskimääräisiä vedenkorkeuksia (Kuvat 70 ja 71). Talvella skenaariolla 1 simuloitu vedenkorkeus on korkeampi kuin suurimmassa osassa muita skenaariota, mutta ei kuitenkaan yhtä korkea kuin kaikkein lämpimimmissä ja runsassateisimmissä skenaarioissa. Tämä selittyy todennäköisesti, sillä että 19 mallissa on mukana myös skenaarioita, joissa talvilämpötilan nousu on suurempaa kuin tarkasteluun valituissa yksittäisissä skenaarioissa.

Skenaarioiden keskinäistä paremmuutta on lähes mahdotonta arvioida. Kaikki ilmastomallit, joilla valitut skenaariot on tuotettu, täyttävät ilmastomallien perusoletukset eli pystyvät tuottamaan kohtalaisen hyvin Suomen nykyisen ilmaston referenssijaksolla. Usean mallin keskiarvo voi tuottaa yksittäistä mallia parempia tuloksia. Ongelmana on kuitenkin, että suureen määrään malleja, joista keskiarvo lasketaan, sisältyy myös joitain Suomessa huonommin toimivia malleja. Nämä mallit voivat tuottaa epärealistisia tuloksia, jotka taas vaikuttavat keskiarvoon. Esimerkiksi joissain 19 malliin sisältyvissä malleissa Jäämeren jään laskennassa oli ongelmia, mikä johti liian suuriin lämpötilan nousuihin ilmastomuutoksen myötä Jäämerellä ja vaikutus ylettyi Suomen pohjoisosiin asti. Toinen ongelma skenaariossa, joka pohjautuu usean mallin keskiarvoon, on että keskiarvon käyttäminen ei välttämättä anna riittävää kuvaa ilmastomuutokseen liittyvistä riskeistä. Suurimmat vaikutukset erityisesti tulviin ja kuivuuteen eivät synny keskimääräisillä muutoksilla vaan ääripään



Kuva 70. Pielisen 17 skenaariolla (skenaariot 1–12, 18–22, Taulukko 3) simuloitu keskimääräinen vedenkorkeus 2040–69 verrattuna referenssijaksoneen simuloituun vedenkorkeuteen luonnollisella purkautumisella. Skenaariot I (Ka AIB) tuottama vedenkorkeus merkitty oranssilla värillä.

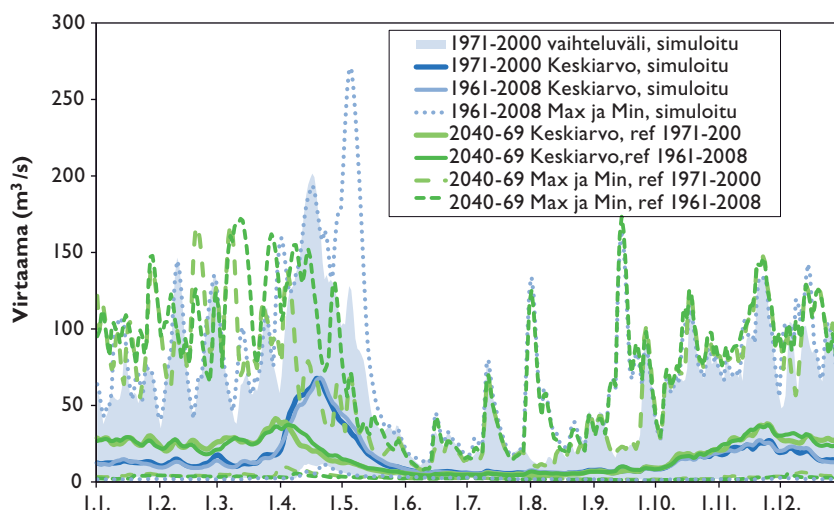


Kuva 71. Pielisen 17 skenaariolla (skenaariot 1–12, 18–22, Taulukko 3) simuloitu maksimi- ja minimivedenkorkeus 2040–69 verrattuna referenssijaksoneen simuloituun vedenkorkeuteen luonnollisella purkautumisella. Skenaariot I (Ka AIB) tuottamat vedenkorkeudet merkitty tummemmalla värillä.

muutoksilla. Vaikka tällaisen muutoksen todennäköisyys ei olisikaan kovin suuri, tulisi myös sen mahdollisuus ottaa huomioon. Tämän vuoksi ilmastonmuutoksen vaikutuksia tulisi tarkastella käyttäen mahdollisimman useaa skenaariota, jotta eri vaihtoehtojen riskit ja ilmastonmuutokseen liittyvä epävarmuus tulisi huomioitua.

Ilmastoskenaarioiden lisäksi tuloksiin vaikuttaa käytetty delta change -menetelmä ja sen lähtökohdaksi valittu referenssijakso. WaterAdapt-hankkeessa on referenssijaksosona käytetty jaksoa 1971–2000. Koska ilmastonmuutoksen vaikutuksia tarkastellaan muuttamalla tämän jakson sadantaa ja lämpötilaa, vaikuttavat referenssijaksolla vallinneet olosuhteet saatuihin tuloksiin. Referenssijaksolle osuva poikkeuksellinen tulva tai kuivuus tai vastaavasti referenssijaksolta puuttuvat tilanteet ovat läsnä tai puuttuvat myös ilmastonmuutostilanteissa. Kuvassa 72 on esitetty referenssijakson vaikutus Vantaanjoen virtaamaan. Jos referenssijaksoksi valittaisiin 1971–2000 sijaan pidempi jakso 1961–2008, tulokset olisivat keskiarvojen suhteen lähes samoja, mutta erityisesti päivittäiset maksimivirtaamat eroaisivat eri jaksojen välillä. Jaksoon 1961–2008 kuuluu vuoden 1966 kevättulva, vuoden 1962 syystulva ja vuoden 2004 kesätulva, jotka näkyvät yksittäisinä virtaamahuippuina 1961–2008 jaksolla (Kuva 72) ja sen perusteella lasketuissa ilmastonmuutostilanteissa. Samoin vuosien 2002–2003 kuivuus vaikuttaa syksyn ja talven minimivirtaamiin. Tarkastellun 30 vuoden jakson on tarkoitus antaa yleiskuva vesitilanteen muuttumisesta ja yleisten tulva- ja kuivuustilanteiden muutoksista, mutta harvinaisemmat tilanteet jäävät tarkastelun ulkopuolelle.

Kuva 72. Referenssijakson vaikutus Vantaanjoen Oulunkylän virtaamaan ja sen muuttumiseen jaksolla 2040–69 skenaariolla I (Ka A1B). Tarkastelussa käytetty kahta eri referenssijaksoa: 1971–2000 ja 1961–2008.



6.9.1

Vaikutustarkastelujen epävarmuus

Vaikutustarkastelut toteutettiin laskemalla päiväkohtaisista vedenkorkeuksista ja virtaamista vuosikohtaisia arvoja lukuisille mittareille. Mittaritarkasteluissa tuloksia tulkittaessa on yleisenä vaarana liian yksioikoinen kuva virtaaman ja vedenkorkeuksien vaikutuksista, sillä riippuvuudet eivät välttämättä ole lineaarisia. Vaikka käytettyjen mittareiden taustalla on pitkä tutkimustyö ja mittareita on käytetty esim. säännöstelyiden kehittämishankkeissa, mahdollisia kynnyksarvoja, jolloin tilanne heikkenee tai paranee, ei välttämättä ole olemassa tai niitä ei kaikilta osin tunneta.

Mittareiden kohdalla onkin tärkeää tarkastella tarkkojen lukuarvojen sijaan tarkastelujaksojen välillä esiintyvää muutosta. Tämän takia yksittäisten vuosien tutkimisen sijaan tarkastelu on toteutettu vertaamalla pääasiassa 30 vuoden tarkastelujaksojen välisiä keskiarvoja. Näin saadaan kuvattua muutoksen suuntaa ja suuruutta.

Tulosten tarkastelussa on lisäksi otettava huomioon, että tarkasteluissa on keskitytty ainoastaan vedenkorkeuden ja virtaamien vuodenaikaisvaihtelun muutosten aiheuttamiin vaikutuksiin. Täten tulokset eivät kuvaa ilmastonmuutoksen vaikutusta kokonaisuudessaan. Esimerkiksi muutokset veden lämpötilassa tai ravinteiden huuhtoutumisissa voivat joidenkin muuttujien kohdalla olla vaikutuksiltaan huomattavasti vedenkorkeusvaikutuksia merkittävämpiä. Toisaalta näiden vaikutusten osalta jopa vaikutusten suuntaa voi olla vaikea arvioida.

Esimerkiksi vaikka talvialeneman pieneneminen parantaakin syyskutuisten kalojen mädin säilymistä, niin jääpeitteen oheneminen ja jopa puuttuminen voi toisaalta vaikuttaa siihen negatiivisesti. Näin ollen etenkin ilmastonmuutoksen ekologisten vaikutusten arviointiin sisältyy suurta epävarmuutta. Virkistyskäytön kannalta muuttuva ilmasto saattaa aiheuttaa muutoksia veden laadussa tai vaikuttaa suosituimman virkistyskäyttökauden ajankohtaan. Näitä ei myöskään ole otettu tarkasteluissa huomioon ja virkistyskäytön on oletettu tapahtuvan tutkimusten perusteella havaittuun suosituimpaan ajankohtaan.

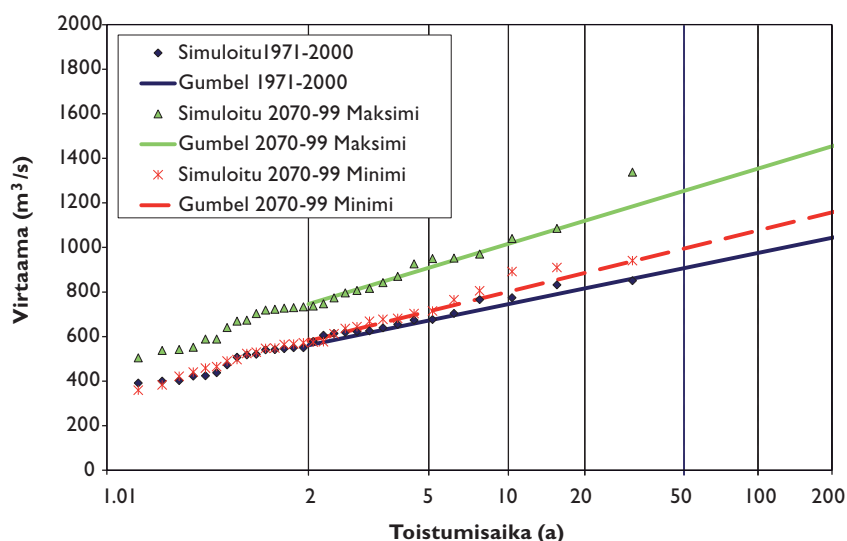
Virtaamamittareiden kohdalla on otettava huomioon, että todellisten virtaamien esiintymisessä lyhytaikaissäännöstelyn vaikutus on merkittävä. Tarkasteluissa käytettyjen mallinnettujen arvojen laskennassa ei kuitenkaan ole otettu huomioon lyhytaikaissäätöä, vaan laskenta perustuu vuorokausikohtaisiin juoksutuksiin. Tämä lisää epävarmuutta mittareiden tulosten tarkastelussa esim. energiantuotannon osalta.

7 Tulvien muuttuminen ilmastonmuutoksen vaikutuksesta

Osana WaterAdapt-projektia on yhteistyössä muiden projektien kanssa arvioitu vesistötulvien muuttumista ilmastonmuutoksen seurauksena eri puolilla Suomea jaksoilla 2010–39 ja 2070–99 (Veijalainen ym. 2010b). Tuloksia voidaan hyödyntää mm. tulvariskin hallintaa koskevien säädösten toimeenpanossa, jossa ilmastonmuutoksen vaikutukset tulee ottaa huomioon. Arvioita voidaan käyttää hyväksi myös kaavoituksessa ja suunnittelussa. Tulokset on laskettu käyttäen ns. delta change -menetelmää (katso luvut 3.2 ja 3.5), jossa referenssijakson havaittuihin lämpötiloihin ja sadantoihin lisätään ilmastonmuutoksen vaikutus.

Tulvat simuloitiin käyttäen SYKEN Vesistömallijärjestelmää ja 20 eri ilmastoskenaariota. Vesistömallijärjestelmällä simuloituihin 30 vuoden virtaamamaksimeihin referenssijaksolla ja tulevaisuuden jaksoilla sovitettiin Gumbelin todennäköisyysjakauma ja sen avulla arvioitiin kerran 100 vuodessa toistuvan tulvien suuruudet ja niiden muuttuminen (Kuva 73). Ilmastoskenaariot ovat Taulukon 3 skenaariot 1–12 ja 18–22 ja lisäksi kolme muuta skenaariota, jotka olivat CNMR(ARPEGE) globaalin ilmastomallin tulokset kolmella päästöskenaariolla A2, A1B ja B2.

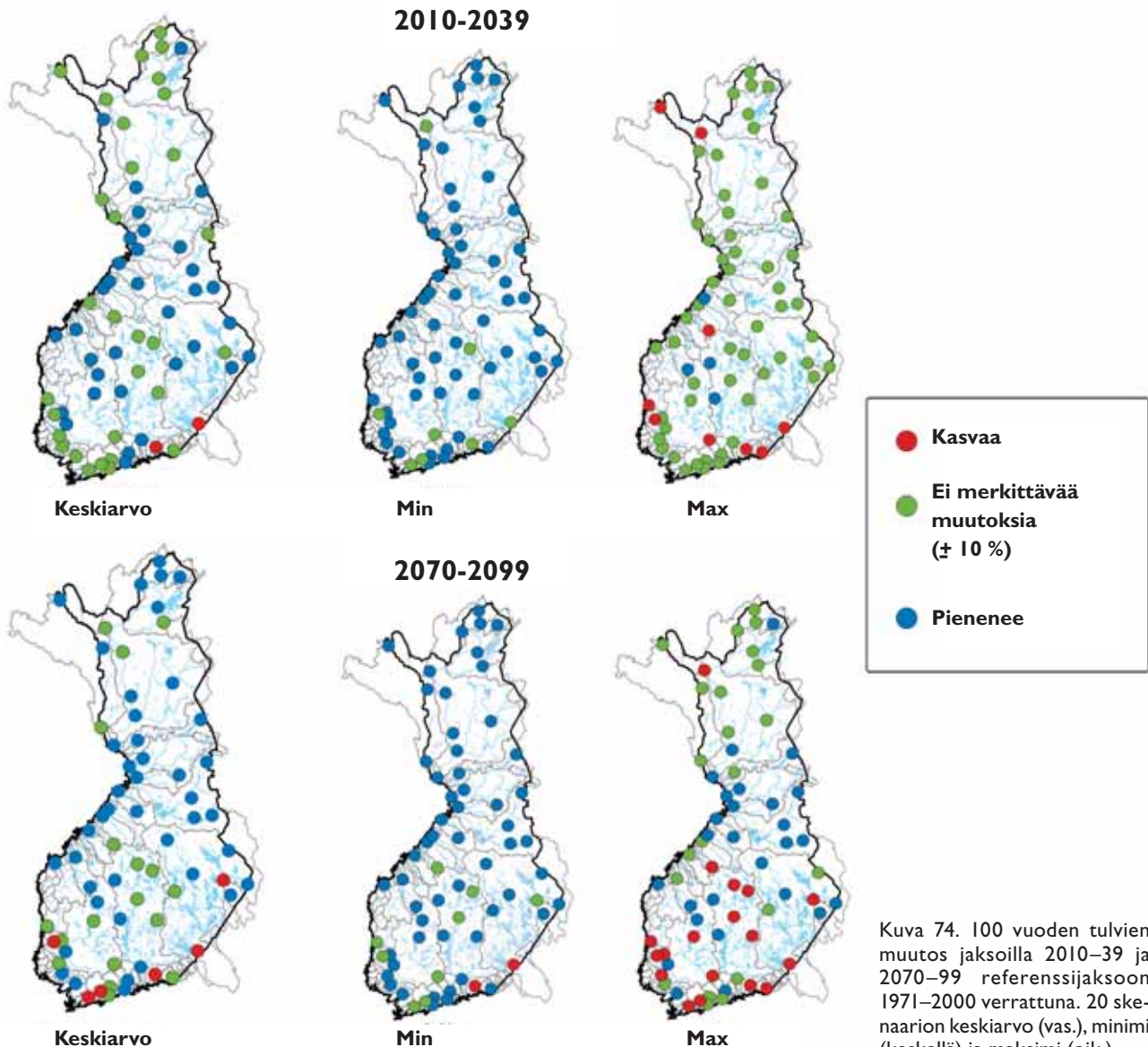
Kerran 100 vuodessa toistuvan tulvan muutokset simuloitiin 68 kohteelle eri puolilla Suomea (Kuva 74, Taulukko 14). Kohteet on valittu virtaamavaintopisteistä, joista on mahdollisimman pitkät aikasarjat ja jotka edustavat monenlaisia vesistöjä. Suurin osa kohteista on säännöstelemättömiä, koska säännöstely vaikuttaa simuloiteihin ja tekee todennäköisyysjakauman käytöstä epäluotettavaa. Mukana on kuitenkin muutama huomattavasti säännöstelty kohde (Vuoksi, Kallavesi, Kymijoki, Peltokoski, Harjavalta, Isohaara, Oulujoen Merikoski), koska ne kuvaavat suurten vesistöjen tilannetta ja ovat tärkeitä kohteita.



Kuva 73. Esimerkki tulvatar-kasteluista: Gumbelin paperille piirretyt simuloitut vuosimaksimit ja niiden sovitettu Gumbelin jakauma referenssijaksolla ja jaksolla 2070–99 pienimmän ja suurimman tulvan aikaansaa-valla ilmastoskenaariolla Koke-mäenjoella Harjavallassa.

Tulokset kerran 100 vuodessa toistuvien tulvien muuttumisesta jaksoille 2010–39 ja 2070–99 on esitetty Taulukossa 14 ja Kuvassa 74. Tuloksista nähdään, että suurimmas-
sa osassa kohteista tulvat pienenevät jaksolla 2070–99 referenssijakssoon verrattuna
johtuen lämpenemisen aiheuttamasta lumen vähenemisestä ja kevättulvien pienene-
misestä. Kuitenkin erityisesti suurien vesistöjen keskusjärvissä ja niiden laskujoissa
(Vuoksi, Kymijoki, Kokemäenjoki, Oulujoki) tulvat kasvavat. Lisäksi tulvat kasvavat
joissain rannikon pienissä joissa. Pohjois-Lapissa tulvat pysyvät talvien lyhenemisestä
huolimatta jaksolla 2010–39 nykyisellään ja jaksolla 2070–99 pienenevät tai pysyvät
nykyisellään. Tulvat pienenevät eniten Kainuussa ja Pohjois-Pohjanmaalla. Poikke-
uksen tällä alueella muodostavat Oulujärvi ja Oulujoki, joissa jo referenssijaksolla
osa tulvista ajoittuu myös syksyyn Oulujärven ja yläpuolisten järvien tehokkaasta
säännöstelystä johtuen. Syksyn ja talven virtaamat ja tulvat Oulujoessa kasvavat,
kuten muissakin suurten vesistöjen keskusjärvissä ja niiden laskujoissa.

Kevättulvat pienenevät jaksolla 2070–99 kaikkien kohteiden keskiarvona 26 %
ja muiden vuodenaikojen tulvat kasvavat (keskimäärin 30 %). Erityisesti syksy- ja
talvitulvat kasvavat Etelä- ja Keski-Suomessa ja muodostuvat paikoin suurimmiksi
tulviksi. Referenssijaksolla suurin osa suurimmista tulvista on kevättulvia lähes



Kuva 74. 100 vuoden tulvien muutos jaksoilla 2010–39 ja 2070–99 referenssijakssoon 1971–2000 verrattuna. 20 skenaarion keskiarvo (vas.), minimi (keskellä) ja maksimi (oik.).

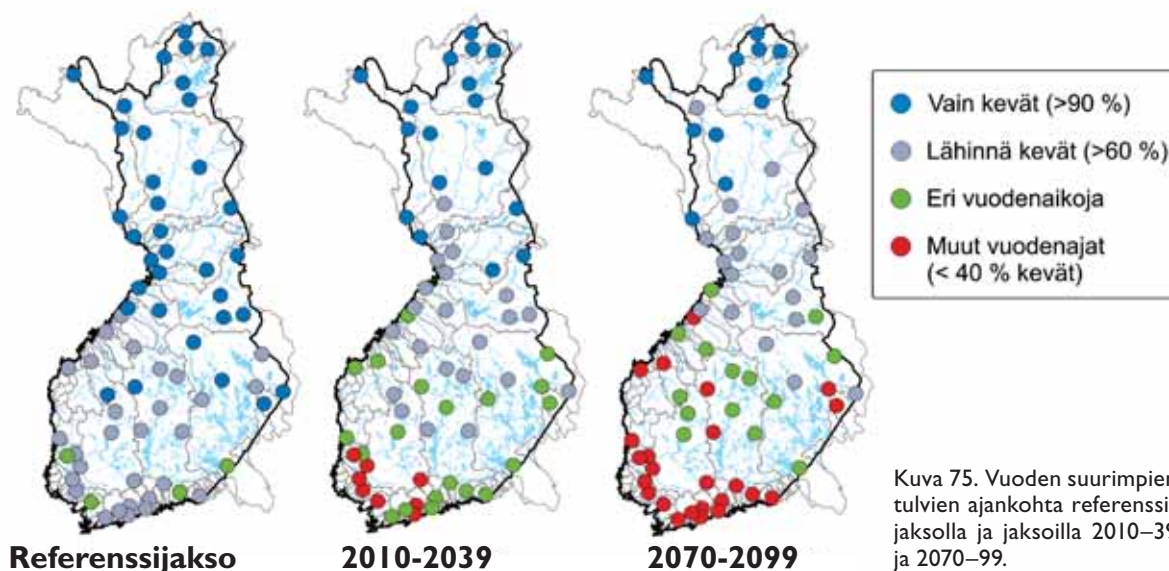
koko maassa (Kuva 75), mutta jaksolla 2070–99 Etelä- ja Lounais-rannikolla suurin osa tulvista on muina vuodenaikoina ja Keski-Suomessakin noin puolet vuoden suurimmista tulvista on muita kuin kevättulvia.

Eri ilmastoskenaariolla saatava vaihteluväli pienimmän ja suurimman tulvan välillä on varsin suuri (Kuva 74). Osalla kohteista Keski-Suomessa ja etelärannikolla jopa tulvien muutoksen suunta on erilainen eri skenaarioilla. Ilmastoskenaario, joka saa aikaan suurimmat tai pienimmät tulvat, vaihtelee eri puolilla Suomea. Esimerkiksi Pohjois-Suomessa kevättulvat säilyvät suurimpina tulvina myös jaksolla 2070–99. Pohjois-Suomessa suurimmat tulvat syntyvät skenaarioilla, joissa lämpötilan muutos on vähäistä, kun taas Etelä-Suomessa sademäärän muutos on tärkein tulvan kokoon vaikuttava tekijä.

Tulvien muuttumista parhaiten selittävät tekijät ovat kevättulvien osuus vuoden suurimmista tulvista referenssijaksolla ($R^2 = 0,54$) ja kevättulvien ja muiden tulvien suhde (0,57). Mitä suurempi osa suurimmista tulvista on kevättulvia ja mitä suurempi on kevättulvien ja muiden tulvien kokojen suhde, sitä enemmän tulvat keskimäärin pienenevät. Tulvat siis kasvavat eniten alueilla, joissa jo nyt muiden vuodenaikojen tulvat ovat merkittäviä. Selittävistä tekijöistä olisi mahdollista muodostaa yhtälö, jonka pohjalta myös muille kuin nyt mallinnetuille kohteille voitaisiin esittää karkea arvio ilmastomuutoksen vaikutuksesta pohjautuen alueen hydrologisiin ominaisuuksiin ja ilmastollisiin olosuhteisiin referenssijaksolla.

Vaikka tulosten perusteella tulvat suuressa osassa Suomea vuosisadan loppupuolelle mennessä pienenevätkin, ei tulvasuojelua tulisi missään päin Suomea suunnitella nykytilanteen tulvia pienempien tulvien perusteella, koska ilmastomuutos tapahtuu hitaasti ja vaihteittain. Suunnitteluarvona pitäisi siis aina käyttää vähintään nykytilanteen kokoisia tulvia. Ilmastomuutosta voidaan käyttää perusteluna kasvattaa suunnitteluarvoja, jos kyseessä on pitkäikäinen rakennelma, jonka käyttöiän aikana ilmastomuutos etenee jo merkittävästi.

Käytetty delta change -menetelmä ei ota huomioon rankkasateiden mahdollista keskimääräistä suurempaa kasvua. Ilmastoskenaarioiden mukaan rankkasateet voivat kasvaa myös prosentuaalisesti keskimääräisiä sateita enemmän (IPCC 2007, Jylhä ym. 2009) ja tämä voi pahentaa pienten valuma-alueiden tulvatilannetta etenkin kesäisin. Tulvien muuttumista on arvioitu alustavasti myös toisella menetelmällä, jossa käytetään hydrologisen mallin lähtötietoina suoraan alueellisen ilmastomallin tuottamia päivittäisiä lämpötiloja ja sadantoja, joille ensin tehdään referenssijakson



havaintojen perusteella korjaus (Veijalainen ym. 2012). Menetelmän etuna on, että se ottaa paremmin huomioon lämpötilan ja sadannan jakauman muutokset ja voi soveltaa sen ansiosta paremmin esimerkiksi harvinaisten sateiden aiheuttamien tulvien muutoksen arviointiin. Ongelmana kuitenkin on se, että alueellisen ilmastomallin tuloksissa on yhä virheitä, joiden seurauksena suoraan alueellisen ilmastomallin tuloksia käyttäen simuloitujen virtaamien jakaumat eivät vastaa havaittujen virtaamien jakaumia ja tulokset ovat siten epäluotettavia. Alueellisen mallin tuottamiin lämpötiloihin ja sadantoihin tehtävä korjaus parantaa tuloksia, mutta paikoin simuloitujen ja havaittujen virtaamien poikkeavat yhä merkittävästi toisistaan. Esimerkiksi havaintoja vastaavien pienten alueiden rankkasateiden tuottaminen on ilmastomalleille ongelmallista.

Alueellisen ilmastomallin suorien tulosten korjausta ja käyttöä hydrologisen mallin lähtötietoina kehitetään eteenpäin Suomen akatemian rahoittamassa ClimWater-hankkeessa yhdessä Ilmatieteen laitoksen kanssa. Menetelmän ensimmäisen version alustavien tulosten perusteella erot delta change -menetelmällä laskettuihin tuloksiin (Taulukko 14) eivät keskimäärin ole kovin suuria jaksolla 2070–99. Kohteet, joilla tulvat kasvavat ja pienenevät ovat pääosin samoja. Suurissa keskusjärvissä, joissa tulvat kasvavat, tulvien kasvu on hieman pienempää suorilla alueellisen ilmastomallin tuloksilla. Vaihteluväli eri ilmastoskenaarioiden tulosten välillä oli myös joillain kohteilla suurempi uudella menetelmällä. Rankkasateiden aiheuttamissa tulvissa ei tuloksissa ollut merkittävää eroa, mutta suoriin alueellisiin ilmastomallin tuloksiin perustuva menetelmä on vasta kehitteillä, eivätkä sen tulokset vielä ole tältä osin luotettavia.

Suurtulvan aiheuttamat potentiaaliset tulvavahingot eivät ole jakautuneet tasaisesti ympäri Suomea. Suurtulvan (kerran 250 vuodessa toistuva tulva) aiheuttamia vahinkoja on arvioitu Suurtulvaselvityksessä (Ollila ym. 2000). Skenaariolla 1 (Ka A1B) vain 7-8 % tarkastellusta 68 kohteesta on sellaisia, joissa tulvat kasvavat. Kuitenkin näillä alueilla sijaitsee arviolta 30–40 % suurtulvan aikaisista vahingoista, koska monet alueet, joilla on suurtulvan aikana potentiaalisesti suuria tulvavahinkoja kuten Pori, Saimaan alue sekä Päijänteen ja Kymijoen alue sijaitsevat kasvavien tulvien alueella. Suurin osa kohteista ja noin 40–50 % vahingoista on alueella, jossa vesistötulvien aiheuttama tulvariski todennäköisesti pienenee. Tästä arvioista ei kuitenkaan voi päätellä vahinkojen euromääräistä muuttumista, sillä se vaatisi tarkkaa tietoa virtaamien muutoksen vaikutuksesta vahinkoihin kullakin alueella. Suurimmat tulvat aikaan saavalla maksimiskenaariolla jopa 40–50 % vahingoista olisi alueilla, jossa tulvat kasvavat, joten pahimmillaan ilmastomuutos voisi lisätä vesistötulvista aiheutuvia vahinkoja.

Tarkastelut ovat rajoittuneet vain vesistötulviin. Myös rankkasateiden aiheuttamat kaupunkitulvat voivat olla merkittäviä tulvavahinkojen aiheuttajia. Samoin hydetulvat voivat pahentaa tulvatilannetta merkittävästi joillain kohteilla ja niiden riski voi kasvaa ilmastomuutoksen myötä (Katso Kappale 6.3.4). Ilmastomuutoksen on myös ennakoitu nostavan merivedenkorkeutta, mikä saattaa lisätä korkeasta merivedenpinnasta aiheutuvia tulvia rannikolla.

Taulukko 14. Lasketut kohteet ja niiden 100 vuoden tulvien keskimääräinen muutos ja 90 % vaihteluväli 2010–39 ja 2070–99.

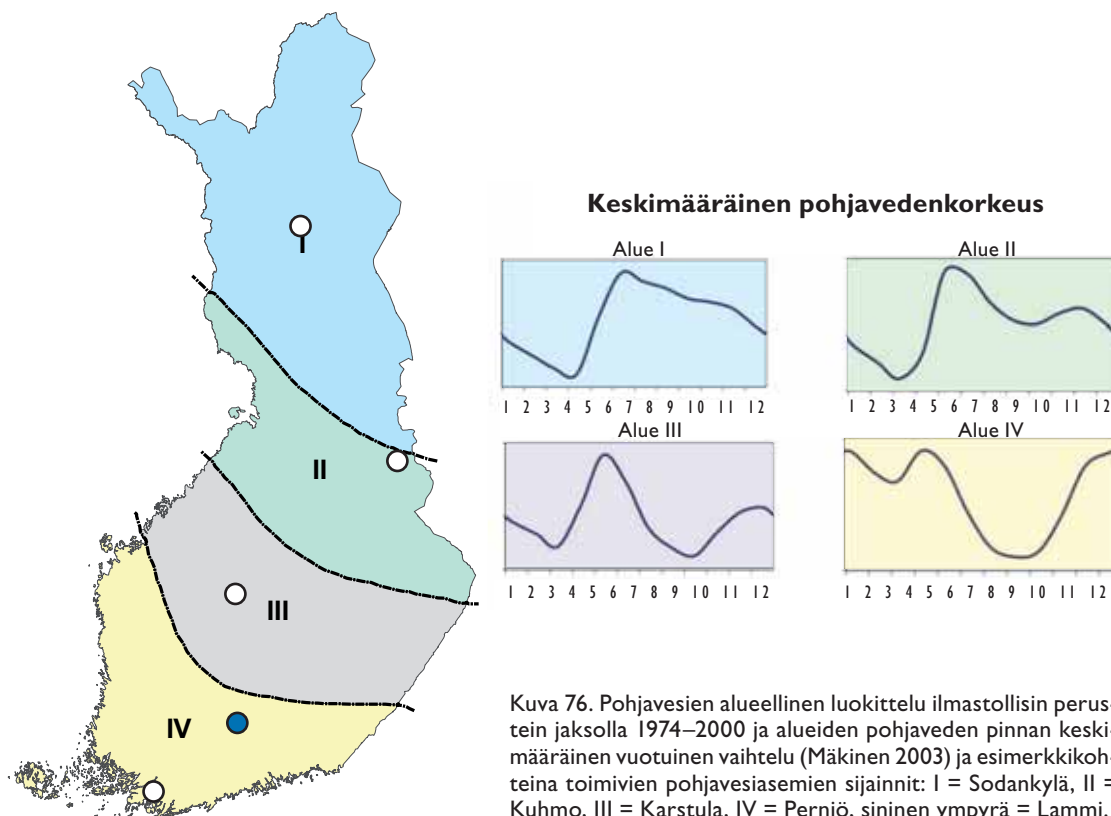
Kohde	Havainto- asema- koodi	Keskim. Muutos 2010–39 (%)	Vaihtelu- väli Muutos 2010–39 (%)	Keskim. Muutos 2070–99 (%)	Vaihtelu- väli Muutos 2070–99 (%)
Ruskeakoski	0100150	-16	-32...-5	-29	-39...-20
Lieksanjoki, Ruunaa	0400600	-12	-22...-1	-14	-21...-7
Koitaajoki, Möhkönkoski	0402120	-24	-42...-9	-38	-45...-28
Pielisjoki	0403350	-7	-12...0	+10	-3...+22
Sonkajärvi	0406010	-24	-40...-7	-48	-59...-34
Saarijärvi	0408300	-27	-45...-11	-37	-46...-27
Kallavesi (Konnus+Karvio)	0408087	-12	-17...-2	-4	-11...+2
Vuoksi, Tainoinkoski	0411450	18	+8...+25	+33	+22...+40
Salmen silta	1100500	0	-9...+10	+1	-6...+10
Kärnäjärvi, Kellankoski	1400520	-8	-16...-1	+3	-7...+16
Pääjärvi	1401500	-29	-37...-15	-27	-35...-18
Nilakka	1402710	-3	-9...+4	+6	-2...+18
Rauhajärvi	1407400	-5	-11...+4	+7	-5...+19
Leppävesi	1404450	-5	-10...0	+9	-1...+18
Patalankoski	1405225	-30	-42...-15	-38	-45...-32
Kymijoki, Anjala	1410050	10	+3...+18	+29	13...+41
Pyhäjärvi	1600110	-22	-37...-8	-24	-36...-12
Vakkola	1800500	-20	-29...-10	-21	-29...-16
Vekkoski	1900100	-10	-18...-2	-15	-21...-8
Hanala	2101520	-2	-9...+7	-4	-10...+5
Oulunkylä	2101700	-5	-10...+2	-2	-7...+6
Palojärvenkoski	2200310	-2	-8...+6	+16	+1...+27
Peltokoski	2300935	-0	-3...+2	+11	+2...+18
Kaukolankoski	2500400	-7	-11...-1	-15	-21...-12
Hypöistenkoski	2800700	-7	-15...+2	-12	-21...-1
Yläneenjoki	3400130	-5	-15...+4	-5	-12...+6
Varunteenkoski, Puujoki	3501910	-2	-9...+1	+8	0...+16
Kitusjärvi	3504800	-21	-31...-12	-21	-29...-11
Muroleenkoski	3506200	-13	-20...-6	-1	-12...+10
Maurialankoski	3509410	-21	-28...-15	-20	-26...-15
Sääksjärvi	3509800	-10	-16...-4	-1.5	-10...+7
Harjavalta	3510450	5	-3...+11	+21	+10...+33
Karviajoki, kokonaisvirt	3602225	-1	-10...+10	+7	-1...+15
Skatila	4201000	-10	-19...-2	-28	-34...-18
Töysänjoki	4400110	-23	-32...-15	-31	-36...-25
Keppo	4400610	-18	-23...-9	-20	-25...-8
Hyyppä	5000300	-7	-14...+3	-19	-36...-3
Lestijärvi	5100200	-4	-10...+8	+2	-7...+12
Niskankoski	5300740	-17	-25...-10	-18	-27...-10
Tolpankoski	5400410	-30	-42...-17	-38	-50...-27
Lamujoki	5700130	-16	-30...-4	-25	-37...-14
Länkelä	5700700	-21	-31...-8	-31	-40...-20
Hossanjärvi	5900110	-8	-22...+3	-38	-60...-15
Niemelänjärvi	5900500	-19	-40...-1	-49	-61...-31
Lentua	5901710	-24	-42...-6	-37	-45...-25
Kellojärvi	5902100	-25	-42...-7	-47	-58...-33
Merikoski, Oulujoki	5904450	-3	-10...+6	+17	0...+41
Haukipudas	6000410	-31	-53...-8	-50	-64...-37
Suolijärvi	6100620	-25	-43...-6	-54	-6...-42
Siuruanjoki	6101600	-19	-30...-1	-36	-48...-24

Kohde	Havainto- asema- koodi	Keskim. Muutos 2010–39 (%)	Vaihtelu- väli Muutos 2010–39 (%)	Keskim. Muutos 2070–99 (%)	Vaihtelu- väli Muutos 2070–99 (%)
Raasakka	6101950	-25	-40...-7	-45	-57...-33
Hosionkoski	6400310	-15	-25...+7	-30	-46...-16
Kummaniva, Kemihaara	6501700	-4	-13...+3	-22	-38...-6
Ounasjärvi	6503000	-0	-8...+6	+5	-16...+17
Ounasjoki, Kõngäs	6503200	-8.0	-14...-3	-9	-18...-1
Ounasjoki, Marraskoski	6503600	-2	-8...+6	-14	-33...0
Sinettäjärvi	6503720	-18	-27...-5	-37	-57...-18
Isohaara, Kemijoki	6504450	-	-19...+3	-26	-42...-14
Kilpisjärvi	6700100	-6	-14...+2	-13	-27...0
Muonionjoki, Muonio	6700800	-12	-18...-2	-14	-22...-6
Karunki	6702200	-5	-10...+1	-5	-18...+8
Inarijoki, Karingasniemi	6800510	-5	-12...+4	-16	-40...-3
Onnelansuvanto	6801000	-6	-13...0	-13	-35...-2
Utsjoki, Patoniva	6801100	-9	-16...-1	-24	-42...-7
Iijärvi	6900100	-29	-39...-6	-42	-64...-27
Juutuanjoki,Saukkoniva	7100800	-5	-11...+3	-11	-32...+6
Ivalojoiki, Pajakoski	7101320	-1.9	-9...+4	-7	-18...+7
Oulankajoki	7300100	-14	-25...-4	-37	-58...-18

8 Ilmastonmuutoksen vaikutukset pohjaveteen

Tässä luvussa on arvioitu ilmastonmuutoksen vaikutuksia pohjavedenkorkeuksiin eri puolilla Suomea. Tarkastelut tehtiin 18 pohjavesiasemalla, joista on esitetty tuloksia viideltä havaintoasemalta. Tarkastellut asemat valittiin pohjavesialueiden ilmastollisen luokittelun perusteella (Kuva 76). Pohjaveden simuloinnissa on käytetty SYKEN Vesistömallijärjestelmää ja sen pohjavesimallia. Tulosten perusteella voidaan yleisellä tasolla arvioida ilmastonmuutoksen vesihuollolle aiheuttamia riskejä.

Tuloksia ilmastonmuutoksen vaikutuksista pohjaveteen eri alueilla on tarkasteltu referenssijakson keskimääräisiin pohjavedenkorkeuksiin perustuvan luokittelun mukaisesti (Kuva 76 ja 77). Simuloinnit on tehty muuttamalla referenssijakson 1971–2000 lämpötilaa ja sademäärää delta change -menetelmällä. Pohjavedenkorkeuden vuosittainen vaihtelu on esitetty 30 vuoden keskiarvoina. Kuvassa 77 on verrattu pohjaveden keskimääräistä vuodenaikaisvaihtelua referenssijakson ja tulevien jaksosten välillä. Tarkastelussa on käytetty skenaariota 1 eli 19 ilmastomallin tuottamien lämpötilan ja sadannan muutosten keskiarvoja A1B päästöskenaariolla. Lisäksi pohjavedenkorkeuden minimi- ja maksimi-arvot Lammin Tullinkankaalla on esitetty kuudella eri skenaariolla Kuvassa 78 sekä ilmastonmuutoksen vaikutus vuosien 2003 ja 2006 kaltaisiin kuivuustilanteisiin Kuvassa 79.

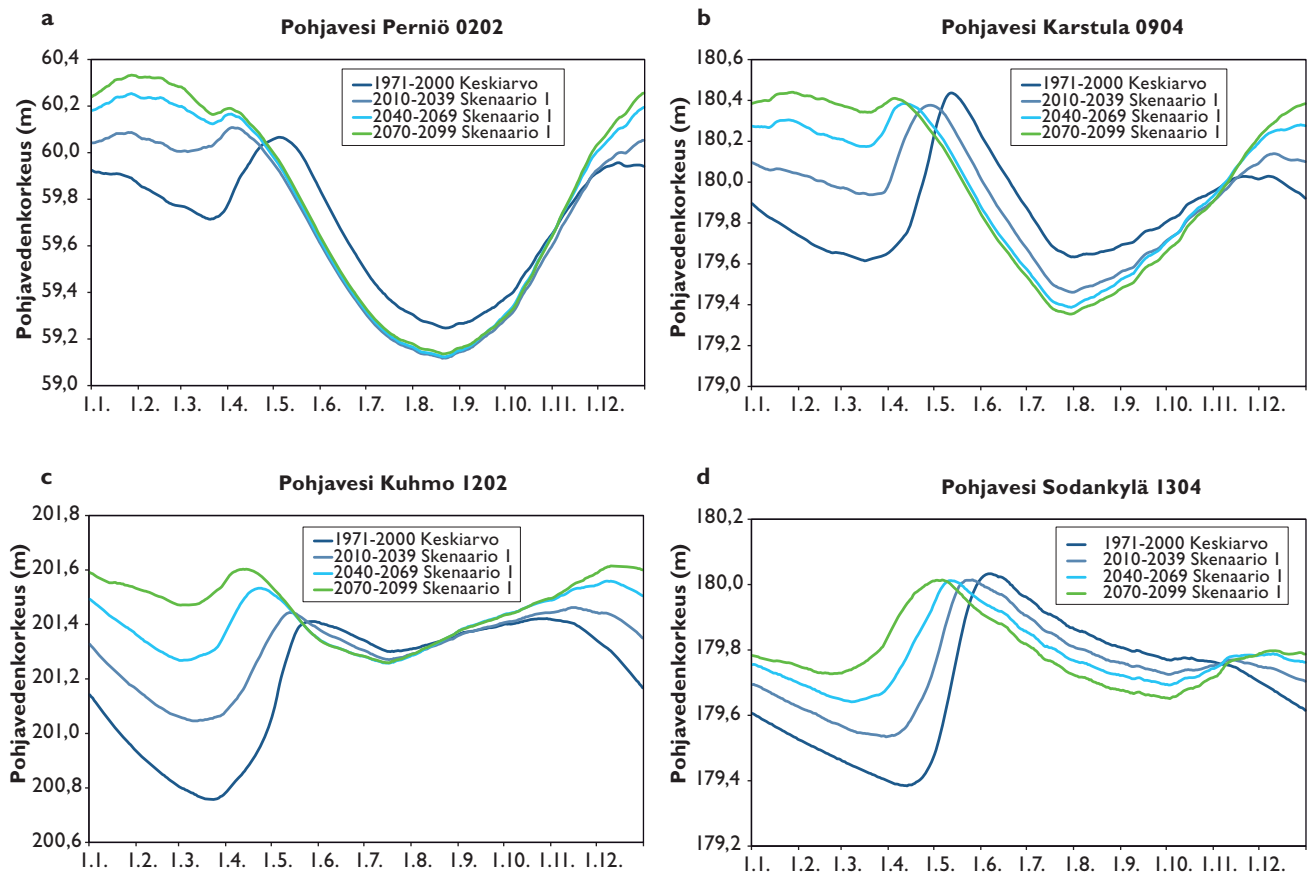


Kuva 77a esittää Perniön asemalla pohjavedenkorkeudessa arvioitua muutosta tämän vuosisadan aikana. Tulokset Perniön asemalta edustavat pohjavedenkorkeuden muutosta Ahvenanmaalla ja Etelä- ja Lounais-Suomessa. Alueella IV pohjavedenkorkeudet ovat referenssijaksolla talvisin suhteellisen korkealla ja laskevat kevään jälkeen saavuttaen minimiarvonsa loppukesällä. Tuleville vuosikymmenille simuloitujen tulokset lisäävät vuodenaikaisvaihtelua. Pohjavedenkorkeuksien arvioidaan nousevan talvella ja laskevan loppukesän alimpia korkeuksia entistä alemmaksi.

Kuvassa 77b näkyy alueen III pohjavesiasemille tyypillinen muutos. Kyseisillä asemilla pohjavedessä on referenssijaksolla havaittavissa myös kaksi minimiä. Ilmastomallien keskimääräisten muutosten mukaan alueella pohjaveden kevätminimi häviää ja syksyn minimi alenee tämän vuosisadan aikana. Ilmaston muuttuessa pohjavesi nousee korkealle talven ajaksi. Loppukesällä vallitsevien minimikorkeuksien arvioidaan laskevan merkittävästi tämän vuosisadan aikana.

Kuvassa 77c on esitetty alueen II pohjavesiasemilla tapahtuva muutos tämän vuosisadan aikana. Alueella referenssijaksolla vallitsevassa vuodenaikaisvaihtelussa on selvästi syvempi minimi keväällä ja toinen pienempi minimi loppukesällä tai syksyllä. Ilmastonmuutosjaksolla 2010–39 vedenkorkeuden minimin odotetaan nousevan talvella kesäminimin tasolle ja vuodenaikaisvaihtelun noudattavan alueen III referenssijaksolla vallitsevaa vuodenaikaisvaihtelua. Tulosten perusteella pohjavedenkorkeus nousee vuosisadan loppupuolella talvella yhä korkeammalle ja kesän minimi laskevat selvästi alemmas.

Pohjoisimmalla alueella pohjavedenkorkeuden vuodenaikaisvaihtelussa on referenssijaksolla minimi keväällä mutta selvää minimiä loppukesän ja syksyn aikana ei ole havaittavissa. **Kuvasta 77d** nähdään, että vuodenaikaisvaihtelu muuttuu tämän



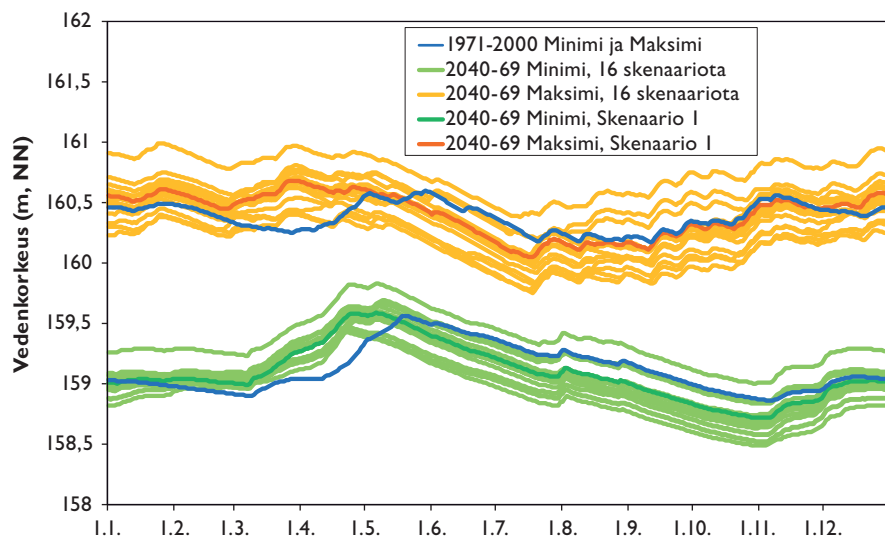
Kuva 77. a) Perniön (0202), b) Karstulan (0904), c) Kuhmon (1202) ja d) Sodankylän (1304) pohjavesiasemien pohjavedenkorkeuden keskiarvot referenssijaksolla (tummansininen) ja jaksoilla 2010–39 (sininen), 2040–69 (vaaleansininen) ja 2070–99 (vihreä) skenaariolla I (Ka A1B).

vuosisadan aikana näillä asemilla eteläisempien alueiden kaltaiseksi. Esimerkiksi Sodankylässä vuodenaikaisvaihtelu vastaisi tämän skenaarion mukaan jaksolla 2010–39 alueen II, jaksolla 2040–69 ja jaksolla 2070–99 alueen III tyyppistä vuodenaikaisvaihtelua. Vuosisadan lopulle simuloituissa keskimääräisissä vuodenaikaisvaihteluissa on pohjavedenkorkeuden absoluuttinen minimi vaihtunut talvesta kesään ja noussut reilun 20 cm korkeammalle.

Ilmaston lämpenemisen vaikutuksesta talvet lyhenevät, mikä johtaa nykyistä ylempiin pohjavedenkorkeuksiin talvella ja kevään aikaistuminen alempiin korkeuksiin loppukesällä. Alimmat pohjavedenkorkeudet tulevat Etelä- ja Lounais-Suomessa todennäköisesti laskemaan ja kuivuustilanteiden kesto pitenemään nykyisestä. Loppusyksyyn ajoittuvat referenssijakson alhaisimmat pohjavedenkorkeudet saavutetaan jaksolla 2040–69 kuivimpina vuosina 1–2 kuukautta aiemmin. Talvella ja keväällä alhaisimmat pohjavedenkorkeudet nousevat talvien lämpenemisen sekä sateiden lisääntymisen johdosta. Koska Keski-, Itä- ja Pohjois-Suomessa pohjavedenkorkeudet saavuttavat referenssijaksolla miniminsä tyyppillisesti alkukevällä, talvikauden lyheneminen nostaa alhaisimpia pohjavedenkorkeuksia muualla Suomessa etelä- ja lounaisosia lukuun ottamatta.

Kuvassa 78 on esitetty ilmastonmuutoksen vaikutus ylimpiin ja alimpiin pohjavedenkorkeuksiin Lammin pohjavesiasemalla (alue 3) sekä ilmastoskenaarioihin liittyvää epävarmuutta pohjavedenkorkeuden muutoksissa. Alimpien pohjavedenkorkeuksien muutos vaihtelee suuresti eri skenaarioiden välillä. Valtaosassa skenaarioista kuitenkin alimmat pohjavedenkorkeudet laskevat (10–40 cm referenssijaksosta), muutamassa skenaariossa ei tapahdu suurta muutosta suuntaan tai toiseen ja yhdessä skenaariossa, jossa sademäärät lisääntyvät huomattavasti, alimmat korkeudet jäävät 10 cm referenssijaksosta korkeammalle. Alimpien pohjavedenkorkeuksien laskun lisäksi myös kuivuusjaksot pitenevät pahimpina kuivuusvuosina useimmissa skenaarioissa yli kuukauden ja 8 skenaariossa yli kaksi kuukautta.

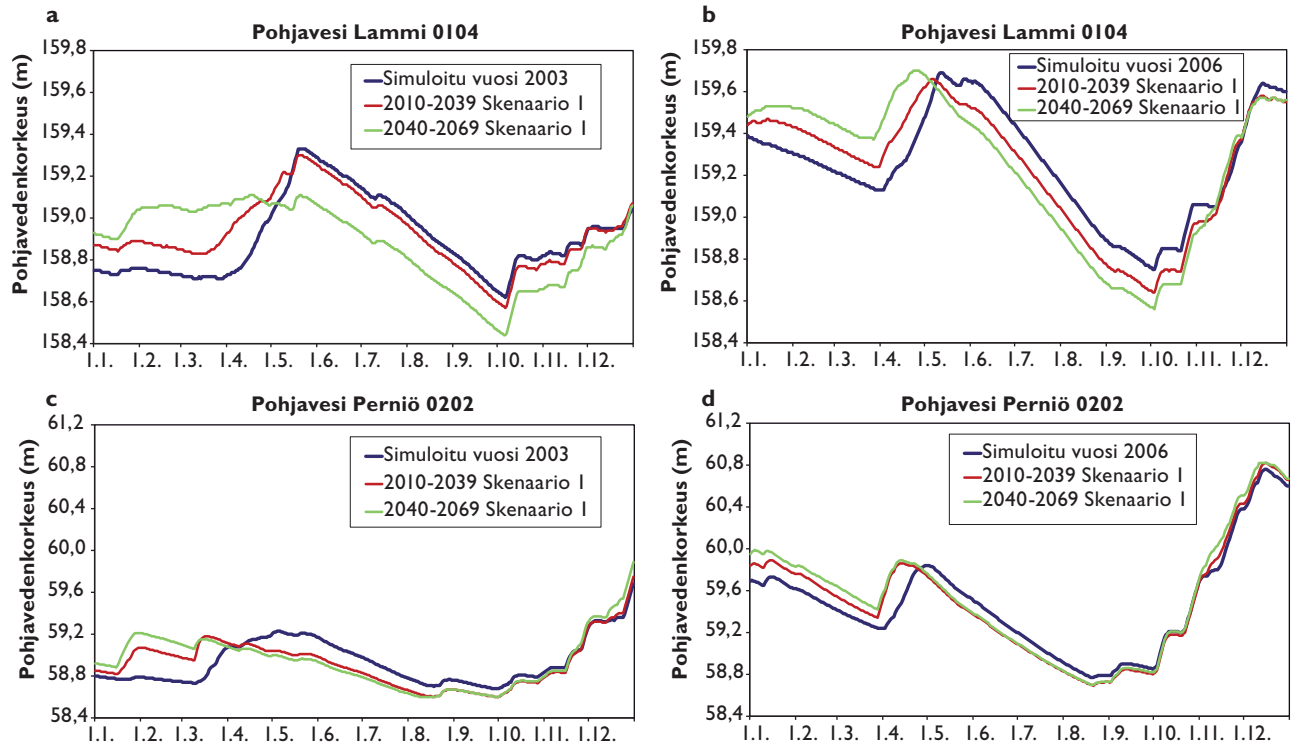
Kuvassa 79 a–d on esitetty miten ilmastonmuutos vaikuttaa Lammin ja Perniön asemien pohjavedenkorkeuksiin erityyppisissä kuivuustilanteissa. 2000-luvun alun kuivimmat vuodet 2003 ja 2006 poikkeavat toisistaan, koska pohjavedenkorkeudet olivat vuoden 2003 alussa jo varsin alhaalla edellisvuoden 2002 kuivuuden johdosta, kun taas vuoden 2006 alussa pohjavedet olivat lähempänä keskimääräistä tasoa ja vedenkorkeudet laskivat kuivan kesän johdosta hyvin alas. Vastaavat kuivuustilanteet jaksoille 2010–39 ja 2040–69 mennessä on simuloitu delta change -menetelmällä. Tulosten mukaan Lammin asemalla pohjavedenkorkeudet laskisivat lähitulevaisuudessa vastaavissa kuivuustilanteissa 5 ja 10 cm ja vuosisadan puoliväliin mennessä noin



Kuva 78. Lammin Tullinkankaan (0104) pohjavesiaseman pohjavedenkorkeuden maksimit ja minimi referenssijaksolla ja jaksoilla 2040–69 17 eri skenaarioilla

20 cm. Kuivuustilanteet pidentyisivät vuotta 2003 vastaavassa kuivuustilanteessa 2 viikkoa jaksolle 2010–39 ja kaksi kuukautta jaksolle 2040–69. Vuotta 2006 vastaavassa tilanteessa kuivuusjakso pidentyisi vastaavasta 1,5 kuukautta jaksolle 2010–39 ja 2 kuukautta jaksolle 2040–69.

Kuivuustilanteissa alimmat pohjavedenkorkeudet laskevat siis kesällä ja syksyllä. Etelä-Suomessa kuivien kausien pakeneminen lisää pohjavesivarojen varassa olevalle vesihuollolle aiheutuvia riskejä ja ongelmia (Vienonen ym. 2012).



Kuva 79. a, b) Lammin Tullinkankaan (0104) ja c, d) Perniön (0202) pohjavesiasemien pohjavedenkorkauset poikkeuksellisen kuivina vuosina 2003 (a, c) ja 2006 (b, d) sekä ilmastonmuutoksen vaikutus vastaaviin kuivuustilanteisiin jaksoina 2010–39 ja 2040–69.

9 Sopeutuminen

Edellä esitettyjen tulosten perusteella ilmastonmuutos tulee vaikuttamaan huomattavasti jokien virtaamien ja järvien vedenkorkeuksien vuodenaikaiseen vaihteluun. WaterAdapt-hankkeen tulokset osoittavat, että nykyiset säännöstelyluvut tulevat monissa järvissä olemaan epätarkoituksenmukaisia ilmaston muuttuessa ja siten säännöstelylupien tai ainakin säännöstelykäytäntöjen muuttaminen on tarpeen ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi. Tarpeet ja mahdollisuudet sopeutua ilmastonmuutoksen vaikutuksiin vaihtelevat vesistöalueittain (Taulukko 15). Monet vaikutuksista koskevat vain osaa vesistöistä. Tulvat pienenevät monissa Suomen vesistöissä, mutta suurien vesistöjen keskusjärvissä tulvariski kasvaa. Toisaalta entistä pidemmät ja kuivemmat kesät ja toisaalta rankkasateiden kasvaminen aiheuttavat sopeutumistarpeita mm. vesihuollolle (Rintala ym. 2011). Ilmastonmuutoksella on myös myönteisiä vaikutuksia (Taulukko 16), kuten vesivoiman tuotantomahdollisuuksien lisääntyminen ja kevättulvien pieneminen.

Säännöstelykäytäntöjen muuttaminen säännöstelyillä järvillä on tarpeellinen ja kustannustehokas keino sopeutua ilmastonmuutokseen. Useissa säännöstelyissä järvissä tarvitaan uusia säännöstelykäytäntöjä tai -lupia, mutta säännöstelyä muuttamalla sopeutuminen onnistuu suurimmassa osassa tarkasteltuja järviä. Kalenteriin sidotut voimakkaat ja ehdottomat kevään vedenkorkeuden laskut tulevat olemaan ilmastonmuutoksen myötä usein ongelmallisia, kun talven virtaamat ja kevättulvien koko ja ajoitus muuttuu ilmastonmuutoksen myötä. Etenkin Keski- ja Etelä-Suomen pienissä järvissä kevättulvan pieneminen vähentää tarvetta alentaa vedenkorkeuksia keväällä. Lähivuosikymmeninä esiintyy kuitenkin edelleen runsaslumisiakin talvia, jolloin kevättulviin varautuminen on tarpeellista. Niinpä uusien lupien tulisi olla joustavia ja säännöstelyn tulisi riippua todellisesta vesi- ja lumitilanteesta, ei kalenteriin tiukasti sidotuista päivämääristä.

Säännöstelylupien muutostarve riippuu siitä, miten luvat on nykyään määriteltä. Mitä tiukempi lupa on ja mitä tarkemmin vedenkorkeudet on määriteltä kalenteriin sidotusti, sitä vaikeampi säännöstelyä on saada toimimaan muuttuvassa ilmastossa. Pitkäaikaissäännöstelyä muuttamalla voidaan parantaa sopeutumista uusiin ilmastolosuhteisiin kuten varautumista talven tulviin ja kesän kuivuuteen. Lyhytaikais-säännöstelyllä voidaan mm. Kokemäenjoessa ja Oulujoessa leikata lyhytkestoisia tulvahuippuja alapuolisessa joessa sekä estää hyydepatojen syntyä muodostamalla jokeen jääkansi pakkasjaksoon ajoitetulla tasaisella pienellä virtaamalla.

Säännöstelyn aloittaminen tai säännöstelyn muuttaminen nykyistä tehokkaammaksi ovat myös sopeutumiskeinoja (mm. Pielinen). Luonnonkoskien kiveäminen ja pohjapatojen rakentaminen ovat mahdollisia keinoja estää vedenkorkeuksien haitallista alenemista kesän kuivuuden lisääntyessä (mm. Kallavesi). Joillain kohteilla (mm. Saimaa) mahdollisuudet sopeutua ilmastonmuutoksen vaikutuksiin ovat rajallisia, koska järviä ei aina voida säännöstellä nykyistä enempää.

Säännöstelyn lisäksi muita sopeutumismahdollisuuksia ovat tulva-alueiden suojaukset pysyvillä penkereillä tai tilapäisillä rakenteilla. Tärkeä ennaltaehkäisevä so-

peutumiskeino on maankäytön ohjaus kaavoituksella, jonka avulla voidaan estää rakentamien tulva-alueille. Tulvantorjunnan parantamisessa erityisen tärkeää on myös tulvaennusteiden ja tulvasta tiedottamisen kehittäminen sekä varautuminen tulvariskien hallintasuunnitelmien avulla. Yksi keino syntyvien vahinkojen kustannusten tasapuoliseksi jakamiseksi on myös tulvavakuutusten käyttöönotto.

Muita sopeutumiskeinoja tulvien pienentämiseksi ovat veden pidättäminen valuma-alueella ja varastoiminen yläpuolisiin säännöstelyihin järviin. Saimaalla tarkasteltiin mahdollisuutta pienentää Saimaan suuria tulvia varastoimalla vettä yläpuolisiin suuriin järviin Pieliseen ja Kallaveteen. Tulosten perusteella varastoimisen vaikutus on varsin rajallinen, kun kyseessä on hyvin suuri tulva, jonka toistumisaika on kerran 100 vuodessa. Yläpuolisten järvien vedenkorkeuksia täytyisi nostaa huomattavasti, jotta Saimaan vedenkorkeuteen saataisiin edes useiden senttien vaikutus. Saimaan suuren tulvan aikana Pielinen ja Kallavesi ovat myös tulvakorkeudella, joten vedenkorkeuksien nostaminen merkittävästi kasvattaisi vahinkoja näiden järvien rannalla. Tulvavesien tilapäisellä pidättämisellä voidaan leikata virtaamia, ja näin joko pienentää tulvahuippuja tai hidastaa tulvan nousua. Valuma-alueelle pidättämistä ei tarkasteltu tässä tutkimuksessa, mutta aiemmissa tutkimuksissa sen vaikutusmahdollisuuksia on arvioitu mm. Iijoella ja Kuivajoella (Rantakokko 2002). Suuremmissa vesistöissä merkittävän vaikutuksen aikaansaamiseksi pitää varastoida suuri vesimäärä eikä siihen tarvittavan suuren varastoalueen toteuttaminen ole yleensä maankäytön kannalta kovin helppoa tai edes mahdollista. Lisäksi poikkeuksellisen suurilla tulvilla varastotilavuuden suhteellinen merkitys pienenee.

Taulukossa 17 on listattu tarkastellut järvet ja niille tulosten perusteella tarpeelliset ja hyödylliset sopeutumistoimenpiteet ja sopeutumisen tarve vuoteen 2030 mennessä. Jos säännöstelylupien muuttaminen katsotaan jollain järvellä aiheelliseksi, tarvitaan säännöstelyn kehittämiseksi tarkempia selvityksiä. Osalle järvistä riittää säännöstelykäytäntöjen muuttaminen nykyisten lupien sisällä.

Taulukko 15. Ilmastonmuutoksen kielteiset vaikutukset, mahdolliset sopeutumistoimenpiteet ja sopeutumispotentiaali.

Kielteinen vaikutus	Vesistöt, missä esiintyy	Sopeutumistoimenpiteet	Sopeutumis-potentiaali
Hyydepatojen riski kasvaa	<ul style="list-style-type: none"> • Kokemäenjoki • Oulujoki • Kymijoki • Eurajoki • Karvianjoki 	<ul style="list-style-type: none"> • Lyhytaikaissäännöstely, järvien säännöstelyn koordinointi • Pitkäaikaissäännöstely, varautuminen jo syksyllä alhaisemilla vedenkorkeuksilla 	<ul style="list-style-type: none"> • kohtalainen
Talvitulvat kasvavat, kokonaistulvariski todennäköisesti kasvaa	<ul style="list-style-type: none"> • Saimaa & Vuoksi • Oulujärvi ja Oulujoki • Kokemäenjoki • Päijänne ja Kymijoki • Karjaanjoki • Eurajoki • Karvianjoki 	<ul style="list-style-type: none"> • Tulvariskien hallintasuunnitelmat • Pitkäaikaissäännöstely, säännöstelykäytäntöjen ja -lupien muuttaminen • Ennusteet, varoitukset • Rakentamisen ohjaus, tulvariskikartat • Penkereet ym. pysyvät suojausrakenteet • Tilapäiset suojausrakenteet • Tulvavesien pidättäminen valuma-alueella, väliaikaiset varastoaltaat • Tulvavakuutus 	<ul style="list-style-type: none"> • Tavanomaiset tulvat: hyvä • Suuret tulvat: melko huono

Kielteinen vaikutus	Vesistöt, missä esiintyy	Sopeutumistoimenpiteet	Sopeutumispotentiaali
Kesän kuivuus lisääntyy, ongelmia veden riittävyydessä saattaa esiintyä	<ul style="list-style-type: none"> Järvi-Suomen järvet Pohjanmaan ja Etelä-rannikon joet ja järvet 	<ul style="list-style-type: none"> Pitkäaikaissäännöstelyn aloitus luonnontilaisilla kohteilla Pitkäaikaissäännöstely Luonnonkosken kiveäminen tai pohjapadon rakentaminen Vesivoiman turbiinien säätö pienemmille virtaamille Vedenlaadun muutoksiin varautuminen vesilaitoksilla 	<ul style="list-style-type: none"> kohtalainen
Ohijuoksutusten määrä voimalaitoksilla kasvaa	<ul style="list-style-type: none"> Vuoksi Kokemäenjoki Oulujoki 	<ul style="list-style-type: none"> Voimalaitosten koneistojen uudistaminen ja turbiinikapasiteetin lisäys 	<ul style="list-style-type: none"> hyvä, mutta kallis toimenpide
Saimaannorpan pesinnän aikainen vedenkorkeuden vaihtelu suurenee	<ul style="list-style-type: none"> Saimaa 	<ul style="list-style-type: none"> Poikkeusjuoksutusikäntönnön muuttaminen Keinopesät 	<ul style="list-style-type: none"> melko huono
Kesän rankkasadetulvat kasvavat	<ul style="list-style-type: none"> Rannikon pienet vesistöt Taajamat 	<ul style="list-style-type: none"> Luonnonmukainen kaupunkirakentaminen, vähemmän läpäisemättömiä pintoja Tulvavesille reitit taajamiin Hulevesiviemäreiden mitoitus Tulvavakuutus Tulvavesien pidättäminen valuma-alueella Vedenottamoilla varautuminen allaskapasiteetilla äkillisiin runsaisiin vesimääriin Pohjavesikaivojen rakenteiden kunnon ja sijainnin tarkistaminen pintavesivalunnan riskin vuoksi (vedenlaadun haitat) 	<ul style="list-style-type: none"> Kohtalainen/ heikko
Pohjavedenpinnat laskevat kesällä ja alkusyksyllä	<ul style="list-style-type: none"> Etelä- ja Keski-Suomi 	<ul style="list-style-type: none"> Syvämmät rengaskaivot tai porakaivojen asennus Tilapäinen talousveden toimittaminen Liittyminen vesijohtoverkkoon Vedenottomäärien sopeuttaminen antoisuuksiin 	<ul style="list-style-type: none"> kohtalainen

Taulukko 16. Ilmastonmuutoksen mahdollisia myönteisiä vaikutuksia Suomen vesistöissä.

Myönteinen vaikutus	Vesistöt, missä esiintyy	Mahdolliset seuraukset
Talviaikainen vedenkorkeuden alenema pienenee	<ul style="list-style-type: none"> Koko Suomi 	<ul style="list-style-type: none"> Järven rantavyöhykkeen ja syyskutuisen kalaston tila saattaa parantua
Kevään lumen sulamistulvat pienenevät	<ul style="list-style-type: none"> Vuoksen, Kymijoen, Kokemäenjoen ja Oulujoen vesistöjen latvajärvet Pohjanmaan joet vuosisadan puolivälistä lähtien Etelä-Suomen joet 	<ul style="list-style-type: none"> Tulvavahingot vähenevät kohteilla, joissa kevättulvat nykyisin suurimpia tulvia
Vesivoiman kokonaistuotanto lisääntyy kun virtaamat kasvavat	<ul style="list-style-type: none"> Pieni lisäys koko maassa, Pohjois-Suomessa virtaamien kasvu suurempaa 	<ul style="list-style-type: none"> Vesivoimatuotanto ja sen tuotto kasvaa Talvivirtaamat kasvavat

Taulukko 17. Säännöstelyn sopeutumistoimenpiteet, joilla ilmastonmuutoksen kielteisiä vaikutuksia vedenkorkeuksiin ja virtaamiin voitaisiin lieventää tarkastelluissa järvissä ja joiden arvioidaan olevan tarpeellisia kyseisessä kohteessa

Järvi	Säännöstelylupa- ehtojen muuttaminen 2030 mennessä	Säännöstelylupa- ehtojen muutta- minen 2050 mennessä	Säännöstely- käytäntöjen muuttaminen nykyisen luvan puitteissa	Säännöstelyn aloittaminen	Maksimi- juoksuksen kasvattaminen	Minimi- juoksuksen pienentäminen*	Tarve sopeutumis- toimenpiteille (2030 mennessä)
Saimaa				x	x		melko suuri
Pielinen				x			melko suuri
Kallavesi			x			x	melko suuri
Syväri		x	x				kohtalainen
Päijänne		x	x			x	melko suuri
Puula	x	x	x			x	melko suuri
Vanajavesi			x				kohtalainen
Näsijärvi		x	x				melko suuri
Karvianjärvi				x			vähäinen
Isojärvi	x	x	x				melko suuri
Oulujärvi	x	x	x				melko suuri
Nuasjärvi		x	x				vähäinen
Kiantajärvi		x	x				vähäinen
Inari	x	x	x				melko suuri
Jänisjoki			x				vähäinen
Tuusulanjärvi		x	x				vähäinen
Lohjanjärvi	x	x	x		x		melko suuri
Säkylän Pyhäjärvi	x	x	x		x		melko suuri
Kalajärvi			x				vähäinen
Nurmojoen altaat	x	x	x				melko suuri
Kortteinen		x	x			x	kohtalainen
Koston- ja Irnijärvi		x	x				vähäinen
Kemijärvi		x	x				vähäinen

*Tämä vaihtoehto voi sisältää myös mm. luonnonkosken kiveämisen tai pohjapadon rakentamisen

Kiitokset

WaterAdapt-hankkeen eri osiin ja tässä raportissa esitettyjen tulosten tekoon ovat osallistuneet SYKEstä myös Tanja Dubrovin, Antti Parjanne, Juho-Pekka Vehviläinen, Vesa Kolhinen, Inese Huttunen ja Markus Huttunen. Lisäksi kiitokset kaikille raporttia kommentoineille MMM:ssä, ELY-keskuksissa ja SYKEssä. WaterAdapt projektissa käytetyt ilmastoskenaariot on saatu Ilmatieteen laitokselta ja EU:n rahoittaman ENSEMBLES-projektin data-arkistosta.

Viitteet

- Aaltonen, J., Veijalainen N. & Huokuna M. 2010. The effect of climate change on frazil ice jam formation in the Kokemäenjoki River. Proceeding of the 20th IAHR International Symposium on Ice, Lahti, Finland, June 14–18, 2010. http://www.riverice.ualberta.ca/IAHR%20Proc/20th%20Ice%20Symp%20Lahti%202010/Papers/133_Aaltonen.pdf
- Aaltonen, J. 2010. Kokemäenjoen Keskiosan hydraulinen mallinnus - avotilan laskennat. Työraportti, 30.3.2010. Suomen ympäristökeskus.
- Andréasson, J., Bergström, S., Carlsson, B., Graham, L. & Lindström, G. 2004. Hydrological change – climate change impact simulations for Sweden. *Ambio* 33(4): 228–234.
- Arnell, N.W. 1999. The effect of climate change on hydrological regimes in Europe: a continental perspective. *Global and Environmental Change* 9(1): 5–23.
- Collins, M., Booth, B.B.B., Harris, G.R., Murphy, J.M., Sexton, D.M.H. & Webb, M.J. 2005. Towards Quantifying Uncertainty in Transient Climate Change. *Climate Dynamics* 27(2–3): 127–147.
- Daly, S. F. 1991. Frazil Ice Blockage of Intake Trash Racks. US Army Corps of Engineers. USA Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire. Cold Region Technical Digest No. 91-1. 12 s. http://www.crrel.usace.army.mil/library/technicaldigests/CRTD91_01.pdf [Viitattu 16.5.2011]
- IPCC. 2000. IPCC Special Report: Emission Scenarios. Cambridge, UK. 570 s.
- IPCC, 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. 881 s.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Cambridge, UK. 996 s.
- Jylhä, K., Tuomenvirta, H. & Ruosteenoja, K. 2004. Climate change projections for Finland during the 21st century. *Boreal Environment Research* 9(2), 127–152.
- 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. 102 s.
- Korhonen, J. 2007. Suomen vesistöjen virtaaman ja vedenkorkeuden vaihtelut. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristö 45/2007. 120 s.
- Kuusisto E. & Käyhkö, J. (toim.) 2004. Globaalimuutos. Suomen akatemian FIGARE-ohjelma. Otava, Helsinki. 169 s.
- Linden P. van der & Mitchell, J.F.B. (eds.). 2009. ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, Exeter, UK. 160 s. http://ensembles-eu.metoffice.com/docs/Ensembles_final_report_Nov09.pdf [Viitattu 21.10.2011]
- Marttunen, M. & Järvinen, E. A. 1999. Päijänteen säännöstelyn kehittäminen. Yhteenveto ja suositukset. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristö 357. 168 s.
- Mäkinen, R. 2003. Pohjavedet. Ympäristö 5/2003: 18–19.
- Ollila, M., Virta, H. & Hyvärinen, V. 2000. Suurtulvaselvitys. Arvio mahdollisen suurtulvan aiheuttamista vahingoista Suomessa. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristö 441. 138 s.
- Prudhomme, C., Jabob, D. & Svensson, C. 2003. Uncertainty and climate change impacts on the flood regime of small UK catchments. *Journal of Hydrology* 277(1): 1–23.
- Rantakokko, K. (toim.). 2002. Tulvavesien tilapäinen pidättäminen valuma-alueelle. Kartoitusta mahdollisuuksista Suomen olosuhteissa. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristö 563. 43 s.
- Rummukainen, M., Bergström, S., Källén, E., Moen, L., Rodhe, J. & Tjernström, M. 2000. SWECLIM-The first three years. SMHI, Norrköping. *Reports Meteorology and Climatology* 94. 87 s.
- Ruosteenoja, K. 2011. Miten ja miksi ilmasto muuttuu? Julk: Virtanen A. & Rohweder, L. (toim.). Ilmastomuutos käytännössä - hillinnän ja sopeutumisen keinoja. Gaudeamus, Helsinki. S. 69–108.
- Silander, J., Vehviläinen, B., Niemi, J., Arosilta, A., Dubrovin, T., Jormola, J., Keskisarja, V., Keto, A., Lepistö, A., Mäkinen, R., Ollila, M., Pajula, H., Pitkänen, H., Sammalkorpi, I., Suomalainen, M. & Veijalainen, N. 2006. Climate change adaptation for hydrology and water resources. FINADAPT Working Paper 6, Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Finnish Environment Institute Mimeographs 336. 54 s.
- Soveri, J. 1985. Influence of meltwater on the amount and composition of groundwater in quaternary deposits in Finland. Publications of the Water Research Institute No.63, National Board of Waters, Finland, Helsinki. 92 s.
- Sutela, T., Marttunen, M., Aaltonen, J., Dubrovin, T., Parjanne, A., Riihimäki, J., Linjama, T. & Kärkkäinen, J. 2009. Jänsjoen vesistön säännöstelyn kehittäminen – yhteenveto ja suositukset, Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen raportteja, 77 s.
- Tarvainen, A., Verta, O.M., Marttunen, M., Nykänen, J., Korhonen, T., Pönkkä, H. & Höytämö, J. 2006. Koitereen säännöstelyn vaikutukset ja kehittämismahdollisuudet. Yhteenveto ja suositukset. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristö 37/2006. 116 s.
- Tuomenvirta, H. 2004. Reliable estimation of climatic variations in Finland. Finnish Meteorological Institute, Meteorological Research, Helsinki. Contributions No. 43. 80 +78 s. (Academic Dissertation)

- USACE. 2002. Engineering and Design – Ice Engineering. US. Army Corps of Engineers, Washington. Manual No. 1110-2-1612. <http://140.194.76.129/publications/eng-manuals/em1110-2-1612/toc.htm> [Viitattu 16.5.2011]
- Vainio, M. (toim.). 1999. Kokemäenjoen vesistön tulvatorjunnan toimintasuunnitelma. Pirkanmaan ympäristökeskus, Tampere. Alueelliset ympäristöjulkaisut 132. 83 s.
- Vehviläinen, B. & Huttunen, M. 1997. Climate change and Water Resources in Finland. *Boreal Environment Research* 2(1): 3–18.
- Vehviläinen, B. & Huttunen, M. 2002. The Finnish watershed simulation and forecasting system (WSFS). Publication of the 21st conference of Danube countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management.
- Vehviläinen, B., Huttunen, M. & Huttunen, I. 2005. Hydrological forecasting and real time monitoring in Finland: The watershed simulation and forecasting system (WSFS). In: *Innovation, Advances and Implementation of Flood Forecasting Technology, Conference Papers, Tromso, Norway, 17–19 October 2005*.
- Veijalainen, N., Dubrovin, T., Marttunen, M. & Vehviläinen, B. 2010a. Climate change impacts on water resources and lake regulation in the Vuoksi watershed in Finland. *Water Resources Management* 24(13): 3437–3459.
- Veijalainen, N., Lotsari E., Alho, P., Vehviläinen, B. & Käyhkö, J. 2010b. National scale assessment of climate change impacts on flooding in Finland. *Journal of Hydrology* 391(3–4): 333–350.
- Veijalainen, N., Korhonen, J., Vehviläinen, B. & Koivusalo, H. 2012. Modelling and statistical analysis of catchment water balance and discharge in Finland 1951–2099 using transient climate scenarios. *Journal of Water and Climate Change* 3(1): 55–78.
- Veijalainen, N., Sippel, K. & Vehviläinen, B. 2010. Tulvien muuttuminen Vantaanjoella ja Espoonjoella. *Julk: Pääkaupunkiseudun ilmasto muuttuu. Sopeutumisstrategian taustaselvityksiä. HSY:n julkaisuja 3/2010. HSY Helsingin seudun ympäristöpalvelut, Helsinki. S. 37–53.*
- Verta, O.M, Nykänen, J., Höytämö, J. & Marttunen, M. 2007. Pielisen juoksutusten kehittämismahdollisuudet. Yhteenveto vuonna 2006 tehdyistä selvityksistä. Suomen ympäristökeskus. [Shttp://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=64581](http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=64581) [Viitattu 16.5.2011]
- Vienonen, S., Rintala, J., Orvoma, M. & Santala, E. 2012. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja sopeutumistarpeet vesihuollossa. Suomen ympäristö x/2012. (Painossa)

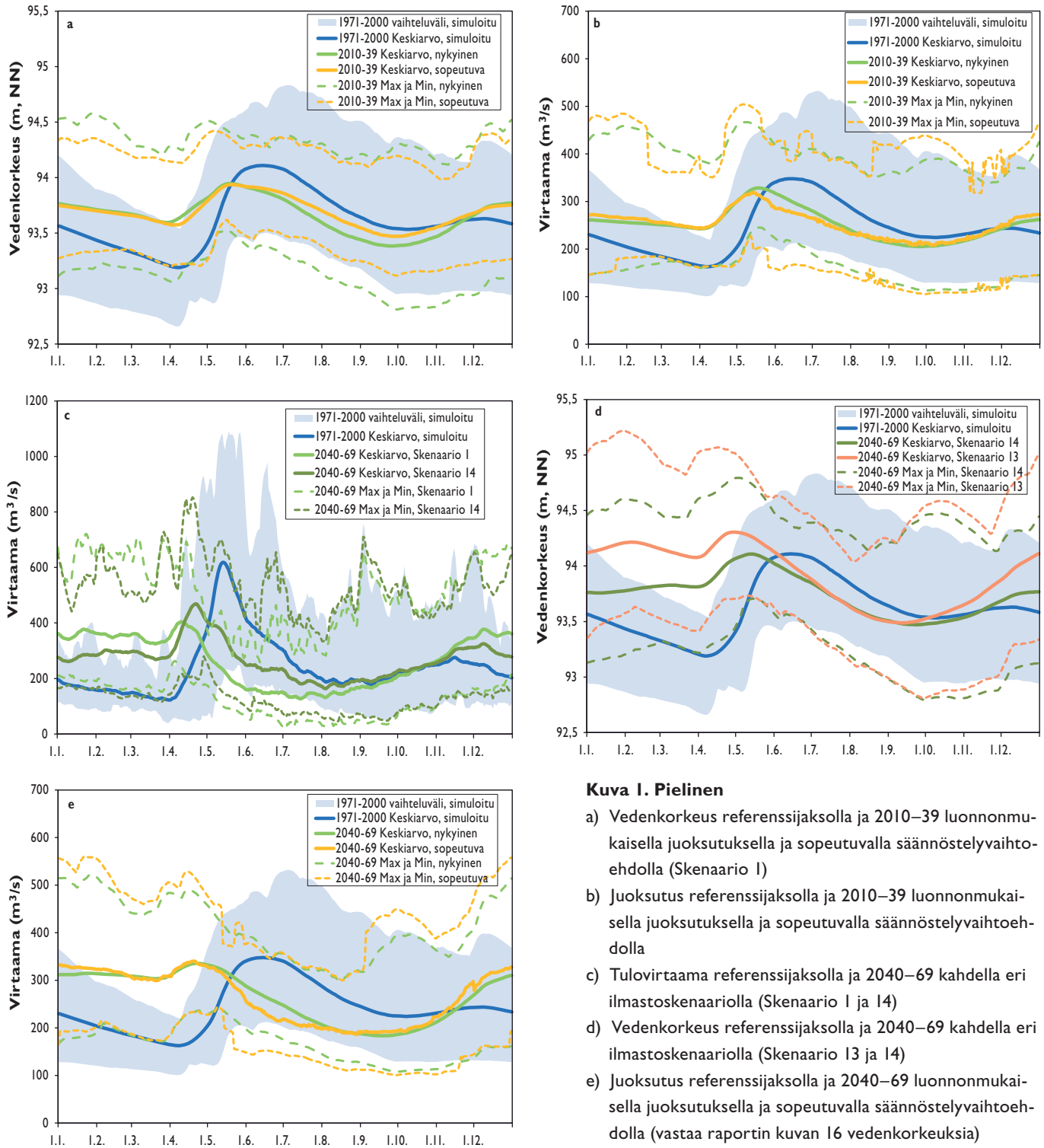
LIITTEET

LIITE I. Hydrologiset skenaariot

Liitteessä 1 on esitetty kunkin järven tulo- ja lähtövirtaama- ja vedenkorkeuskuvia eri tarkastelujaksoilla ja eri ilmastoskenaarioilla. Esitetyt jaksot ovat referenssijakson 1971–2000 lisäksi 2010–39 ja 2040–69. Ilmastoskenaariosta on esitetty Skenaarion 1 (Ka A1B eli 19 globaalil ilmastomallin keskiarvo A1B päästöskenaariolla) lisäksi kullekin järvelle joitain mahdollisimman erilaisia ilmastoskenaarioita (esim. kylmä/lämmin, märkä/kuiva).

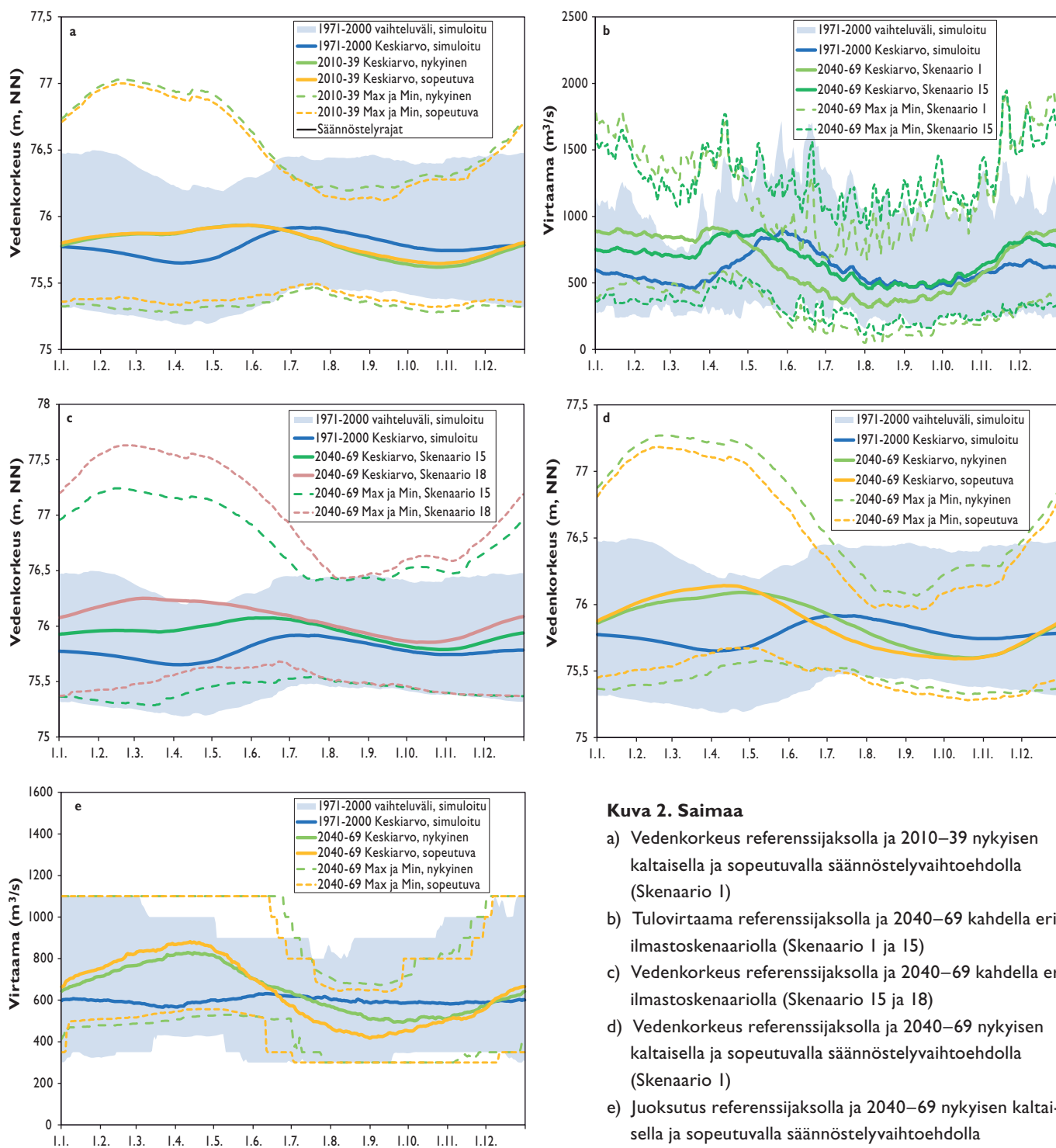
Esitetyt järvet ovat:

Pielinen, Saimaa, Syväri, Kallavesi, Päijänne, Puula, Näsijärvi, Vanajavesi, Karvianjärvi, Isojärvi, Kiantajärvi, Oulujärvi, Nuasjärvi, Inarijärvi, Loitimo, Tuusulanjärvi, Lohjanjärvi, Säskylän Pyhäjärvi, Kalajärvi, Kuorasjärvi, Kortteinen, Korttonjärvi ja Kemijärvi



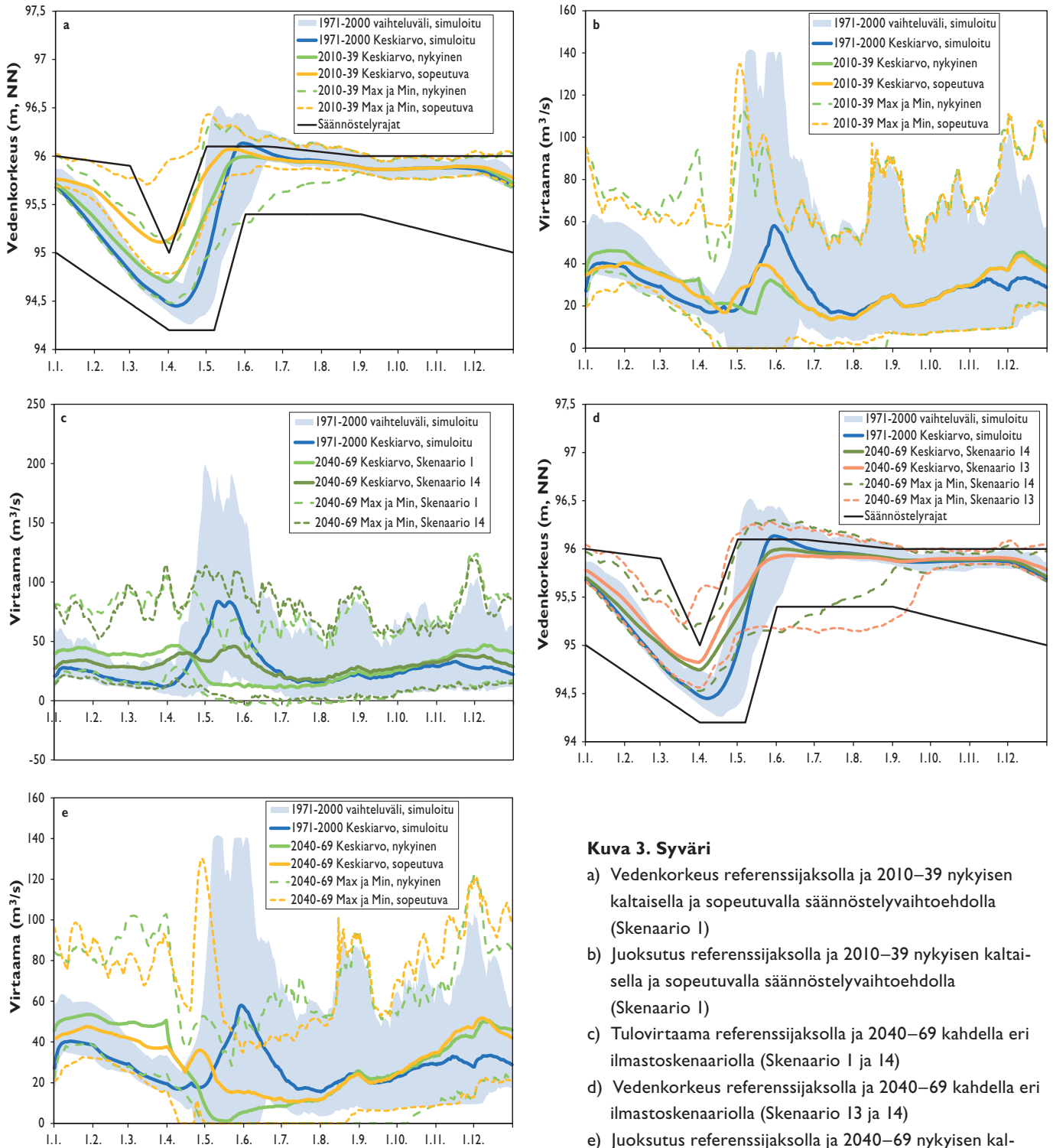
Kuva 1. Pielinen

- a) Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2010–39 luonnonmukaisella juoksutuksella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- b) Juoksutus referenssijaksolla ja 2010–39 luonnonmukaisella juoksutuksella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla
- c) Tulovirtaama referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario I ja 14)
- d) Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario 13 ja 14)
- e) Juoksutus referenssijaksolla ja 2040–69 luonnonmukaisella juoksutuksella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (vastaa raportin kuvan 16 vedenkorkeuksia)



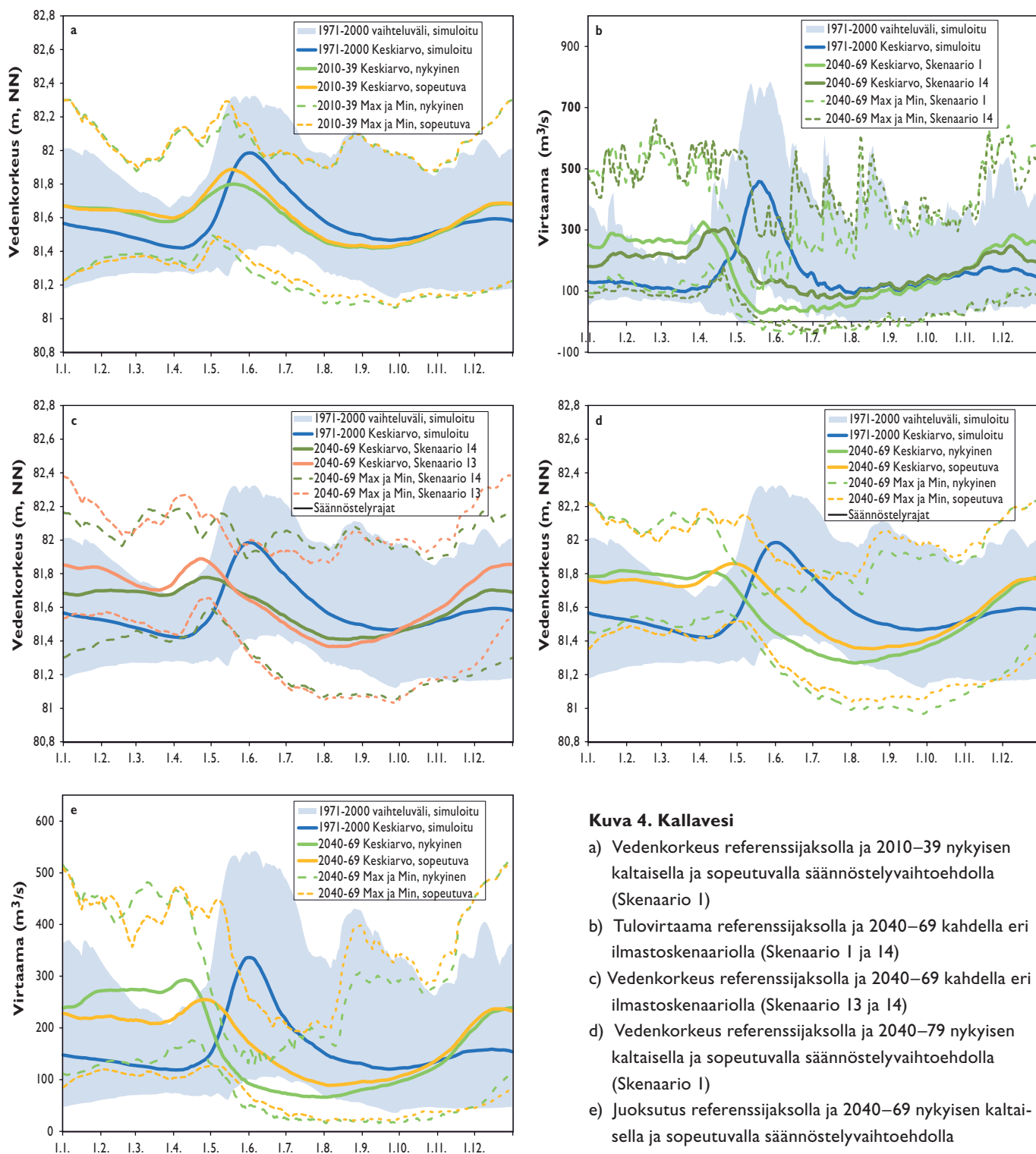
Kuva 2. Saimaa

- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- Tulovirtaama referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario I ja 15)
- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario 15 ja 18)
- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- Juoksutus referenssijaksolla ja 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)



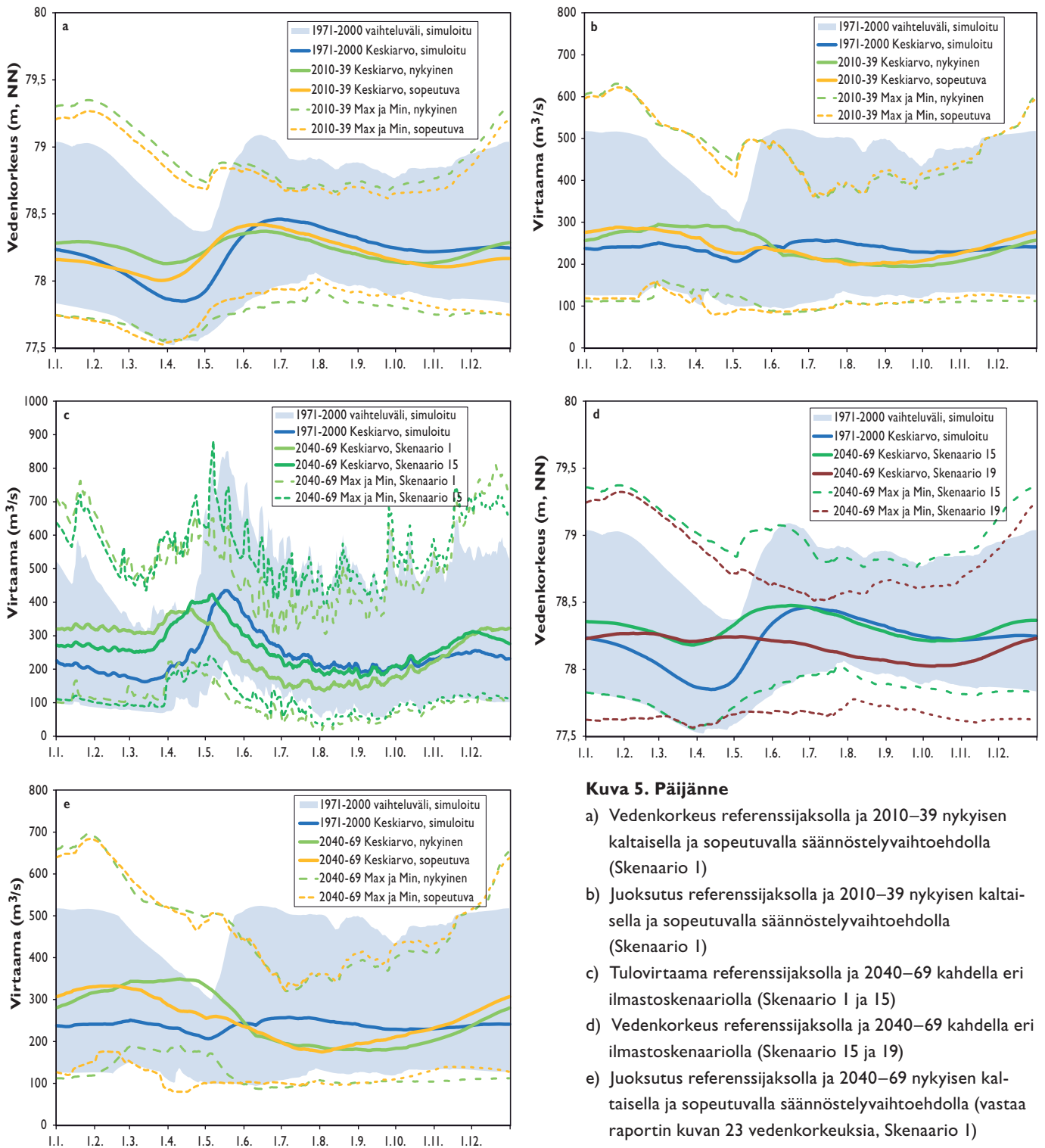
Kuva 3. Syväri

- a) Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- b) Juoksutus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- c) Tulovirtaama referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario I ja 14)
- d) Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario 13 ja 14)
- e) Juoksutus referenssijaksolla ja 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (vastaa raportin kuvan 19 vedenkorkeuksia, Skenaario I)



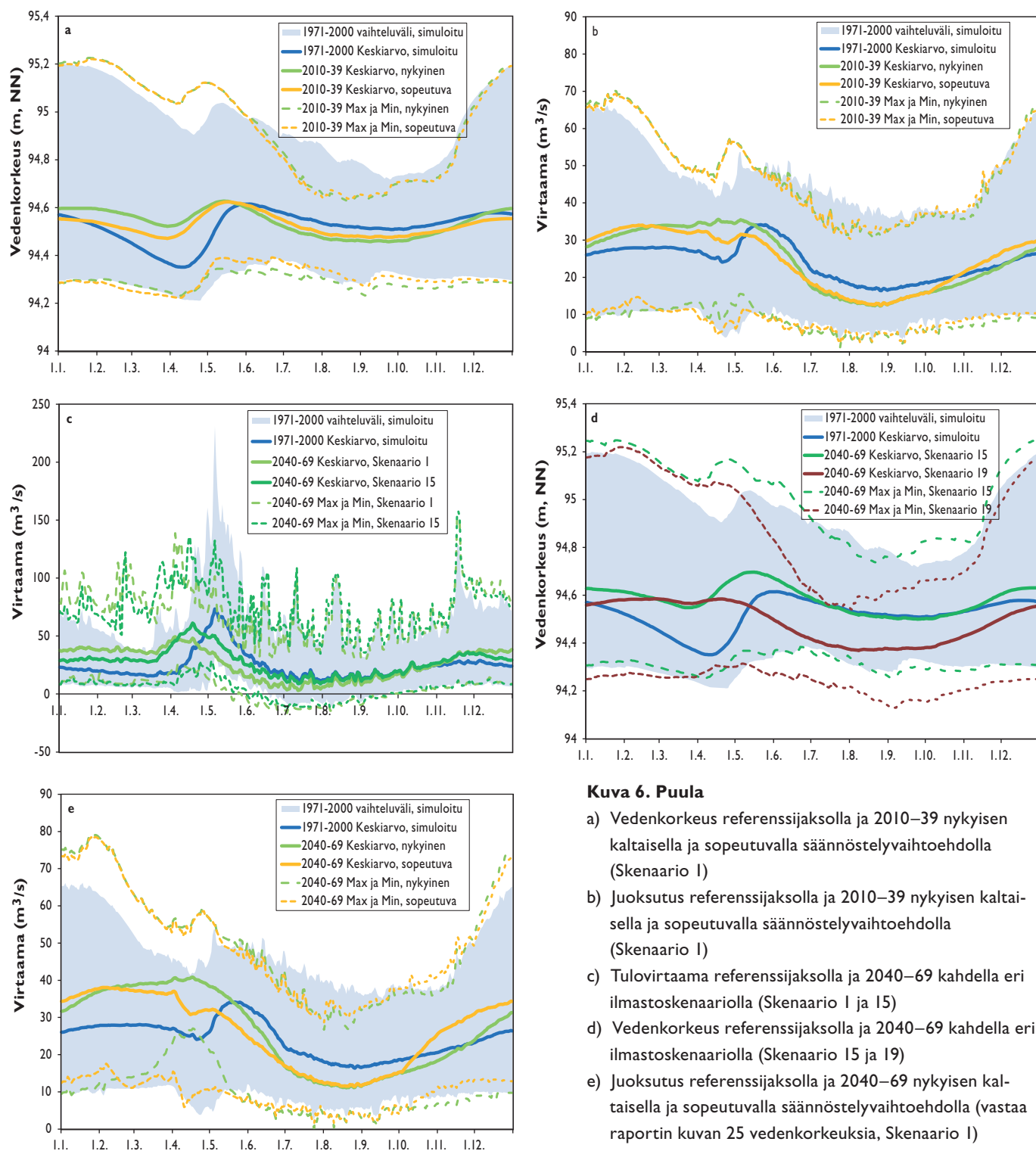
Kuva 4. Kallavesi

- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- Tulovirtaama referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario I ja I4)
- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario I3 ja I4)
- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2040–79 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- Juokstus referenssijaksolla ja 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)



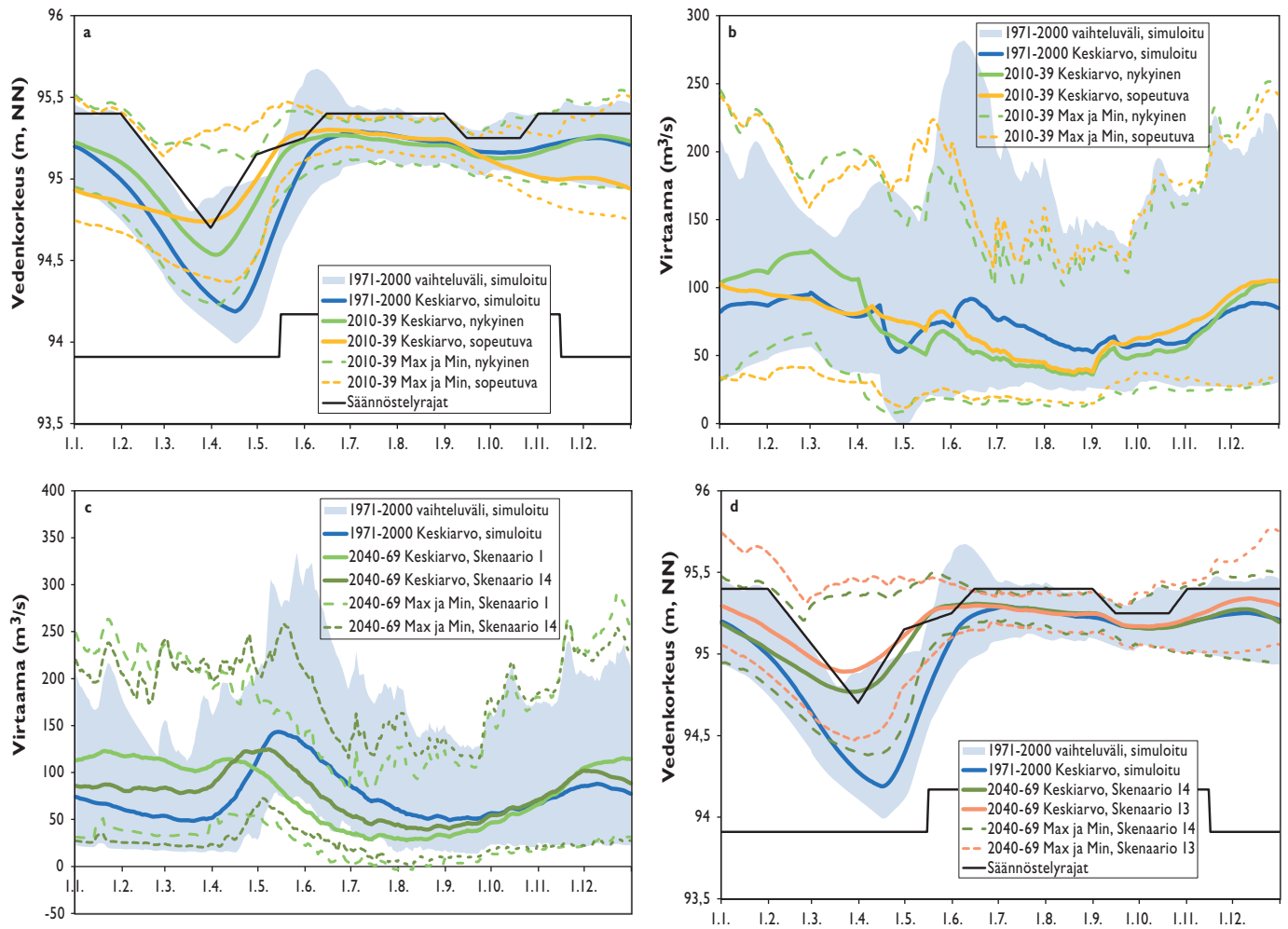
Kuva 5. Päijänne

- a) Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- b) Juoksutus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- c) Tulovirtaama referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario I ja 15)
- d) Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario 15 ja 19)
- e) Juoksutus referenssijaksolla ja 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (vastaa raportin kuvan 23 vedenkorkeuksia, Skenaario I)



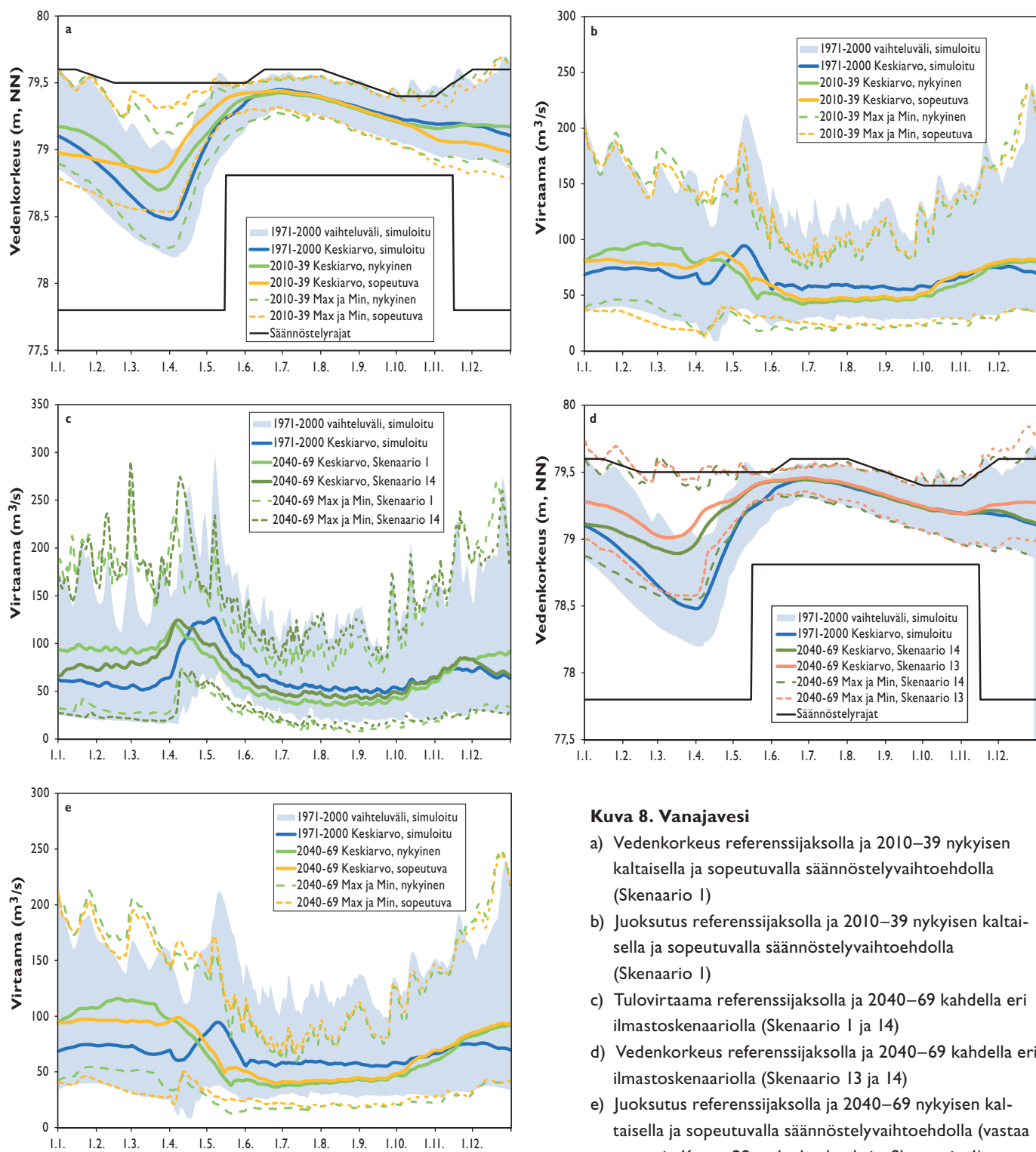
Kuva 6. Puula

- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- Juoksutus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- Tulovirtaama referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario I ja 15)
- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario 15 ja 19)
- Juoksutus referenssijaksolla ja 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (vastaa raportin kuvan 25 vedenkorkeuksia, Skenaario I)



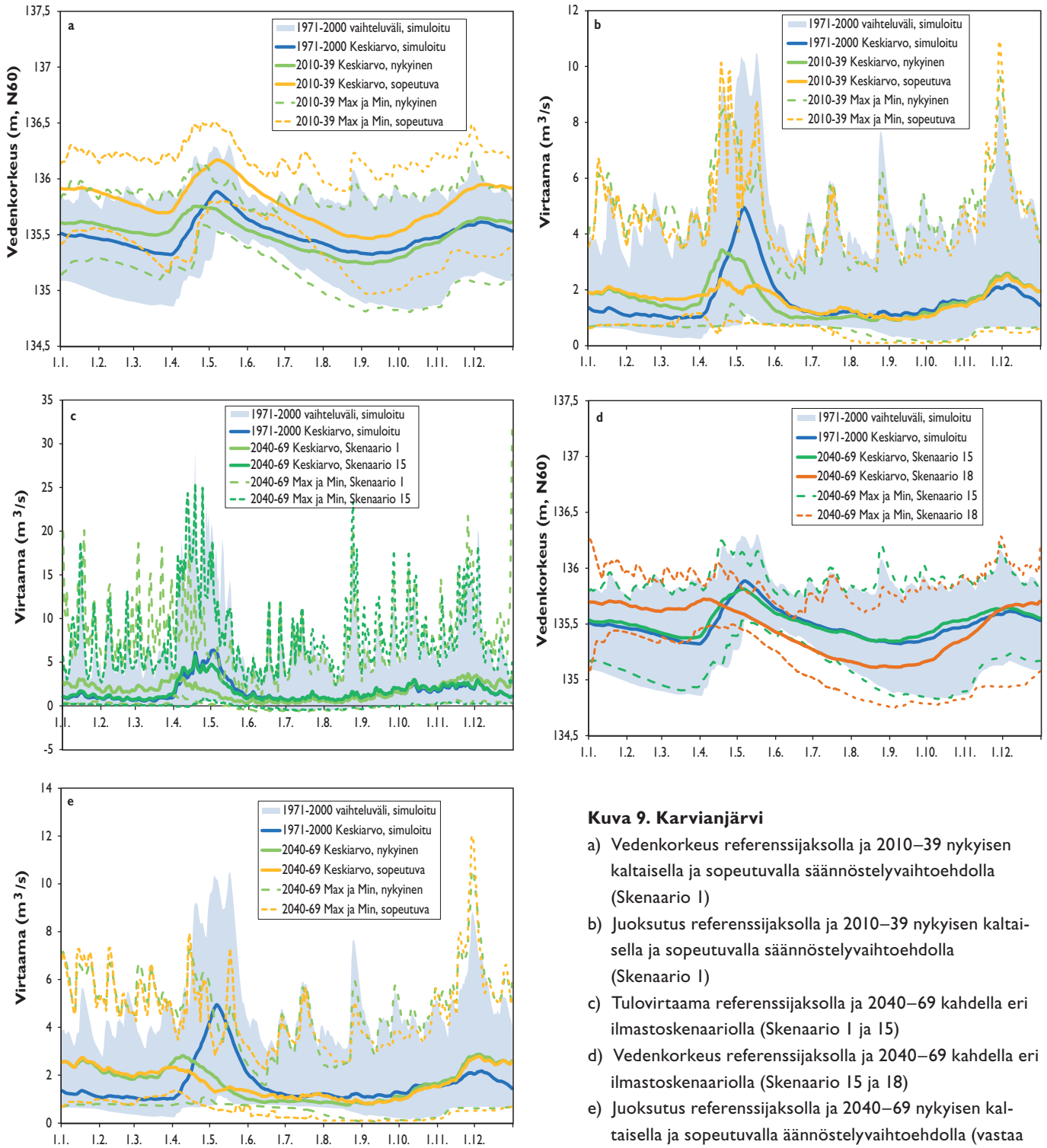
Kuva 7. Näsijärvi

- a) Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- b) Juoksutus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- c) Tulovirtaama referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario I ja I4)
- d) Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario I3 ja I4)



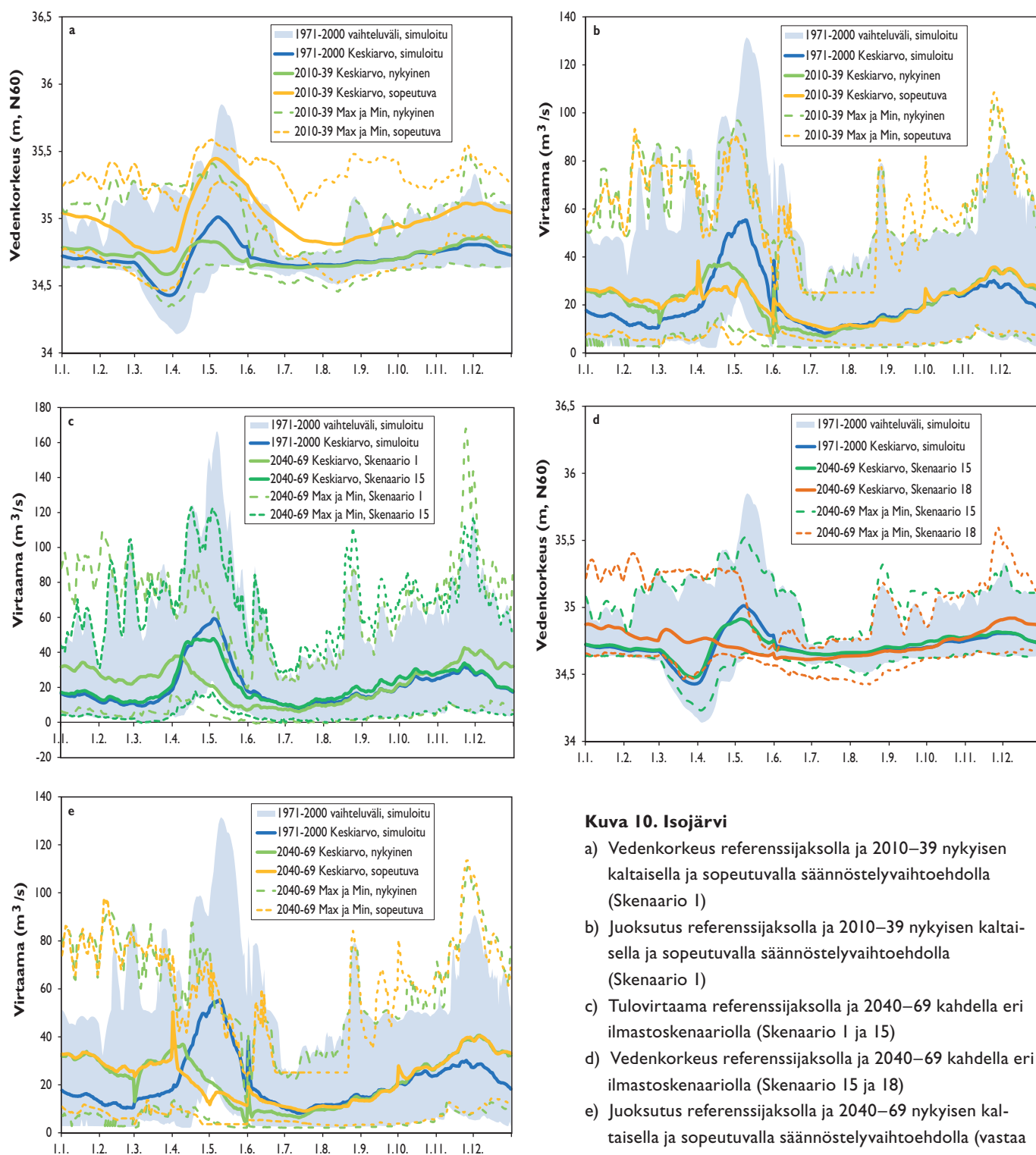
Kuva 8. Vanajavesi

- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- Juoksutus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- Tulovirtaama referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario I ja I4)
- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario I3 ja I4)
- Juoksutus referenssijaksolla ja 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (vastaa raportin Kuvan 29 vedenkorkeuksia, Skenaario I)



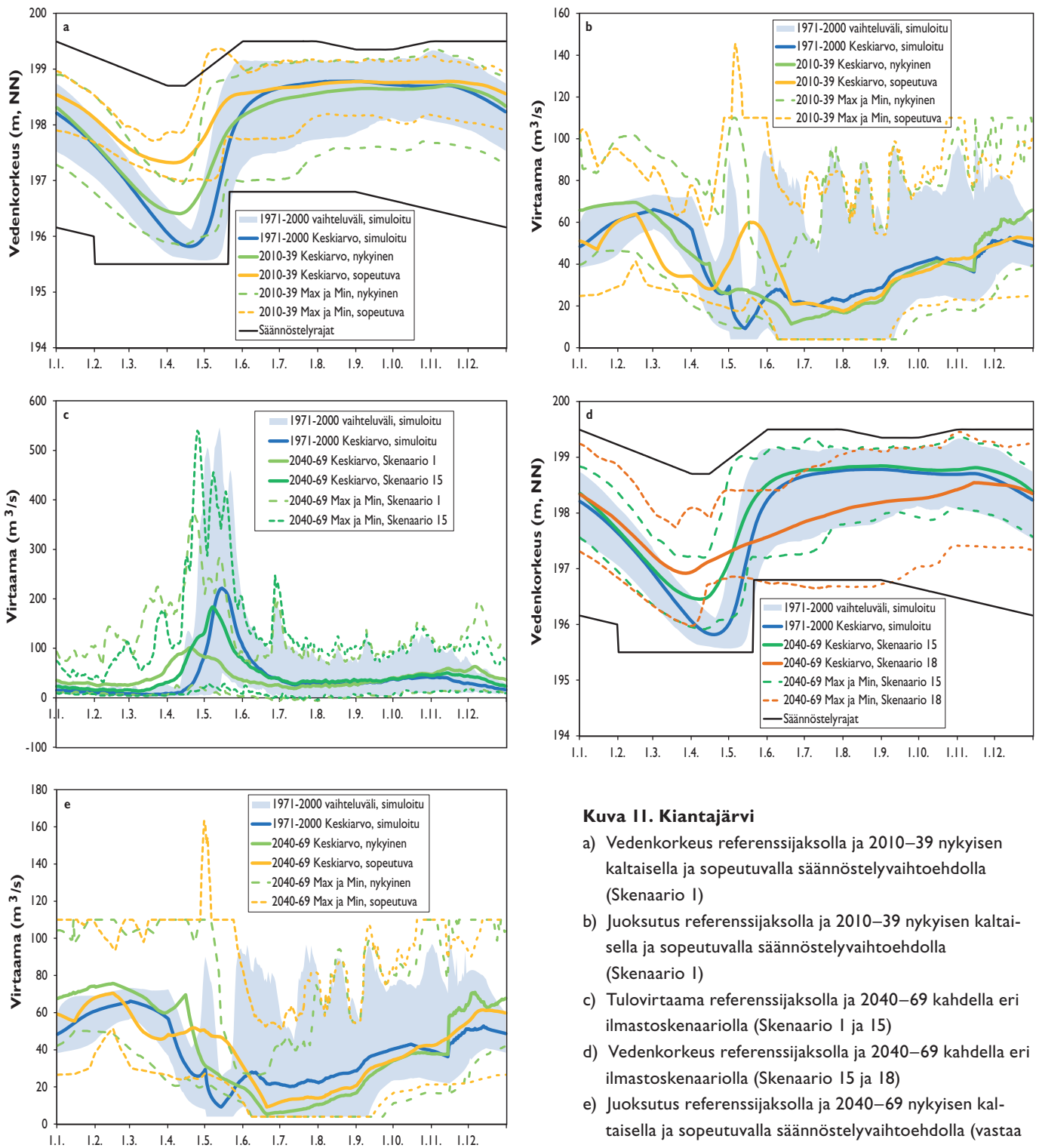
Kuva 9. Karvianjärvi

- a) Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- b) Juoksutus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- c) Tulovirtaama referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario I ja 15)
- d) Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario 15 ja 18)
- e) Juoksutus referenssijaksolla ja 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (vastaa raportin kuvan 40 vedenkorkeuksia, Skenaario I)



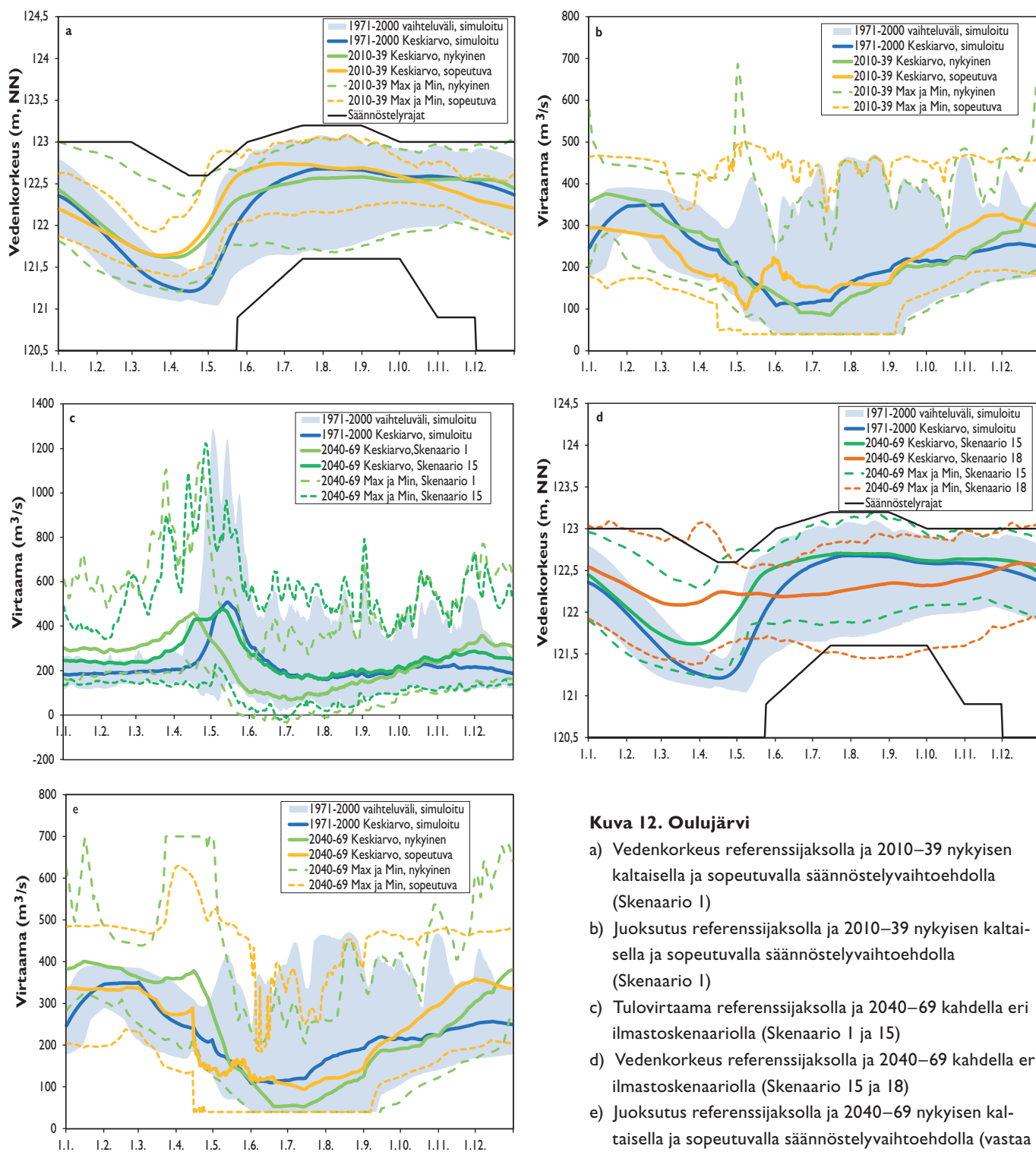
Kuva 10. Isojärvi

- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- Juoksutus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- Tulovirtaama referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario I ja I5)
- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario I5 ja I8)
- Juoksutus referenssijaksolla ja 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (vastaa raportin kuvan 41 vedenkorkeuksia, Skenaario I)



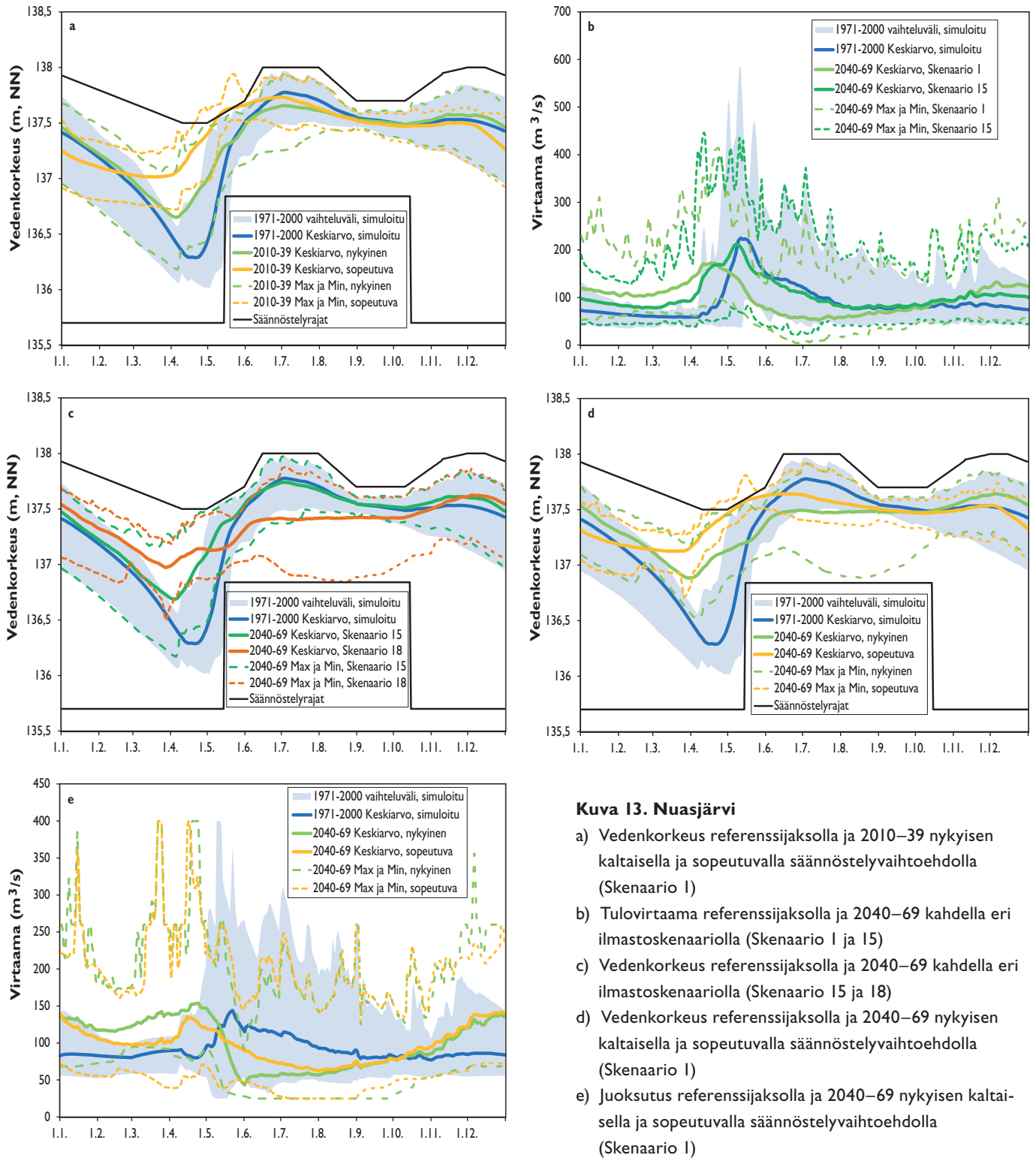
Kuva II. Kiantajärvi

- a) Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- b) Juoksutus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- c) Tulovirtaama referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario I ja 15)
- d) Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario 15 ja 18)
- e) Juoksutus referenssijaksolla ja 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (vastaa raportin kuvan 44 vedenkorkeuksia, Skenaario I)



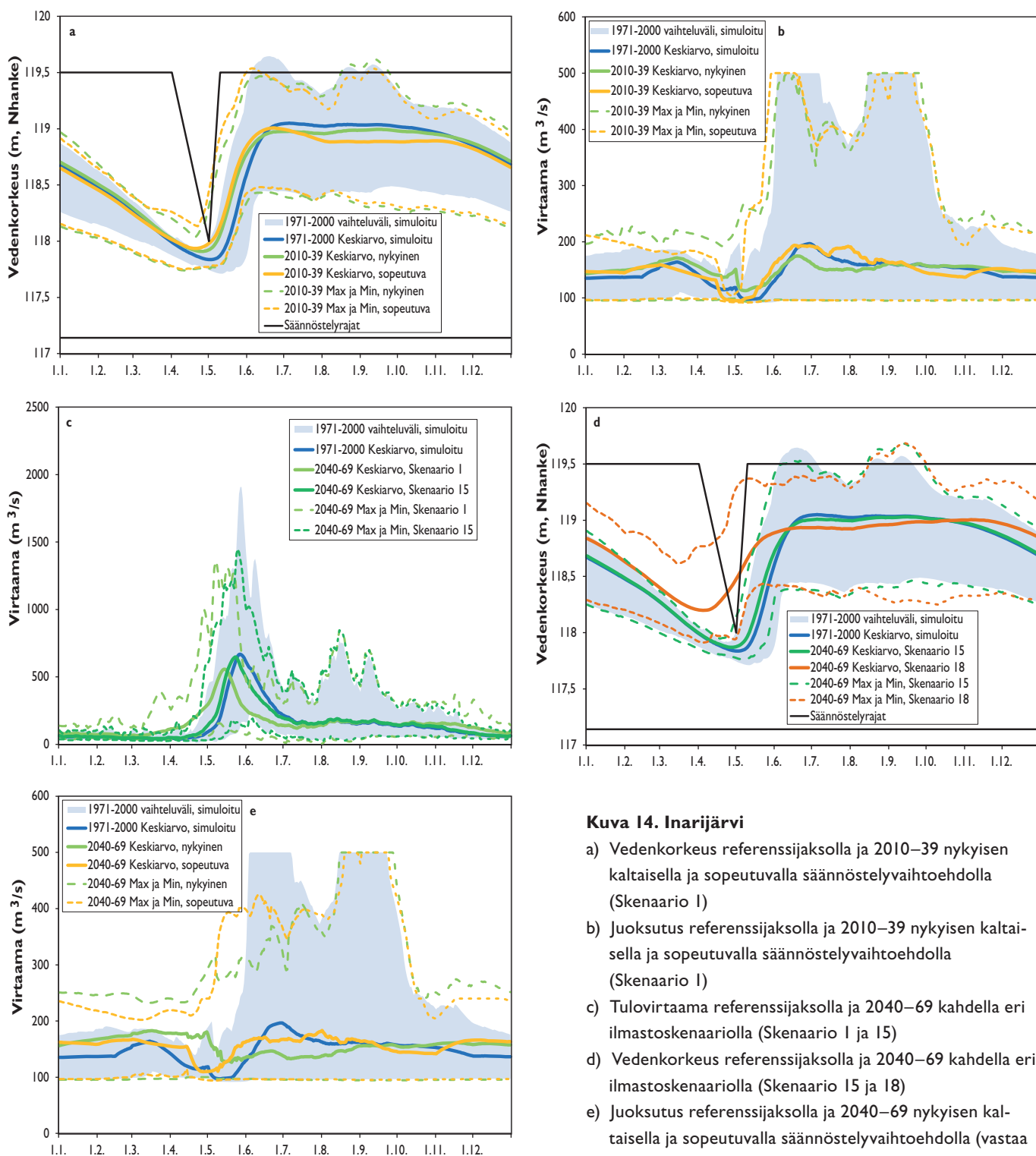
Kuva 12. Oulujärvi

- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- Juoksutus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- Tulovirtaama referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario I ja 15)
- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario 15 ja 18)
- Juoksutus referenssijaksolla ja 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (vastaa raportin kuvan 45 vedenkorkeuksia, Skenaario I)



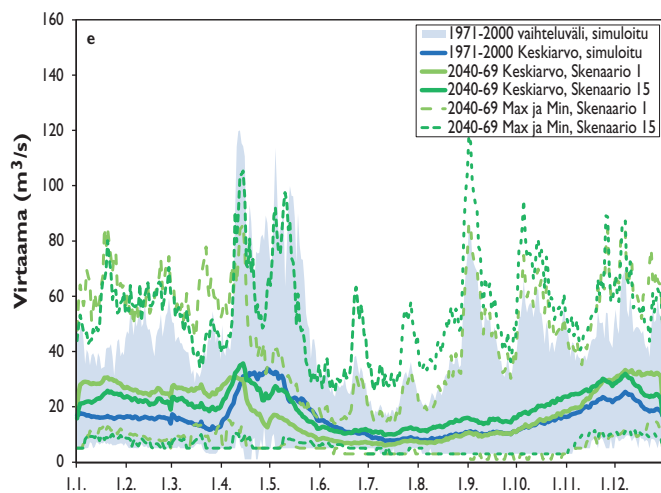
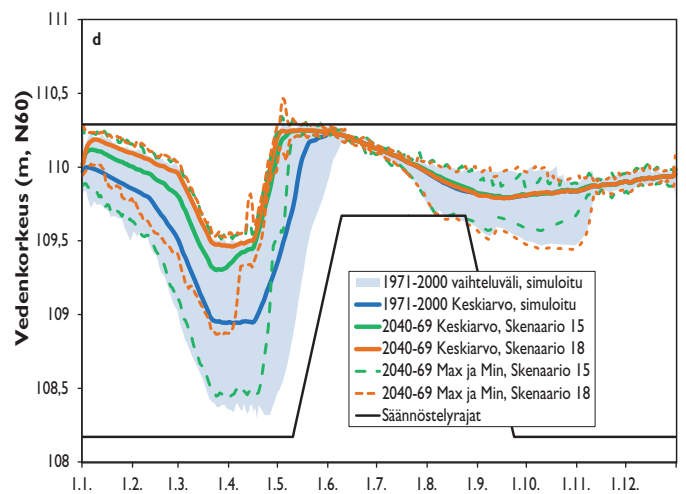
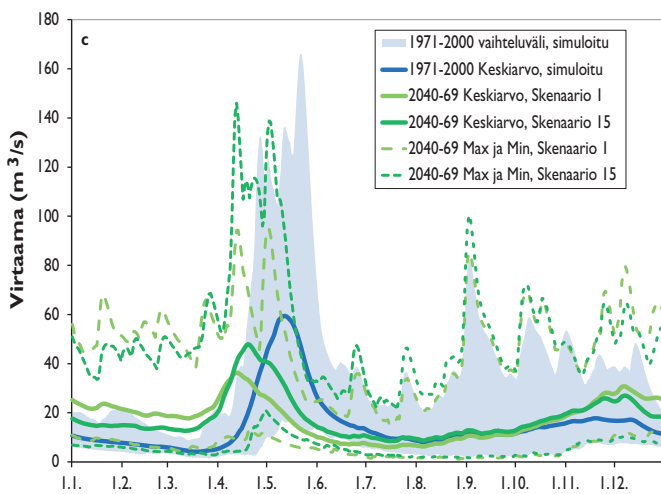
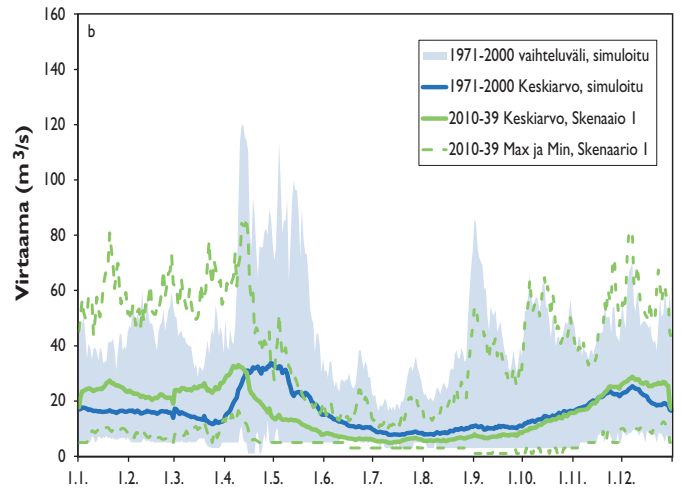
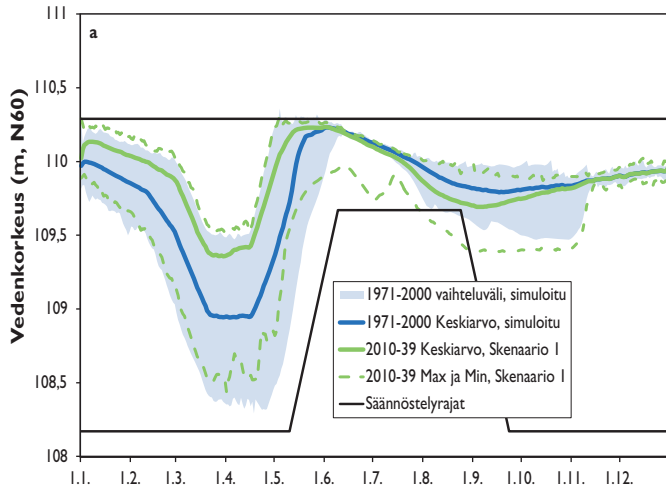
Kuva 13. Nuasjärvi

- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- Tulovirtaama referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario I ja 15)
- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario 15 ja 18)
- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- Juoksutus referenssijaksolla ja 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)



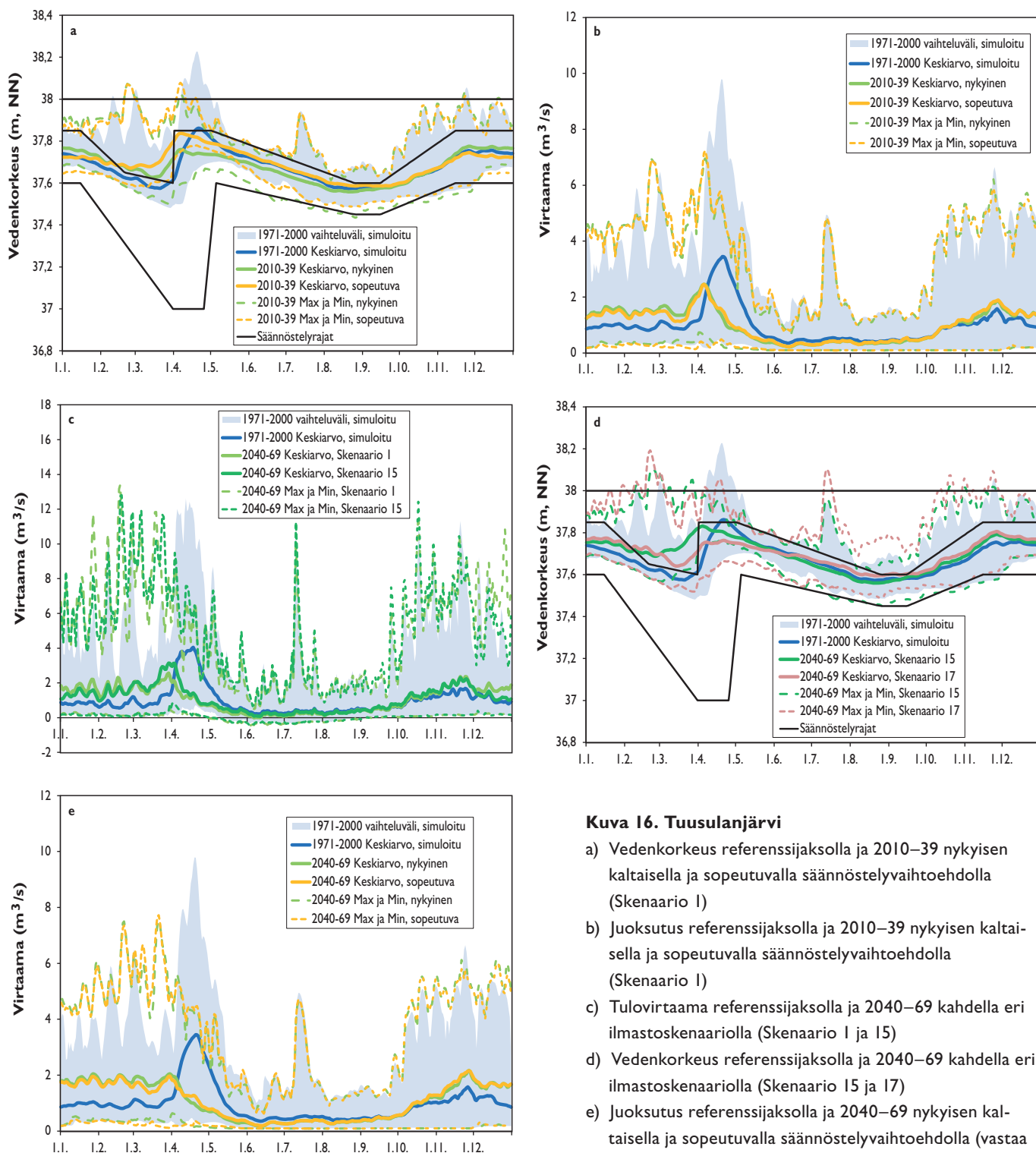
Kuva 14. Inarijärvi

- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- Juoksutus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- Tulovirtaama referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario I ja 15)
- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario 15 ja 18)
- Juoksutus referenssijaksolla ja 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (vastaa raportin kuvan 51 vedenkorkeuksia, Skenaario I)



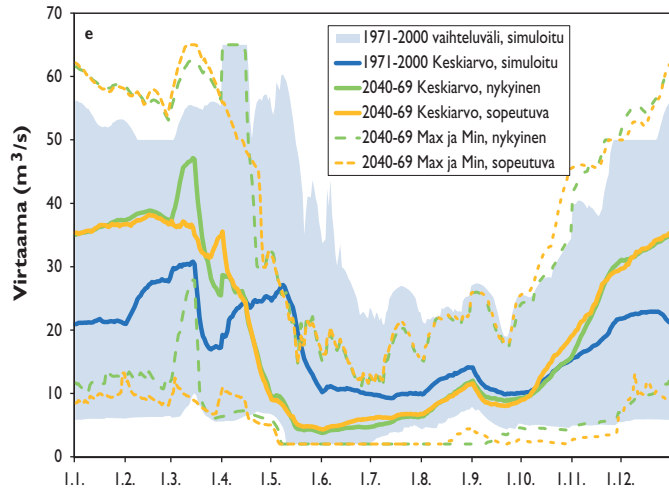
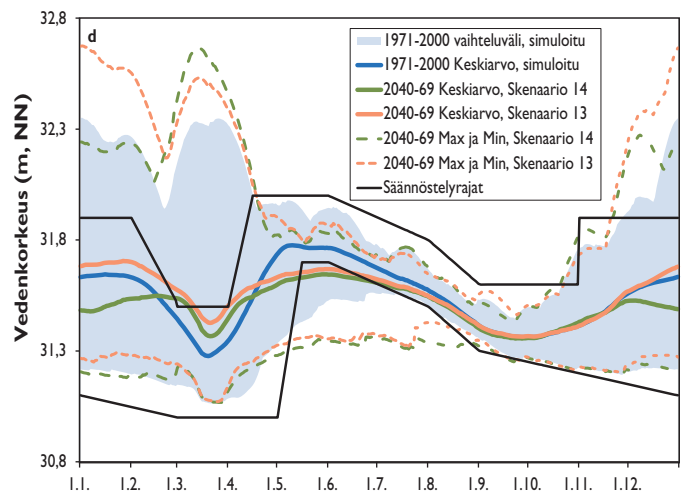
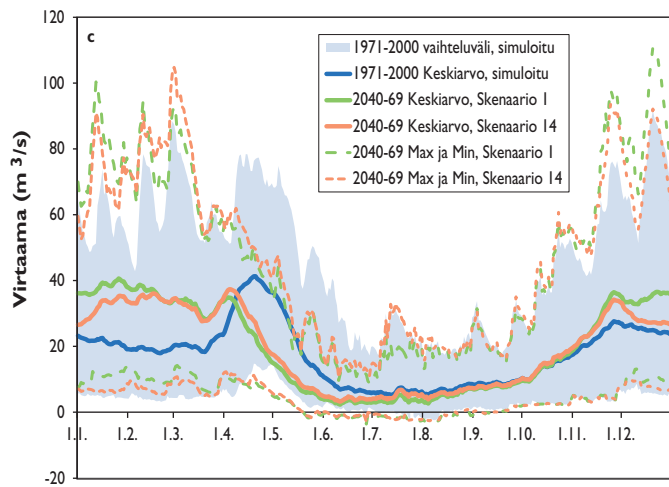
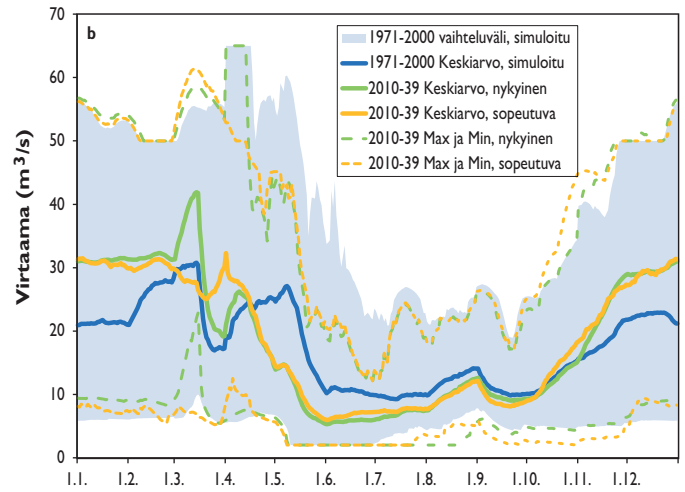
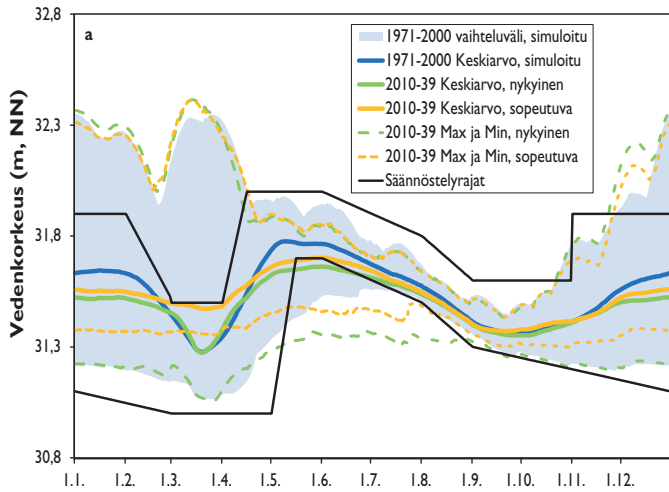
Kuva 15. Loitimo

- a) Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- b) Juoksutus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- c) Tulovirtaama referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario I ja 15)
- d) Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario 15 ja 18)
- e) Juoksutus referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (vastaa raportin kuvan 53 vedenkorkeuksia, Skenaariot I ja 15)



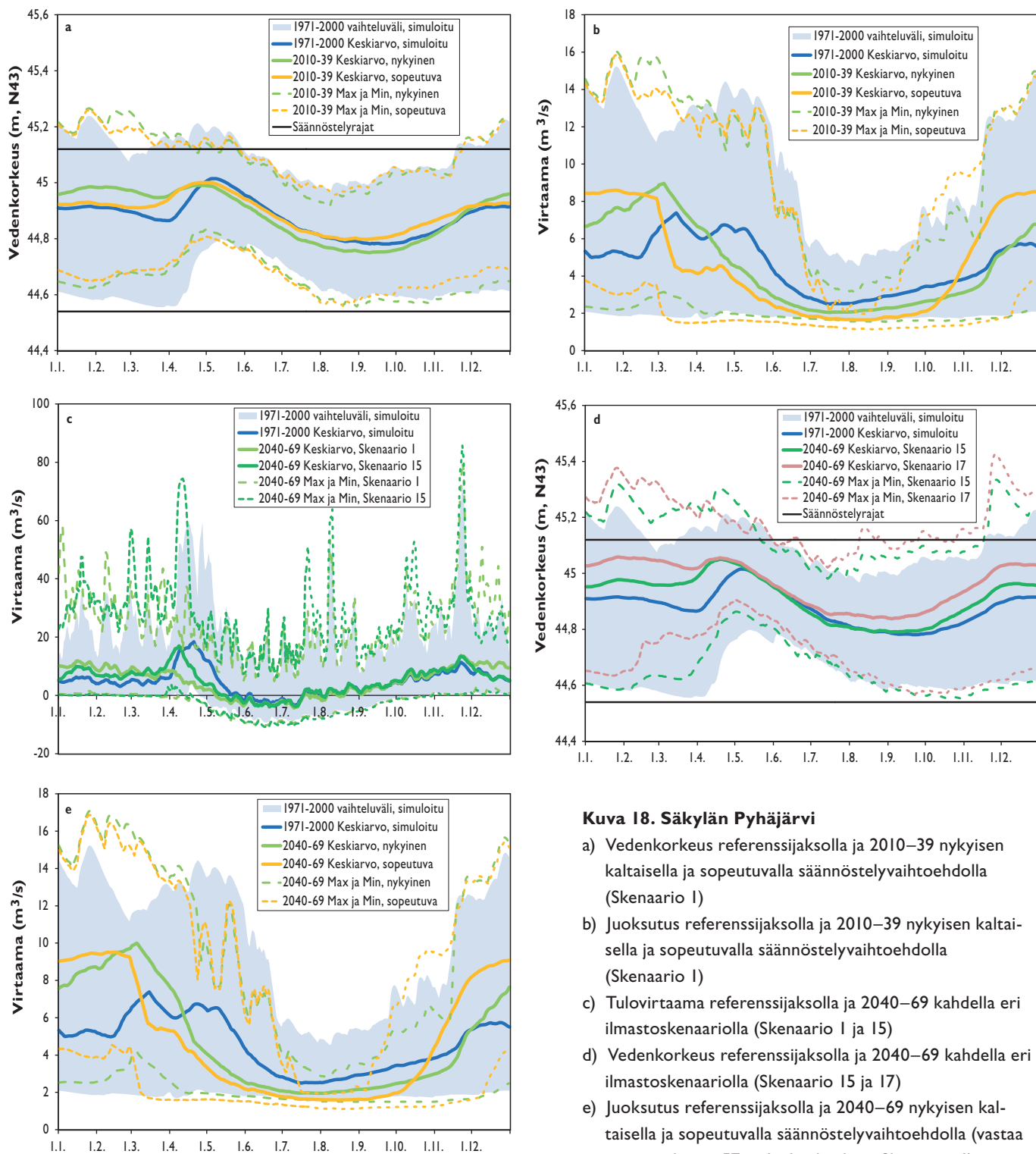
Kuva 16. Tuusulanjärvi

- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- Juoksutus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- Tulovirtaama referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario I ja 15)
- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario 15 ja 17)
- Juoksutus referenssijaksolla ja 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (vastaa raportin kuvan 54 vedenkorkeuksia, Skenaario I)



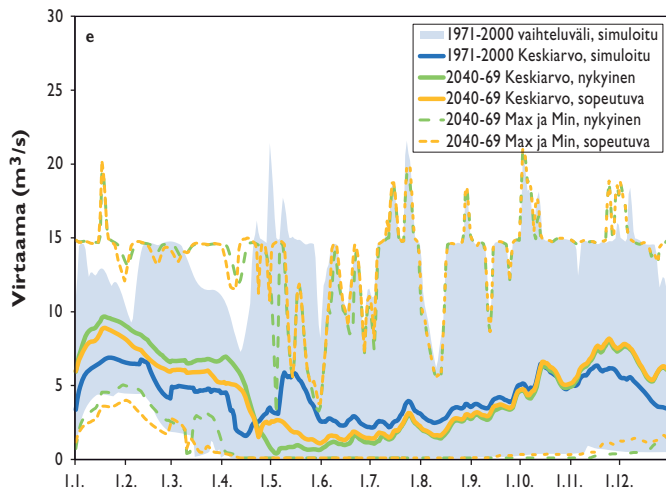
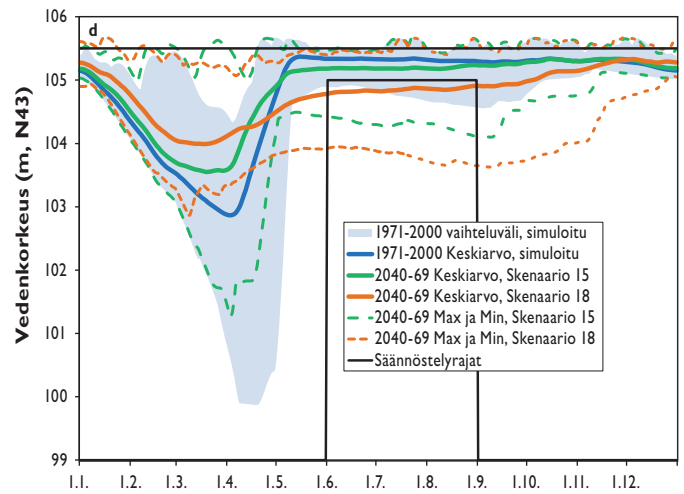
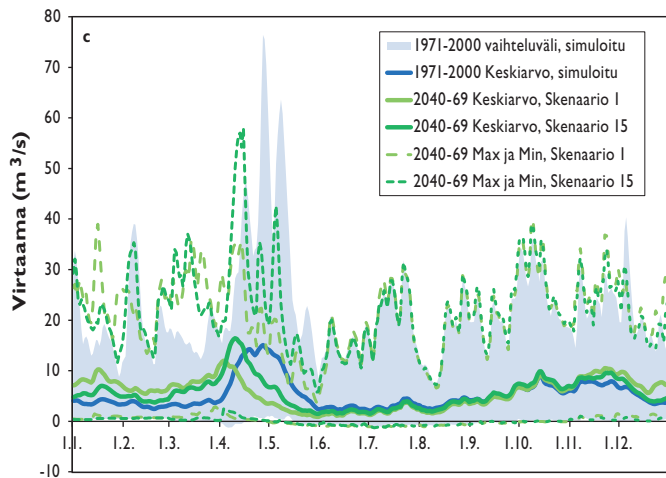
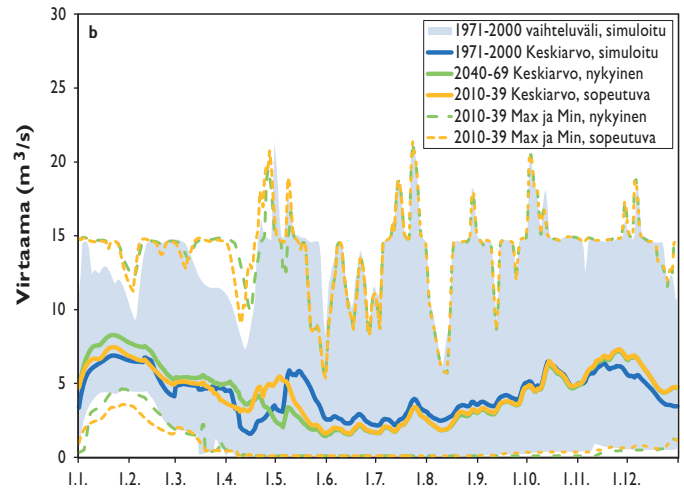
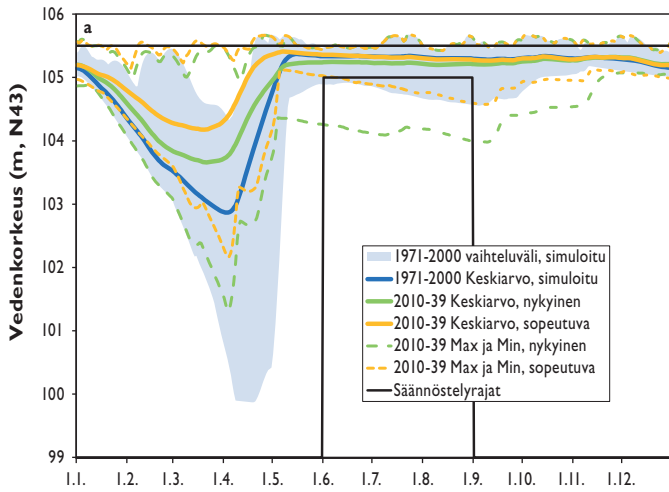
Kuva 17. Lohjanjärvi

- a) Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenario I)
- b) Juoksutus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenario I)
- c) Tulovirtaama referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenario I ja 14)
- d) Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenario 13 ja 14)
- e) Juoksutus referenssijaksolla ja 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (vastaa raportin kuvan 56 vedenkorkeuksia, Skenario I)



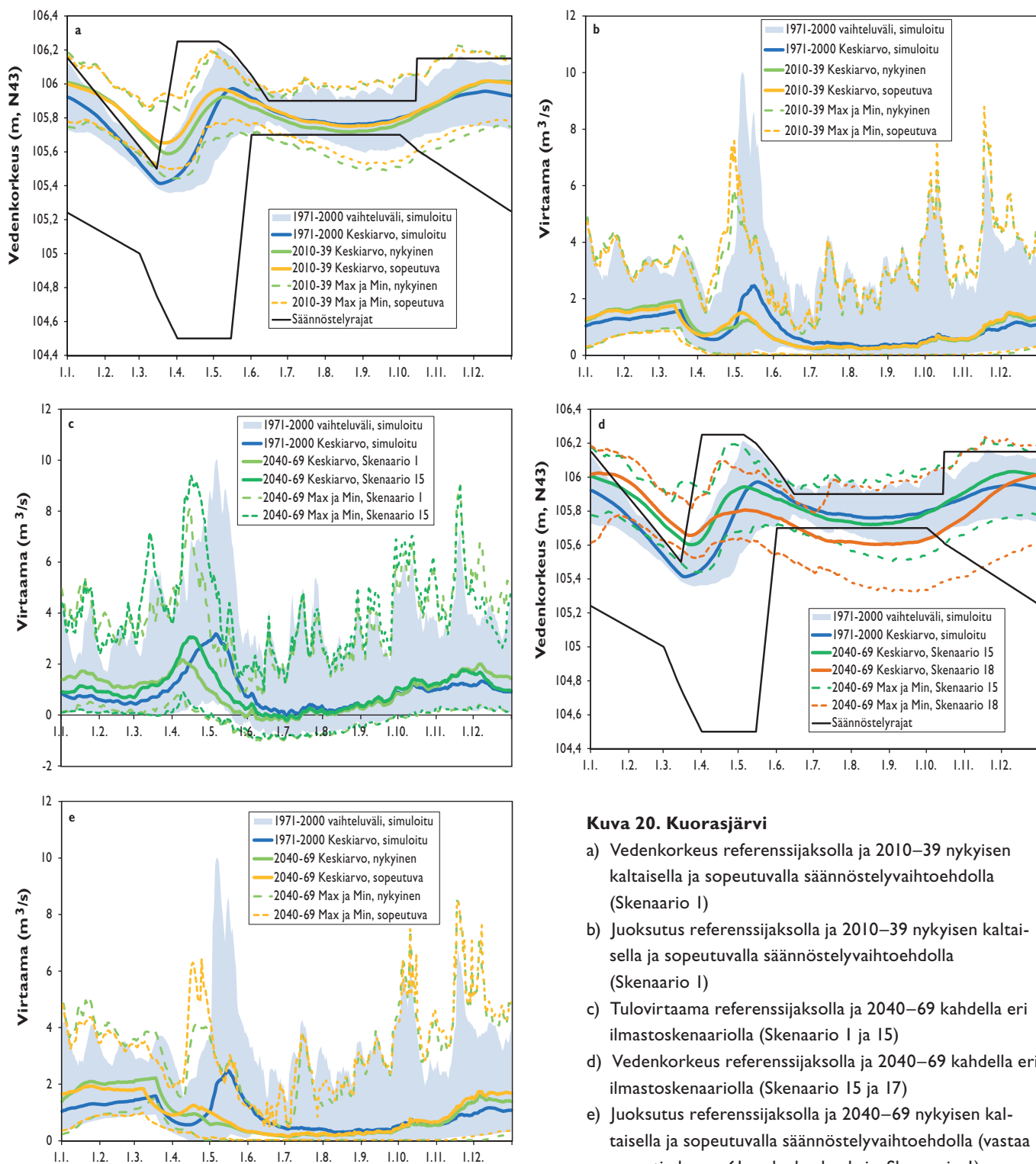
Kuva 18. Säskylän Pyhäjärvi

- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- Juoksutus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- Tulovirtaama referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario I ja 15)
- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario 15 ja 17)
- Juoksutus referenssijaksolla ja 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (vastaa raportin kuvan 57 vedenkorkeuksia, Skenaario I)



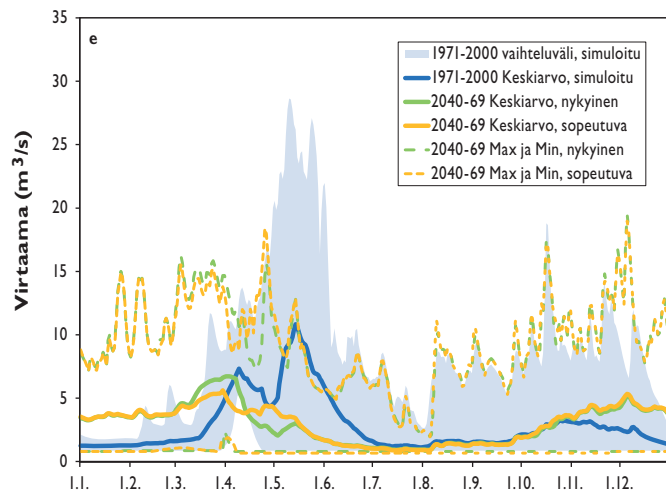
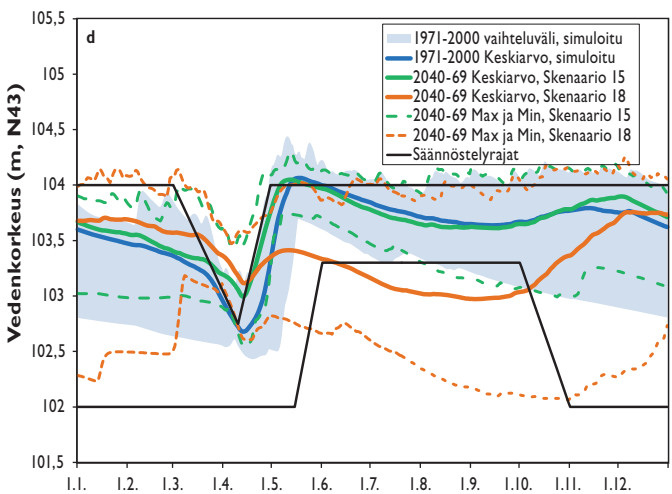
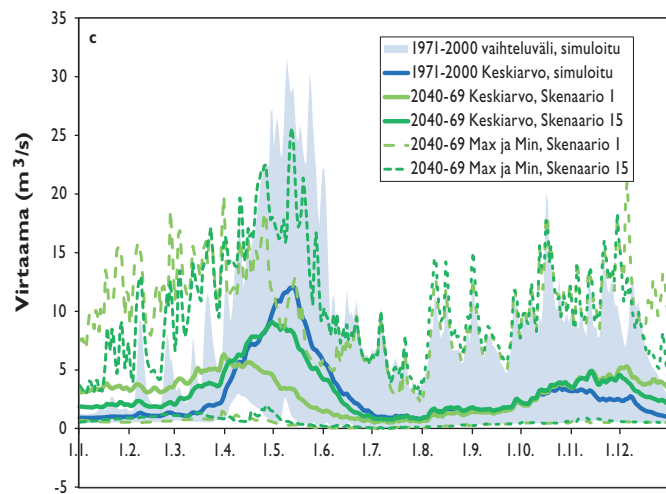
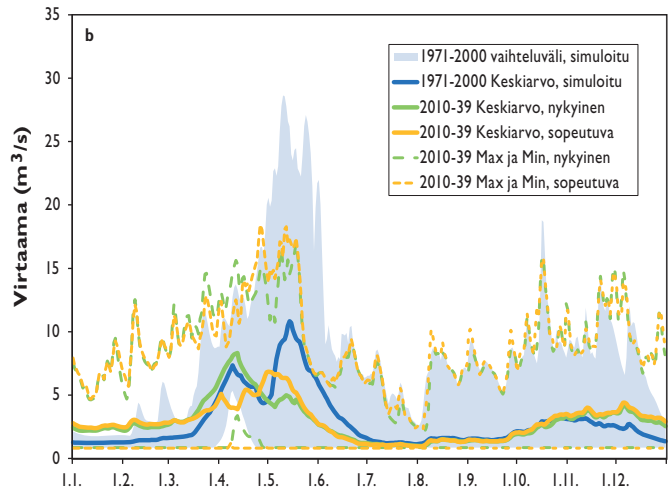
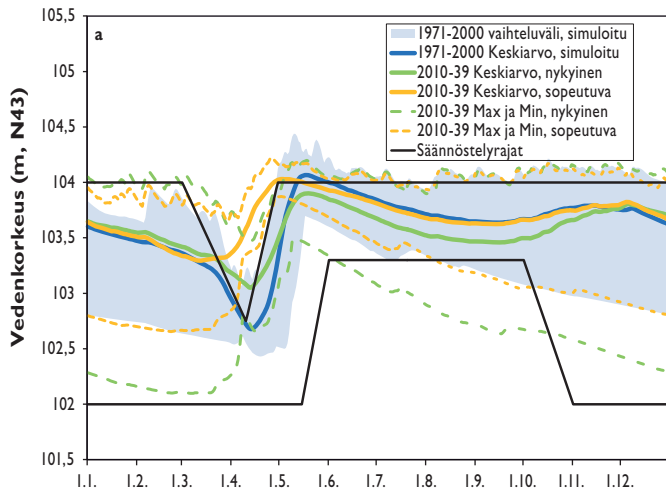
Kuva 19. Kalajärvi

- a) Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- b) Juoksutus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- c) Tulovirtaama referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario I ja 15)
- d) Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario 15 ja 17)
- e) Juoksutus referenssijaksolla ja 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (vastaa raportin kuvan 59 vedenkorkeuksia, Skenaario I)



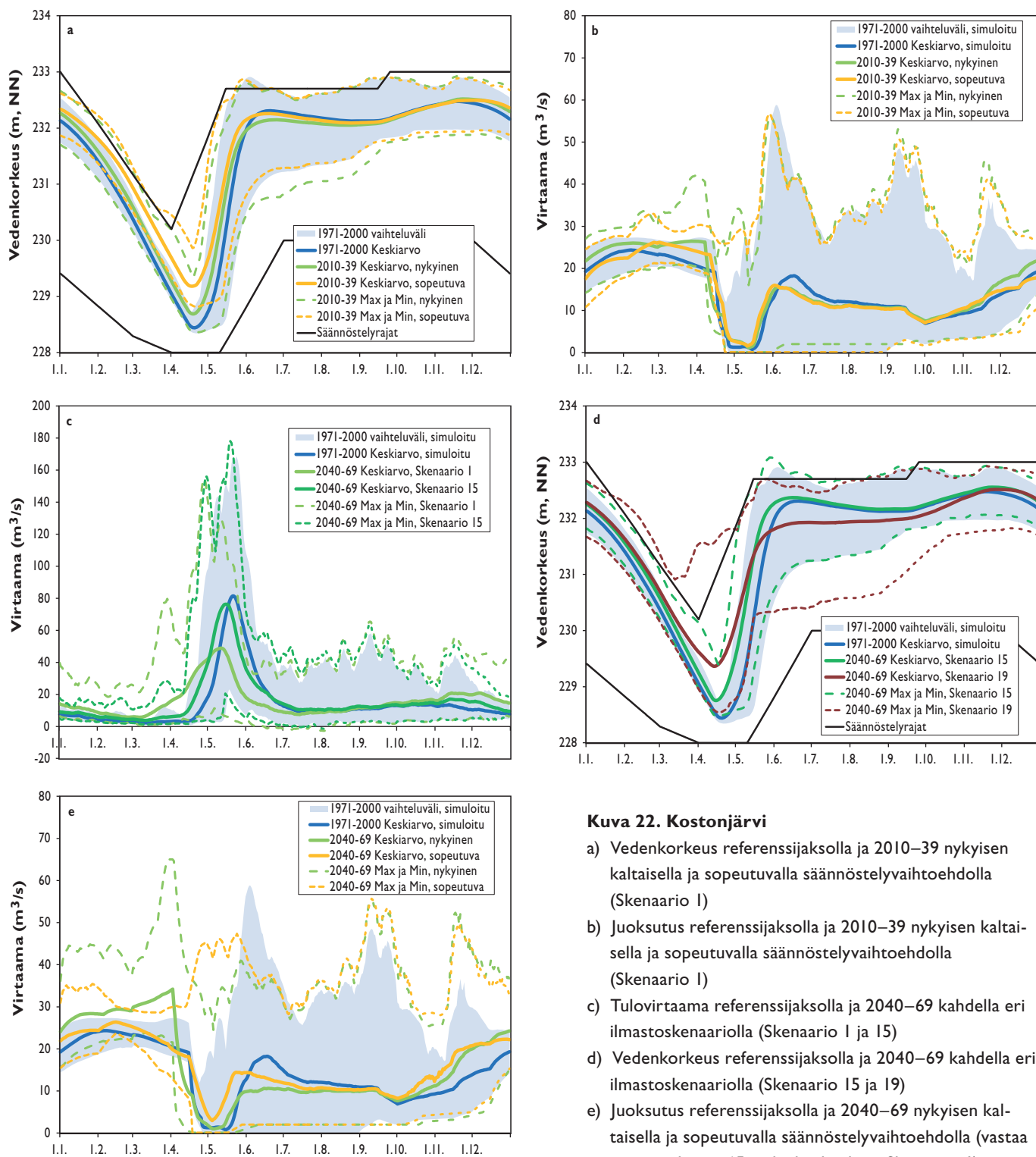
Kuva 20. Kuorasjärvi

- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- Juoksutus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- Tulovirtaama referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario I ja 15)
- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario 15 ja 17)
- Juoksutus referenssijaksolla ja 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (vastaa raportin kuvan 61 vedenkorkeuksia, Skenaario I)



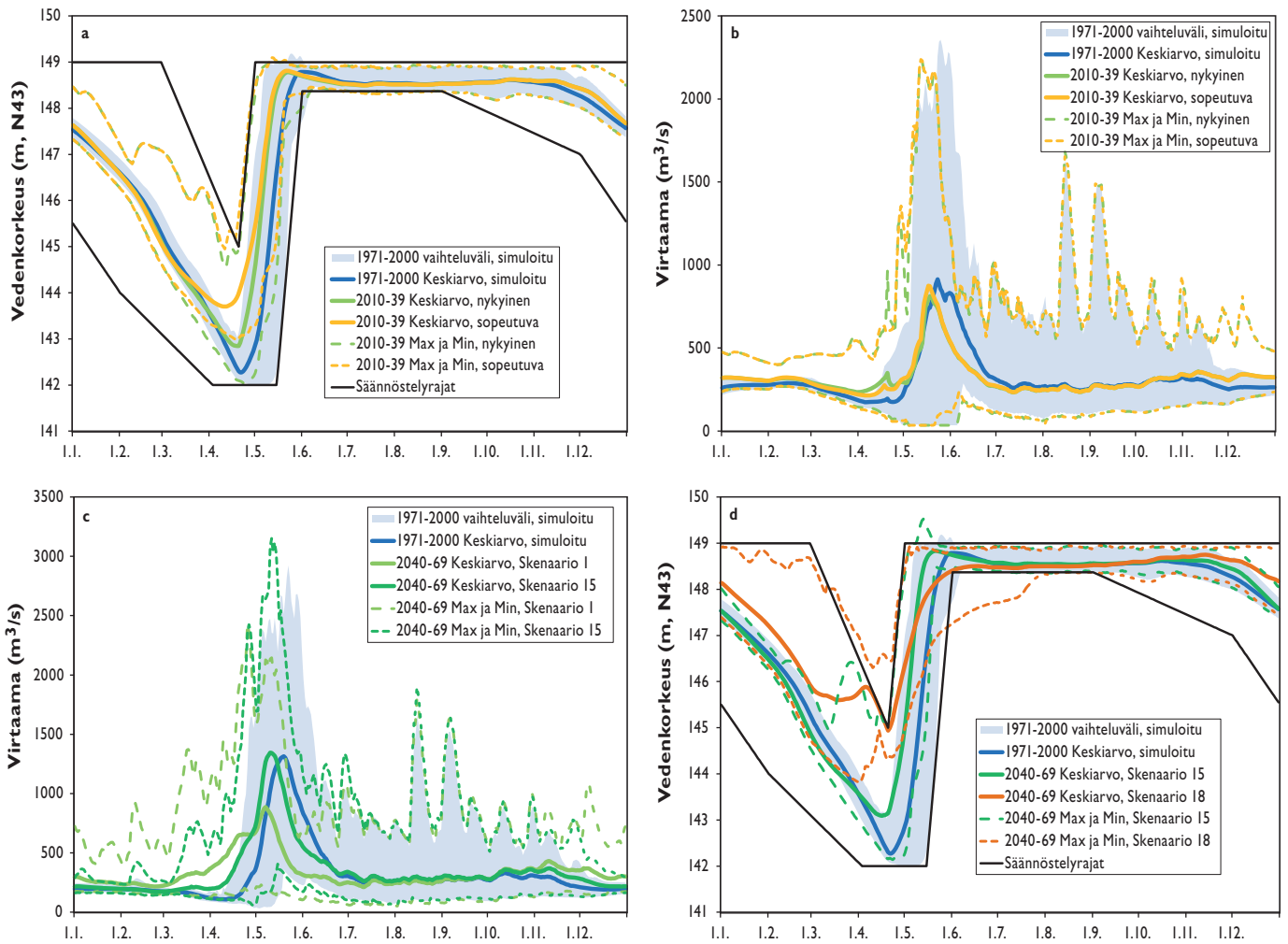
Kuva 21. Kortteinen

- a) Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- b) Juoksutus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- c) Tulovirtaama referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario I ja 15)
- d) Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario 15 ja 18)
- e) Juoksutus referenssijaksolla ja 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (vastaa raportin kuvan 63 vedenkorkeuksia, Skenaario I)



Kuva 22. Kostonjärvi

- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- Juoksutus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- Tulovirtaama referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario I ja 15)
- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario 15 ja 19)
- Juoksutus referenssijaksolla ja 2040–69 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (vastaa raportin kuvan 65 vedenkorkeuksia, Skenaario I)



Kuva 23. Kemijärvi

- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- Juoksutus referenssijaksolla ja 2010–39 nykyisen kaltaisella ja sopeutuvalla säännöstelyvaihtoehdolla (Skenaario I)
- Tulovirtaama referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario I ja 15)
- Vedenkorkeus referenssijaksolla ja 2040–69 kahdella eri ilmastoskenaariolla (Skenaario 15 ja 18)

LIITE 2.Vaikutustarkastelut

Liitteessä 2 on esitetty tarkasteltujen järvien ja jokien vaikutustarkastelujen tulokset jaksolle 2010–39. Taulukoissa 1 ja 2 on lisäksi esitetty vaikutustarkasteluissa eri järville ja joille käytetyt mittarit.

Esitetyt järvet ja joet ovat:

Pielinen ja Pielisjoki, Päijänne ja Kymijoki, Näsijärvi ja Vanajavesi sekä Kokemäenjoki, Karvianjärvi ja -joki sekä Isojärvi ja Merikarvianjoki, Kianta-, Oulu- ja Nuasjärvi, Inarijärvi ja Paatsjoki,

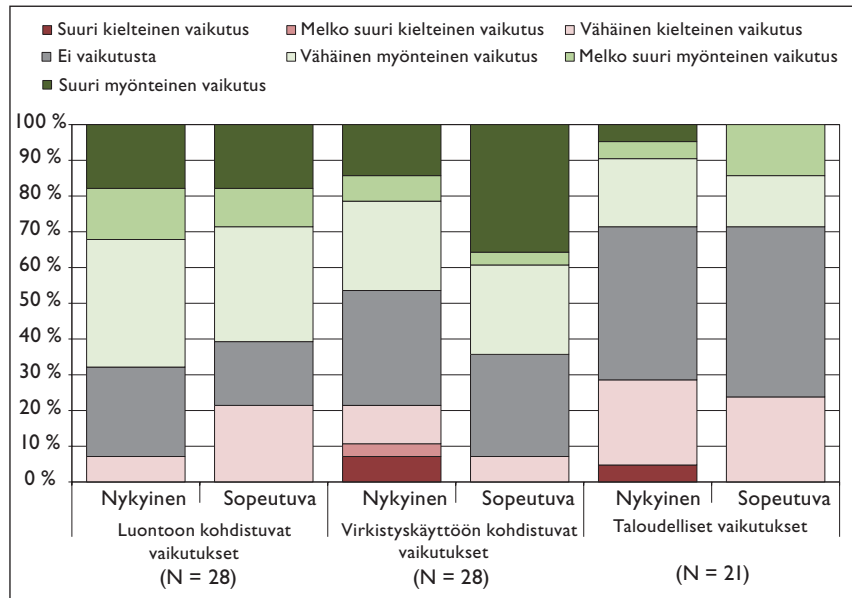
Taulukko I. Tarkasteluissa eri järvilla käytetyt mittarit.

Mittari	Pielinen	Saimaa	Näsijärvi	Vanajavesi	Karvianjärvi	Isojärvi	Päijänne	Oulujärvi	Kiantajärvi	Nuasjärvi	Inarijärvi
EKOLOGISET VAIKUTUKSET											
Vedenkorkeuden alenema talvella (m)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kevättulvan suuruus (m)			x	x	x	x	x	x	x	x	
Saraikon laskennallinen laajuus (m)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Jäätyvän vyöhykkeen osuus tuottavasta vyöhykkeestä (%)	x		x	x	x	x		x	x	x	
Jäänpainaman vyöhykkeen osuus tuottavasta vyöhykkeestä (%)	x				x	x	x	x	x	x	x
Jäätyvän vyöhykkeen syvyys (m)											x
Jäänpainaman vyöhykkeen syvyys (m)			x	x							
Häiriölle altis rantavyöhyke (%)	x										x
Veden minimisyvyys saraikossa hauen kutuaikana (m)	x	x	x	x	x	x	x				
Vedenkorkeuden lasku hauen kutuaikana (m)								x	x	x	
Ravulle sovelias elinalueen laajuus, mikä ei ole jäänpainama (%)			x	x							
Vedenpinnan nousu lintujen pesintäaikana (m)	x	2 mittaria	x	x	x	x	x	x	x	x	
Vedenkorkeuden muutoksen suuruus saimaannorpan pesintäkaudella (m)		2 mittaria									
SOSIAALISET VAIKUTUKSET											
Virkistyskäytön kannalta hyvän vedenkorkeustason saavuttamisajan kohta jäänlähtöpäivän jälkeen			x	x			x				
Vedenkorkeuden vaihtelu suosituimmalla virkistyskäyttökaudella (m)			x	x		x		x	x	x	
Vedenkorkeuden pysyvyys virkistyskäytön kannalta hyvällä tasolla virkistyskäyttökauden aikana	2 mittaria	4 mittaria	x	x		x	2 mittaria				x
Virkistyskäyttöä haittaavien vedenkorkeuksien esiintyminen	x	9 mittaria			2 mittaria		2 mittaria	x	x	x	2 mittaria
Sopimattomista vedenkorkeuksista virkistyskäytölle aiheutuva rahamääräinen haitta (€)	3 mittaria	x	x	x			x				
TALOUDELLISET VAIKUTUKSET											
Vedenkorkeuden pysyvyys laivaliikenteen kannalta hyvällä tasolla			x	x							
Ammattimaisen vesiliikenteen kannalta haitallisten vedenkorkeuksien esiintyminen	x	3 mittaria									
Tulvista aiheutuva rahamääräinen haitta (€)	x		x	x			x				
Mahdollisesti tulvavahinkoja aiheuttavien vedenkorkeuksien esiintyminen	x	x									x
Maanviljelyn kannalta peltojen vettymistä aiheuttavien vedenkorkeuksien esiintyminen					2 mittaria	2 mittaria					
YLEISET VAIKUTUKSET											
Nykyisten säännöstelyrajojen noudattaminen		x						2 mittaria	3 mittaria	3 mittaria	
Jääpeitteisen kauden pituus		x									

Taulukko 2. Tarkasteluissa eri joissa käytetyt virtaamamittarit.

Mittari	Pielisjoki	Vuoksi	Kokemäenjoki	Karvainjoki	Merikarvianjoki	Kymijoki	Oulujoki	Paatsjoki
EKOLOGISET MITTARIT								
Kalakantojen kannalta haitallisten virtaamien esiintyminen					x	x		
SOSIAALISET MITTARIT								
Virkistyskäyttöä haittaavien virtaamien esiintyminen virkistyskäytökauden aikana	x	2 mittaria		x	2 mittaria	2 mittaria		
Sopimattomista virtaamista virkistyskäytölle aiheutuva rahamääräinen haitta (€)						x		
TALOUDELLISET MITTARIT								
Tuotetun energian määrä	x	2 mittaria	x	x	x	x	x	x
Ohijuoksutusten esiintyminen		2 mittaria	x	x	x			x
Mahdollisesti tulvia aiheuttavien virtaamien esiintyminen	x	x	x	x	x			
Suurista virtaamista aiheutuvat tulvavahingot (€)						x		
Suppotulvariskin esiintyminen		x	x					
Ammattimaisen vesiliikenteen kannalta haitallisten virtaamien esiintyminen	x							

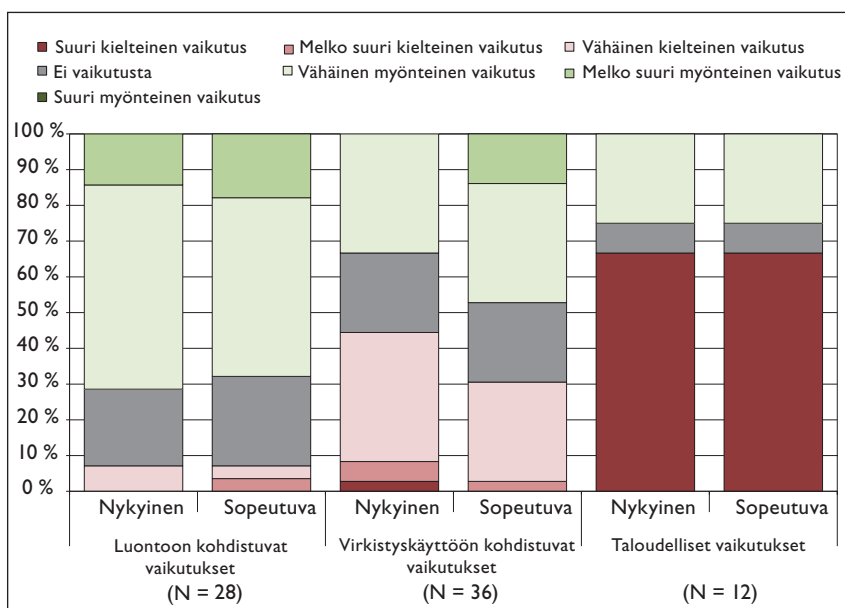
Kuva 1. Mittareiden muutosten prosenttiosuudet Pielisellä vaikutustyypeittäin tarkastelujaksolla 2010–39, kun vertailussa on mukana kaikki ilmastonmuutoskenaariot.



Taulukko 3. Yhteenveto ilmastonmuutoskenaarioiden vaikutuksista Pielisellä ja Pielisjoella tarkastelujaksolla 2010–39. Vaikutusta on verrattu vertailujaksoon 1971–2000.

Arviointiasteikko: --- = suuri kielteinen vaikutus, -- = melko suuri kielteinen vaikutus, - = vähäinen kielteinen vaikutus, 0 = ei vaikutusta, + = vähäinen myönteinen vaikutus, ++ = melko suuri myönteinen vaikutus, +++ = suuri myönteinen vaikutus.

	Skenaario I Ka AIB		Skenaario I3 RCA3 (C4I) Had AIB		Skenaario II CCSM3 A2		Skenaario I4 RCA3 Ech5 AIB 50	
	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva
PIELINEN								
Rantavyöhyke	+	+	+	+	+	+	+	+
Kalakannat	+	+	+	+	+/-	+/-	+/-	+/-
Linnusto	+	+	+	+	+	+	+	+
Virkistyskäyttö	+/-	++	+/-	++	--	+	0	++
Vesiliikenne ja uitto	-	+	-	+	---	0	0	+
Tulvavahingot	+	++	+	++	+	++	0	++
PIELISJOKI								
Virkistyskäyttö	0	0	0	0	0	0	0	0
Tulvavahingot	+++	+++	Ei las-kettu	Ei las-kettu	Ei las-kettu	Ei las-kettu	Ei las-kettu	Ei las-kettu
Vesiliikenne ja uitto	-	-	-	-	-	-	-	-
Vesivoiman tuotanto	+	+	Ei las-kettu	Ei las-kettu	Ei las-kettu	Ei las-kettu	Ei las-kettu	Ei las-kettu



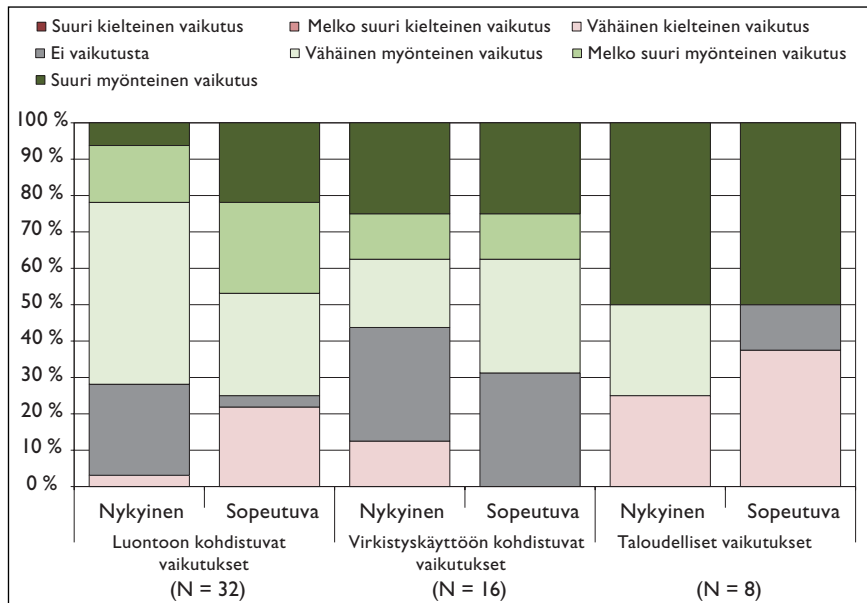
Kuva 2. Mittareiden muutosten prosenttiosuudet vaikutustyypeittäin Päijänteellä ja Kymijoella tarkastelujaksolla 2010–39, kun vertailussa on mukana kaikki ilmastonmuutosskenaariot.

Taulukko 4. Yhteenvedo ilmastonmuutosskenaarioiden vaikutuksista Päijänteellä ja Kymijoella tarkastelujaksolla 2010–39. Vaikutusta on verrattu vertailujaksoon 1971–2000.

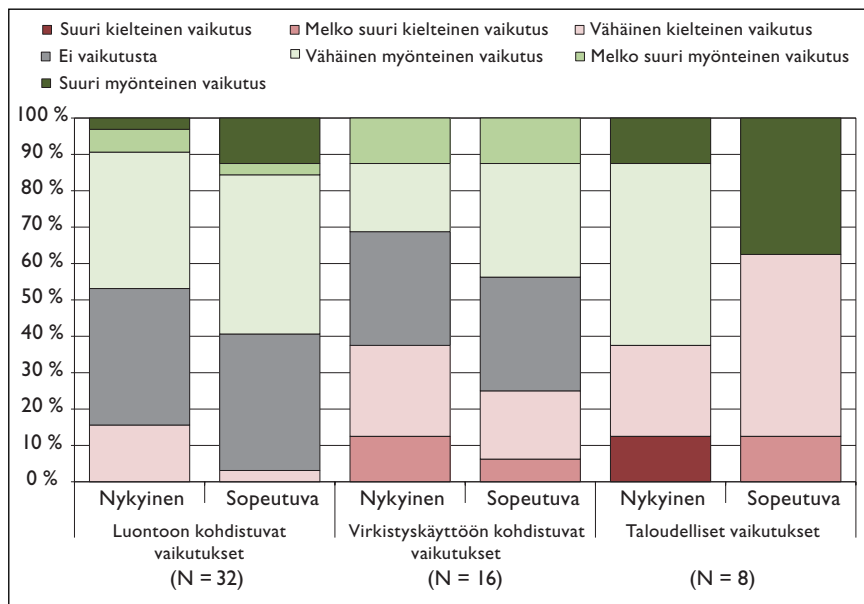
Arviointiasteikko: --- = suuri kielteinen vaikutus, -- = melko suuri kielteinen vaikutus, - = vähäinen kielteinen vaikutus, 0 = ei vaikutusta, + = vähäinen myönteinen vaikutus, ++ = melko suuri myönteinen vaikutus, +++ = suuri myönteinen vaikutus.

	Skenaario I Ka AIB		Skenaario 19 HIRHAM ARP AIB		Skenaario 15 RCA3 Ec5 AIB		Skenaario 17 RCA3 Had AIB	
	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva
PÄIJÄNNE								
Rantavyöhyke	+	+	+	+	+	+	+	+
Kalakannat	++	++	++	++	+	+	++	++
Linnusto	+	+	+	+	+	+	+	+
Virkistyskäyttö	-	+	0	+	0	+	0	0
Tulvavahingot	---	---	---	---	---	---	---	---
KYMIJOKI								
Kalakannat	-	--	-	-	0	0	+	0
Virkistyskäyttö	--	--	-	-	-	-	0	-
Tulvat	---	---	---	---	---	---	---	---
Energiantuotanto	0	0	+	+	+	+	+	+

Kuva 3. Mittareiden muutosten prosenttiosuudet vaikutustyy-
peittäin Näsijärvellä tarkaste-
lujaksolla 2010–39, kun vertai-
lussa on mukana kaikki ilmas-
tonmuutosskenaariot.

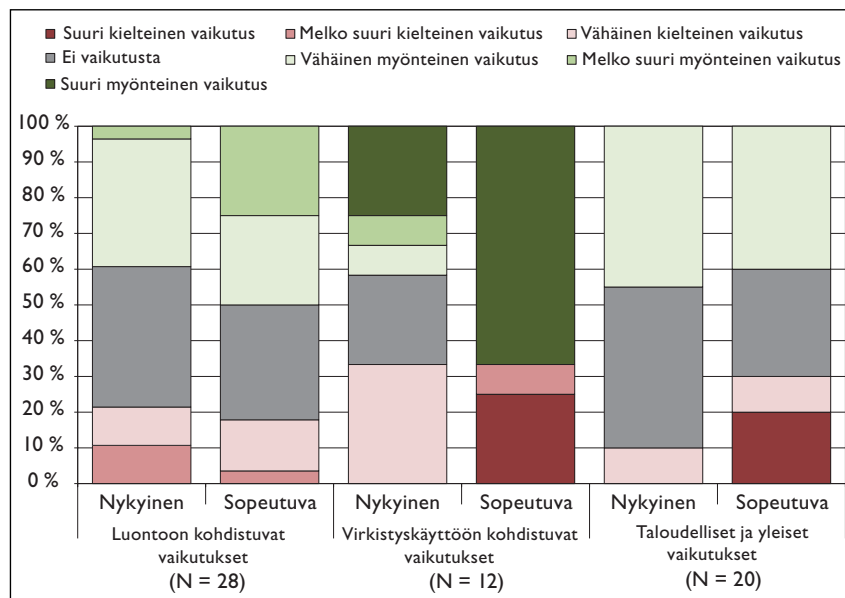


Kuva 4. Mittareiden muutosten prosenttiosuudet vaikutus-
tyypeittäin Vanajavedellä tarkaste-
lujaksolla 2010–39, kun vertai-
lussa on mukana kaikki ilmas-
tonmuutosskenaariot.



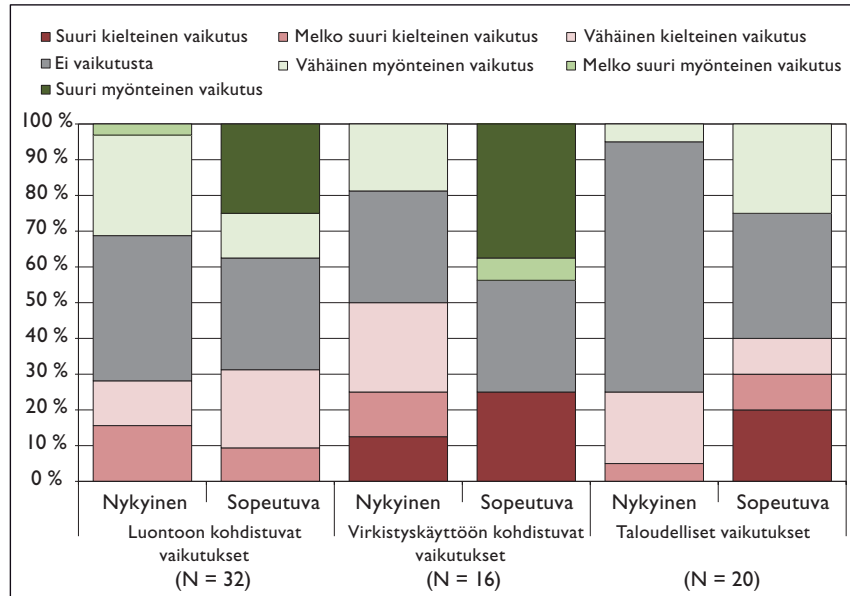
Taulukko 5. Yhteenvedo ilmastonmuutoskenaarioiden vaikutuksista Näsijärvellä ja Vanajavedellä tarkastelujaksolla 2010–69. Vaikutusta on verrattu vertailujaksoon 1971–2000. Arviointiasteikko: --- = suuri kielteinen vaikutus, -- = melko suuri kielteinen vaikutus, - = vähäinen kielteinen vaikutus, 0 = ei vaikutusta, + = vähäinen myönteinen vaikutus, ++ = melko suuri myönteinen vaikutus, +++ = suuri myönteinen vaikutus.

	Skenaario I Ka AIB		Skenaario 13 RCA3 (C4I) Had AIB		Skenaario 11 CCSM3 A2		Skenaario 14 RCA3 Ech5 AIB 50	
	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva
NÄSIJÄRVI								
Rantavyöhyke	0	0	0	0	0	0	+	0
Kalakannat	++	+++	++	+++	++	+++	+	++
Linnusto	+	++	+	++	++	+	+	++
Virkistyskäyttö	+	+	++	++	0	+	++	++
Vesiliikenne	-	-	+	0	-	-	+	-
Tulvavahingot	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
VANAJAVESI								
Rantavyöhyke	0	0	+	0	0	+	0	0
Kalakannat	0	++	0	+	+	++	0	+
Linnusto	0	+	0	+	0	0	0	+
Virkistyskäyttö	0	+	-	-	0	+	-	-
Vesiliikenne	-	-	+	-	-	-	+	-
Tulvavahingot	+	+++	---	--	+	+++	+++	+++
KOKEMÄENJOKI								
Tulvat	-	0	--	--	--	-	0	0
Energiantuotanto	--	-	+++	+++	0	0		



Kuva 5. Mittareiden muutosten prosenttiosuudet vaikutustyypeittäin Karvianjärvellä ja -joella tarkastelujaksolla 2010–39, kun vertailussa on mukana kaikki ilmastonmuutoskenaariot.

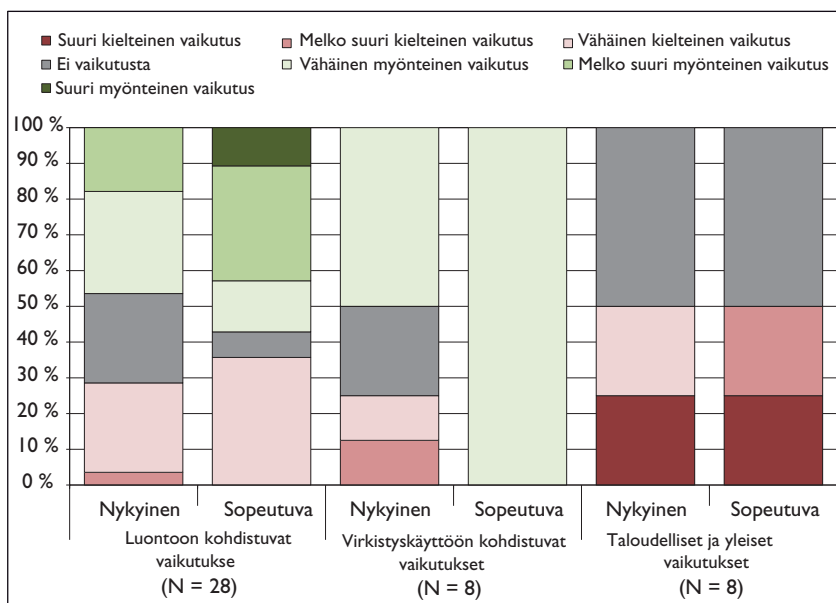
Kuva 6. Mittareiden muutosten prosenttiosuudet vaikutustyyppittäin Isojärvellä ja Merikarvianjoella tarkastelujaksolla 2010–39, kun vertailussa on mukana kaikki ilmastonmuutosskenaariot



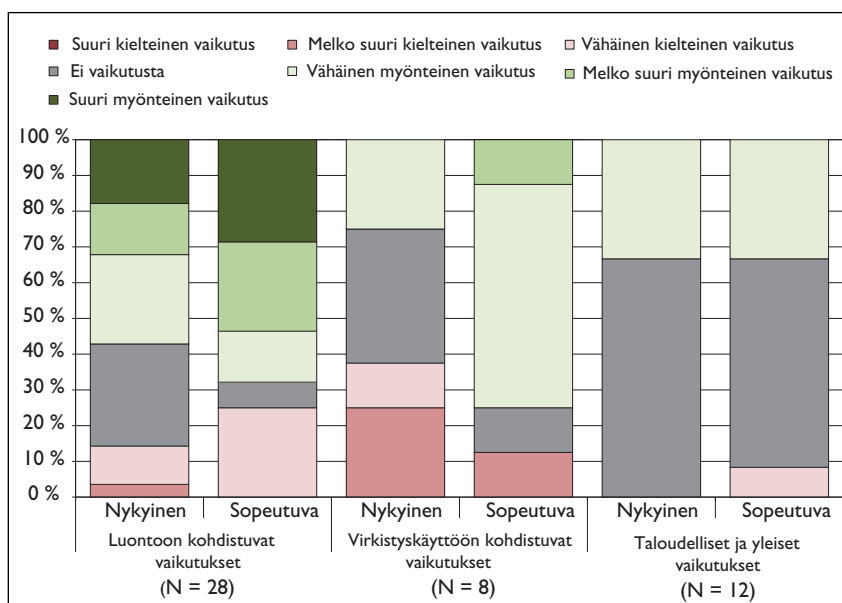
Taulukko 6. Yhteenveto ilmastonmuutosskenaarioiden vaikutuksista Karvianjärvellä ja -joella sekä Isojärvellä ja Merikarvianjoella tarkastelujaksolla 2010–39. Vaikutusta on verrattu vertailujakssoon 1971–2000.

Arviointiasteikko: --- = suuri kielteinen vaikutus, -- = melko suuri kielteinen vaikutus, - = vähäinen kielteinen vaikutus, 0 = ei vaikutusta, + = vähäinen myönteinen vaikutus, ++ = melko suuri myönteinen vaikutus, +++ = suuri myönteinen vaikutus.

	Skenaario I Ka AIB		Skenaario I8 HadRM Had AIB		Skenaario I5 RCA3 Ec5 AIB		Skenaario I7 RCA3 Had AIB	
	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva
KARVIANJÄRVI								
Rantavyöhyke	0	++	-	+	0	0	-	+
Kalakannat	++	+	0	0	0	0	0	0
Linnusto	0	0	0	0	0	0	0	0
Virkistyskäyttö	0	+	-	0	-	0	-	0
Taloudelliset vaikutukset	+	--	+	--	0	--	0	--
KARVIANJOKI								
Virkistyskäyttö	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Tulvat	+	+	+	+	0	0	0	+
Energiantuotanto	+	+	+	+	+	+	+	+
ISOJÄRVI								
Rantavyöhyke	-	+	-	0	-	0	0	+
Kalakannat	0	++	0	++	0	++	0	++
Linnusto	0	0	0	0	0	0	0	0
Virkistyskäyttö	-	0	0	0	--	--	--	--
Taloudelliset vaikutukset	0	--	0	--	-	--	0	--
MERIKARVIANJOKI								
Kalakannat	-	+	0	+	0	+	0	+
Virkistyskäyttö	-	++	-	++	0	+++	-	++
Tulvat	0	0	0	0	0	!	0	0
Energiantuotanto	-	-	-	0	-	0	--	-

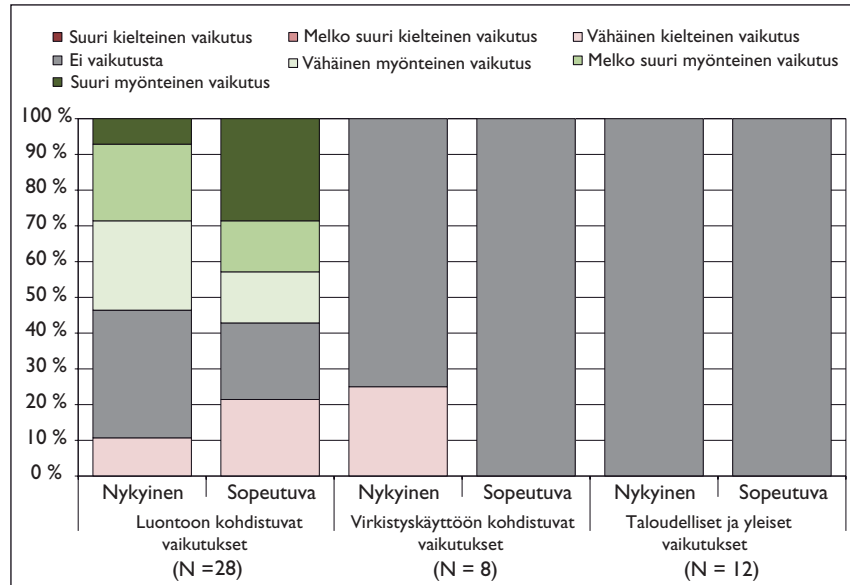


Kuva 7. Mittareiden muutosten prosenttiosuudet vaikutustyyteittäin Oulujärvellä tarkastelujaksolla 2010–39, kun vertailussa on mukana kaikki ilmastomuutoskenaariot.



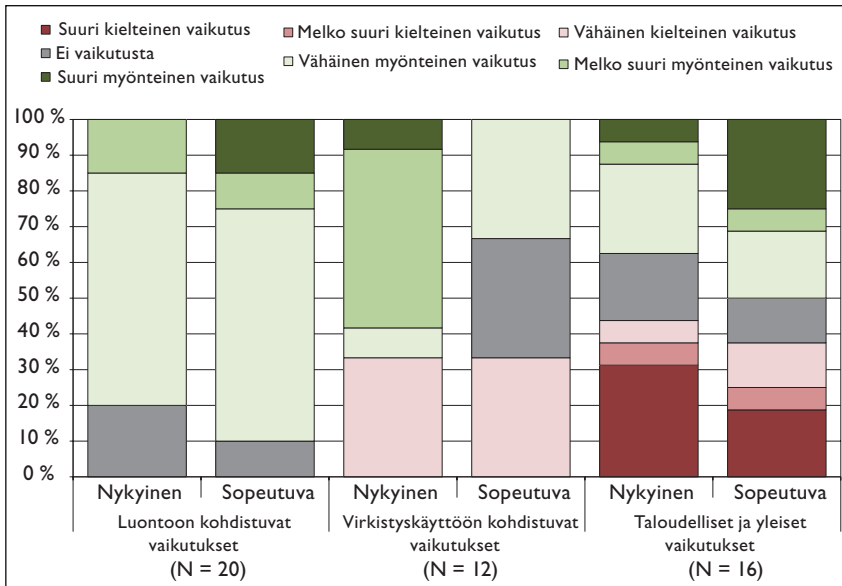
Kuva 8. Mittareiden muutosten prosenttiosuudet vaikutustyyteittäin Kiantajärvellä tarkastelujaksolla 2010–39, kun vertailussa on mukana kaikki ilmastomuutoskenaariot.

Kuva 9. Mittareiden muutosten prosenttiosuudet vaikutustyypeittäin Nuasjärvellä tarkastelujaksolla 2010–39, kun vertailussa on mukana kaikki ilmastonmuutoskenaariot.



Taulukko 7. Yhteenveto ilmastonmuutoskenaarioiden vaikutuksista Oulu-, Kianta- ja Nuasjärvellä tarkastelujaksolla 2010–39. Vaikutusta on verrattu vertailujaksoon 1971–2000. Arviointiasteikko: --- = suuri kielteinen vaikutus, -- = melko suuri kielteinen vaikutus, - = vähäinen kielteinen vaikutus, 0 = ei vaikutusta, + = vähäinen myönteinen vaikutus, ++ = melko suuri myönteinen vaikutus, +++ = suuri myönteinen vaikutus.

	Skenaario I Ka AIB		Skenaario 18 HadRM Had AIB		Skenaario 15 RCA3 Ec5 AIB		Skenaario 17 RCA3 Had AIB	
	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva
OULUJÄRVI								
Rantavyöhyke	0	0	0	+	--	0	0	0
Kalakannat	0	+	0	+	-	+	0	0
Linnusto	+	++	+	++	+	+	+	+
Virkistyskäyttö	0	+	-	+	+	+	0	+
Yleiset vaikutukset	-	-	--	--	0	--	--	-
KIANTAJÄRVI								
Rantavyöhyke	+	++	+	+	0	+	++	++
Kalakannat	++	+	++	++	+	+	+	+
Linnusto	+	++	0	+	+	++	+	++
Virkistyskäyttö	--	+	--	--	+	+	0	+
Yleiset vaikutukset	0	0	0	0	0	-	0	0
NUASJÄRVI								
Rantavyöhyke	+	0	+	0	+	+	+	+
Kalakannat	+	++	+	++	+	+	+	++
Linnusto	+	++	+	++	+	++	+	++
Virkistyskäyttö	-	0	-	0	0	0	0	0
Yleiset vaikutukset	0	0	0	0	0	0	0	0
OULUJOKI								
Energiantuotanto	+	+	+	+	+	+	++	++



Kuva 10. Mittareiden muutosten prosentiosuudet vaikutustyyppittäin Inarijärvellä ja Paatsjoella tarkastelujaksolla 2010–39, kun vertailussa on mukana kaikki ilmastonmuutosskenaariot.

Taulukko 8. Yhteenveto ilmastonmuutosskenaarioiden vaikutuksista Inarijärvellä ja Paatsjoella tarkastelujaksolla 2010–39. Vaikutusta on verrattu vertailujaksoon 1971–2000. Arviointiasteikko: --- = suuri kielteinen vaikutus, -- = melko suuri kielteinen vaikutus, - = vähäinen kielteinen vaikutus, 0 = ei vaikutusta, + = vähäinen myönteinen vaikutus, ++ = melko suuri myönteinen vaikutus, +++ = suuri myönteinen vaikutus.

	Skenaario 1 Ka AIB		Skenaario 18 HadRM Had AIB		Skenaario 15 RCA Ec5 AIB		Skenaario 17 RCA3 Had AIB	
	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva	Nykyinen	Sopeutuva
INARI								
Rantavyöhyke	+	++	+	++	+	+	+	++
Virkistyskäyttö	++	+	+	0	+	0	+	+
Tulvavahingot	---	+++	---	++	---	+++	---	+++
PAATSJOKI								
Tulvat	+++	+++	-	--	+	+	0	-
Energiantuotanto	0	0	+	0	0	0	+	+

KUVAILULEHTI

Julkaisija	Suomen ympäristökeskus (SYKE)			Julkaisu-aika Toukokuu 2012
Tekijä(t)	Noora Veijalainen, Juho Jakkila, Teemu Nurmi, Bertel Vehviläinen, Mika Marttunen ja Juha Aaltonen			
Julkaisun nimi	Suomen vesivarat ja ilmastonmuutos – vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen WaterAdapt-projektin loppuraportti			
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 16/2012			
Julkaisun teema	Luonnonvarat			
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut	Julkaisu on saatavana myös internetistä: www.ymparisto.fi/julkaisut			
Tiivistelmä	<p>Tutkimuksessa arvioitiin ilmastonmuutoksen vaikutuksia Suomen hydrologiaan, vesivaroihin ja säännöstelykäytäntöihin. Vesistöjen virtaamien ja vedenkorkeuksien muuttumista referenssijaksolta 1971–2000 jaksoille 2010–39 ja 2040–69 tutkittiin eri ilmastoskenaarioiden pohjalta Vesistömallijärjestelmän simulointien avulla 15 vesistöalueella. Kymmenellä järvellä arvioitiin ilmastonmuutoksen aiheuttamien hydrologisten muutosten vaikutuksia vesistön eri käyttömuotoihin ja tilaan. Lisäksi tutkimuksessa tarkasteltiin ilmastonmuutoksen vaikutuksia pohjaveteen ja tulviin. Tutkimus toteutettiin Suomen ympäristökeskuksessa (SYKE) osana maa- ja metsätalousministeriön rahoittamaa Suomen vesivarat ja ilmastonmuutos – vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen (WaterAdapt)-hanketta.</p> <p>WaterAdapt -hankkeen tulosten perusteella ilmastonmuutos tulee merkittävästi muuttamaan jokien virtaamien ja järvien vedenkorkeuksien vuodenaikaista vaihtelua. Kevään lumen sulamistulvien suuruus pienenee merkittävästi lauhempien talvien johdosta etenkin Etelä- ja Keski-Suomessa. Kesän vedenkorkeudet alenevat useissa järvissä aikaisemman kevään vuoksi ja loppukesän kuivuus ja alhaiset vedenpinnat muodostuvat joillain järvillä entistä suuremmiksi ongelmiksi. Talven vedenkorkeudet ja virtaamat kasvavat selvästi etenkin Etelä- ja Keski-Suomessa, kun entistä suurempi osa sateesta tulee vetenä ja lunta sulaa talven aikana. Eri ilmastoskenaariot poikkeavat merkittävästi toisistaan, mutta muutoksen suunta on kaikissa ilmastoskenaarioissa samankaltainen. Tulvat pienenevät osassa Suomea lumen määrän vähetessä, mutta erityisesti suurten vesistöjen keskusjärvissä ja laskujoissa sadannan lisääntyminen kasvattaa tulvia suurimmalla osalla ilmastoskenaarioita.</p> <p>Tulokset osoittavat, että nykyiset säännöstelytavat tulevat monissa järvissä olemaan epätarkoituksenmukaisia ilmaston muuttuessa. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen vaatiikin monien järvien säännöstelylupien tai -käytäntöjen muuttamista, jotta säännöstely huomioisi entistä lauhemman talven, aikaisemman kevään ja pidemmän kesän vaikutukset. Jos säännöstelylupia ja -käytäntöjä muutetaan, tulisi uusien säännöstelylupien olla joustavia, jotta ne toimisivat hyvin erilaisissa odotettavissa olevissa olosuhteissa. Vaikutustarkastelujen tulokset osoittivat että valtaosassa vesistöjä säännöstelyä muuttamalla riski ilmastonmuutoksen negatiivisiin vaikutuksiin vähenee ja positiivisiin vaikutuksiin kasvaa verrattuna nykyisen kaltaiseen säännöstelyyn.</p> <p>Säännöstelyn muutos on yksi keino sopeutua ilmastonmuutoksen vaikutuksiin. Muita sopeutumiskeinoja vesivarojen hoitoon liittyen ovat mm. maankäytön ohjaus, tulvapenkereet, tilapäiset suojarakenteet, tulvavakuutus, säännöstelyn aloittaminen, pohjapatojen rakentaminen ja vesihuollon varmistaminen.</p>			
Asiasanat	vesivarat, hydrologia, vesistöt, ilmastonmuutokset, sopeutuminen, vesistöjen säännöstely, tulvat, vesistömallit, skenaariot			
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Suomen ympäristökeskus (SYKE) ja Maa- ja metsätalousministeriö			
	ISBN 978-952-11-4017-4 (nid.)	ISBN 978-952-11-4018-1 (PDF)	ISSN 1238-7312 (pain.)	ISSN 1796-1637 (verkkoy.)
	Sivuja 138	Kieli Suomi	Luottamuksellisuus Julkinen	Hinta (sis. alv 8 %)
Julkaisun myynti/ jakaja				
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus (SYKE) PL 140, 00251 HELSINKI			
Painopaikka ja -aika	Edita Prima Oy, 2012.			

PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Finlands miljöcentral (SYKE)			Datum Maj 2012
Författare	Noora Veijalainen, Juho Jakkila, Teemu Nurmi, Bertel Vehviläinen, Mika Marttunen och Juha Aaltonen			
Publikationens titel	Suomen vesivarat ja ilmastonmuutos – vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen WaterAdapt-projektin loppuraportti Finlands vattentillgångar och klimatförändringen – effekter och anpassning till förändringarna			
Publikationsserie och nummer	Miljön i Finland 16/2012			
Publikationens tema	Miljövård			
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt	Publikationen finns tillgänglig på internet: www.ymparisto.fi/julkaisut			
Sammandrag	<p>I undersökningen bedömdes klimatförändringens effekter på Finlands hydrologi, vattentillgångar och regleringsförfaranden. Ändringarna i vattendragens vattenföring och vattennivåer från referensperioden 1971–2000 till perioderna 2010–39 och 2040–69 undersöktes i 15 avrinningsområden utgående från olika klimatscenarier med hjälp av simuleringar i Vattendragsmodellsystemet (WSFS). För tio sjöar bedömdes vilka effekter de hydrologiska förändringarna som klimatförändringen orsakar har på vattendragets olika användningsformer och tillstånd. I undersökningen utreddes därtill klimatförändringens effekter på grundvattnen och översvämningarna. Undersökningen utfördes vid Finlands miljöcentral (SYKE) som en del av projektet Finlands vattentillgångar och klimatförändringen – effekter och anpassning till förändringarna (WaterAdapt), som finansieras av jord- och skogsbruksministeriet.</p> <p>Resultaten från WaterAdapt-projektet tyder på att klimatförändringen kommer att ändra årstidsvariationerna i älvarnas vattenföring och sjöarnas vattennivåer påtagligt. Smältvattensöversvämningarnas omfattning på våren kommer att minska avsevärt tack vare varmare vintrar, i synnerhet i Södra, Västra och Mellersta Finland. Vattennivåerna på sommaren sjunker i många sjöar på grund av en tidigare vår, som kan orsaka torka i slutet av sommaren och låga vattennivåer blir allt större problem i vissa sjöar. Vattennivåerna och vattenföringarna under vintern ökar klart i synnerhet i Södra och Mellersta Finland då en allt större del av nederbörden är vatten och en del av snön smälter under vintern. De olika klimatscenarierna avviker väsentligt från varandra, men förändringens riktning är samma i alla scenarier. Översvämningarna blir mindre i en del av Finland då snömängden minskar, men i synnerhet i de stora vattendragens centralsjöar och avlopp ökar nederbörden och snösmältningen översvämningarnas omfattning under vintrarna en del av klimatscenarierna.</p> <p>Resultaten visar att de nuvarande regleringstillstånden i många sjöar kommer att vara oanpassat under klimatförändringen. Anpassning till klimatförändringen kräver därför att regleringstillstånden eller -förfarandena ändras så att regleringen tar i beaktande effekterna av en allt varmare vinter, tidigare vår och längre sommar. Om regleringstillstånden eller -förfarandena ändras borde de nya regleringstillstånden vara flexibla för att fungera bra i de förhållanden som man förväntar sig vara mycket avvikande. Resultaten av effektstudierna visar att man i merparten av vattendragen genom att ändra regleringen minskar risken för klimatförändringens negativa effekter och ökar de positiva effekterna jämfört med nuvarande regleringsförfarande.</p> <p>Ändring av regleringsförfarandet är en anpassningsmetod inför klimatförändringens effekter. Andra anpassningsmetoder som gäller berör av vattentillgångarna är bl.a. styrning av markanvändningen, skyddsvallar, tillfälliga skyddsanordningar, översvämningssäkring, inledande av reglering, byggande av bottendammar och säkring av vattenförsörjningen.</p>			
Nyckelord	vattentillgångar, hydrologi, vattendrag, klimatförändringar, anpassning, vattenreglering, översvämningar, vattendragsmodeller, scenarier			
Finansiär/ uppdragsgivare	Finlands miljöcentral (SYKE) och Jord- och skogsbruksministeriet			
	ISBN 978-952-11-4017-4 (hft.)	ISBN 978-952-11-4018-1 (PDF)	ISSN 1238-7312 (print)	ISSN 1796-1637 (online)
	Sidantal 138	Språk Finska	Offentlighet Offentlig	Pris (inneh. moms 8 %)
Beställningar/ distribution				
Förläggare	Finland miljöcentral (SYKE) PB 140, 00251 Helsingfors			
Tryckeri/tryckningsort -år	Edita Prima Ab, 2012			

DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Finnish Environment Institute (SYKE)			<i>Date</i> May 2012
<i>Author(s)</i>	Noora Veijalainen, Juho Jakkila, Teemu Nurmi, Bertel Vehviläinen, Mika Marttunen and Juha Aaltonen			
<i>Title of publication</i>	Suomen vesivarat ja ilmastonmuutos – vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen WaterAdapt-projektin loppuraportti Finland's water resources and climate change – Effects and adaptation, final report of the WaterAdapt –project			
<i>Publication series and number</i>	The Finnish Environment 16/2012			
<i>Theme of publication</i>	Natural Resources			
<i>Parts of publication/ other project publications</i>	The publication is available on the internet: www.ymparisto.fi/julkaisut			
<i>Abstract</i>	<p>In this research climate change impacts on hydrology, water resources and lake regulation were estimated in Finland. Changes in discharges and water levels from the reference period 1971–2000 to periods 2010–39 and 2040–69 were estimated for 15 watersheds based on different climate scenarios and simulations with a hydrological model, the Watershed Simulation and Forecasting System (WSFS). On ten lakes the impacts of hydrological changes caused by climate change for the different uses and state of the lakes were evaluated. In addition climate change impacts on ground water and floods were estimated. The research was carried out in the Finnish Environment Institute (SYKE) as part of WaterAdapt (Finland's water resources and climate change – Effects and adaptation) –project financed by the Ministry of agriculture and forestry.</p> <p>Based on the results of the WaterAdapt-project, climate change will significantly change the seasonal variation of river discharges and lake water levels. Spring snowmelt floods will decrease due to warmer winters especially in Southern and Central Finland. An earlier spring will cause decreases in summer water levels in many lakes and low water levels in late summer will become increasingly problematic in some lakes. Water levels and discharges during winter will increase significantly especially in Southern and Central Finland, since a larger proportion of precipitation will fall as rain and snow will melt more during winter. Different climate scenarios produce significantly different results, but the direction of change is similar in all the scenarios. Floods decrease in some parts of Finland due to decreases in snow storage, but according to most climate scenarios increases in precipitation will cause floods to increase in large central lakes and their outflow rivers in large watersheds.</p> <p>The results demonstrate that current regulation permits will become impractical in many lakes when the climate changes. Adaptation to climate changes will require changes in regulation permits and practices on many lakes in order to take into account the impacts of warmer winters, earlier springs and longer summers. If the regulation permits and practices are changed, the new regulation permits should be flexible to function in a variety of conditions. Results of impacts assessments showed that, in most watersheds, changing regulation would cause the risk of negative impacts of climate change to decrease and the possibility of positive impacts to increase.</p> <p>Changing lake regulation is one way to adapt to climate change impacts. Other adaptation measures in water resources management include land use planning, embankments, temporary flood protection, flood insurance, introducing regulation to new lakes, construction of submerged weirs and improvements in the security of water supply systems.</p>			
<i>Keywords</i>	water resources, hydrology, watersheds, climate change, adaptation, lake regulation, floods, watershed modeling, scenarios			
<i>Financier/ commissioner</i>	Finnish Environment Institute (SYKE) and Ministry of Agriculture and Forestry			
	ISBN 978-952-11-4017-4 (pbk.)	ISBN 978-952-11-4018-1 (PDF)	ISSN 1238-7312 (print)	ISSN 1796-1637 (online)
	<i>No. of pages</i> 138	<i>Language</i> Finnish	<i>Restrictions</i> Public	<i>Price (incl. tax 8 %)</i> -
<i>For sale at/ distributor</i>				
<i>Financier of publication</i>	Finnish Environmental Institute (SYKE) P.O.Box 140, FI-00251 Helsinki, Finland			
<i>Printing place and year</i>	Edita Prima Ltd, 2012			

Tutkimuksessa arvioitiin ilmastonmuutoksen vaikutuksia vesivaroihin, tulviin ja kuiviin kausiin eri puolilla Suomea ja edelleen vaikutuksia vesistösäännöstelyihin ja tulvariskin hallintaan sekä pohjaveden korkeuksiin. Tutkimuksessa myös selvitettiin mahdollisuuksia sopeutua ilmastonmuutoksen vaikutuksiin säännöstelykäytäntöjä muuttamalla.

Tulosten perusteella ilmastonmuutos tulee merkittävästi muuttamaan jokien virtaamien ja järvien vedenkorkeuksien vuodenaikaista vaihtelua. Lämpötilan nousun johdosta talven virtaamat ja vedenkorkeudet kasvavat, kun taas kevään lumen sulamisesta aiheutuvat virtaamat pienenevät etenkin Etelä- ja Keski-Suomessa. Kesän aikana vedenkorkeudet taas saattavat laskea entistä alemmas. Tulvat pienenevät osassa Suomea lumen määrän vähetessä, mutta erityisesti suurten vesistöjen keskusjärvissä ja laskujoissa sadannan lisääntyminen kasvattaa tulvia suurimmalla osalla ilmastoskenaarioita.

Nykyiset säännöstelyluvut tulevat monissa järvissä olemaan epätarkoituksenmukaisia ilmaston muuttuessa ja ilmastonmuutokseen sopeutuminen vaatiikin monien järvien säännöstelylupien tai -käytäntöjen muuttamista tulevaisuudessa.



MAA- JA METSÄTALOUSMINISTERIÖ

ISBN 978-952-11-4017-4 (nid.)

ISBN 978-952-11-4018-1 (PDF)

ISSN 1238-7312 (pain.)

ISSN 1796-1637 (verkkokj.)

