



lisalmen reitin ilmastonmuutostarkastelut

- säännöstelyjen toimivuus ja ilmastonmuutoksen
vaikutukset kuormitukseen

TANJA DUBROVIN | TURO HJERPPE | INESE HUTTUNEN | MARKUS HUTTUNEN | JUHO JAKKILA |
VANAMO PIIRAINEN | TUULIKKI MIETTINEN | VELI-MATTI VALLINKOSKI | BERTEL VEHVILÄINEN





Iisalmen reitin ilmastonmuutostarkastelut

- säännöstelyjen toimivuus ja ilmastonmuutoksen
vaikutukset kuormitukseen

TANJA DUBROVIN

TURO HJERPPE

INESE HUTTUNEN

MARKUS HUTTUNEN

JUHO JAKKILA

VANAMO PIIRAINEN

TUULIKKI MIETTINEN

VELI-MATTI VALLINKOSKI

BERTEL VEHVILÄINEN

RAPORTTEJA 13 | 2016

**IISALMEN REITIN ILMASTONMUUTOSTARKASTELUT
- SÄÄNNÖSTELYJEN TOIMIVUUS JA ILMASTONMUUTOKSEN
VAIKUTUKSET KUORMITUKSEEN**

Pohjois-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

Taitto: Juvenesprint

Kansikuva: Pohjois-Savon ELY-keskus

**Kartat: Pohjois-Savon ELY-keskus
Suomen ympäristökeskus**

ISBN 978-952-314- (painettu)

ISBN 978-952-314-403-3 (PDF)

ISSN-L 2242-2846

ISSN 22- (painettu)

ISSN 2242-2854 (verkkojulkaisu)

URN:ISBN:978-952-314-403-3

www.doria.fi/ely-keskus

Sisältö

1 Yhteenveto ja johtopäätökset	2
1.1 Säännöstelyjen toimivuus ilmaston muuttuessa.....	2
1.2 Ilmastonmuutoksen vaikutukset fosforikuormitukseen	4
1.3 Vesiensuojelutoimenpiteiden kustannustehokkuus ja ilmastonmuutoskestävyys	5
2 Johdanto	7
3 Alueen kuvaus	8
3.1 Vesistöjen tila, kuormitus ja muu muuttava toiminta.....	9
3.2 Rehevyyden ja ravinnekuormituksen vähentämistavoitteet.....	11
3.3 Säännöstely	13
4. Ilmastonmuutoksen vaikutus lisälmen reitin säännöstelyjen järvien vedenkorkeuksiin ja virtaamiin	14
4.1 Lämpötilan ja sademäärän muutokset ilmastoskenaarioissa.....	14
4.2 Säännöstelyohjeet.....	16
4.3 Ilmastonmuutoksen ja säännöstelytavan vaikutukset	17
4.3.1 Vedenkorkeudet ja virtaamat jaksoilla 2010-39 ja 2040-69	17
4.3.2 Vuodenvaihteen 2013-2014 tulovirtaamahuippu	20
4.3.3 Ääriskenaariot jaksolla 2040-69	21
4.3.4 Sopeutuva säännöstely jaksolla 2040-69	23
4.3.5 Vaikutukset alapuoliseen vesistöön.....	24
5 Vedenkorkeus- ja virtaamamuutosten ja säännöstelytapojen vaikutusten arviointi	25
5.1 Vesiluonto	25
5.1.1 Rantavyöhykkeen eliöstö sekä syyskutuiset kalat	25
5.1.2 Kasvillisuus	25
5.1.3 Kevätkutuiset kalat	26
5.1.4 Linnut	26
5.2 Virkistyskäyttö	27
5.3 Vesiliikenne	28
5.4 Tulvavahingot	28
5.5 Vesivoiman tuotanto	29
5.6 Yhteenveto ja huomioita tuloksista	30
6 Ilmastonmuutoksen ja vesienhoidon toimenpiteiden vaikutus fosforikuormitukseen	34
6.1 Kokonaisfosforin kuormitus vesistöihin lisälmen reitillä nykytilanteessa ja skenaarioissa	34
6.1.1 Yleistä.....	34
6.1.2 Skenaariot.....	35
6.1.3 Nykyinen kokonaisfosforin kuormitus vesistöihin ja kuormituksen muutokset ilmaston ja maatalouden muutosskenaarioissa	35
6.1.4 Luonnonhuuhtouma ja metsätalous.....	36
6.2 Järviin tuleva kokonaisfosforikuormitus ja fosforipitoisuuden muutokset lisälmen reitin skenaariotarkasteluissa	39
6.3 Vesienhoidon toimenpiteiden vaikutus fosforikuormitukseen	39
6.3.1 Suojavyöhyke.....	41
6.3.2 Talviaikainen kasvipeite.....	43
6.3.3 Lietelannan sijoitus	45
6.3.4 Vesienhoidon toimenpiteiden yhteisvaikutus.....	45
6.4 Yhteenveto	48
7 Vesiensuojelutoimenpiteiden kustannustehokkuus ja ilmastonmuutoskestävyys	50
7.1 Vesiensuojelutoimenpiteiden kustannustehokkuus osavaluma-alueittain	50
7.1.1 Käytetyt lähtötiedot	50
7.1.2 Toimenpiteiden kustannustehokkuus ja saavutettavissa oleva kuormitusvähennys	51
7.1.3 Tarkasteluihin liittyvä epävarmuus	55
7.2 Vesiensuojelutoimenpiteiden ilmastonmuutoskestävyys	56
7.2.1 Lähtötiedot ja skenaariot.....	56
7.2.2 Tulokset.....	58
7.3 Yhteenveto	59
Viitteet	61
Liitteet	62

1 Yhteenveto ja johtopäätökset

1.1 Säännöstelyjen toimivuus ilmaston muuttuessa

Ilmastonmuutoksen seurauksena virtaamat lisälmen reitin joissa ja järvissä kasvavat talvella ja syksyllä, kun taas kevään maksimivirtaamat aikaistuvat ja pienenevät. Virtaamien vuodenaikaisvaihtelussa tapahtuvien muutosten johdosta säännöstelyjen järvien lupaehtoja ja säännöstelykäytäntöjä on tarkasteltava uudelleen. Tässä raportissa on tarkasteltu ilmastonmuutoksen vaikutuksia Suomen ympäristökeskuksen Vesistömallijärjestelmän avulla. Vesistömallijärjestelmää käytetään muun muassa koko Suomessa tulvien ennustamiseen, vesivarojen ja hydrologisten suureiden monitorointiin, ilmastonmuutoksen vaikutustarkasteluihin sekä ravinnekuormituksen mallintamiseen (Vehviläinen ym. 2005, Veijalainen ym. 2012 ja Huttunen ym. 2015b).

Säännöstelyjen järvien lupaehtoja ja erityisesti niihin liittyvää kevätkuopan tekemistä Poro- ja Onkivedellä on tarkasteltu jaksoilla 1971-2000, 2010-39 ja 2040-69. Tulevaisuusjaksojen tarkastelut on tehty käyttäen hyväksi ilmastoskenaarioiden keskiarvoisia lämpötilan ja sadannan muutoksia sekä kolmen useista ilmastoskenaarioista poimitun ääriskenaarion antamia lämpötilan ja sadannan muutoksia vertailujaksolta tulevaisuusjaksoille. Lisäämällä lämpötilan ja sadannan muutokset vertailujakson 1971-2000 säähän ja ajamalla Vesistömallijärjestelmän hydrologista mallia näin saaduilla päivittäisillä arvoilla, saadaan tuotettua hydrologisen skenaarion päivittäiset vedenkorkeudet ja virtaamat tulevaisuusjaksoille.

Tulosten perusteella nykyisen kaltaisen kevätkuopan tekeminen ei kaikkina vuosina onnistu edes lähitulevaisuuden jaksolla 2010-39, koska Poro- ja Onkiveden tulovirtaamat ylittävät Nerohvirran ja Vianankosken patojen maksimipurkautumiskäyrät lupaehtojen määräämällä kevätkuopan tasolla. Tällaisina vuosina kevätkuopan tekeminen on turhaa, koska kevään maksimitulovirtaamat jäävät pieniksi eivätkä vedenkorkeudet nouse keväällä tulvalukemiin. Jaksolle 2040-69 mennessä kevätvirtaamat pienenevät useimmilla skenaarioilla jo niin paljon, että kevätkuopan voisi jättää tekemättä kokonaan. Kuitenkin yhden ääriskenaarion perusteella vielä tälläkin jaksolla voi esiintyä suuria kevätvirtaamia. Niinpä kevätkuopan

tekeminen olisikin syytä tehdä tulevaisuudessa lumen vesiarvosta tai tulovirtaamaennusteesta riippuen.

Toinen merkittävä ilmastonmuutoksen vaikutus lisälmen reitin vesitilanteeseen on tulovirtaamien kasvu syksyllä ja talvella. Tästä hyvänä esimerkkinä toimii vuodenvaihteessa 2013-14 talvella poikkeuksellisen suureksi noussut tulovirtaama. Vielä 1971-2000 sijoittuvalla jaksolla tällainen talvitulovirtaama olisi ollut toistuvuudeltaan erittäin poikkeuksellinen, harvinaisempi kuin keskimäärin kerran 200 vuodessa toistuva (1/200) talvivirus. Ilmastoskenaarioiden keskiskenaarion perusteella kyseisen kaltaiset talvivirus tulevat yleistymään tulevaisuudessa. Jaksolla 2010-39 kyseisen talvivirus toistuvuus olisi enää 1/70 vuodessa ja jaksolla 2040-69 jo 1/30 vuodessa toistuva talvitulovirtaama. Niinpä näin suuriin tulovirtaaman nousuihin on syytä varautua jatkossa myös talvella ja mahdollisesti pitää järvien vedenkorkeuksia hieman nykyisen kaltaista säännöstelykäytäntöä alempana.

Poro- ja Onkiveden säännöstelyn toimivuutta tulevassa ilmastossa on tarkasteltu kahta eri säännöstelykäytäntöä noudattaen käyttäen hyväksi Vesistömallijärjestelmän säännöstelyohjeita. Ensimmäisiksi vaikutuksia on tarkasteltu nykyisten lupaehtojen mukaisilla säännöstelyohjeilla, jonka avulla voidaan tarkastella lupaehtojen toimivuutta tulevaisuudessa. Tämän jälkeen vastaavat tarkastelut on tehty niin sanotulla sopeutuvalla säännöstelyohjeella, joissa tulevaisuudessa useimmissa tapauksissa turhaksi koettu kevätkuoppa on jätetty tekemättä.

Mallinnettujen skenaariorien ja toisaalta lupaehtojen mukaisen sekä sopeutuvan säännöstelyn vaikutuksia vesiluontoon, virkistyskäyttöön ja taloudellisiin tekijöihin on arvioitu kummallakin järvellä erilaisten vedenkorkeus- ja virtaamavaihteluista laskettujen mittareiden avulla. Vaikutuksia eri mittareilla on esitetty taulukossa 1. Tarkastelujaksojen 2010-39 ja 2040-69 tuloksia on verrattu vertailujaksoon 1971-2000 ja sopeutuvaa säännöstelyä jaksolla 2040-69 lupaehtojen mukaiseen säännöstelyyn samalla jaksolla. Taulukon symbolit kuvaavat muutoksen suuntaa, mutta eivät suuruutta. Suluissa oleva symboli kuvaa tulosta ääriskenaariorilla, mikäli jonkin ääriskenaarion tulos on erisuuntainen kuin keskiarvoskenaarion.

Vaikutuksia vesiluontoon arvioitiin kuudella mittarilla, jotka kuvaavat vaikutuksia vesikasvillisuuteen, rantavyöhykkeen eliöstöön, kalastoon ja vesilintuihin.

Tulokset ovat keskenään samansuuntaisia Onki- ja Porovedellä. Tarkasteltaessa keskiarvoskenaarioita talviaikainen vedenkorkeuden alenema pysyy tulevaisuusjaksoilla nykyisen luvan mukaisella säännöstelyllä suunnilleen vertailujakson suuruisena. Sopeutuva säännöstely jaksolla 2040-69 loiventaa alenemaa ja parantaa siten tilannetta pohjaeläinten ja syyskutuisten kalojen kannalta. Rantakasvillisuuden kannalta edullinen kevättulva loivenee ja saraikon laskennallinen laajuus pienenee skenaarioissa. Sopeutuva säännöstely tulevaisuuden jaksolla parantaa näitä kumpaakin kasvillisuusmittaria, ei kuitenkaan vertailujakson tasolle. Olosuhteita hauen kannalta arvioitiin kahdella mittarilla joiden perusteella ilmastonmuutoksen vaikutus on kaksijakoinen: veden minimisyvyys hauen kutuaikana laskee, mutta kutuaikana haitallinen vedenkorkeuden lasku vähenee. Sopeutuva säännöstely nostaa minimisyvyyttä jopa vertailujaksoa paremmaksi ja toisaalta lisää vedenkorkeuden laskua, mutta ei kuitenkaan yhtä suureksi kuin vertailujaksolla. Mikäli vesilintujen pesintä aikaistuu, voi skenaarioissa lisääntyä pesiä uhkaava vedenkorkeuden nousu, jota ei juuri esiinny vertailujaksolla. Sopeutuva säännöstely pienentää tätä haittaa. Tarkasteltaessa edellä mainittuja luontomittareita ääriskenaarioissa tulokset ovat pääasiassa samansuuntaisia kuin keskiarvoskenaariossa, mutta vaikutusten etenemisnopeus ja suuruus vaihtelevat.

Yhteenvetona voidaan todeta, että ilmastonmuutoksella on useimmilla tässä selvityksessä käytetyillä mittareilla arvioituna kielteisiä, mutta myös neutraaleja ja myönteisiä vaikutuksia vesiluontoon ja sopeutuvalla säännöstelyllä voidaan todennäköisesti pienentää kielteisten vaikutusten riskiä. On huomattava, että käytettyjen mittareiden määrä on vähäinen eikä siten arvioitu ole kuin osa luontovaikutuksista. Menetelmä ottaa huomioon ainoastaan vedenkorkeusvaihtelun muutoksista johtuvat vaikutukset ja jääpeitteisen ajan muutoksen vaikutukset laskettujen mittareiden arvoihin. Ilmastonmuutoksen muilla vaikutuksilla kuten lämpötilan ja jääpeitteen muutoksilla sekä eliöiden sopeutumiskyvyllä yhdistettynä vedenkorkeuden muutoksiin voi kuitenkin olla hyvin merkittäviä vaikutuksia.

Virkistyskäytön kannalta haitallisen matalat vedenkorkeudet Porovedellä yleistyvät ilmastonmuutoksen lisätessä kesäkaudella haihduttaa enemmän kuin sadantaa, mutta toisaalta kesän virkistyskäytökäusi hyvien vedenkorkeuksien kannalta pitenee molemmilla järvillä alkupäästä kun kevättulvahuippu aikaistuu ja madaltuu. Matalia kesävedenkorkeuksia saadaan nostettua juoksutuksia pienentämällä ja si-

ten virkistyskäyttöhyötyä parannettua. Onkivedellä virkistyskäytölle määritetty hyvä virkistyskäyttövyöhyke ulottuu suhteessa alemmas, joten siellä matalat vedenkorkeudet eivät tämän tarkastelun perusteella muodostu ongelmaksi missään skenaariossa. Vesiliikenteelle haitallisia vedenkorkeuksia ei esiintynyt millään tarkastelujaksolla, joten siltä kannalta tilanteen ei todettu muuttuvan.

Viannankoskessa sijaitseva pieni vesivoimalaitos ei pysty hyödyntämään tulevaisuusskenaarioiden kasvavia virtaamia ja tuotanto hieman vähenee skenaarioissa pienten virtaamien pienentyessä. Sopeutuvalla säännöstelyllä tuotanto pienenee vähemmän.

Onki- ja Poroveden tulvavahinkojen arvioimisessa käytettiin mittarina päivien lukumäärää, jolloin rakennus- tai teollisuusvahinkoraja ylittyy koko vuoden aikana tai peltovahinkoraja ylittyy viljelykaudella. Tällä mittarilla mitattuna vahinkoja ei synny vertailujaksolla eikä millään skenaariojaksolla, joten sen perusteella ei voi tehdä johtopäätöksiä tulvariskin muuttumisesta. Suurimmat vedenkorkeushuiput, jotka esiintyvät keväällä ennen viljelykauden alkua, kuitenkin alenevat ja aikaistuvat merkittävästi hydrologisissa skenaarioissa. Tämä saattaa merkitä tulvavahinkoriskin pienentymistä Onki- ja Porovedellä ilmaston muuttuessa ainakin kevättulvien osalta. Sopeutuva säännöstely jaksolla 2040-69 nostaa kevään korkeimpia vedenkorkeuksia, mutta ei lähellekään vertailujakson huippuja. Jos kevättalven säännöstely hoidetaan joustavasti vesitilanne-ennuste huomioon ottaen, ei sopeutuvan säännöstelyn voida olettaa lisäävän tulvariskiä.

Tulvavahinkoja arvioitiin myös Onkiveden alapuolella Maaninkajärvessä. Siellä haitallisen talvitulvan riski kasvaa skenaarioissa eikä selvityksessä käytetty sopeutuva säännöstely auta tilannetta. Sopeutuvaa säännöstelyä todennäköisesti voitaisiin muokata vielä enemmän varautumaan suuriin talviviltaamiin, jolloin voitaisiin pienentää tulvariskiä Onkiveden alapuolella.

Vaikutustarkastelujen perusteella sopeutuvalla säännöstelyllä voidaan pienentää ilmastonmuutoksen aiheuttamien haitallisten vaikutusten riskiä Onki- ja Porovedellä. Siten tässä raportissa esitetyt säännöstelyn kehittämistoimet ovat myös vesiluonnon ja vesistön käytön kannalta suositeltavia. Niitä voitaisiin kuitenkin vielä kehittää ainakin talvitulviin varautumisen osalta. Sopeutuvan säännöstelyn toteuttaminen edellyttää muutoksia säännöstelylupaan.

Sekä skenaarioihin että vaikutustarkasteluihin liittyvät epävarmuuksia. Todellisuudessa vuosien välinen vaihtelu voi olla erilaista kuin tässä selvityksessä mallinnetuilla jaksoilla ja muutokset voivat esiintyä

aikaisemmin tai myöhemmin. Säännöstelyluvan ja – käytännön tulisi olla riittävän joustavia, jotta voidaan varautua erilaisiin vuosiin eli edelleen myös runsaslumiin talviin ja suuriin kevättulviin.

1.2 Ilmastomuutoksen vaikutukset fosforikuormitukseen

Ilmastomuutoksen odotetaan kasvattavan vuotuista ja erityisesti talviaikaista valuntaa ja lyhentävän kautta, jolloin maa on lumen peitossa ja roudassa. Näiden odotetaan johtavan ravinnekuormituksen kasvuun sekä maataloudesta että metsistä (Huttunen ym. 2015a). Muutokset sisävesiin tulevassa ravinnekuormituksessa riippuvat muutoksista hydrologiassa ja saattavat vaihdella suuresti valuma-alueen ominaisuuksien, kuten viljelyalan, maalajien, järvalian ja tulevaisuuden viljelytoimenpiteiden mukaan. Valunnan muutokset vaikuttavat eniten ennusteisiin ravinne-

kuormituksen muutoksista – suurin ravinnekuormituksen kasvu simuloitiin määrällä ilmastonmuutosskenaariolla, kun taas kuivalla skenaariolla ravinnekuormitus kasvoi vain vähän tai jopa laski.

Tässä työssä ilmastonmuutoksen ja maatalouden sopeutumisen vaikutuksia fosforikuormitukseen lisälmen reitillä arvioitiin VEMALA-mallilla. VEMALA-malli simuloi Suomen jokien ja järvien hydrologiaa sekä vedenlaatua mallintamalla fosforin ja typen kokonaisravinteet sekä kiintoaineen. Sisävesistöistä edetään Itämereen päätyvään ravinnevirtaan simuloimalla ravinneprosesseja, ravinteiden huuhtoutumista, kulkeutumista maalla ja joissa sekä pidättäytymistä järviin (Huttunen ym. 2015b). Peltolohkokohtainen ICECREAM-malli on yhdistetty VEMALA-malliin. ICECREAM simuloi fosforin prosesseja maaperässä ja kulkeutumista pelloilta vesistöihin ottaen huomioon erilaiset maankäyttömuodot sekä lannoitteiden käytön.

Lisälmen reitin fosforikuormituksen muutoksia tarkasteltiin erikseen lähitulevaisuuteen jaksolle 2020-30 ja pidemmälle eteenpäin jaksolle 2050-59. Jaksolla

Taulukko 1. Ilmastomuutoksen ja sopeutuvan säännöstelyn vaikutuksen suunta mittareiden arvoihin Porovedellä ja Onkivedellä. Ilmastomuutoksen vaikutus keskiarvoskenaariolla jaksolla 2010-39 ja 2040-69 verrattuna vertailujaksoon 1971-2000 sekä sopeutuvan säännöstelyn vaikutus jaksolla 2040-69 verrattuna nykysäännöstelyyn samalla jaksolla. Suluissa oleva symboli kuvaa ääriskenaariota osoittamaa suuntaa, jos se poikkeaa keskiskenaariosta.

+ = myönteinen vaikutus, 0 = ei vaikutusta, - = kielteinen vaikutus

	Ilmastomuutoksen vaikutus nykysäännöstelyllä jaksolla 2010-39		Ilmastomuutoksen vaikutus nykysäännöstelyllä jaksolla 2040-69		Sopeutuvan säännöstelyn vaikutus jaksolla 2040-69	
	Porovesi	Onkivesi	Porovesi	Onkivesi	Porovesi	Onkivesi
VAIKUTUKSET VESILUONTOON						
Vedenkorkeuden alenema talvella	0	0	0	0	+	+
Kevättulvan suuruus	-	-	-	-	+	+
Saraikon laskennallinen laajuus	- (0)	-	-	-	+	+ (0)
Veden minimisyvyys saraikossa hauen kutuaikana	- (0)	0 (-)	-	- (+)	+	+
Vedenkorkeuden lasku hauen kutuaikana	+	+	+	+	-	-
Vedenpinnan nousu lintujen pesintäaika	0 (-)	0 (-)	-	- (0)	+	+ (0)
VAIKUTUKSET VIRKISTYSKÄYTTÖÖN						
Vedenkorkeuden pysyvyys virkistyskäytön kannalta hyvällä tasolla virkistyskäyttökautena	+	+	+	+	+	0
TALOUDELLISET VAIKUTUKSET						
Vesiliikenne	0	0	0	0	0	0
Tulvavahingot (rakennukset, pellot, teollisuus)	0	0	0	0	0	0
Alapuolinen tulvariski talvella		- (0)		- (0)		0 (-)
Vesivoiman tuotanto		-		-		+

2020-30 tarkasteltiin vesienhoidon toimenpiteiden ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutusta fosforikuormitukseen. Viljelykasvien hehtaarimäärien oletettiin tällä jaksolla pysyvän nykyistä vastaavana. Jaksolla 2050-59 tarkasteltiin maatalouden kehitykselle kolmea skenaariota, joissa viljelykasvien hehtaarimäärät, lannoitusmäärät ja satotaso muuttuvat.

lisalmen reitin järviin tuleva fosforikuormitus muuttuu ilmastonmuutoksen keskiarvoskenaariossa jaksolle 2050-59 mennessä hyvin vähän (-4...7 %). VEMALAn mallinnustulosten epävarmuus on mallinnettua muutosta suurempi. Runsassateisessa ilmastonmuutosskenaariossa kuormitus järviin kasvaa selvästi nettokuormituksen lisääntyessä. Skenaarioissa kuormituksen suuruuteen vaikuttavat sään lisäksi myös muutokset viljelytoiminnassa, esimerkiksi nurmen viljely kevätiljan sijasta ja karjan määrän vaihtelu. Lisäksi muutokset fosforin pidättymisessä valuma-alueen yläpuolisiin järviin vaikuttavat järveen tulevaan kuormaan. Fosforin pidättyminen vähenee keskimääräisessä ja runsassateisessa skenaariossa, mikä johtuu veden lyhyemmästä viipymästä järvissä. Yleisesti ottaen pieni kasvu fosforin nettokuormassa ja lyhyempi viipymä kasvattavat fosforipitoisuutta järvissä. Kuitenkin tarvittaisiin nykyistä enemmän prosesseihin perustuva malli simuloimaan, miten ulkoisen kuormituksen ja virtauksen muutokset vaikuttavat järvien sisäiseen kuormitukseen.

Vesienhoidon toimenpiteiden vaikutusta maatalouden kuormitukseen arvioitiin käyttäen ICECREAM-mallia. Arvioinnissa tarkasteltiin seuraavia toimenpiteitä: suojavyyhyke, talviaikainen kasvipeite (suorakylvö, kevätmuokkaus, nurmien uusiminen kevätmuokkauksella), lietteen sijoitus nurmilla, tarkennettu lannoitus ja kerääjäkasvit. Käyttämällä tarkennettua lannoitusta kaikilla pelloilla, suorakylvöä noin 12 000 hehtaarilla, lietteen sijoitusta lähes kaikilla nurmilla ja varaamalla suojavyyhykkeille 122 ha, voidaan 2020-luvulla päästä peltojen fosforikuormituksessa ilmastonmuutosskenaariosta riippuen tasolle -1 - -15% nykytilaan verrattuna. Ilmastonmuutoksen epävarmuus jo 2020-luvulla on huomattava, eli epäsuotuisimmassa skenaariossa kuormitus pysyisi toimenpiteistä huolimatta lähes nykytasolla.

1.3 Vesiensuojelutoimenpiteiden kustannustehokkuus ja ilmastonmuutoskestävyys

KUTOVA-työkalun avulla voidaan muodostaa vesienhoidon yleissuunnittelua tukevia arvioita vesiensuojelutoimenpiteiden kustannustehokkuudesta ja vaikutuksesta kuormitukseen. Lisäksi mallin avulla voidaan muodostaa toimenpideyhdistelmiä ja arvioida niiden kustannustehokkuutta. Toimenpideyhdistelmätyökalu ketjuttaa toimenpiteet ja huomioi esimerkiksi peltotoimenpiteiden vaikutuksen suojavyyhykkeelle tulevaan kuormitukseen.

lisalmen reitillä arvioitiin KUTOVA-työkalun avulla vesiensuojelutoimenpiteiden kustannustehokkuutta. Tarkastelu koostui kahdesta osasta: i) vesiensuojelutoimenpiteiden kustannustehokkuus reitin eri osavalmu-alueilla ja toimenpiteiden kohdistaminen sekä ii) ilmastonmuutos- ja maatalousskenaarioiden vaikutus toimenpiteiden kustannustehokkuuteen sekä vesienhoitosuunnitelman ilmastonmuutoskestävyys.

Yleisesti ottaen kaikilla osavalmu-alueilla kustannustehokkaimpia vesiensuojelutoimenpiteitä ovat metsä- ja maatalouden toimenpiteet (taulukko 2). Myös osa turvetuotannon toimenpiteistä on kustannustehokkaita. Turvetuotannon ja metsätalouden osuus kokonaiskuormituksesta on kuitenkin varsin pieni, joten näiden sektoreiden toimenpiteillä ei voida merkittävästi vaikuttaa alueen kokonaiskuormitukseen.

Maatalouden toimenpiteistä kustannustehokkaimpia toimenpiteitä ovat kosteikot sekä suojavyyhykkeet ja peltojen talviaikainen kasvipeitteisyys kaltevilla pelloilla. Näillä toimenpiteillä voidaan myös merkittävästi vaikuttaa valuma-alueen kokonaiskuormitukseen. Viemäroimättömän haja-asutuksen toimenpiteet eivät ole yhtä kustannustehokkaita kuin maatalouden toimenpiteet, mutta niillä voidaan kuitenkin vaikuttaa merkittävästi lisalmen reitin kokonaiskuormitukseen.

Tarkastelun mukaan toimenpiteitä kannattaa kohdistaa paitsi suurten hyvää huonommassa tilassa olevien järvien lähivaluma-alueille myös vesistön latvoille. Kustannustehokasta ja mahdollisesti jopa välttämätöntä olisi vähentää kuormitusta myös osavalmu-alueilla, missä vesistöt ovat jo pääosin hyvässä ekologisessa tilassa (Sonkajärven reitin ja Iso-lin alueet), sillä lähes puolet Poroveden kuormituksesta on peräisin näiltä alueilta.

Muuttuvassa ilmastossa ja maatalouden kentässä yksittäisten toimenpiteiden kustannustehokkuus pääsääntöisesti huononee eri tulevaisuuden skenaarioissa. Selitys muutoksiin löytyy kuormituksen ja kasvilajien muutoksista. Vesienhoidon toimenpideohjelmassa

alueelle suunnitellut toimenpiteet kompensoivat ilmastomuutoksen vaikutusta, mutta maatalouden muutoksilla on suurempi merkitys toimenpiteiden vaihtavuuteen.

Taulukko 2. Toimenpiteiden keskimääräinen kustannustehokkuus ja kustannustehokkuuden vaihteluväli lisälmen reitin osavalmualueilla.

		Toimenpide	Kustannustehokkuus (€/P kg)		
			min.	ka.	maks.
Maatalous		Suojavyöhykkeet	50	901	3 750
		Kosteikot	110	265	640
		Peltojen talviaikainen eroosion torjunta	100	915	3 490
		Monivuotinen nurmiviljely	40	600	2 750
		Säätösaloitus ym.	410	1 139	2 440
		Ravinteiden käytön hallinta	1 030	1 666	2 330
Metsätalous		Uudistushakkuiden suojakaista	480	696	890
		Lannoitusten suojakaista	80	134	210
		Ojituksen eroosiohaittojen torjunta	30	239	910
Haja-asutus		Viemäroinnin laajentaminen haja-asutusalueille	290	577	820
		Uudet haja-asutuksen kiinteistökohtaiset jätevesien käsittelyjärjestelmät	320	633	900
		Uudet loma-asutuksen kiinteistökohtaiset jätevesien käsittelyjärjestelmät	140	270	390
		Vapautuksen saaneiden kiinteistöjen jäteveden käsittelyjärjestelmien tehostaminen	300	591	840
Turvetuotanto		Pintavalutuskenttä	110	480	1 020
		Virtaaman säätö	80	169	230
		Kemiallinen käsittely	300	942	1 730

2 Johdanto

Tässä raportissa arvioidaan ilmastomuutoksen vaikutuksia lisälmen reitin hydrologiaan, vesistöjen kuormitukseen ja tilaan sekä säännöstelylupien toimivuuteen. Onki- ja Porovedellä testataan erilaisten säännöstelyohjeiden toimivuutta ilmaston muuttuessa. Tavoitteena on arvioida, minkälaisia muutostarpeita ilmastomuutos tulee aiheuttamaan järvien säännöstelylupiin ja millä aikataululla. Lisäksi arvioidaan fosforikuormitusta vesistöihin eri ilmastomuutos- ja maatalousskenaarioissa sekä vesienhoidon toimenpiteiden vaikuttavuutta ja kustannustehokkuutta eri skenaarioissa.

Ilmastoskenaarioiden perusteella lämpötilat lisälmen reitin valuma-alueella nousevat keskimäärin 2-4 °C ja sademäärät kasvavat 12-18 % tämän vuosisadan puoliväliin mennessä. Lämpötilan ja sademäärien muutokset vaikuttavat valuntaan, säännöstelyjen järvien tulovirtaamien suuruuteen ja ajankohtaan sekä vesistön ravinnekuormitukseen. Tässä raportissa esitellään tuloksia ilmastomuutoksen vaikutusten suuruusluokasta ja arvioidaan millaisia sopeutumistarpeita vaikutukset aiheuttavat järvien säännöstelyn, maanviljelyn ja maankäytönkin kannalta.

Raportissa esitetty selvitys jakaantuu neljään osaan. Ensimmäisessä osassa (luku 4) arvioidaan ilmastomuutoksen vaikutuksia vedenkorkeuksiin ja virtaamiin nykyisten lupien mukaisella säännöstelyllä sekä esitellään nykyisistä lupaehdoista poikkeava, ilmastomuutokseen paremmin sopeutuva säännöstelytapa. Toisessa osassa (luku 5) arvioidaan Onki- ja Porovedelle ensimmäisessä osassa käsiteltyjen ilmastoskenaarioiden sekä sopeutuvan säännöstelytavan vaikutuksia vesiluontoon, virkistyskäyttöön, tulviin ja vesivoiman tuotantoon. Vaikutusten arviointi on teh-

ty Suomen ympäristökeskuksessa (SYKE) laskemalla vedenkorkeuksista ja virtaamista joukko mittareita, jotka auttavat hahmottamaan ilmastomuutoksen ja säännöstelytavan vaikutusten suuntaa ja suuruusluokkaa.

Selvityksen kolmannessa osassa (luku 6) arvioidaan ilmastomuutoksen vaikutusta vesistöihin kohdistuvaan fosforikuormitukseen sekä fosforipitoisuuden muutoksiin lisälmen reitin järvissä. Lisäksi osassa on arvioitu tiettyjen maatalouden toimenpiteiden ja ilmastomuutoksen yhteisvaikutusta fosforikuormitukseen 2020-luvulla. Raportin neljännessä osassa (luku 7) arvioidaan vesiensuojelutoimenpiteiden kustannustehokkuutta lisälmen reitin eri osavalmualueilla sekä toimenpiteiden kustannustehokasta kohdistamista reitin eri osille. Lisäksi osiossa arvioidaan ilmastomuutos- ja maatalousskenaarioiden vaikutusta toimenpiteiden kustannustehokkuuteen sekä vesienhoitosuunnitelman ilmastomuutoskestävyyttä.

Hanke on toteutettu Pohjois-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen (ELY-keskus) ja Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) yhteistyönä ja sen on rahoittanut maa- ja metsätalousministeriö. ELY-keskuksesta mukana ovat olleet vesistöinsinööri Tuulikki Miettinen, hydrobiologi Veli-Matti Vallinkoski, hydrobiologi Antti Kanninen, vesistöinsinööri Ilkka Maksimainen sekä yksikön päällikkö Jukka Hassinen. SYKEstä hankkeeseen ovat osallistuneet hydrologi Juho Jakkila, kehitysinsinööri Tanja Dubrovin, hydrologi Markus Huttunen, hydrologi Inese Huttunen, tutkija Vanamo Piirainen, suunnittelija Turo Hjerppe, johtava asiantuntija Mika Marttunen ja johtava hydrologi Bertel Vehviläinen.

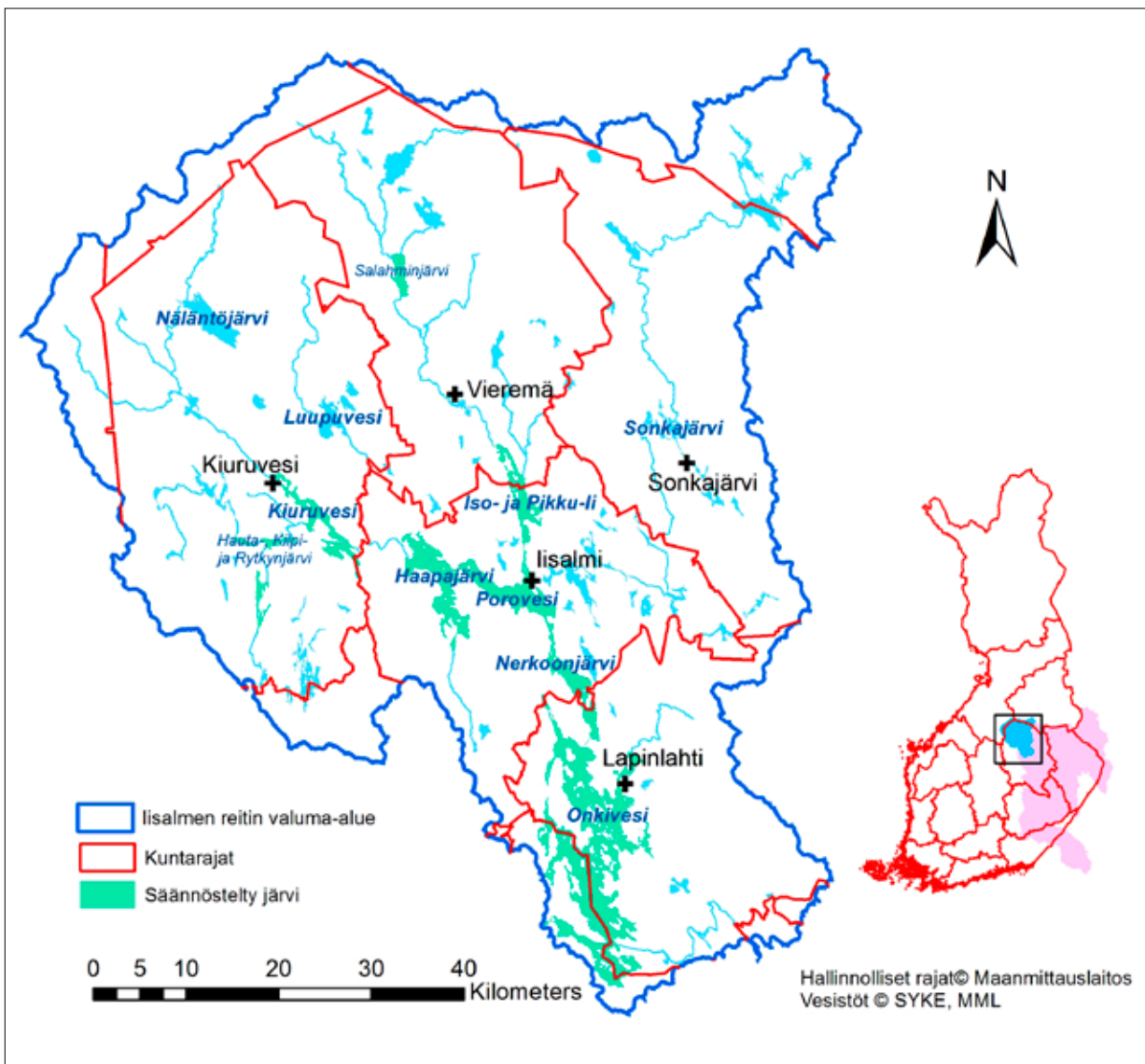
3 Alueen kuvaus

Iisalmen reitti (kuva 1) on Vuoksen vesistön Kallaveden reitin läntinen haara, joka saa alkunsa Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun maakuntien alueelta. Reitti sijoittuu pääosin Pohjois-Savon maakuntaan kuuden kunnan alueelle. Valuma-alueen asukasmäärä on noin 48 000 henkilöä. Suurimmat rakennetut alueet sijoittuvat Iisalmen ja Kiuruveden kaupungin ja Lapinlahden kunnan keskustaajamiin.

Iisalmen reitin keskusjärvet ovat Porovesi ja sen kanssa samassa tasossa olevat järvet (Nerkoonjärvi, Haapajärvi, Iso-li ja Pikku-li) sekä Onkivesi. Alin keskusjärvi Onkivesi saa suurimman osan vesistään Lammasvirran ja Nerohvirran kautta Porovedestä. Po-

roveteen laskee kolme sivureittiä: lännestä monihaarainen Kiuruveden reitti, pohjoisesta Vieremän reitti ja idästä Sonkajärven reitti. Iisalmen reitin pinta-ala on noin 5 583 km², josta järvien osuus on noin 7,7 %.

Iisalmen reitillä on 125 kpl vesienhoitosuunnitelmista tarkasteltavaa vesimuodostumaa (84 järveä ja 41 jokea). Kaikkiaan järviä ja jokia on noin 900 kpl. Tässä raportissa tarkastellaan tarkemmin em. keskusjärvien lisäksi reitin kunkin päähaaran keskeisiä järviä (Kiuruveden reitti: Haapajärvi, Kiuruvesi, Luupuvesi, Näläntöjärvi; Vieremänjoen reitti: Iso-li; Sonkajärven reitti: Sonkajärvi). Osa tarkasteluista on tehty myös osavaluma-alueittain (vrt. kuva 3).



Kuva 1. Iisalmen reitin valuma-alue.

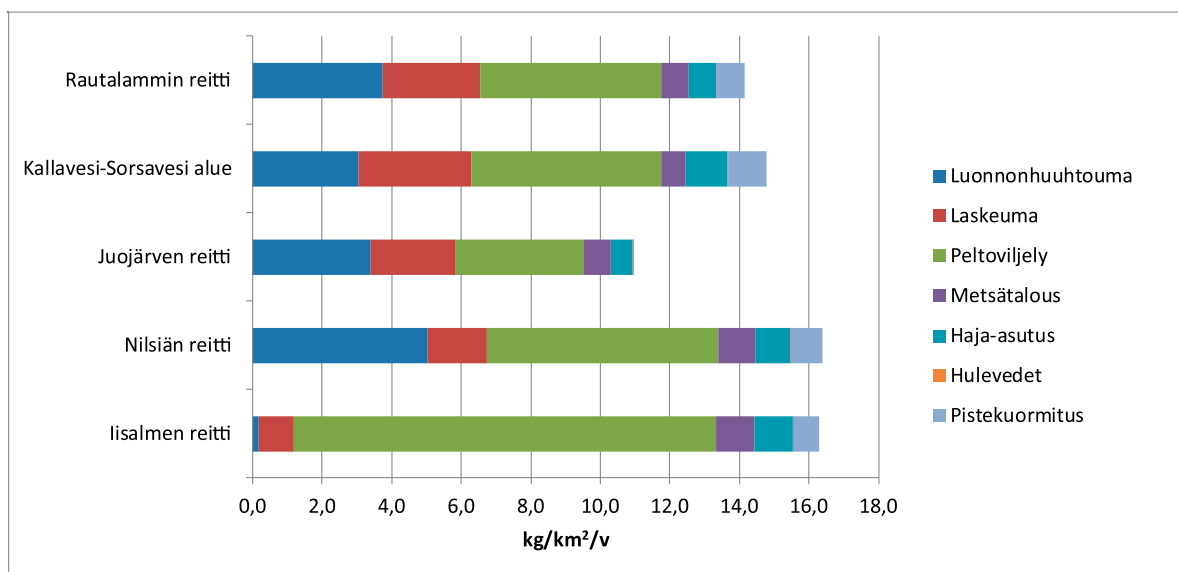
Reitin järvet ovat pääsääntöisesti matalia ja tummavetisiä. Moni järvistä on valuma-alueen viljavan maaperän ansiosta myös luontaisesti runsasravinteinen. Iisalmen reitti on paitsi Järvi-Suomessa harvinainen alue, myös Euroopan pohjoisimpia rehevien järvien keskittymiä. Suotuisten olosuhteiden seurauksena alueen maatalous on voimaperäistä ja maatalousmaan osuus on lähes 15 % valuma-alueen pinta-alasta, selvästi suurempi kuin muualla maakunnassa. Suurin osa valuma-alueesta on metsätalousmaita, joiden osuus valuma-alueen pinta-alasta on noin 75 %. Vesistöjen osuus valuma-alueen pinta-alasta on maakunnan pienin, mutta järvien lukumäärä on keskimääräistä tasoa.

3.1 Vesistöjen tila, kuormitus ja muu muuttava toiminta

Iisalmen reitin järvipinta-alaa kohti laskettu ulkoinen fosforikuormitus on yhdessä Pohjois-Kallaveden alueen kanssa maakunnan korkeinta tasoa (kuva 2). Ulkoisen fosforikuormituksen merkittävin lähde reitillä on maatalous 57 %:n osuudella. Haja-asutuksen ja laskeuman osuus on noin 7 %. Metsätalouden osuus fosforikuormituksesta on 4 %, pistekuormituksen 3 % ja turvetuotannon 1 %. Eri kuormituslähteiden suhteelliset osuudet vaihtelevat edellä esitetystä kokonaistilanteesta tarkasteltaessa pienempiä osa-alueita. Iisalmen reitin matalissa, rehevöitymisherkissä vesistöissä myös sisäisen fosforikuormituksen osuus on merkittävää.

Iisalmen reitin ihmistoiminnasta aiheutuvat ongelmat keskittyvät reitin keskusalueille sekä läntiselle Kiuruveden reitille. Myös Poroveteen idästä laskevan Matkusjoen reitin sekä pohjoisesta laskevan Vierevän reitin alaosalla on rehevyydestä kärsiviä vesiä. Myös vesistöjen rakenteelliset muutokset ovat Iisalmen reitillä laajoja. Vesistöalueella on yhteensä 41 hyvää huonommassa tilassa olevaa vesimuodostumaa. Reitillä on runsaasti huonon happitilanteen, umpeenkasvun ja sinileväkukintojen vaivaamia järviä. Noin kolmannes alueen luokitelluista järvistä on tyydyttävässä tilassa ja noin neljäsosa luokitelluista järvistä on arvioitu olevan vain välttävässä tilassa (kuva 3). Kuitenkin 40 % reitin luokitelluista järvistä on arvioitu olevan ekologiselta tilaltaan erinomaisia tai hyviä. Suurin osa hyväkuntoisista järvistä on pienehköjä. Näin ollen Iisalmen järvipinta-alasta vain noin viidesnes on luokiteltu hyvään tai erinomaiseen tilaan. Tätä huonommassa tilassa olevien järvien pinta-ala on nelinkertainen.

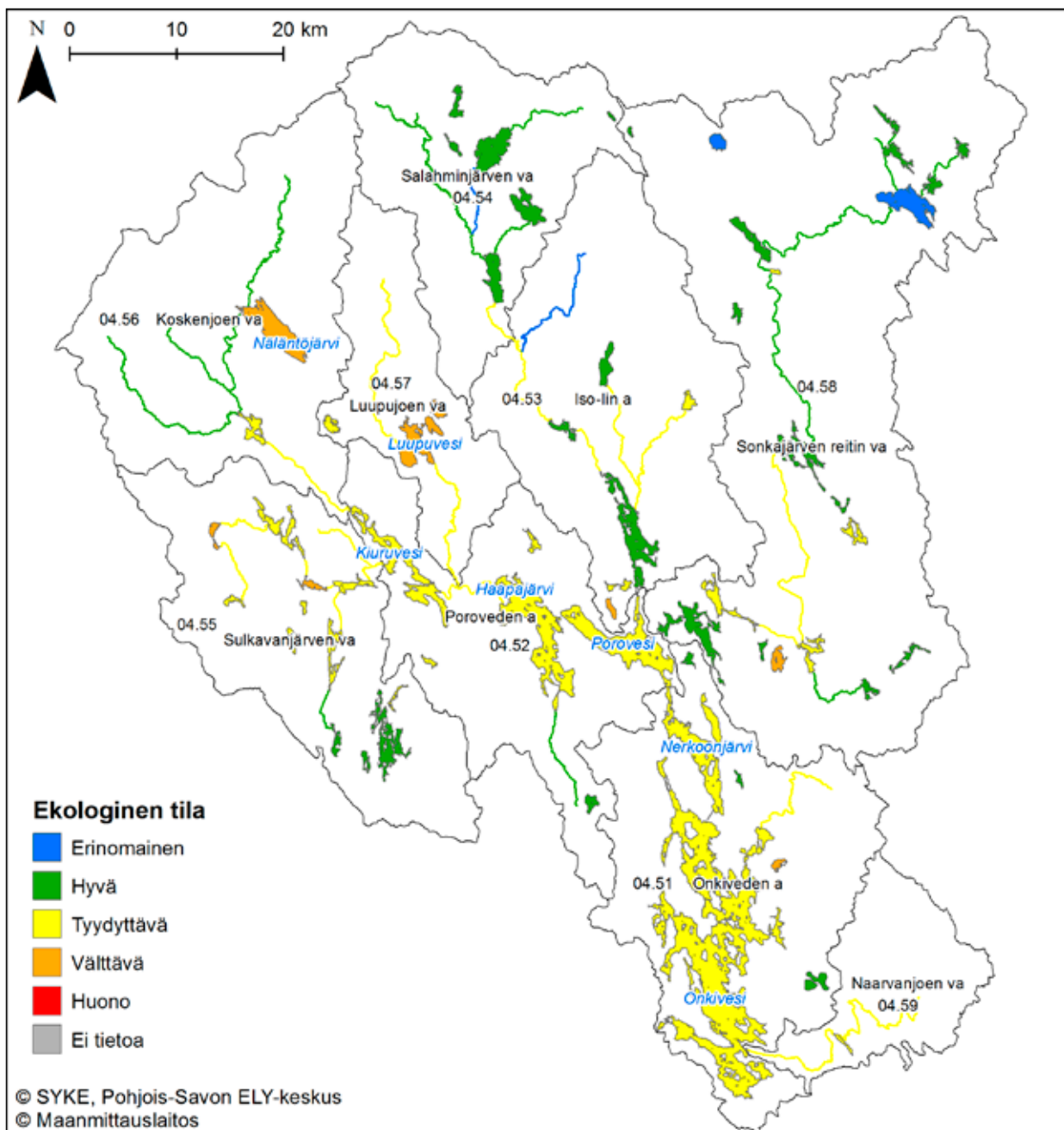
Maatalous on suurimpana vesistökuormituksen aiheuttajana ollut keskeisessä asemassa vesistöjen hoidon ja kunnostamisen kannalta. Ylä-Savon alueella maatalous on kehittynyt voimakkaasti viime vuosikymmenien aikana, mikä lisää myös toiminnan vesien suojelelun tarvetta (Heikkilä 2007). Iisalmen reitillä on valtakunnan tasollakin erittäin merkittäviä maidontuotanto-alueita, sillä Pohjois-Savossa tuotetun maidon osuus valtakunnan tuotannosta on 13,6 % (303 milj. litraa). Maitotilojen lukumäärä on vähentynyt (vuonna 2008, 1695 kpl), mutta tuotettavan maidon määrä on säilynyt samalla tasolla suurempien tuotantoyksiköiden johdosta.



Kuva 2. Fosforikuormituksen jakautuminen lähteisiin Pohjois-Savon vesistöalueilla (VEMALA).

lisalmen vesistöreitin järvistä huomattavan suuri osa kärsii ulkoisen ravinnekuormituksen ohella sisäisestä ravinnekuormituksesta. Vesistöjen pohjasedimentteihin on kertynyt ajan myötä huomattava määrä orgaanista ainesta ja ravinteita, sekä luontaisten prosessien, että ulkoisen kuormituksen lisääntymisen seurauksena. Eloperäisen aineksen hajottaminen on kuluttanut alusveden rajallisia happivarjoja, mistä seurauksena ovat olleet happikato ja sedimenttiin sitoutuneiden ravinteiden vapautuminen veteen. Alusvedestä vapautuneet ravinteet ovat kulkeutuneet päällysveteen levien ja vesikasvien käytettäväksi. Re-

hevöitymisen myötä runsastunut vähempiarvoinen kalasto voimistaa ravinteiden vapautumista erityisesti matalilla alueilla ja vähentää merkittävästi eläinplanktonin määrää, mikä suosii levämäärän kasvua (Keto & Sammalkorpi 1995). Ravinteiden vapautumista pohjasedimentistä edesauttaa myös lisalmen reitin järven luontainen mataluus ja monilla järvilla aikoinaan toteutetut järvenlaskut.



Kuva 3. lisalmen reitin osavalmu-alueet ja vesistöjen ekologinen luokittelu.

3.2 Rehevyyden ja ravinnekuormituksen vähentämistavoitteet

Pohjois-Savon vesienhoidon toimenpideohjelmassa vuosille 2016 – 2021 on asetettu tilatavoitteet ekologiselta tilaltaan hyvää huonommassa tilassa oleville järville ja joille. Järvien tilatavoitteet on asetettu pääosin veden rehevyyden vähentämisen näkökulmasta. Ravinnekuormituksen vähentämistarvetta on arvioitu pääasiassa SYKE:n VEMALA-mallin avulla. Laskennassa tavoitetasona on käytetty ekologisen luokittelun kokonaisfosforin hyvän ja tyydyttävän tilan raja-arvoa. VEMALAn lisäksi on eräillä järville tehty tarkempaa arviointia käyttäen SYKEN kehittämää LLR (LakeLoadResponse) mallia (kts. www.vesinetti.fi ja <http://lakestate.vyh.fi>).

Tässä raportissa tarkasteltavien järvien tilatavoitteet on esitetty yhteenvetona taulukossa 3. Vieremän reitillä olevalle Iso-lille ja Sonkajärven reitillä olevalle Sonkajärvelle ei ole esitetty tilatavoitteita, koska järvet ovat hyvässä ekologisessa tilassa. Kuvassa 4 on esitetty järvien a-klorofylli- ja kokonaisfosforipitoisuuksien vähentämistarpeen lisäksi valuma-aluekohtainen fosforikuormituksen vähentämistarve. Kuormituksen vähentämistarpeen arvioinnissa on huomioitu toisaalta vesistökohtaiset tavoitteet, mutta myös alueiden kuormitusjakauma (ihmisperäisen kuormituksen osuus) ja kuormituksen kulkeutuminen vesistöreiteil-

lä. Esitystavan tavoitteena on esittää kuormituksen vähentämistavoitteiden alueelliset painopisteet, joten vesistökohtaisten vähennystarpeiden arviointiin karttaesityksen perusteella tulee suhtautua kriittisesti.

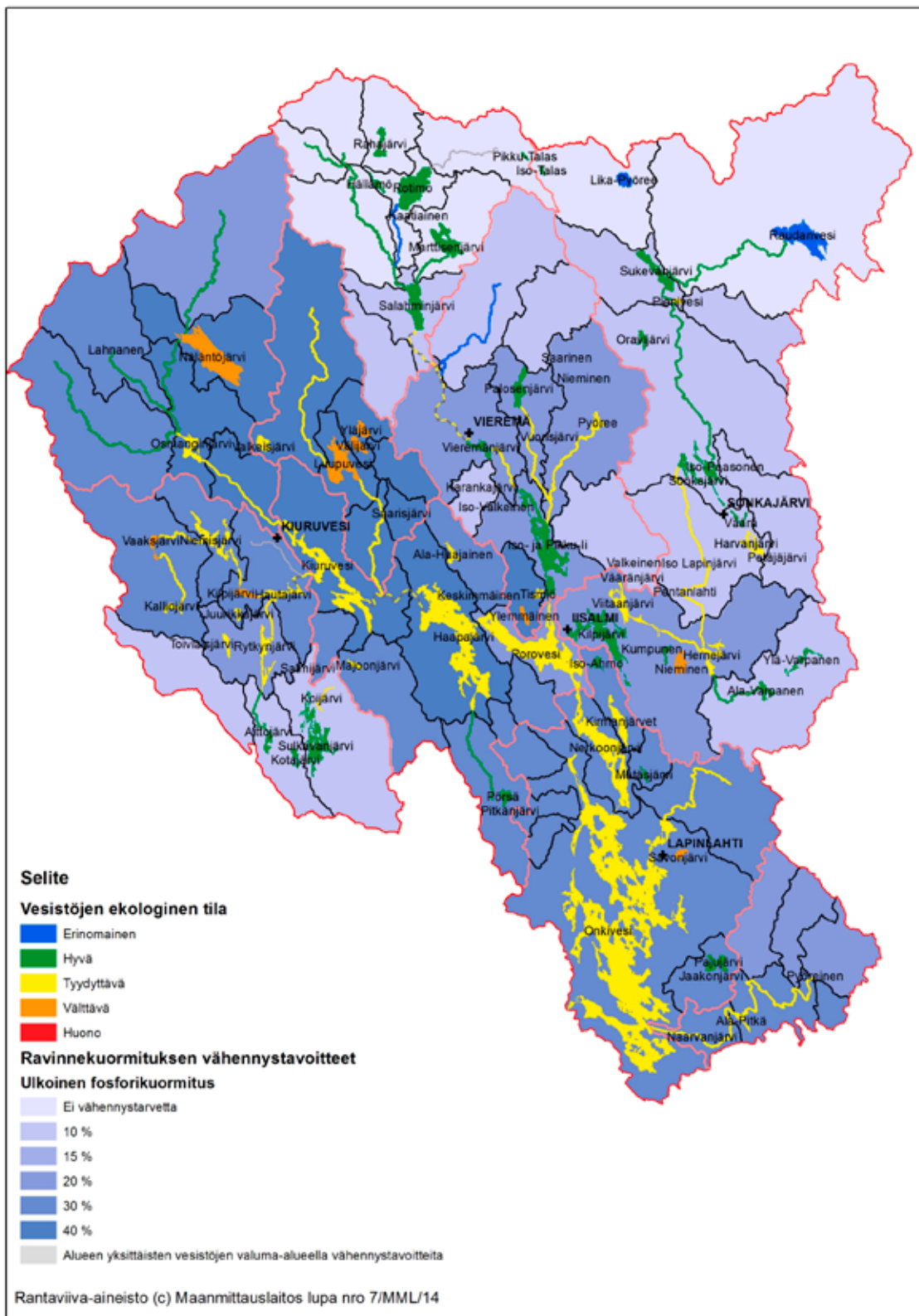
3.3 Säännöstely

Iisalmen reitillä on viisi säännösteltäviä järveä tai järvi-ryhmää (kuva 1, taulukko 4), joista kolmen säännöstelystä vastaa Pohjois-Savon ELY-keskus. Iisalmen reitin säännöstelyjen pääasiallinen tarkoitus on maatalouden tulvasuojelu lukuun ottamatta Salahminjärveä, jonka säännöstelyn päätarkoitus on Salahmin voimalaitoksen vesivoimantuotannon lisääminen.

Tässä selvityksessä tarkastellaan ainoastaan Onki- ja Poroveden säännöstelyn toimivuutta ilmastomuutostilanteessa. Ilmastomuutoksen vaikutuksia Kiuruveden säännöstelyyn on tarkasteltu aiemmin valmistuneessa Kiuruveden säännöstelyn kehittämisselvityksessä ja säännöstelyohjeen toimivuus ilmastomuutostilanteessa tullaan varmistamaan säännöstelyn tarkistamissuunnitelmaa laadittaessa. Hauta-, Kilpi- ja Rytynjärven sekä Salahminjärven säännöstelyn tarkempaa tarkastelua ei ole pidetty tarpeellisena, koska molempien säännöstelyluvut mahdollistavat ilmastomuutokseen sopeutumisen säännöstelykäytännön muutoksilla ilman, että luvan mukaisia säännöstelyrajoja tarvitsee tarkistaa.

Taulukko 3. Tilatavoitteet tarkemmassa tarkastelussa mukana olleille järville, joiden ekologinen tila on heikentynyt (hyvää huonompi). Ulkoisen kuormituksen vähentämistarvetta on arvioitu mallitarkasteluihin (VEMALA ja LLR) perustuen sekä asiantuntija-arviona. Mikäli tavoitetaso toteutuu jo nykyisellään, on merkintänä käytetty ”-”. Arviointitavat ovat 1=LLR, 2=VEMALA ja 3=Asiantuntija-arvio.

Nimi	Fosforipitoisuus (µg/l)		Typpi-pitoisuus (µg/l)		a-klorofyllipitoisuus (µg/l)		Ulkoisen fosforikuormituksen vähennystavoite		Sisäkuormit. väh.tarve	Muu tavoite
	Nyk.	Tav.	Nyk.	Tav.	Nyk.	Tav.	%	Arviointitapa		
Onkivesi	55	-	893	-	36	20	40	1+3	++	
Nerkoonjärvi	47	45	791	750	25	20	10	2+3	+	
Porovesi	48	45	818	750	22	20	10	2+1	+	Lintujärven tavoitteet (vpd-natura)
Haapajärvi	75	45	1068	800	44	25	45	1+2	++	Lintujärven tavoitteet (vpd-natura)
Kiuruvesi	77	55	955	930	28	20	40	1+2	++	
Nälantöjärvi	100	45	1611	800	77	25	60	2	++	
Luupuvesi	92	45	1119	800	43	25	50	2	++	Lintujärven tavoitteet (vpd-natura)



Kuva 4. Fosforikuormituksen vähentämistavoite lisälmen reitillä.

Onki- ja Poroveden säännöstelyn tavoitteena on alentaa maataloudelle haitallisia vedenkorkeuksia. Säännöstely aloitettiin vuonna 1941 ja se on ollut valtion hoidossa vuodesta 1968 lähtien. Säännöstelyluvan nykyinen haltija on Pohjois-Savon ELY-keskus. Säännöstelyä on tarkistettu kolme kertaa säännöstelyn aloittamisen jälkeen. Viimeisin luvan tarkistus tehtiin vuonna 2007, mutta siinä ei huomioitu ilmastomuutoksen mahdollisia vaikutuksia luvan toimivuuteen.

Säännöstely vaikuttaa Onkiveden ja Poroveden lisäksi Poroveden tasossa oleviin Nerkoonjärveen, Haapajärveen ja Iso- ja Pikku-lihin. Onkiveden säännöstelyä hoidetaan Viannankoskessa olevalla padolla. Vesitilanteesta riippuen juoksutuksiin voidaan käyttää myös Ahkionlahden kanavaa. Poroveden tasossa olevat altaat ovat likimain metrin korkeammalla kuin Onkivesi. Porovettä säännöstellään Nerohvirran padolla. Tarvittaessa juoksutuksiin voidaan käyttää myös Nerkoon kanavaa.

Onki- ja Porovedelle on määrätty kiinteä ylä- ja alaraja paitsi tulva-aikana, jolloin vedenkorkeuden

nousua pyritään estämään pitämällä säännöstelypadoit täysin auki. Kevättulvan jälkeen vedenkorkeus on pidettävä luvassa määrättyllä 20 cm vaihteluväyläkeellä joulukuun alkuun saakka. Järvien säännöstelyluvassa on pakollinen kevätalennus, jonka perusteella järvien vedenpintaa alennetaan joulu-huhtikuun aikana 40 – 60 cm. Alennuksen tavoitteena on tehdä järviin varastotilavuutta kevättulvia varten. Käytännössä varastotilavuuden merkitys on pieni, koska järvien pinta-ala suhteessa tulovirtaamahuippuihin on suuri ja järvien purkautumiskyky pienenee vedenpinnan laskeutumisessa.

Onki- ja Poroveden säännöstely on vaikuttanut eniten järvien tulvakorkeuksiin, jotka ovat laskeneet lähes metrin luonnontilaisesta. Tulvan lasku on myös nopeutunut selvästi. Samalla järvien keskivedenkorkeus on laskenut noin 20 cm. Vedenkorkeuden vaihteluväli on nykyisin noin 1,8 m, kun se luonnontilassa oli noin 2,5 m. Säännöstelyjen ja luonnonmukaisten vedenkorkeuksien keskimääräinen ero on noin 30 cm.

Taulukko 4. lisalmen reitin säännöstellyt järvet.

Lupa	Järvi	Vedenkorkeuden vaihtelu keskimäärin (m)	Vesipinta-ala (km ²)	Luvanhaltija
Onki – ja Poroveden säännöstely	Onkivesi	1,2	120	ELY-keskus
Onki – ja Poroveden säännöstely	Porovesi, Nerkoonjärvi ym. samassa tasossa olevat järvet	1,3	80	ELY-keskus
Kiuruveden säännöstely	Kiuruvesi	1,46	15	ELY-keskus
Hauta-, Kilpi- ja Rytynjärven säännöstely	Hautajärvi, Kilpijärvi, Rytynjärvi	1,60	6	Järjestely-yhtiö
Salahminjärvi	Salahminjärvi	1,3	5	Savon Voima

4. Ilmastonmuutoksen vaikutus lisälmen reitin säännösteltyjen järvien vedenkorkeuksiin ja virtaamiin

Ilmastonmuutos vaikuttaa merkittävästi valunnan ja jokien virtaamien vuodenaikaiseen vaihteluun. Talvi- sekä syysvirtaamien kasvun sekä kevään virtaamahuippujen pienenemisen ja aikaistumisen vuoksi säännösteltyjen järvien säännöstelykäytäntöjä ja nykyisiä lupaehtoja joudutaan tarkastelemaan uudelleen eri puolilla Suomea. Sopeutumismahdollisuuksia ilmastonmuutoksen vaikutuksiin säännöstelyissä järvissä on aikaisemmin tutkittu muun muassa WaterAdapt-projektissa (Veijalainen ym. 2012). Tässä raportin osassa tarkastellaan ilmastonmuutoksen vaikutuksia Poro- ja Onkiveden vedenkorkeuksiin ja virtaamiin, nykyisten lupaehtojen toimivuutta ja esittää uusi sopeutuvan säännöstelyn vaihtoehto tarkastelluille järville.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia tarkastellaan vertailujaksolta 1971-2000 lähitulevaisuuden jaksolle 2010-39 ja vuosisadan puoliväliin 2040-69. Tarkasteluissa on käytetty niin sanottua deltachange menetelmää, jossa vertailujakson havaittuja lämpötiloja ja sademääriä on muutettu ilmastoskenaarioiden kuukausittaisten lämpötilojen ja sademäärien muutosten mukaisesti vertailujaksolta tarkasteltaville tulevaisuusjaksoille. Näin saatuja tulevaisuusjaksojen 30 vuoden lämpötiloja ja sademääriä käytetään Vesistömallijärjestelmän (WSFS) hydrologisen mallin (Vehviläinen ym. 2005) lähtötietoina. Tuloksissa tarkasteltaville järville hydrologisella mallilla vertailujaksolle simuloituja vedenkorkeuksia ja virtaamia verrataan tulevaisuusjaksojen vedenkorkeuksiin ja virtaamiin ja tarkastellaan miten säännöstelykäytäntöjä muuttamalla voidaan tulevaisuudessa parantaa järvien vesitilannetta vesiluonnon, virkistyskäytön ja voimatalouden kannalta.

Ilmastoskenaarioiden tuottamien lämpötilan ja sademäärän muutoksien epävarmuutta on tarkasteltu käyttämällä neljää eri ilmastoskenaariota. Pääasiassa laskennat on tehty 19 globaalin ilmastomallin keskiarvoskenaariolla, johon on laskettu kuukausittaisten lämpötilan ja sademäärän muutosten keskiarvot 19 globaalista ilmastomallista. Tämän lisäksi on valittu yhteensä kahdeksasta alueellisesta ilmastoskenaariosta kolme ääriskenaariota: 1) märkä skenaario,

jossa on suuret sademäärän muutokset, 2) lämmin skenaario, jossa on suuret lämpötilan muutokset sekä 3) kylmä skenaario, jossa on pienet lämpötilan muutokset. Ääriskenaarioiden avulla voidaan haarukoida ilmastonmuutokseen liittyvää epävarmuutta ja pohtia parhaita mahdollisia sopeutumiskeinoja ja varautua mahdollisimman hyvin ilmastonmuutoksen aiheuttamiin hydrologisiin vaikutuksiin tulevaisuudessa.

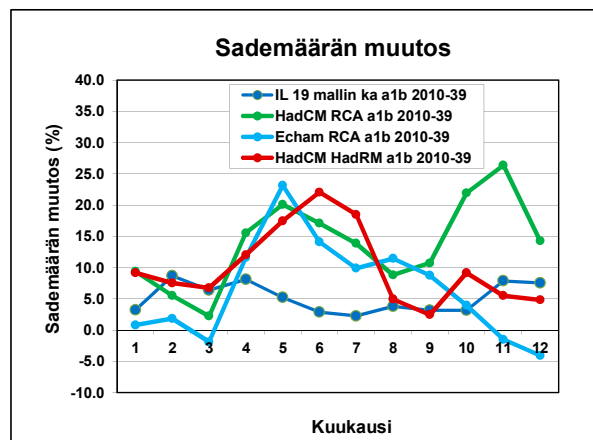
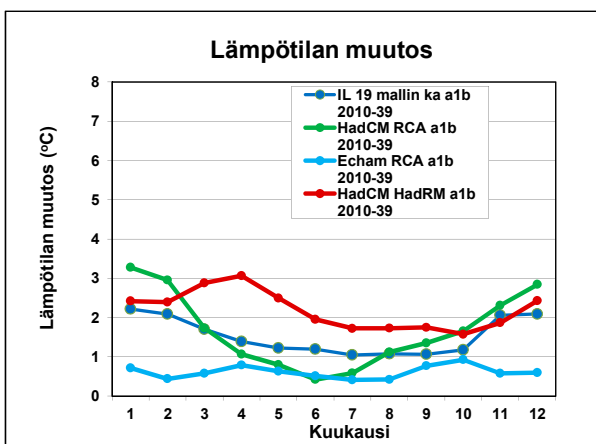
4.1 Lämpötilan ja sademäärän muutokset ilmastoskenaarioissa

Globaalit keskilämpötilat nousevat IPCC:n neljännen arviointiraportin mukaan 2 – 4 °C vasta vuosisadan loppuun mennessä (IPCC, 2007). Ilmastoskenaarioiden perusteella Suomessa lämpötilat nousevat maapallon keskilämpötilaa voimakkaammin, mikä johtuu muun muassa lumi- ja jääpeitteen vähenemisen seurauksena pienenevästä maanpinnan albedosta (Jylhä ym. 2009). Tässä raportissa käytettyjen ilmastoskenaarioiden mukaan vuoden keskilämpötilat lisälmen reitin alueella nousevat vertailujaksolta 1971-2000 jaksolle 2010-39 mennessä 0,5 – 2 °C ja jaksolle 2040-69 mennessä jo 2 – 4 °C. Myös sademäärät kasvavat Suomessa globaaleja keskisademäärän muutoksia nopeammin, koska ilmastoskenaarioiden mukaan ilmavirtaukset tuovat lisää kosteaa ja lämmintä ilmaa keskileveysasteilta pohjoisille leveysasteille. Skenaarioiden perusteella sademäärät kasvavat lisälmen reitillä 5 – 14 % jaksolle 2010-39 ja 12 – 18 % jaksolle 2040-69 mennessä. Tässä raportissa käytetyt alueelliset ilmastoskenaariot ovat ENSEMBLES-projektin tuotoksia (van der Linden ja Mitchell, 2009) ja perustuvat IPCC:n vuonna 2007 julkaisemiin tuloksiin. Vuonna 2013 julkaistun IPCC:n viidennen arviointiraportin tulosten perusteella (IPCC 2013) Suomessa lämpötilan ja sademäärän muutokset tämän vuosisadan puoliväliin mennessä eivät ole muuttuneet mer-

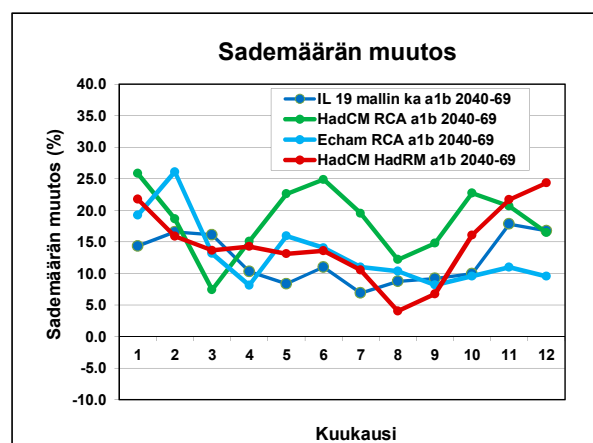
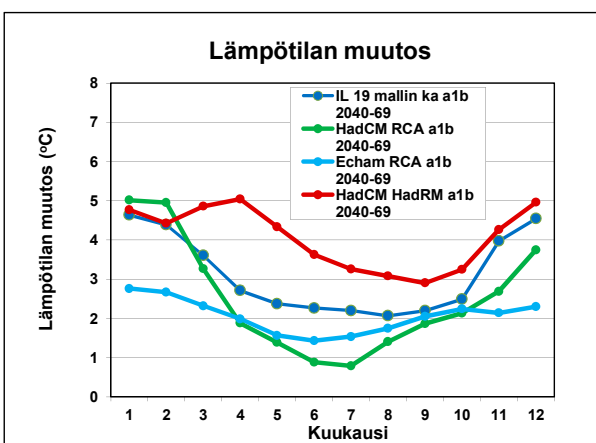
kittävästi edellisen raportin tuloksista kesäkuukausien hieman aiempaa voimakkaampaa lämpenemistä lukuun ottamatta (Ruosteenoja 2013).

Kuvissa 5 ja 6 on esitetty raportissa käytettyjen ilmastoskenaarioiden tuottamat keskimääräiset kuukausittaiset lämpötilan ja sademäärän muutokset molemmille tarkastelujaksoille 2010-39 ja 2040-69. Ääriskenaarioista mörässä skenaariossa (HadCM RCA) on suurimmat vuotuiset sademäärän muutokset molemmilla tarkastelujaksoilla. Vastaavasti kylmässä skenaariossa (Echam RCA) ja lämpimässä skenaariossa (HadCM HadRM) on pienimmät ja suurimmat

lämpötilan muutokset molemmille ajanjaksoille. Erot lämpötilan ja sademäärän muutoksissa eri vuodenaikoina tulee paremmin esille vasta vuosisadan puolivälillä. Suurimmat lämpötilan ja sademäärän muutokset ajoittuvat kaikissa skenaarioissa talvikuukausille. Lämpötilat nousevat talvisin noin 2,5 - 4,5 °C ja sademäärät kasvavat noin 16 – 21 %. Kesäisin lämpötilat nousevat vähiten, 1,0 – 3,5 °C. Sademäärän osalta suurempi luonnollinen vaihtelu vaikuttaa kuukausittaisiin muutoksiin eikä vuodenaikojen välillä ole niin selkeitä eroja kuin lämpötilan osalta.



Kuva 5a ja 5b. Lämpötilan ja sademäärän muutokset vertailujaksolta 1971-2000 jaksolle 2010-39 neljällä eri skenaariolla, keskiarvoskenaariolla (IL 19 mallin ka a1b) sekä kylmällä (Echam RCA a1b), lämpimällä (HadRM HadCM a1b) ja mörällä skenaariolla (HadCM RCA a1b).



Kuva 6a ja 6b. Lämpötilan ja sademäärän muutokset vertailujaksolta 1971-2000 jaksolle 2040-69 neljällä eri skenaariolla, keskiarvoskenaariolla (IL 19 mallin ka a1b) sekä kylmällä (Echam RCA a1b), lämpimällä (HadRM HadCM a1b) ja mörällä skenaariolla (HadCM RCA a1b).

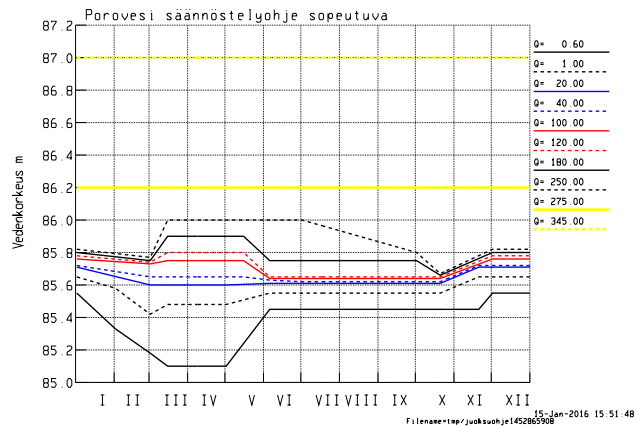
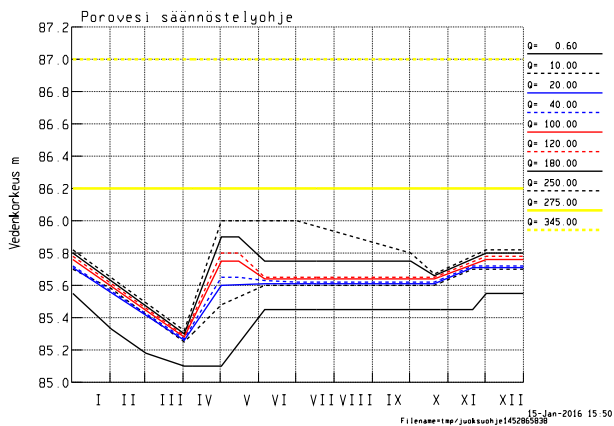
4.2 Säännöstelyohjeet

Säännöstelyjen järvien lähtövirtaama lasketaan Vesisäätömallijärjestelmässä yksinkertaisen säännöstelyohjeen avulla (kuvat 7 ja 8), jossa lähtövirtaaman suuruus riippuu järven vedenkorkeudesta ja päivämäärästä. Simuloinneissa käytetään koko 30 vuoden ajan samoja säännöstelyohjeita, joten lyhytaikaisäännöstelyn vaikutuksia ei näissä tarkasteluissa huomioida.

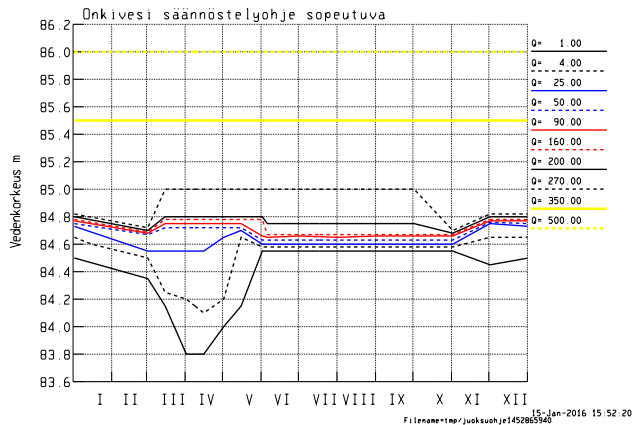
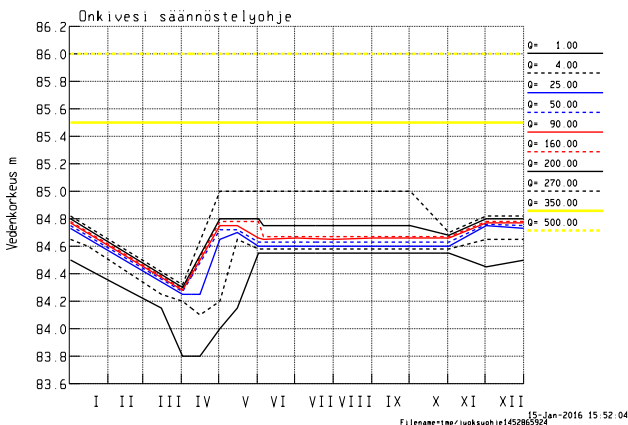
Vertailujaksolle säännöstelyohjeet on laadittu toimimaan nykyisten lupaehtojen mukaan ja niin, että vedenkorkeudet ja virtaamat vastaavat suurin piirtein viime vuosien säännöstelykäytäntöjä. Tulevaisuusjaksoilla simuloinnit on tehty aluksi samalla säännöstelyohjeella kuin vertailujaksolla, jotta ilmastomuutoksen vaikutukset vedenkorkeuksiin ja virtaamiin tulevat mahdollisimman hyvin esille. Tämän jälkeen simuloinnit on tehty uudelleen käyttäen ilmastomuutokseen sopeutuvaa säännöstelyohjetta, jossa ei enää noudateta nykyisiä lupaehtoja. Tarkoituksena on tarkastella voidaanko säännöstelykäytäntöjä ja lupaehtoja muut-

tamalla päästä parempiin tuloksiin Poro- ja Onkiveden säännöstelyn kannalta. Sopeutuvassa säännöstelyssä säännöstelyohjeita on muutettu Poro- ja Onkiveden osalta ainoastaan nykyisten lupaehtojen määräämän kevätkuopan poistamisella.

Säännöstelypatojen lisäksi molemmista järvisistä voidaan lisätä juoksutuksia tulva-aikana kanavajuoksutusten avulla. Kanavajuoksutukset ovat malliin määritelty seuraaville tasoille: Nerkoon kanavasta (Poroveden ja Nerkoonjärven juoksutus) juoksutetaan 50,0 m³/s, jos vedenkorkeus ylittää tason NN + 86,20 m ja 100,0 m³/s, jos vedenkorkeus ylittää tason NN + 86,40 m. Ahkionlahden kanavasta (Onkiveden juoksutus) juoksutetaan 50,0 m³/s tasolla NN + 84,90 m ja 100,0 m³/s tasolla NN + 85,10 m. Kanavajuoksutuksia on vertailujaksolla aikana jouduttu tekemään tyypillisesti hieman keskimääräistä suuremman kevättulvan aikaan. Ilmastomuutoksen vaikutuksesta kevättulvat pienenevät, mutta kanavajuoksutuksia voidaan joutua tekemään talvisin, jos kasvavat talviviautumat nostavat vedenkorkeuden säännöstelyrajan yläpuolelle.



Kuva 7. Poroveden säännöstelyohjeet. Vertailujakso vasemmalla ja sopeutuva säännöstely oikealla.



Kuva 8. Onkiveden säännöstelyohjeet. Vertailujakso vasemmalla ja sopeutuva säännöstely oikealla.

4.3 Ilmastonmuutoksen ja säännöstelytavan vaikutukset

4.3.1 Vedenkorkeudet ja virtaamat jaksoilla 2010-39 ja 2040-69

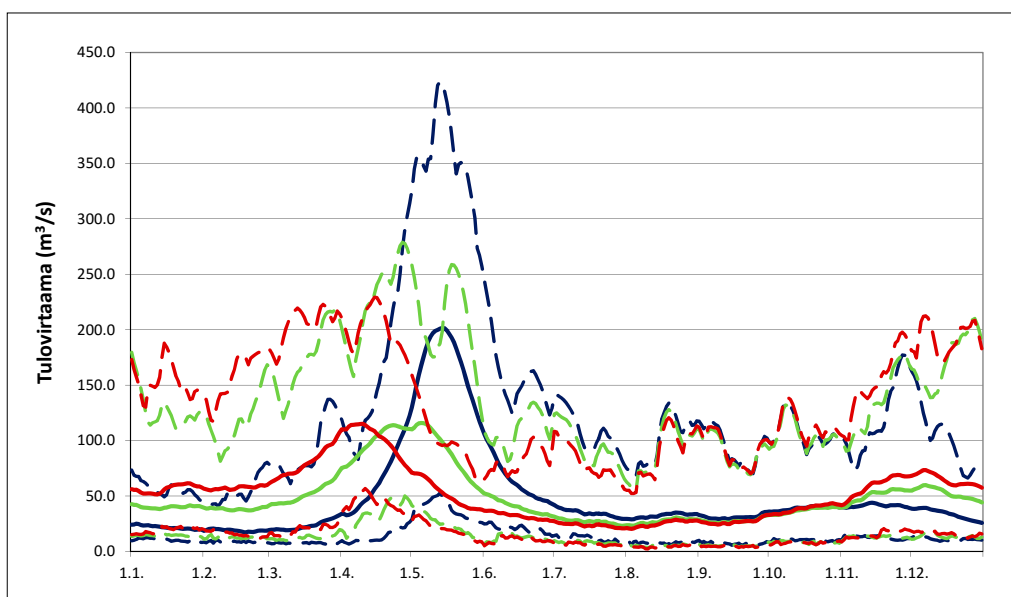
Ilmastonmuutoksen merkittävimmät hydrologiset vaikutukset lisälmen reitin järvissä ovat tulovirtaamien kasvu talvella ja keväällä tulovirtaamahuippujen pieneminen ja aikaistuminen. 19 globaalien ilmastomallien keskiarvoskenaariossa sekä useimmilla muilla skenaarioilla kesän tulovirtaamat pienenevät kesäkauden pitenemisen ja haihdunnan kasvun myötä ja syksyllä virtaamat kasvavat sademäärien lisääntyessä. Nämä muutokset näkyvät selvästi jo vertailujaksolta siirryttäessä jaksolle 2010-39 ja korostuvat entisestään jaksolla 2040-69 (kuva 9).

Kuvissa 9-13 on esitetty Poroveden tulovirtaaman, vedenkorkeuden ja lähtövirtaaman sekä Onkiveden vedenkorkeuden ja lähtövirtaaman päivittäiset keskiarvot, minimi- ja maksimit vertailujaksolla sekä tulevaisuusjaksoilla 2010-39 ja 2040-69 nykyisten lupaehtojen mukaisilla säännöstelyohjeilla. Kuvassa 10 näkyy, kuinka vedenkorkeutta pyritään laskemaan talven aikana lupaehtojen määräämään kevätkuopan mukaisesti. Kuitenkin joinakin vuosina jaksolla 2010-39 ja useampina vuosina jaksolla 2040-69 vedenkorkeus lähtee nousemaan jo ennen huhtikuun alkuun sijoite-

tun kevätkuopan pohjan saavuttamista, koska tulovirtaama ylittää Nerohvirran padon luukkujen maksimipurkautumiskäyrän. Vastaavasti tulovirtaamat ylittävät myös Viannankosken padon maksimipurkautumiskäyrän ja Onkiveden vedenkorkeudet lähtevät nousuun useina vuosina jo lähitulevaisuuden jaksolla 2010-39 ennen kevätkuopan pohjan saavuttamista. Tulvahuiput jäävät kuitenkin jo lähitulevaisuudessa selvästi vertailujakson huippuja pienemmiksi, mikä viittaa siihen, että kevätkuopan tekeminen jää useina vuosina tarpeettomaksi.

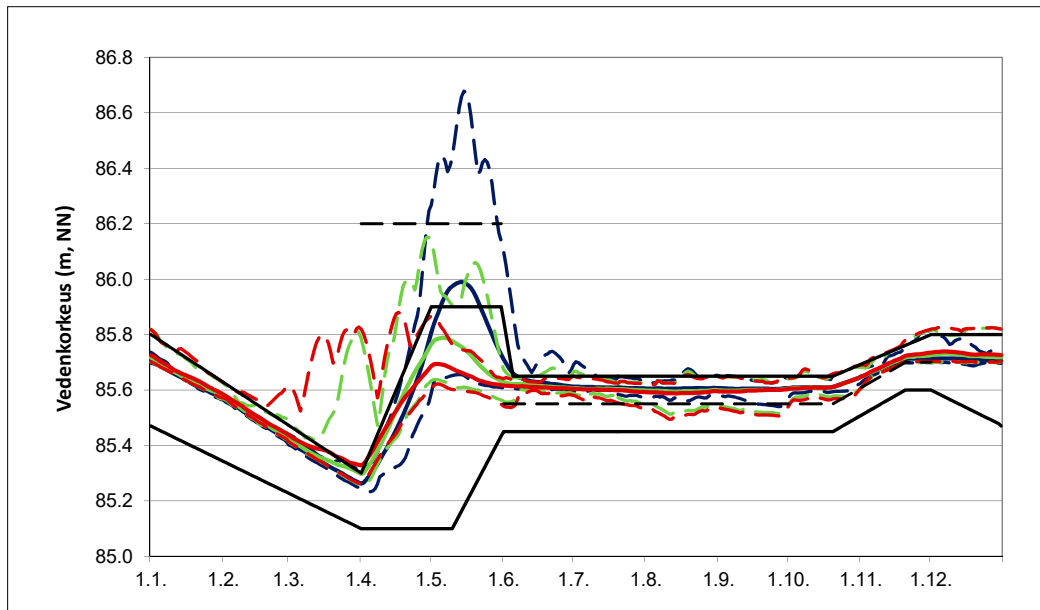
Poroveden kesän tulovirtaamien pieneminen keskiarvoskenaariossa (kuva 9) laskee hieman Poroveden alimpia kesävedenkorkeuksia (kuva 10), mikäli säännöstelyn avulla ei pienennetä juoksutuksia kuivimpien kesien aikana. Sen sijaan kevättulvan aikaistumisen johdosta vedenkorkeudet niin Poro- kuin Onkivedelläkin laskevat aiemmin kesän virkistyskäytön kannalta suotuisille korkeuksille, mikä pidentää järvi- en virkistyskäyttöaika.

Syksyn ja alkutalven tulovirtaamien kasvu voi puolestaan nostaa molempien tarkasteltujen järvien vedenkorkeuksia joinakin vuosina säännöstelyrajan yläpuolelle. Mikäli säännöstelyrajan rikkomista ja suuria juoksutuksia alapuoliseen vesistöön alkutalven aikana halutaan välttää, voitaisiin nykykäytäntöjen mukaista alkutalven vedenkorkeuksien nostoa pienentää ja jättää molempiin järviin enemmän varastotilavuutta talvitulvien varalle.

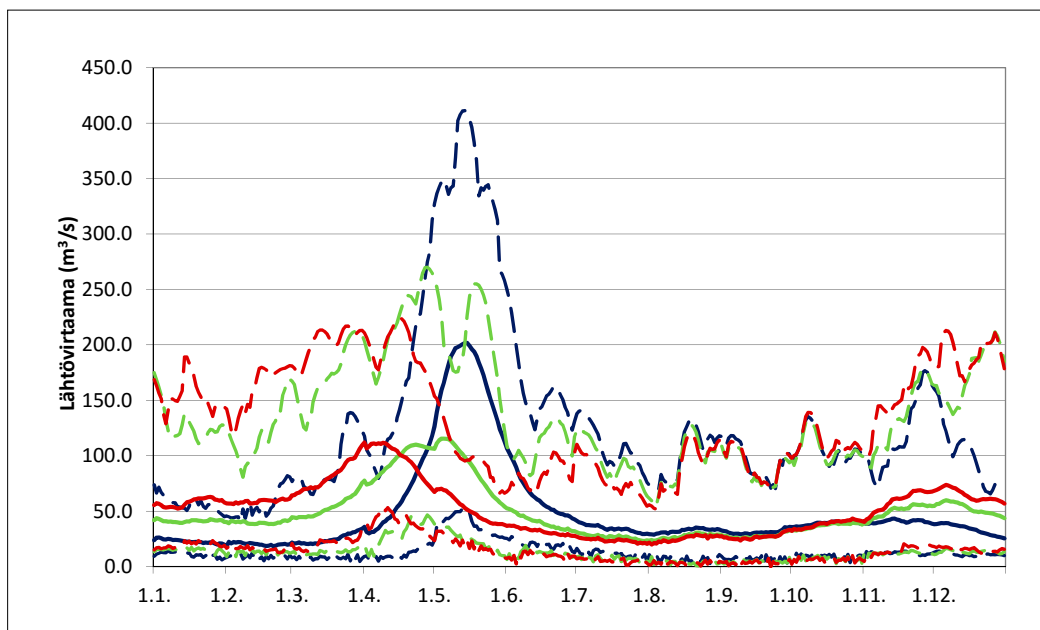


Kuva 9. Poroveden tulovirtaamien päivittäiset maksimi-, minimi- ja keskiarvot jaksolla 2010-39 (vihreät käyrät), jaksolla 2040-69 (punaiset käyrät) verrattuna vertailujakson 1971-2000 (siniset käyrät) arvoihin.

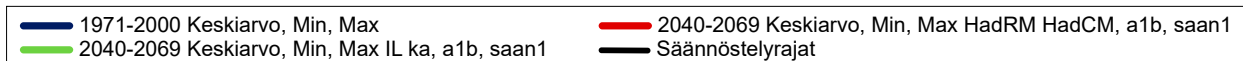


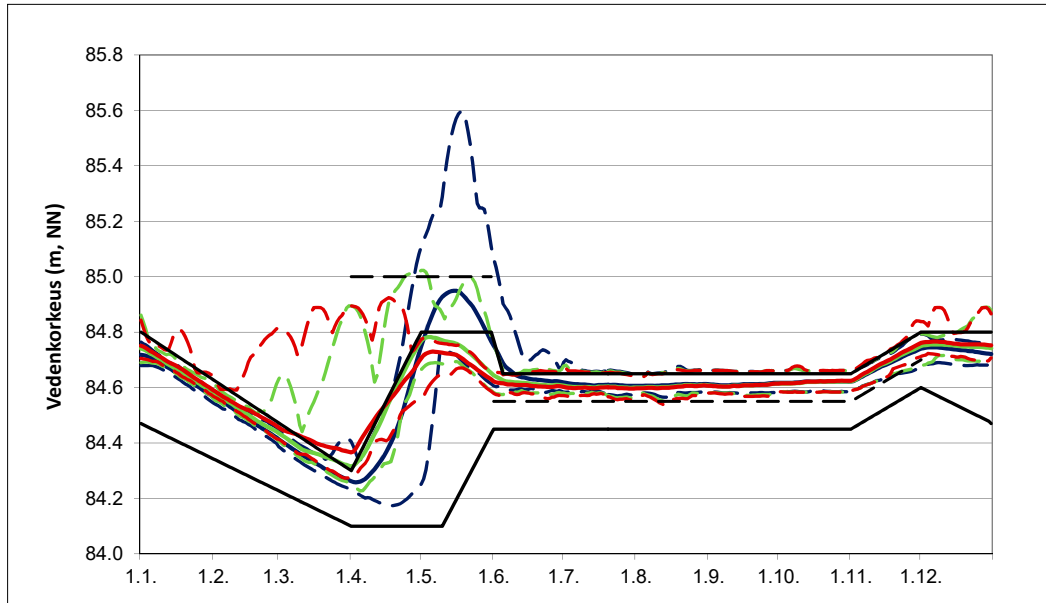


Kuva 10. Poroveden vedenkorkeuden päivittäiset maksimi-, minimi- ja keskiarvot jaksolla 2010-39 (vihreät käyrät), jaksolla 2040-69 (punaiset käyrät) lupaehtojen mukaisella säännöstelyllä verrattuna vertailujakson 1971-2000 (siniset käyrät) arvoihin.



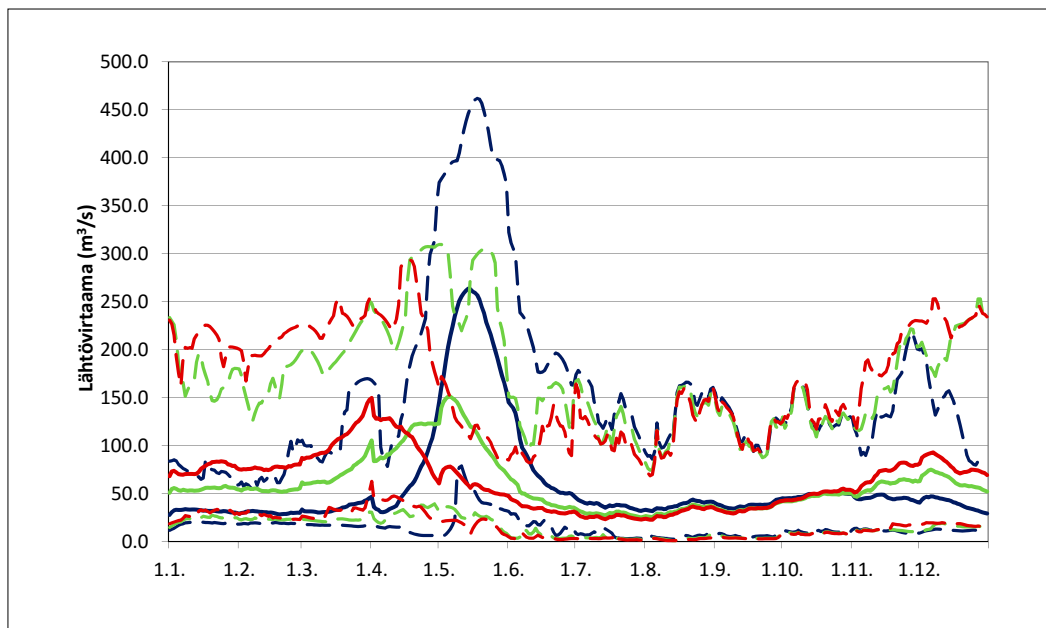
Kuva 11. Poroveden lähtövirtaamien päivittäiset maksimi-, minimi- ja keskiarvot jaksolla 2010-39 (vihreät käyrät), jaksolla 2040-69 (punaiset käyrät) lupaehtojen mukaisella säännöstelyllä verrattuna vertailujakson 1971-2000 (siniset käyrät) arvoihin.





Kuva 12. Onkiveden vedenkorkeuden päivittäiset maksimi-, minimi- ja keskiarvot jaksolla 2010-39 (vihreät käyrät), jaksolla 2040-69 (punaiset käyrät) lupaehtojen mukaisella säännöstelyllä verrattuna vertailujakson 1971-2000 (siniset käyrät) arvoihin.

— 1971-2000 Keskiarvo, Min, Max	— 2040-2069 Keskiarvo, Min, Max HadRM HadCM, a1b, saan1
— 2040-2069 Keskiarvo, Min, Max IL ka, a1b, saan1	— Säännöstelyrajat



Kuva 13. Onkiveden lähtövirtaamien päivittäiset maksimi-, minimi- ja keskiarvot jaksolla 2010-39 (vihreät käyrät), jaksolla 2040-69 (punaiset käyrät) lupaehtojen mukaisella säännöstelyllä verrattuna vertailujakson 1971-2000 (siniset käyrät) arvoihin.

— 1971-2000 Keskiarvo, Min, Max	— 2040-2069 Keskiarvo, Min, Max HadRM HadCM, a1b, saan1
— 2040-2069 Keskiarvo, Min, Max IL ka, a1b, saan1	— Säännöstelyrajat

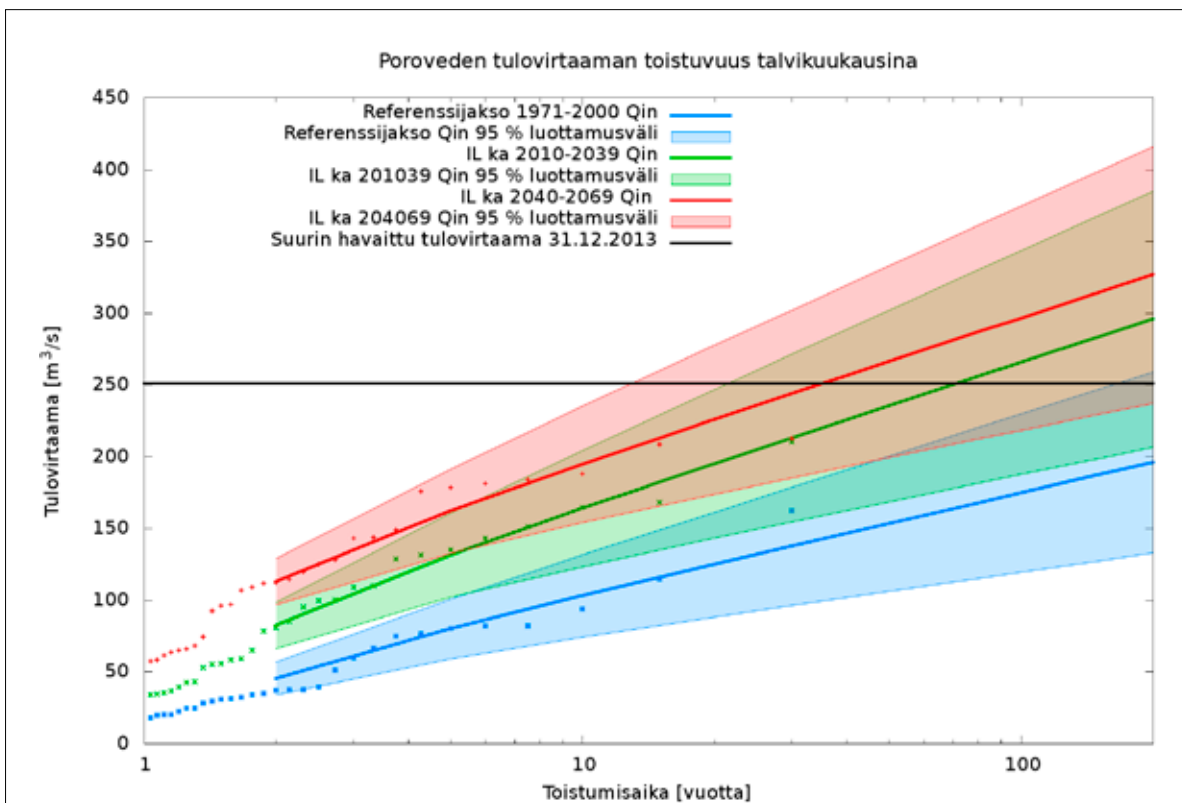
4.3.2 Vuodenvaihteen 2013-2014 tulovirtaamahuippu

Virtaamien kasvu talvella on kevään tulvahuippujen pientymisen ja aikaistumisen ohella merkittävimpiä ilmastomuutoksen hydrologisia vaikutuksia lisälmen reitin vesistössä. Vuosien 2013-2014 vaihteessa lisälmen reitillä koettiin poikkeuksellinen talvitulva. Esimerkiksi Sonkajärven vedenkorkeushavaintojen perusteella tulvahuippu nousi noin keskimäärin kerran 200 vuodessa toistuvalla tasolle (1/200) NN + 98,45 m, kun tarkastellaan talvikuukausien (joulukuu-helmikuu) maksimivedenkorkeuksia jaksolla 1972-2000. Mikäli 2000-luvun ensimmäinen vuosikymmen otetaan mukaan tarkasteluun, tulvahuipun toistuvuudeksi saadaan noin 1/100 vuodessa. Voidaan siis puhua vuodenaikaan nähden poikkeuksellisesta tulvatilanteesta.

Tulvatilanne nosti myös Poroveden ja Onkiveden vedenkorkeuksia vuoden aikaan nähden poikkeuksellisen korkeille tasoille, mikä pakotti luvan mukaisesti suuriin juoksutuksiin. Onkivedellä yli 250 m³/s juoksutuksia jatkettiin 11 vuorokauden ajan vielä vuodenvaihteen jälkeen vedenkorkeuden laskemiseksi säännöstelyrajan alapuolelle. Suurten juoksutusten johdosta Maaninkajärven vedenkorkeus nousi NN + 82,30 m tasolle, kun samaan aikaan Kallaveden pinta oli noussut tulvakorkeuteen NN + 82,22 m.

Poroveden vuoden vaihteen 2013-2014 talvitulovirtaaman toistuvuutta on tarkasteltu Gumbelin jakaumalla ja sen antamalla 95 % luottamusväillä kuvassa 14 vertailujaksolle 1971-2000 sekä tulevaisuusjaksoille 2010-39 ja 2040-69 simuloitujen tulovirtaamien avulla perustuen 19 globaalin ilmastomallin keskiarvoskenaarioon. Tulosten perusteella vuodenvaihteessa 2013-2014 havaittu talvitulovirtaamien ennätys olisi vertailujaksolla 1971-2000 toteutuessaan ollut erittäin poikkeuksellinen, harvinaisempi kuin 1/150 vuodessa toistuva talvitulovirtaama. Jaksolla 2010-39 kyseisen talvitulovirtaaman toistuvuus olisi edelleen poikkeuksellinen, noin 1/70 vuodessa toistuva. Jaksolla 2040-69 tämän kaltaiset talvitulovirtaamat yleistyvät entisestään ja toistuvuus kyseisellä jaksolla olisi vain 1/30 vuodessa eikä tämän kaltaisia talvitulovirtaamia keskiarvoskenaarion perusteella pidettäisi poikkeuksellisina enää tämän vuosisadan puolivälissä.

Tulovirtaamien toistuvuuksien tarkasteluun liittyy luonnollisesti epävarmuutta, minkä vuoksi kuvassa 14 on esitetty Gumbelin käyrät vain korkeintaan 1/200 vuodessa toistuville tulville. Yleisesti ottaen 30 vuoden jakson maksimivirtaamista voidaan arvioida luotettavasti noin 1/60-1/100 vuodessa toistuvia tulvia. Vertailussa on toistuvuuden arvioinnissa käytetty mallin laskemia maksimitulovirtaamia, joissa on myös luonnollisesti epävarmuutta verrattaessa vuodenvaihteen



Kuva 14. Gumbelin jakauman mukaiset Poroveden talvitulovirtaamien (joulukuu-helmikuu) toistuvuudet vertailujaksolla ja ilmastomuutosjaksoilla 19 globaalin ilmastomallin keskiskenaariolla (IL ka)

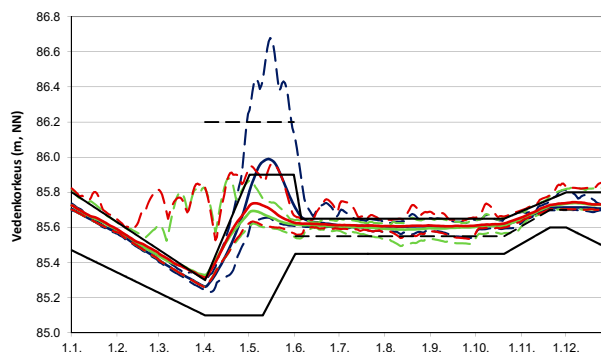
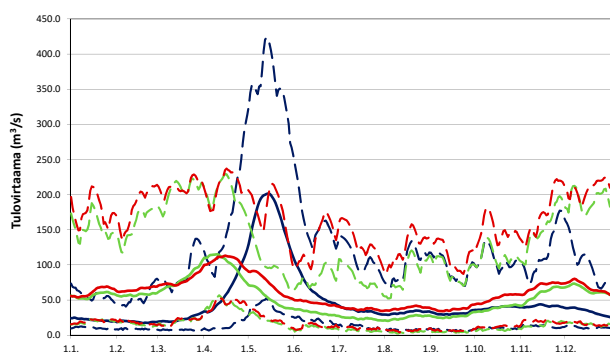
2013-2014 havaittuun tulovirtaamaan. Tarkastelussa virtaamien toistuvuudessa on käytetty talvikuukausien jaksoa (joulukuu-helmikuu). Jos tarkasteltaisiin koko vuoden tulovirtaamien toistuvuuksia, olisi vuodenvaihteen 2013-2014 tulovirtaaman toistuvuus vertailujaksolla ollut noin kerran kahdessa vuodessa toistuva tulva.

4.3.3 Ääriskenaariot jaksolla 2040-69

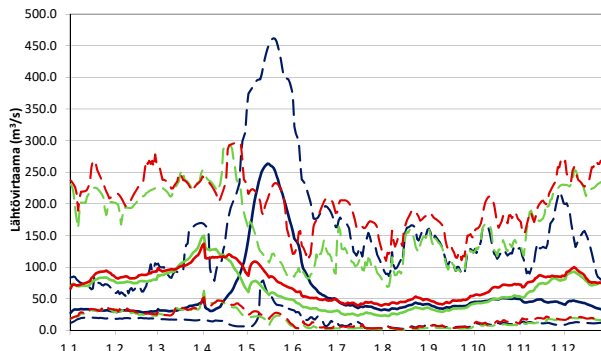
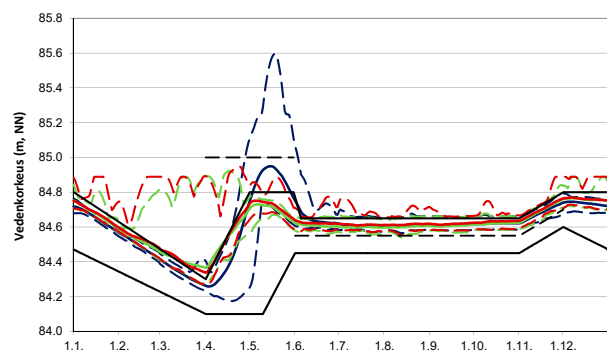
Ilmastoskenaarioiden tuloksiin vaikuttavat ilmastomallien pakotteena käytettyjen päästöskenaarioiden (SRES-skenaariot) lisäksi eri ilmastomallien ilmastofysikaaliseen kuvaukseen liittyvät erot sekä ilmastoluonnollinen vaihtelu. Eri päästöskenaarioihin liittyvät erot ovat vuosisadan puoliväliin mennessä vielä pieniä verrattuna eri ilmastomallien välisiin eroihin sekä luonnollisen vaihtelun tuloksiin tuomaan epävarmuuteen. Ilmastomallien tuottamiin lämpötilojen ja sademäärien muutoksiin liittyvää epävarmuutta on tässä raportissa tarkasteltu valitsemalla kahdeksan alueellisen ilmastoskenaarion joukosta kolme ääriskenaariota. Märäksi skenaarioksi (RCA HadCM) on valittu skenaario, joka tuottaa kaikkein suurimmat sademäärän muutokset.

Lämpimäksi skenaarioksi (HadRM HadCM) on valittu skenaario, joka tuottaa suurimmat lämpötilan muutokset ja kylmäksi skenaarioksi (RCA Echam) skenaario, joka tuottaa pienimmät lämpötilan muutokset. Alla olevissa kuvissa näitä ääriskenaarioiden tuloksia jaksolle 2040-69 on verrattu 19 globaalin ilmastomallin keskiarvoskenaarioon, jonka tuloksia jaksolle 2010-39 ja 2040-69 on esitetty edellä.

Märkä skenaario tuottaa 19 globaalin ilmastomallin keskiarvoskenaarion tuloksiin verrattuna suurempia tulovirtaamia kesällä, syksyllä ja talvella (kuva 15a). Kevättulvien suuruus on samaa luokkaa kuin keskiarvoskenaariossa, mutta ne ajoittuvat joinakin vuosina hieman myöhempään ajankohtaan. Alimmat kesävedenkorkeudet eivät laske tässä skenaariossa yhtä paljon kuin keskiarvoskenaariossa (kuvat 15b ja 16a). Suurempien tulovirtaamien johdosta säännötelyn yläraja rikkoutuu määrässä skenaariossa useammin niin kesällä, syksyllä kuin talvellakin. Lähellekään vertailujakson kaltaisia kevättulvakorkeuksia ei Poro- ja Onkiveden vedenpintojen pitäisi tämänkään skenaarion mukaan nousta enää vuosisadan puolivälissä.

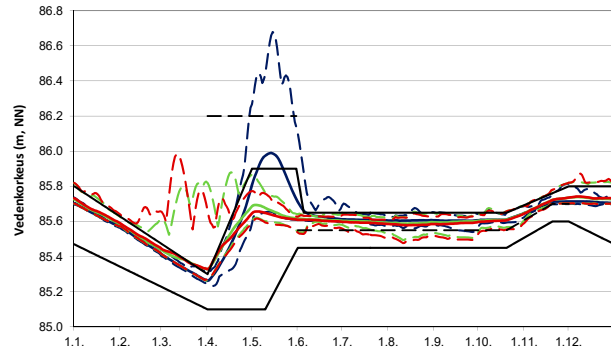
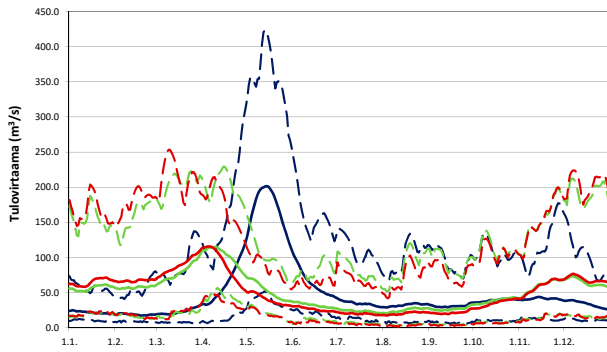


Kuva 15. Märän skenaarion (HadCM RCA) lämpötilan ja sademäärän muutoksilla simuloitujen Poroveden tulovirtaamien ja vedenkorkeuksien päivittäiset maksimi-, minimi- ja keskiarvot jaksolla 2040-69 (punaiset käyrät) verrattuna keskiarvoskenaarion (vihreät käyrät) ja vertailujakson (siniset käyrät) arvoihin.

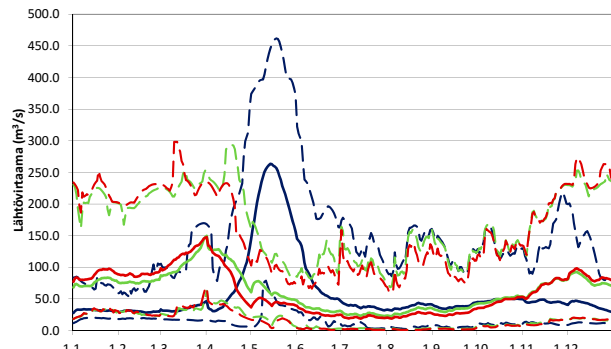
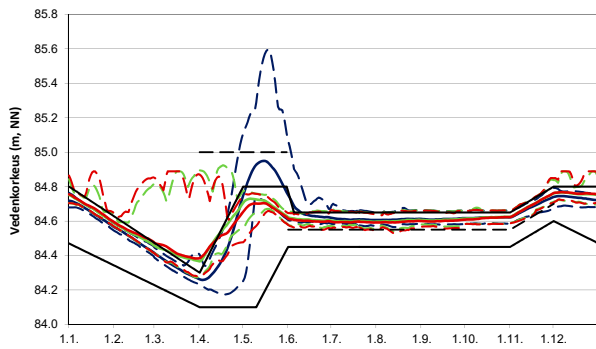


Kuva 16. Märän skenaarion (HadCM RCA) lämpötilan ja sademäärän muutoksilla simuloitujen Onkiveden vedenkorkeuksien ja lähtövirtaamien päivittäiset maksimi-, minimi- ja keskiarvot jaksolla 2040-69 (punaiset käyrät) verrattuna keskiarvoskenaarion (vihreät käyrät) ja vertailujakson (siniset käyrät) arvoihin.

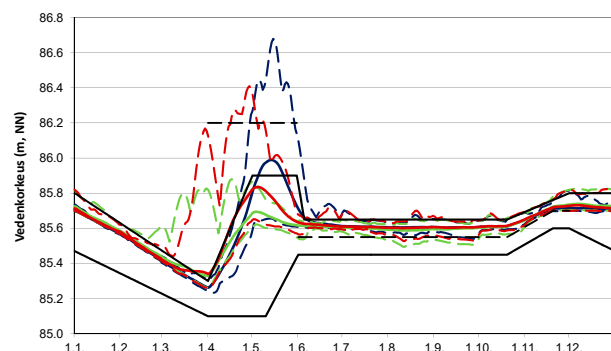
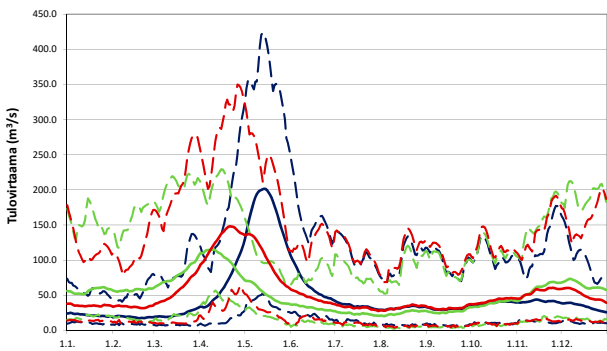
— 1971-2000 Keskiarvo, Min, Max	— 2040-2069 Keskiarvo, Min, Max HadRM HadCM, a1b, saan1
— 2040-2069 Keskiarvo, Min, Max IL ka, a1b, saan1	— Säännöstelyrajat



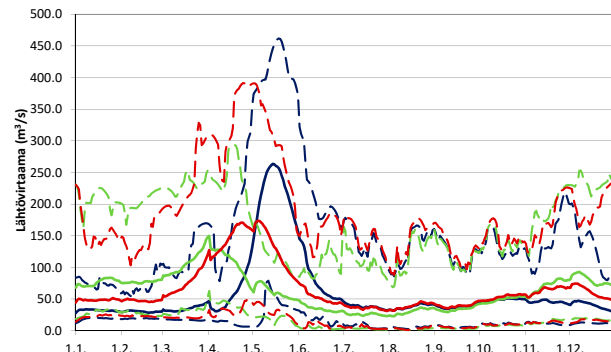
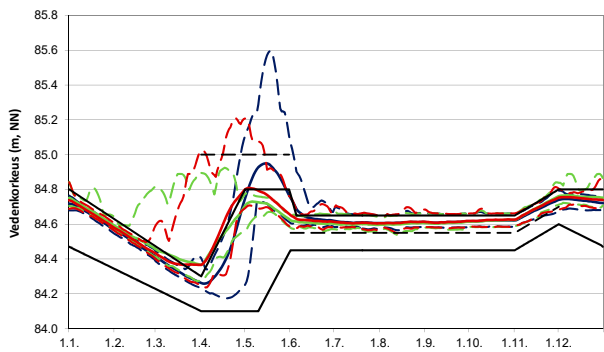
Kuva 17. Lämpimän skenaarion (HadCM HadRM) lämpötilan ja sademäärän muutoksilla simuloitujen Poroveden tulovirtaamien ja vedenkorkeuksien päivittäiset maksimi-, minimi- ja keskiarvot jaksolla 2040-69 (punaiset käyrät) verrattuna keskiarvoskenaarion (vihreät käyrät) ja vertailujakson (siniset käyrät) arvoihin.



Kuva 18. Lämpimän skenaarion (HadCM HadRM) lämpötilan ja sademäärän muutoksilla simuloitujen Onkiveden vedenkorkeuksien ja lähtövirtaamien päivittäiset maksimi-, minimi- ja keskiarvot jaksolla 2040-69 (punaiset käyrät) verrattuna keskiarvoskenaarion (vihreät käyrät) ja vertailujakson (siniset käyrät) arvoihin.



Kuva 19. Kylmän skenaarion (Echam RCA) lämpötilan ja sademäärän muutoksilla simuloitujen Poroveden tulovirtaamien ja vedenkorkeuksien päivittäiset maksimi-, minimi- ja keskiarvot jaksolla 2040-69 (punaiset käyrät) verrattuna keskiarvoskenaarion (vihreät käyrät) ja vertailujakson (siniset käyrät) arvoihin.



Kuva 20. Kylmän skenaarion (Echam RCA) lämpötilan ja sademäärän muutoksilla simuloitujen Onkiveden vedenkorkeuksien ja lähtövirtaamien päivittäiset maksimi-, minimi- ja keskiarvot jaksolla 2040-69 (punaiset käyrät) verrattuna keskiarvoskenaarion (vihreät käyrät) ja vertailujakson (siniset käyrät) arvoihin.



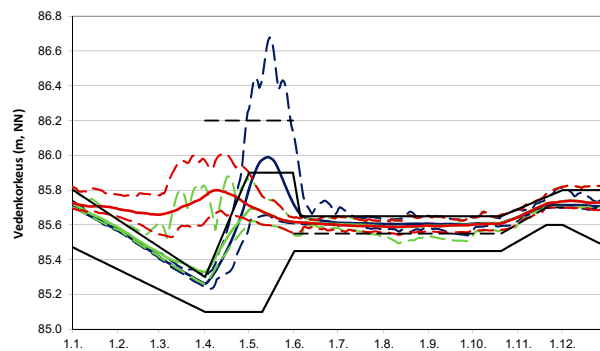
Lämpimässä skenaariossa talvet leudontuvat huomattavasti muita skenaarioita enemmän, mikä johtaa suurempiin tulovirtaamiin talvella ja toisaalta vähäisemmän lumen kertymisen ja aikaisemman kevään myötä kuivempiin ja vähävetisempiin kesiin (kuvat 17 ja 18). Alimmat kesävedenkorkeudet laskevatkin tässä skenaariossa hieman muita skenaarioita alemmaksi ja toisaalta suurimmat talvitulovirtaamat kasvavat hieman keskiarvoskenaariota enemmän. Erot keskiarvoskenaarioon jäävät kuitenkin Poro- ja Onkivedellä suhteellisen pieniksi.

Kylmä skenaario poikkeaa selvästi eniten muista skenaarioista. Vaikka tässäkin skenaariossa kevät- tulvat aikaistuvat 2-4 viikkoa vertailujakson tulvista, niin talvella kertyneen lumimäärän ja kasvavien kevätstateiden johdosta kevättulvat säilyvät suurina vielä vuosisadan puolivälissä (kuvat 19 ja 20). Kylmän skenaarion mukaan vielä vuosisadan puoliväliin ulottuvalla jaksollakin on syytä varautua lumisiin talviin ja niin Poro- kuin Onkivedelläkin kevätkuopan tekoon talvella kertyneen lumen vesiarvon ja tulovirtaamaenusteiden perusteella. Tämän skenaarion mukaan kevätkuopan tekoa voitaisiin kuitenkin aikaistaa vertailujaksoon verrattuna, sillä tulovirtaamat nousevat lumen sulannan myötä joinakin vuosina jo ennen 1. huhtikuuta määrätyn kevätkuopan pohjan saavuttamista.

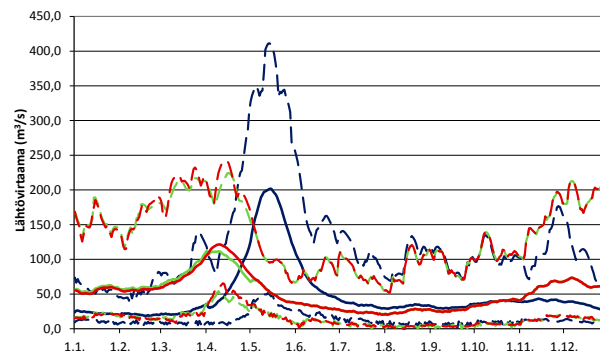
4.3.4 Sopeutuva säännöstely jaksolla 2040-69

Sopeutuvalla säännöstelyllä pyritään vähentämään ilmastonmuutoksen säännöstelyihin järviin kohdistamia negatiivisia vaikutuksia. Poro- ja Onkivedellä lupaehtojen mukaisen kevätkuopan tekeminen ei aiheuta ongelmia kesän tavoitevedenkorkeuksien saavuttamisessa, mutta kevätkuopan tekemisestä voi olla haittaa vesiluonnolle luonnollista suuremman talvialeneman ja kevättulvien katoamisen johdosta. Niinpä tulevaisuudessa useimpien skenaarioiden mukaan turhiksi osoittautuvan kevätkuopan tekeminen on jätetty tässä ehdotetuissa sopeutuvissa säännöstelyohjeissa tekemättä.

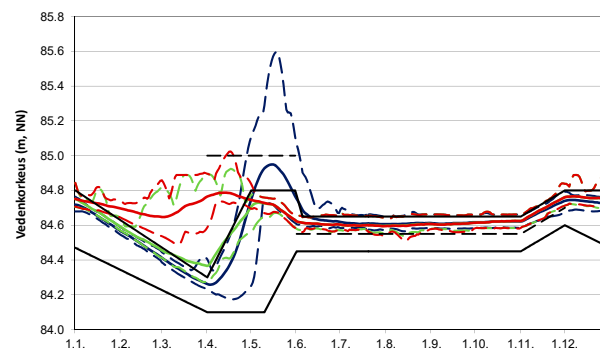
Sopeutuvien säännöstelyohjeiden mukaisella säännöstelyllä niin Poro- kuin Onkivedenkin lupaehtojen mukainen noin 50 cm vedenpintojen lasku tammi-huhtikuun välisenä aikana voitaisiin välttää kokonaan (kuvat 21-24). Keskiarvoskenaarioiden perusteella



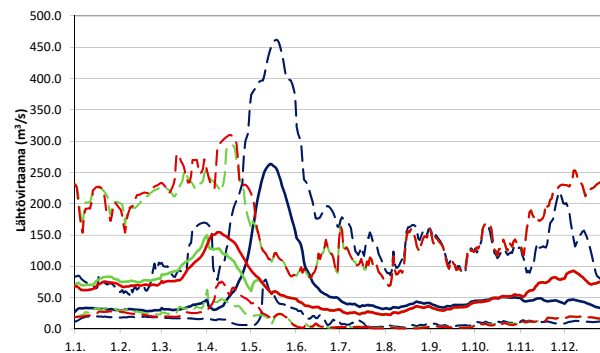
Kuva 21. Poroveden vedenkorkeuden päivittäiset maksimi-, minimi- ja keskiarvot jaksolla 2040-69 lupaehtojen mukaisella (vihreät käyrät) sopeutuvalla säännöstelyllä (punaiset käyrät) verrattuna vertailujakson 1971-2000 (siniset käyrät) arvoihin.



Kuva 22. Poroveden lähtövirtaaman päivittäiset maksimi-, minimi- ja keskiarvot jaksolla 2040-69 lupaehtojen mukaisella (vihreät käyrät) sopeutuvalla säännöstelyllä (punaiset käyrät) verrattuna vertailujakson 1971-2000 (siniset käyrät) arvoihin.



Kuva 23. Onkiveden vedenkorkeuden päivittäiset maksimi-, minimi- ja keskiarvot jaksolla 2040-69 lupaehtojen mukaisella (vihreät käyrät) sopeutuvalla säännöstelyllä (punaiset käyrät) verrattuna vertailujakson 1971-2000 (siniset käyrät) arvoihin.



Kuva 24. Onkiveden lähtövirtaaman päivittäiset maksimi-, minimi- ja keskiarvot jaksolla 2040-69 lupaehtojen mukaisella (vihreät käyrät) sopeutuvalla säännöstelyllä (punaiset käyrät) verrattuna vertailujakson 1971-2000 (siniset käyrät) arvoihin.

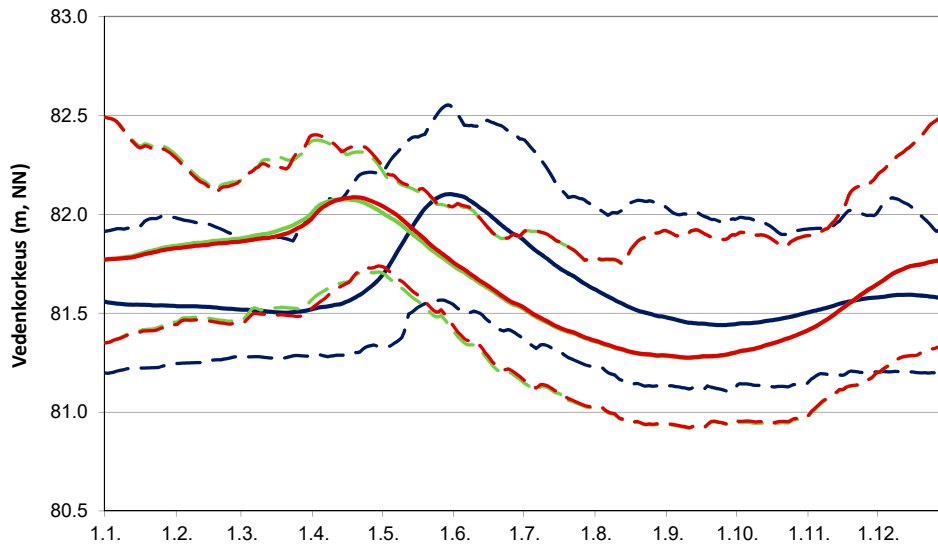


kevättulvat jäisivät kuitenkin vertailujaksoon verrattuna hyvin pieniksi ja aikaistuisivat noin 1-2 kuukautta ja kesän virkistyskäyttöaika pidentyisi noin kuukaudella. Sopeutuvassa säännöstelyssä myös kevättulvien nousu lupaehtojen mukaista säännöstelyä korkeammalle parantaisi todennäköisesti rantakasvillisuuden tilaa lupaehtojen mukaiseen säännöstelyyn verrattuna.

4.3.5 Vaikutukset alapuoliseen vesistöön

Sopeutuvan säännöstelyn vaikutus lisälmen reitin alapuoliseen vesistöön on Poro- ja Onkiveden suhteellisen pienen varastotilavuuden johdosta vähäinen. Kallaveden vedenkorkeuteen näiden järvien sopeutuvan säännöstelyn vaikutus on suurimmillaan huhtikuussa, jolloin vedenkorkeus voi nousta 2-3 cm nykykäytäntöä korkeammalle.

Ilmastonmuutoksen myötä Kallaveden korkeimmat vedenkorkeudet ajoittuvat 19 globaalin ilmastomallin keskiarvoskenaarion mukaan vuosisadan puolivälissä joului-tammikuulle (kuva 25). Tämän skenaarion perusteella vuodenvaihteen 2013-2014 kaltaiset tulvatilanteet tulevat siis yleistymään merkittävästi vuosisadan puoliväliin mennessä. Tulvatilanteen Maaninkajärvellä mahdollisesti aiheuttamien vahinkojen pienentämiseksi Poro- ja Onkiveden säännöstelyssä voitaisiin tulevaisuudessa ottaa myös huomioon talven kasvavat tulovirtaamat ja pitää järvien vedenkorkeuksia alkutalvella 10-20 cm alempana, jolloin järvi-en varastotilavuus antaisi paremmat mahdollisuudet reagoida tulovirtaamien muutoksiin ja mahdollisesti pienentää Onkiveden maksimilähtövirtaamia tulvatilanteen aikana, mikä pienentäisi riskiä Maaninkajärven vedenkorkeuden nousulle.



Kuva 25. Kallaveden vedenkorkeuden päivittäiset maksimi-, minimi- ja keskiarvot jaksolla 2040-69 Nilsin reitin järvien lupaehtojen mukaisella (vihreät käyrät) sekä sopeutuvalla säännöstelyllä (punaiset käyrät) verrattuna vertailujakson 1971-2000 (siniset käyrät) arvoihin.



5 Vedenkorkeus- ja virtaamamuutosten ja säännöstelytapojen vaikutusten arviointi

Tässä luvussa käsitellään tarkastelua, jossa arvioitiin ilmastomuutoksen ja säännöstelytavan vesiluontoon, virkistyskäyttöön ja taloudellisiin tekijöihin kohdistuvia vaikutuksia Onki- ja Porovedellä. Tarkastelu tehtiin laskemalla kustakin edellisessä luvussa esitetystä hydrologisesta skenaariosta ja säännöstelytavasta joukko numeerisia mittareita. Mittareiden taustalla on pitkäaikainen kehitys Suomessa ympäristökeskuksessa ja niitä on käytetty useissa eri säännöstelyn kehittämisselvityksissä (esim. Marttunen ym. 2004, Tarvainen ym. 2006) On huomattava, että mittareilla arvioidaan ainoastaan vedenkorkeus- ja virtaamavaihtelun vaikutusten suuntaa ja suuruusluokkaa. Myös jääpeitteisen ajan muuttuminen on otettu lasketuissa luontomittareissa huomioon, mutta ilmastomuuttuessa muillakin tekijöillä ja niiden yhteisvaikutuksella vedenkorkeus- ja virtaamavaihtelun kanssa voi olla suuri vaikutus.

Tarkasteltaville järville valittiin joukko soveltuvia mittareita, joita muokattiin järvien ominaispiirteiden ja käytön perusteella. Käytetyt mittarit ja niiden selitykset on esitetty liitteessä 1. Kummallekin järvelle laskettiin samat mittarit muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Mittareista laskettiin kunkin skenaarion päivittäisten vedenkorkeuksien ja virtaamien perusteella vuosiarvot, ja niistä on esitetty 30 vuoden keskiarvot. Yksittäisiä vuosia ei ole vertailtu. Energiantuotannossa on käytetty prosentuaalista muutosta vertailujakssoon 1971-2000 nähden.

Ilmastomuutoksen vaikutuksia on arvioitu vertaamalla skenaariojaksoja 2010-39 ja 2040-69 nykyisten lupaehtojen mukaisella säännöstelytavalla simuloituun vertailujakssoon 1971-2000. Sopeutuvan säännöstelytavan vaikutuksia on arvioitu vertaamalla sopeutuvaa säännöstelyä nykyisten lupaehtojen mukaiseen säännöstelyyn skenaariojaksolla 2040-69.

5.1 Vesiluonto

Vaikutuksia vesiluontoon arvioitiin laskemalla kuusi vedenkorkeuden vaihteluun ja jääpeitteiseen aikaan perustuvaa mittaria. Mittareiden laskentaperiaatteet on esitetty liitteessä 1. Luontomittarit on ryhmitelty neljään muuttujaan, vaikka osa niistä liittyy ainakin välillisesti useaan muuttujaan. Luontomittareiden las-

ketut arvot on esitetty kuvissa 26-31. Tulokset ovat kummallakin järvellä keskenään samansuuntaisia joten järvet on käsitelty tekstissä erikseen vain toisistaan poikkeavilta osin.

5.1.1 Rantavyöhykkeen eliöstö sekä syyskutuiset kalat

Talviaikainen vedenkorkeuden alenema altistaa rantavyöhykettä jäänpainamalle ja pohjan jäätymiselle ja voi siten olla haitallinen kasvillisuudelle, pohjaeläimistöille ja syyskutuisten kalojen lisääntymiselle. Tarkastelluissa skenaarioissa nykyisen luvan mukaisella säännöstelyllä talviaikainen alenema ei juuri muutu vertailujakssoon verrattuna. Sen sijaan sopeutuvassa säännöstelyssä tehtävä loivempi kevätkuoppa jaksolla 2040-69 parantaa tilannetta kaikissa skenaarioissa (kuva 26).

5.1.2 Kasvillisuus

Kevättulvan suuruus vaikuttaa ylimmän rantavyöhykkeen kasvillisuuteen, joka muodostaa ekologisesti tärkeän alueen rantavyöhykkeellä. Tulva-aikana saraikko toimii sekä syyskutuisten kalojen poikasten suoja- ja ruokailualueena että kevätkutuisten kalojen kutualueena. Riittävän suuren kevättulvan ansiosta edellisvuotinen kuollut kasviaines siirtyy kuivalle maalle hapekkaisiin olosuhteisiin hajoamaan eikä jää rantaveteen maatumään ja kuluttamaan happea (Marttunen ym. 2004). Kevättulva pienenee selvästi skenaarioissa. Sopeutuva säännöstely parantaa tilannetta, mutta ei kuitenkaan missään skenaariossa vertailujaksoson tasolle (kuva 27).

Saraikon laskennallinen laajuus perustuu vedenkorkeuden pysyvyyssarvoihin. Saraikko on erityisen tärkeä kevätkutuisten kalojen kutupaikkana. Laskennallinen saraikkovyöhyke kapenee tulevaisuuden skenaarioissa, kun vedenkorkeuden vaihteluväli kasvukaudella pienenee kevään vedenkorkeuksien madaltuessa. Sopeutuva säännöstely hieman pienentää tätä haittaa kevään vedenkorkeuksien noustessa. Märällä skenaariolla Porovedellä tilanne muuttuu jopa vertailujaksoson paremmaksi (kuva 28).

5.1.3 Kevätkutuiset kalat

Vaikutuksia hauen kutuun laskettiin kahdella mittarilla, joista toiseen ilmastonmuutos vaikuttaa useimmissa tarkastelluissa skenaarioissa kielteisesti ja toiseen myönteisesti.

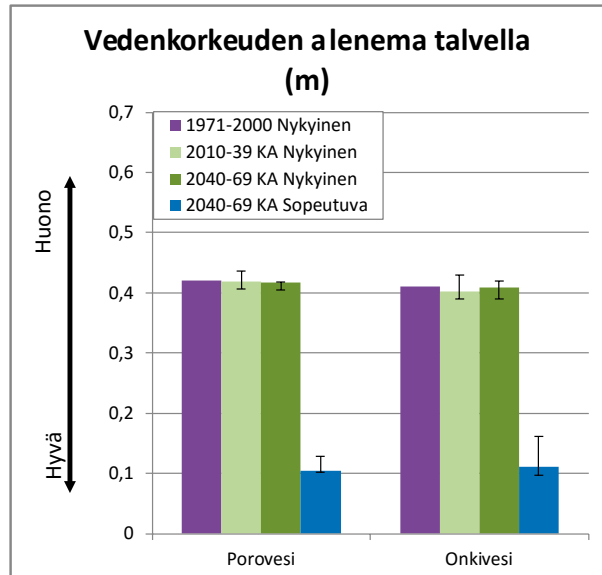
Veden minimisyvyys saraikossa hauen kutuaikana pienenee eli huononee jaksolle 2040-69 mentäessä keskiarvoskenaariossa nykyäänöstelyllä ainakin siitä syystä, että jäänlähtö ja siten laskennassa oletettu hauen kutuaika aikaistuu ajankohtaan, jolloin vedenkorkeus on luvan mukaisesti alempana (kuva 29). Kylmässä skenaariossa Onkivedellä näin ei kuitenkaan käy. **Hauen kutuaikana haitallinen vedenkorkeuden lasku** sen sijaan pienenee, kun kevättulvahuippu pienenee (kuva 30).

Sopeutuva säännöstely jaksolla 2040-69 parantaa veden minimisyvyyttä hauen kutuaikana kaikissa skenaarioissa jopa paremmaksi kuin vertailujaksolla. Kevättulvahuipun nousemisen takia sopeutuva säännöstely lisää vedenkorkeuden laskua kutuaikana, mutta mittarin arvo pysyy kuitenkin parempana kuin vertailujaksolla.

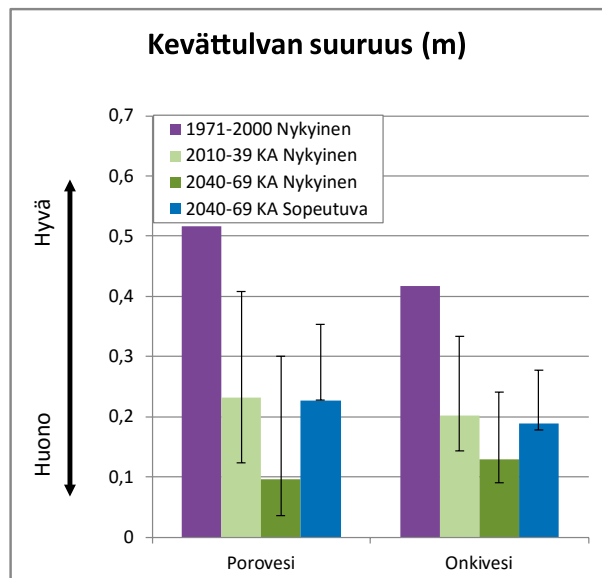
Kevätkutuisiin kaloihin arvioidut vaikutukset ovat siis kaksijakoiset. Näiden mittareiden perusteella sopeutuvalla säännöstelyllä tilanne tulevaisuusjaksolla olisi kuitenkin kevätkutuisen kalojen kannalta parempi kuin vertailujaksolla.

5.1.4 Linnut

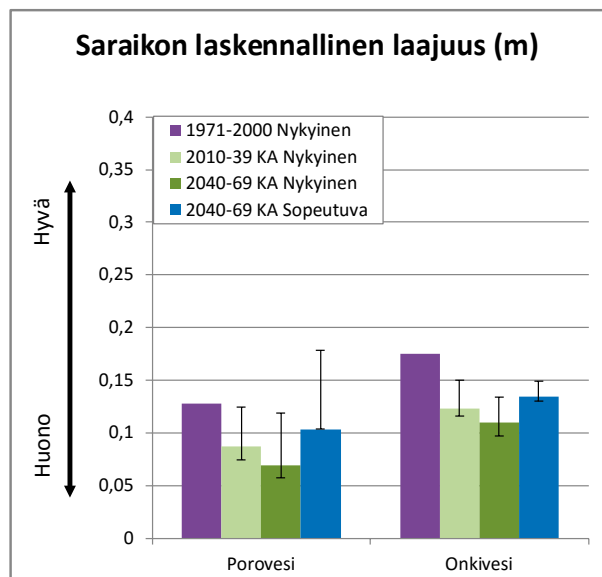
Vedenkorkeuden nousu lintujen pesintäaikana voi tuhota lähellä vesirajaa pesivien vesilintujen kuten kuikan ja lokkilintujen pesiä. Vertailujaksolla tilanne on lintujen kannalta hyvä sillä vedenkorkeus ei juurikaan nouse pesintäkaudella kummallakaan järvellä. Ilmastonmuutos lisää pesintäkauden vedenkorkeuden nousua keskiarvoskenaariossa ja useimmissa ääriskenaarioissa molemmilla järvellä. Sopeutuva säännöstely jaksolla 2040-69 pienentää haitallista vaikutusta molemmilla järvellä. Onkivedellä vaikutus pienenee sopeutuvalla säännöstelyllä vertailujakson tasolle (kuva 31). Tulokset perustuvat oletettuun pesintäkauden aikaistumiseen tulevaisuudessa, mikä on kuitenkin epävarmaa.



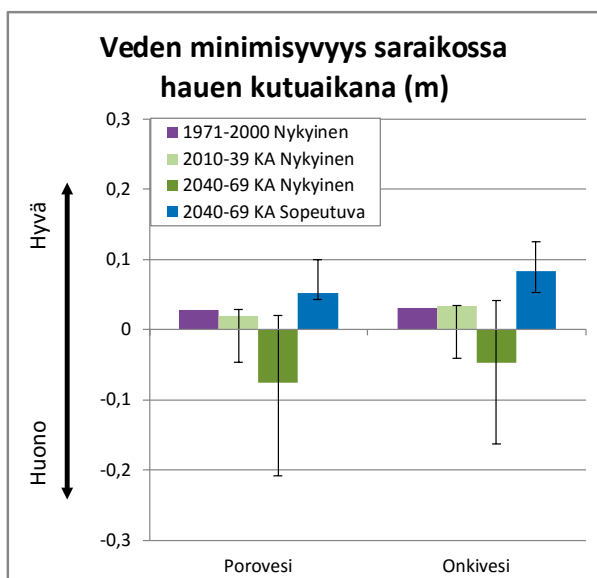
Kuva 26.



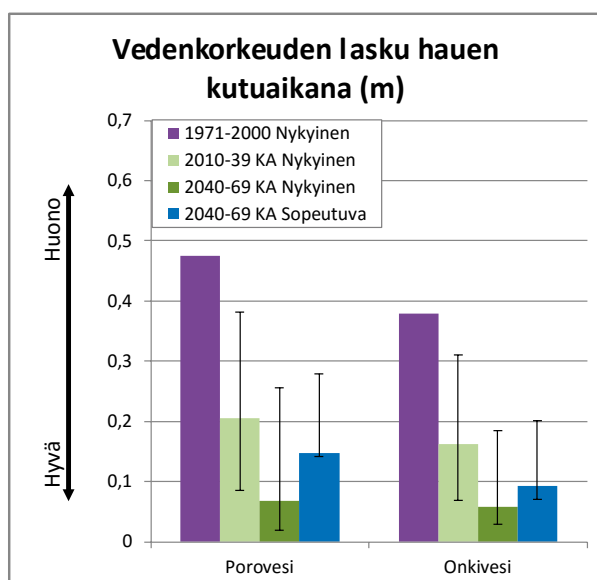
Kuva 27.



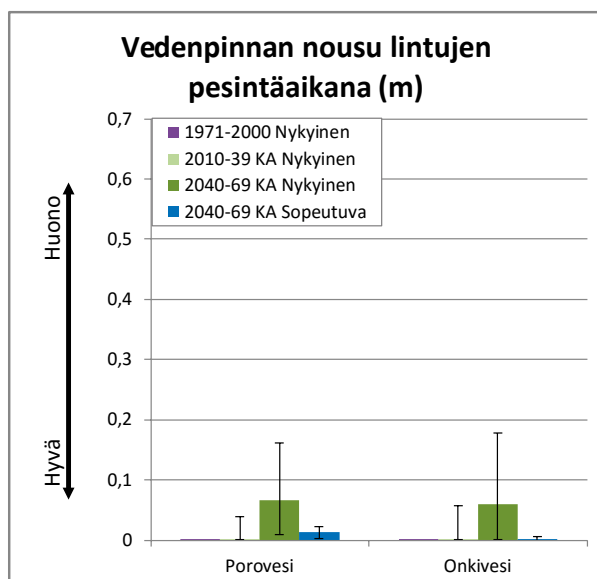
Kuva 28.



Kuva 29.



Kuva 30.



Kuva 31.

Kuvat 26-31. Kuuden lasketun luontomittarin arvot Onkivedellä ja Porovedellä vertailujaksolla ja keskiarvoskenaarioilla. Jaksolla 2010-39 käytössä nykyisen kaltainen säännöstely ja jaksolla 2040-69 nykyisen kaltainen sekä sopeutuva säännöstely. Virhepalkit kuvaavat ääriskenaarioiden välistä vaihtelua.

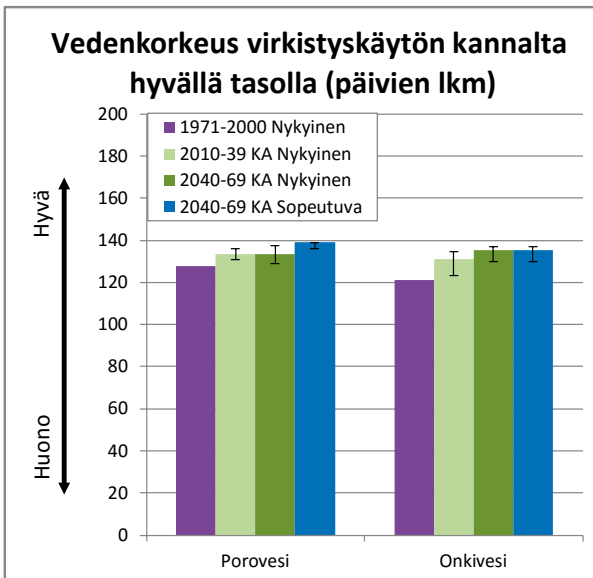
5.2 Virkistyskäyttö

Vaikutuksia virkistyskäyttöön arvioitiin laskemalla virkistyskäyttökaudella 15.5. – 30.9. vuosittain esiintyvien sellaisten päivien lukumäärä, jolloin vedenkorkeus on virkistyskäytölle hyvällä tasolla. Varsinaisen mittarin lisäksi tarkasteltiin erikseen niiden päivien määrää, jolloin vedenkorkeus on virkistyskäytölle liian korkealla ja matalalla. Rantojen virkistyskäyttömahdollisuuksia kuvaavalla mallilla (VIRKI-malli, Mustonen 2001) aikaisemmin tehtyjen tarkastelujen tuloksena virkistyskäytölle hyvä vyöhyke on Porovedellä NN + 85,55 m – 85,75 m ja Onkivedellä NN + 84,45 m – 84,70 m. Vyöhykkeen alaraja on Onkivedellä sama kuin säännöstelyn alaraja, mutta Porovedellä 10 cm alarajaa ylempänä. Vyöhykkeen yläraja on kummallakin järvelä luvan mukaista kesän ylärajaa korkeammalla.

Porovedellä on vertailujaksolla 1971-2000 hyvin vähän hyvän vyöhykkeen alittavia vedenkorkeuksia, mutta vyöhykkeen ylittäviä vedenkorkeuksia esiintyy keväällä ja alkukesällä. Tarkastelluissa tulevaisuuden skenaarioissa liian korkeat vedenkorkeudet vähenevät, mutta loppukesän virkistyskäytölle liian matalat vedenkorkeudet lisääntyvät, vaikka eivät alitakaan säännöstelyn alarajaa. Sopeutuva säännöstely tulevaisuuden jaksolla nostaa loppukesän alimpia vedenkorkeuksia ja jakson 2040-69 keskiarvoskenaariossa vedenkorkeudet ovat lähes aina hyvällä virkistyskäyttövyöhykkeellä (kuvat 32 ja 33).

Onkivedellä virkistyskäyttövyöhykkeen alaraja on sama kuin säännöstelyn alaraja eli suhteessa säännöstelyrajaan alempana kuin Porovedellä. Virkistyskäyttövyöhykkeen alittavia vedenkorkeuksia ei esiinny missään skenaariossa. Hyvät virkistyskäyttöpäivät lisääntyvät skenaarioissa, kun kevättulvahuippu alenee ja siten korkeat vedenkorkeudet virkistyskäyttökauden alussa laskevat. Sopeutuva säännöstely ei vaikuta mittarin arvoon, koska sen nostama kevättulvahuippu ajoittuu aikaisemmaksi kuin laskennassa käytetty virkistyskäyttökauti.

Virkistyskäyttömittarin laskennassa ei ole otettu huomioon, että ilmastonmuutoksen myötä virkistyskäyttökausi todennäköisesti pitenee ja siten lisää virkistyskäyttöpäivien määrää. Silloin sopeutuva säännöstely jaksolla 2040-69 esimerkiksi huhtikuussa nostaisi vedenkorkeuksia useina vuosina yli hyvän virkistyskäyttövyöhykkeen, mutta toisaalta taas nostaisi kevätkuopan aiheuttamia liian matalia vedenkorkeuksia.



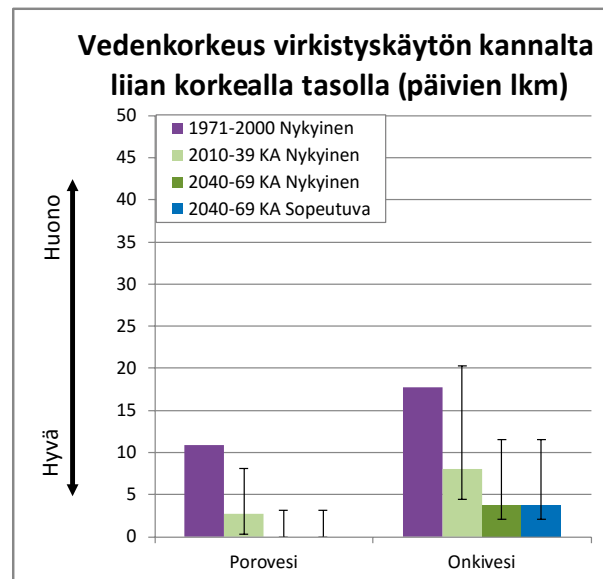
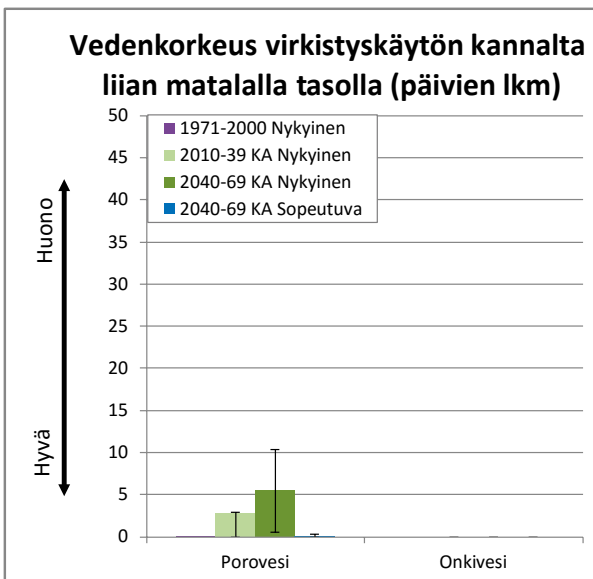
Kuva 32. Päivien lukumäärä virkistyskäyttökaudella 15.5.-30.9., jolloin vedenkorkeus on virkistyskäytön kannalta hyvällä tasolla, 30 vuoden keskiarvo. Vertailujakso ja keskiarvoskenaario, jaksolla 2010-39 nykykäytännöllä säännösteltynä ja jaksolla 2040-69 nykykäytännöllä ja sopeutuvalla käytännöllä säännösteltynä. Virhepalkit kuvaavat ääriskenaarioiden välistä vaihtelua.

5.3 Vesiliikenne

Onki- ja Porovedelle on määritetty ylä- ja alavertailutasot, jotka tarkoittavat kanavaliikennemääräyksissä esitettyjä Ahkionlahden ja Nerkoan kanavien mitoitusvedenkorkeuksia. Tämä tarkoittaa, että kun vedenpinta on kyseisten rajojen välissä, kanavassa ja niihin liittyvillä väylillä voi liikennöidä turvallisesti niillä aluksilla, joita varten väylät ja kanavat on rakennettu. Tarkastelussa selvitettiin, onko kyseinen väli ylittynyt tai alittunut kaudella 15.5.-31.10., mutta näin ei tapahtunut vertailujaksolla eikä missään skenaariossa. Virkistys- ja kalastusveneilyn kannalta kriittinen raja on todennäköisesti ylempänä eli likimain kesän säännöstelyn alarajojen korkeudella, mutta nekään eivät alittuneet millään tarkastelujaksolla.

5.4 Tulvavahingot

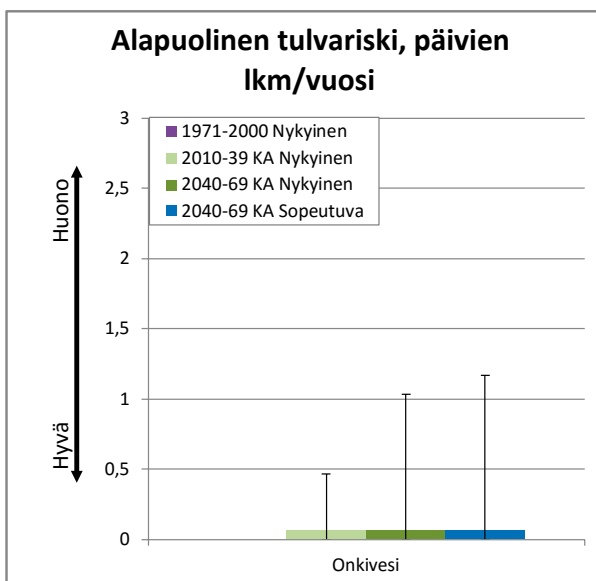
Onki- ja Porovedellä rakennuksille tai teollisuudelle vahinkoja aiheuttavia tulvakorkeuksia ei esiintynyt vertailujaksolla eikä skenaarioissa kummallakaan järvellä. Myöskään peltovahingoille määritetty raja ei ylittynyt kriittisellä jaksolla 5.6.-30.9. Näiden mittareiden perusteella ei siten voida arvioida tulvariskin muutosta. Keväällä ennen viljelykautta esiintyvät korkeimmat vedenkorkeushuiput kuitenkin alenevat merkittävästi skenaarioissa ja myös aikaistuvat. Tämä saattaa merkitä vielä korkeamman, vahinkoja aiheuttavan tulvan



Kuvat 33 a ja b. Päivien lukumäärä virkistyskäyttökaudella 15.5.-30.9., jolloin vedenkorkeus on virkistyskäytön kannalta a) liian matalalla tai b) liian korkealla tasolla, 30 vuoden keskiarvo. Vertailujakso ja keskiarvoskenaario, jaksolla 2010-39 nykykäytännöllä säännösteltynä ja jaksolla 2040-69 nykykäytännöllä ja sopeutuvalla käytännöllä säännösteltynä. Virhepalkit kuvaavat ääriskenaarioiden välistä vaihtelua.

riskin pientymistä ilmaston muuttuessa Onki- ja Porovedellä. Sopeutuva säännöstely jaksolla 2040-69 nostaa kevään korkeimpia vedenkorkeuksia, mutta vain vähän eikä lähellekään vertailujakson huippuja. Jos kevättalven säännöstely hoidetaan joustavasti vesitilanne-ennuste huomioon ottaen, ei sopeutuvan säännöstelyn voida olettaa lisäävän tulvariskiä. Peltovahinkojen osalta kuitenkin epävarmuutena on viljelykauden mahdollinen aikaistuminen, jota ei ole otettu tarkastelussa lainkaan huomioon.

Onkivedellä metsävahinkorajaksi on määritetty NN + 85,25 m. Porovedellä ei vastaavaa vahinkorajaa ollut tiedossa joten siellä ei metsävahinkoja arvioitu. Tulvan aiheuttamat vahingot puustolle riippuvat mm. puulajista sekä tulvan kestosta ja vuodenajasta. Vaikutuksen monimutkaisuuden vuoksi ja toisaalta koska pitkiä tulvajaksoja ei esiintynyt simuloinneissa, ei pyrittykään arvioimaan todellisia metsävahinkoja vaan arvioitiin karkeasti tulvariskiä etsimällä tuloksista jaksoja, jolloin vedenkorkeus ylittää metsätulvarajan vähintään kahden viikon ajan. Yksi tällainen jakso löytyi vertailujaksolta, mutta ei millään skenaariojaksolta. Kyseessä oli kuitenkin kevättulva, joka tutkimusten mukaan ei ole puustolle haitallinen kuten kesällä tai alkusyksyllä esiintyvä tulva (Tuononen ym. 1981), jollaisia ei esiintynyt millään simuloitulla jaksolla. Näin ollen tämän selvityksen perusteella ei voitu päätellä ilmastonmuutoksen vaikutusta metsätulvavahinkoihin Onkivedellä.



Kuva 34. Arvioitu tulvariski Onkiveden alapuolella Maaninkajärvellä vertailujaksolla ja keskiarvoskenaariolla. Mittarin arvo on keskimääräinen vuosittainen tulvariskipäivien lukumäärä 30 vuoden jaksolla. Jaksolla 2010-39 käytössä nykyisen kaltainen säännöstely ja jaksolla 2040-69 nykyisen kaltainen sekä sopeutuva säännöstely. Virhepalkit kuvaavat ääriskenaarioiden välistä vaihtelua.

Onkiveden alapuolella Maaninkajärvessä syntyy tulvista haittaa talvella, kun Onkiveden juoksumäärä on suuri. Tulvavahinkomittarina käytettiin sellaisten jouluhelmikuussa esiintyvien päivien lukumäärää, jolloin Kallaveden vedenkorkeus on yli NN + 82,00 m ja Onkiveden menovirtaama yli 250 m³/s. Vertailujaksolla 1971-2000 tällaisia päiviä ei esiinny lainkaan, mutta jaksolla 2040-69 keskiarvoskenaariossa niitä on koko jaksolla 2 päivää ja ääriskenaarioissa 0-31, kun talvivia virtaamat kasvavat (kuva 34). Sopeutuva säännöstely ei vaikuta mittariin muissa tulevaisuuden skenaarioissa, mutta määrässä skenaariossa lisää aavistuksen tulvariskiä.

5.5 Vesivoiman tuotanto

Skenaarioiden vaikutuksia vesivoiman tuotantoon arvioitiin Savon Voima Oyj:n omistamalla Viannankosken pienvoimalaitoksella. Vuorokausiarvojen perusteella energia E (kWh/vrk) laskettiin kaavalla:

$$E = 8,2 \cdot Q \cdot H \cdot 24, \text{ missä}$$

8,2 = kerroin, joka ottaa huomioon vesivoiman hyötysuhteen

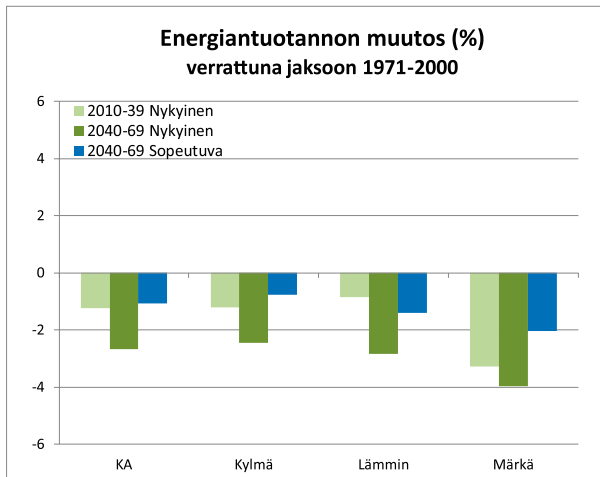
Q = voimalaitoksen virtaama

H = putouskorkeus (= Onkivesi-Ahkionlahti ala)

24 = aika (h)

Voimalaitoksen rakennusvirtaama on 7,5 m³/s. Putouskorkeus laskettiin Onkiveden ja Kallaveden vedenkorkeuksien erotuksena siten, että Kallaveden vedenkorkeuteen lisättiin virtaamasta riippuva padotus, kun virtaama oli yli 100 m³/s.

Koko jaksos laskennallisen energian vuosituotannon prosentuaalinen muutos eri skenaarioissa verrattuna vertailujaksoon on esitetty kuvassa 35. Voimalaitos ei pienen rakennusvirtaaman vuoksi pysty hyödyntämään ilmastonmuutoksen vaikutuksesta kasvavia virtaamia. Laskennallinen vesivoiman tuotanto pienenee jaksos 2040-69 skenaarioissa 2,5 – 4 % vertailujaksoon verrattuna. Yksi syy siihen on se, että alle rakennusvirtaaman olevat minimivirtaamat pienenevät. Putouskorkeutta pienentää Kallaveden vedenkorkeuden nousu noin 2,5 cm jaksolle 2040-69 mennessä. Sen vaikutus on kuitenkin pieni. Sopeutuvalla säännöstelyllä vesivoimantuotanto vähenisi vähemmän. Siinä pieniä virtaamia esiintyy vieläkin enemmän, mutta Onkiveden keskivedenkorkeus on 6 cm korkeampi kuin nykyisenkaltaisessa säännöstelyssä ja siksi putouskorkeus on suurempi.



Kuva 35. Viannankosken vesivoimalaitoksen laskennallisen energiantuotannon prosentuaalinen muutos vertailujaksoon 1971-2000 nähden eri vuosijaksoilla ja eri säännöstelytavoilla. Mukana on keskiarvoskenaario sekä kylmä, lämmin ja märkä skenaario.

5.6 Yhteenveto ja huomioita tuloksista

Ilmastonmuutoksen ja säännöstelytavan vaikutusten arviointi Onki- ja Porovedellä tehtiin hydrologisista skenaarioista laskettujen mittareiden avulla. Mittarit auttavat hahmottamaan vaikutusten suuntaa ja suuruusluokkaa.

Luokitellut vaikutukset mittarikohtaisesti on esitetty kummallekin järvelle kuvissa 36 – 37 sekä taukkomuodossa liitteessä 2. Kunkin mittarin, kunkin skenaariojakson 30:n vuosiarvon keskiarvon erotus vertailujaksoon 1971-2000 nähden on luokiteltu seitsenportaisen asteikon avulla. Energiantuotannossa on käytetty prosentuaalista muutosta. Kuvissa 38 - 39 on samojen luokiteltujen muutosten prosentuaaliset osuudet siten, että mittarit on ryhmitelty kolmeen ryhmään ja kustakin mittarista on mukana kaikki neljä skenaariota (keskiarvo, kylmä, lämmin ja märkä). Teräväräjaisen luokittelun vaarana on, että pienikin muutos saattaa näyttää suurelta, jos se osuu luokarakajalle ja toisaalta hieman suurempikin muutos voi jäädä huomaamatta, jos arvot jäävät saman luokan sisälle. Toisaalta on muistettava, että tulokset ovat vain suuntaa-antavia.

Kummallakin järvellä käytettiin muuten samoja mittareita, mutta metsätulvavahingot, alapuolinen tulvariski ja vesivoiman tuotanto arvioitiin ainoastaan Onkiveden kohdalla. Tulokset kummallakin järvellä olivat pääpiirteissään samansuuntaisia.

Tulvavahinkomittarissa on yhdistetty järvillä syntyvä tulvariski pelloille, rakennuksille ja teollisuudelle.

Simuloiduissa Onki- ja Poroveden vedenkorkeuksissa näkyvä kevättulvien ja siten vuoden korkeimpien tulvahuippujen lasku tulevaisuuden skenaarioissa ei näkynyt näissä mittareissa, koska vahinkokorkeuksia ei esiintynyt vertailujaksolla eikä missään skenaariossa. Sama koskee metsätulvavahinkoja. Jos haluttaisiin paremmin arvioida vaikutuksia tulvavahinkoihin Onki- ja Porovedellä, tulisi tarkastella harvinaisempia tulvia kuin tässä selvityksessä. Talvivirtaamien suureneminen näkyy mittaritarkastelussa kuitenkin tulvatilanteiden lisääntymisenä Onkiveden alapuolisella Maaninkajärvellä. Tulviin varautumisen tarve säännöstelyssä tulee ilmastonmuutoksen vaikutuksesta laajenemaan kevätpainotteisesta aiempaa enemmän myös muille vuodenaajoille.

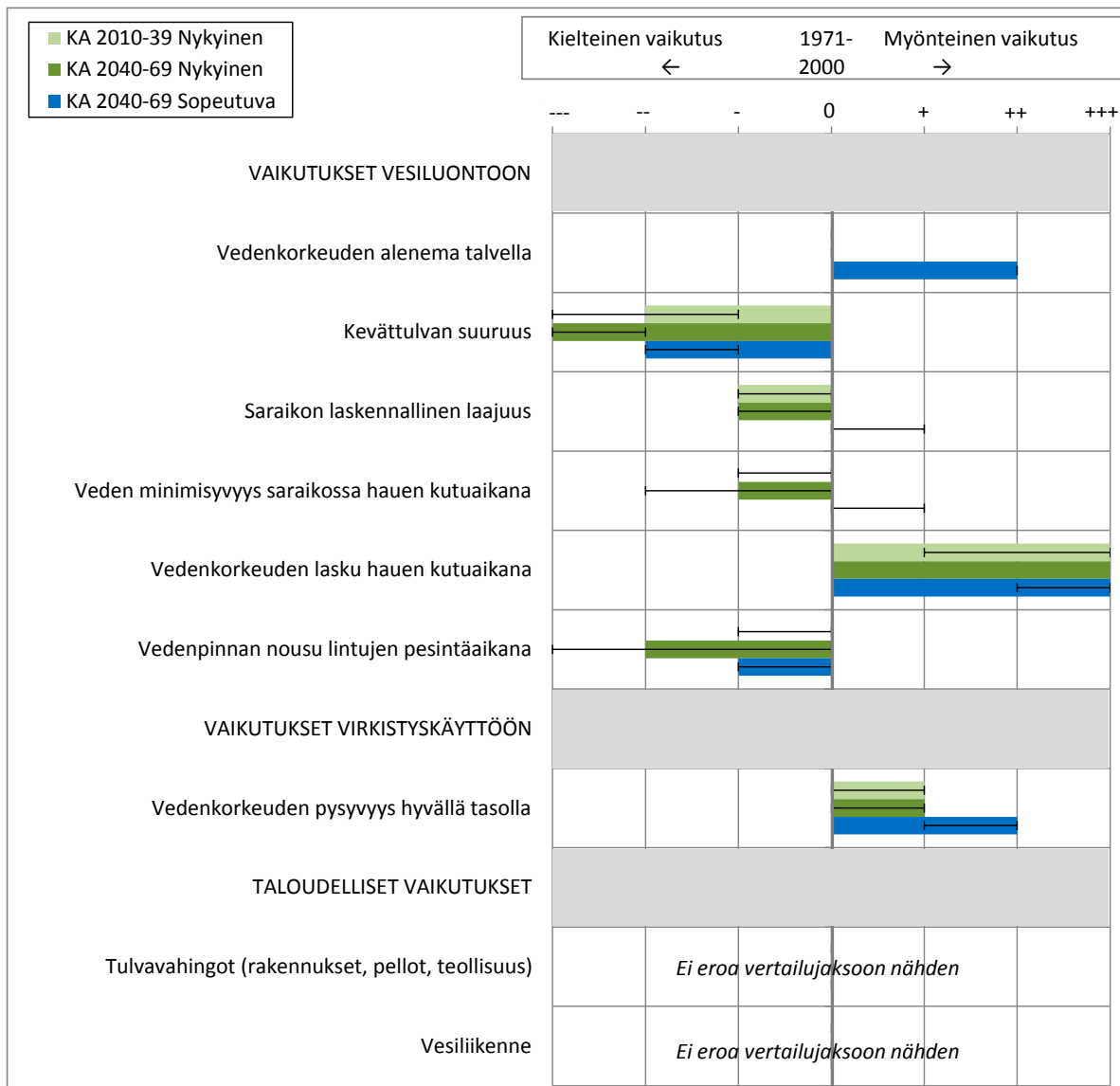
Vesiluontoon ilmastonmuutoksella voi olla vedenkorkeuden vuodenaikaisvaihtelun muuttumisen kautta sekä kielteisiä että myönteisiä vaikutuksia. Tässä tarkastelussa kuudesta käytetystä luontomittarista neljällä arvioituna ilmastonmuutoksen vaikutus vesiluontoon Onki- ja Porovedellä on kielteinen, yhdellä neutraali ja yhdellä myönteinen. Tulosten perusteella sopeutuva säännöstely tulevaisuuden jaksolla pääasiassa pienentäisi kielteisiä vaikutuksia. Joissain tapauksissa tilanne muuttuisi sopeutuvalla säännöstelyllä jopa vertailujaksoa paremmaksi. Kevätkuivien kalojen kahdesta mittarista toinen osoittaa ilmastonmuutosskenaarioilla olevan myönteistä vaikutusta ja sopeutuvalla säännöstelyllä kielteistä vaikutusta. Sopeutuvalla säännöstelylläkin tilanne olisi tämän mittarin osalta kuitenkin vertailujaksoa parempi. Yhteenvetona voidaan todeta, että sopeutuvalla säännöstelyllä voidaan todennäköisesti pienentää ilmastonmuutoksen kielteisten vaikutusten riskiä vesiluonnolle tulevaisuudessa.

Vaikutusten arviointiin liittyvät epävarmuudet koostuvat ilmastonmuutosskenaarioiden epävarmuuksista, hydrologisen mallinnuksen ja säännöstelytavan mallinnuksen epävarmuuksista, mittareiden suppeasta määrästä ja niiden soveltuvuudesta tarkastelluille järville sekä ilmastonmuutostilanteen tarkasteluun ja myös ilmastonmuutoksen muista vaikutuksista tarkastelussa mukana oleviin muuttujiin. Esimerkiksi eliöiden sopeutumista ilmastonmuutokseen ei ole otettu huomioon. Luontomittareissa hauen kudun ja lintujen pesintäkauden ajankohta on sidottu jäänlähtöön ja se on otettu laskennassa huomioon aikaistuvan jäänlähdön osalta. Lintu- ja haukimittarien laskentatulokset ovat herkkiä jäänlähtöpäivälle, jonka arvioimisessa on kuitenkin paljon epävarmuutta. Epävarmaa on myös se, miten ilmastonmuutos todellisuudessa vaikuttaa

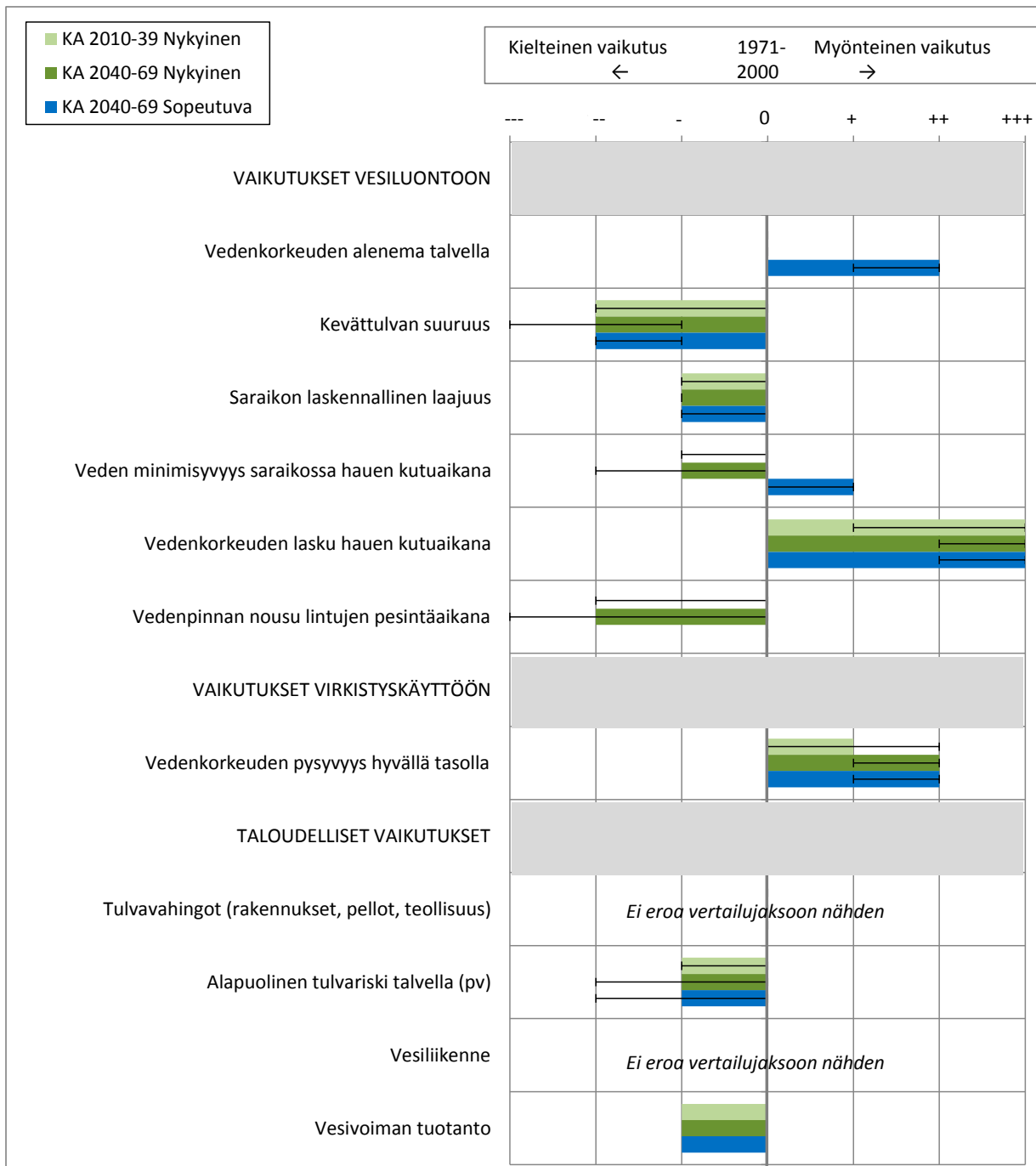
kutu- ja pesintäaikoihin. Tulvariskin arvioinnissa epävarmuutta aiheuttaa myös se, ettei tarkasteltavilla jaksoilla järvillä esiintynyt tulvakorkeuksia.

Ilmastoskenaarioiden sisältämää epävarmuutta tarkasteltiin laskemalla mittarit myös kylmälle, lämpi-

mälle ja märälle ääriskenaariolle. Muutosten suuruus ja nopeus ääriskenaarioissa vaihteli joillain mittareilla runsaastikin, mutta muutoksen suunta useimmissa tapauksissa oli kuitenkin sama kuin keskiarvoskenaariossa tai ei poikennut paljon.



Kuva 36. Poroveden mittareiden luokiteltu muutos vertailujaksoon 1971-2000 verrattuna keskiarvoskenaariolla
 • 2010-39 nykyisten lupaehtojen mukainen säännöstelytapa (vaaleanvihreä)
 • 2040-69 nykyisten lupaehtojen mukainen säännöstelytapa (tummanvihreä)
 • 2040-69 sopeutuva säännöstelytapa (sininen)
 Arviointiasteikko: --- = suuri kielteinen vaikutus, -- = melko suuri kielteinen vaikutus, - = vähäinen kielteinen vaikutus, 0 = ei vaikutusta, + = vähäinen myönteinen vaikutus, ++ = melko suuri myönteinen vaikutus, +++ = suuri myönteinen vaikutus.
 Väripalkin puuttuminen merkitsee, että merkittävää eroa vertailujaksoon ei ole. Virhepalkit kuvaavat eri skenaarioiden (keskiarvo, kylmä, lämmin, märkä) välistä vaihtelua.

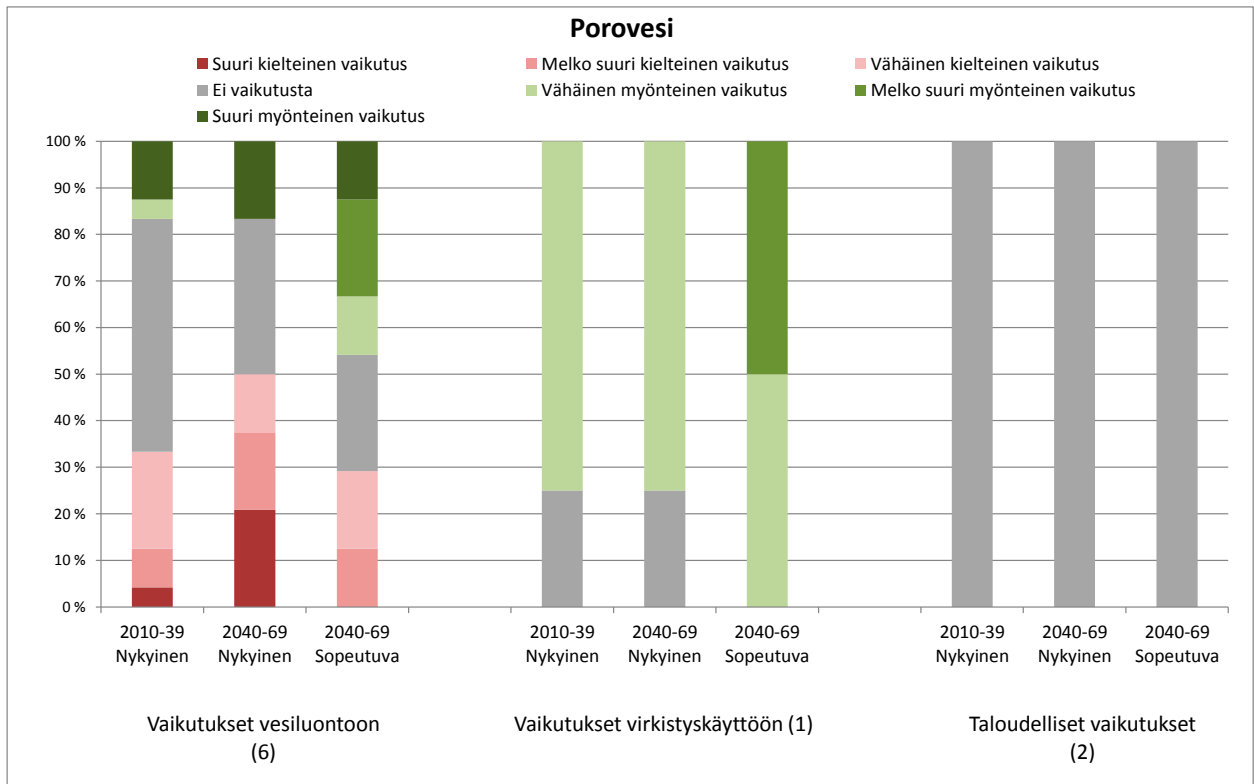


Kuva 37. Onkiveden mittareiden luokiteltu muutos vertailujaksoon 1971-2000 verrattuna keskiarvoskenaariolla

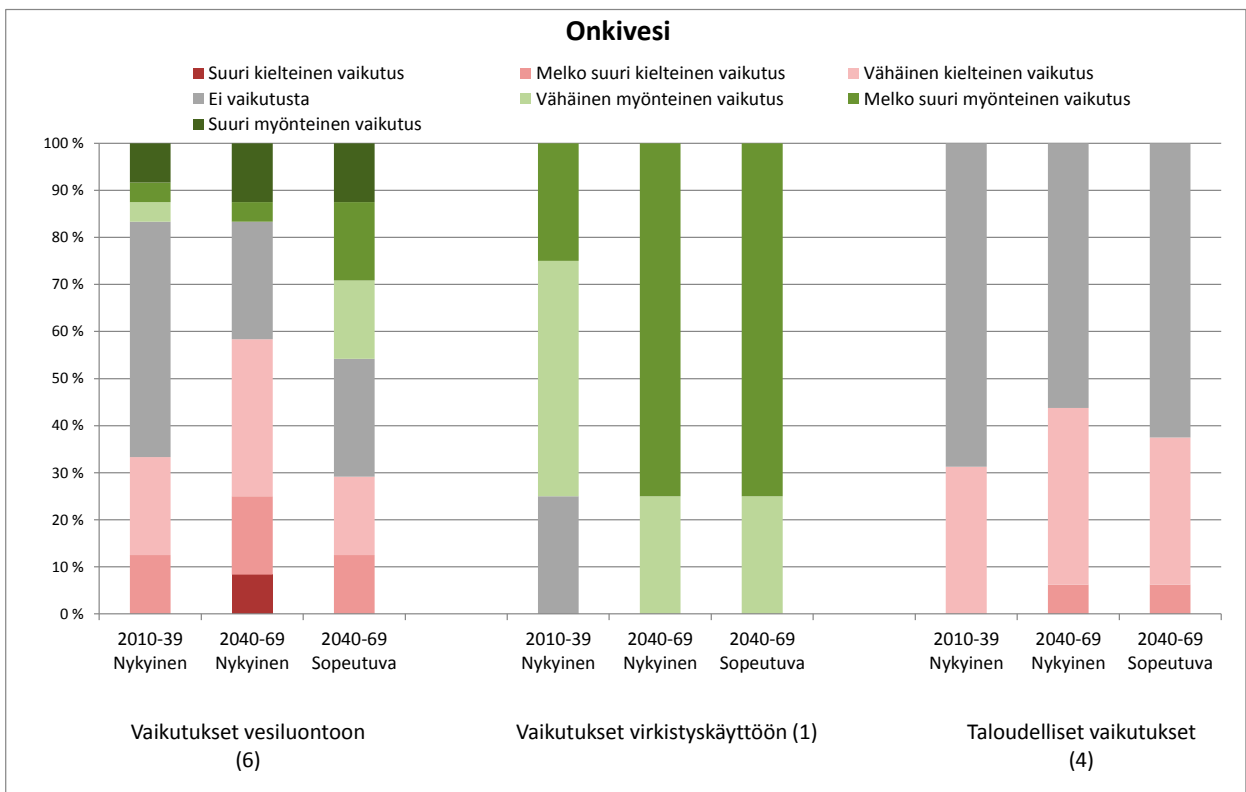
- 2010-39 nykyisten lupaehtojen mukainen säännöstelytapa (vaaleanvihreä)
- 2040-69 nykyisten lupaehtojen mukainen säännöstelytapa (tummanvihreä)
- 2040-69 sopeutuva säännöstelytapa (sininen)

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

Väripalkin puuttuminen merkitsee, että merkittävää eroa vertailujaksoon ei ole. Virhepalkit kuvaavat eri skenaarioiden (keskiarvo, kylmä, lämmin, märkä) välistä vaihtelua.



Kuva 38. Porovesi. Mittareiden luokiteltujen muutosten (verrattuna vertailujaksoon 1971-2000) prosenttiosuudet vaikutustyypeittäin eri jaksoilla ja säännöstelytavoilla. Mukana on neljä ilmastonmuutoskkenaariota (keskiarvo, kylmä, lämmin ja märkä). Mittareiden lukumäärä on sulkeissa vaikutustyyppin perässä.



Kuva 39. Onkivesi. Mittareiden luokiteltujen muutosten (verrattuna vertailujaksoon 1971-2000) prosenttiosuudet vaikutustyypeittäin eri jaksoilla ja säännöstelytavoilla. Mukana on neljä ilmastonmuutoskkenaariota (keskiarvo, kylmä, lämmin ja märkä). Mittareiden lukumäärä on sulkeissa vaikutustyyppin perässä.

6 Ilmastonmuutoksen ja vesienhoidon toimenpiteiden vaikutus fosforikuormitukseen

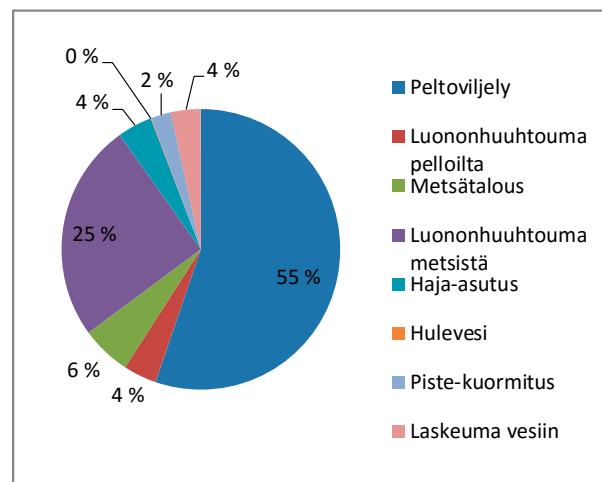
Tämän osan tavoitteena oli tarkentaa arviota nykyisen vesistöihin päätyvän fosforikuormituksen kokonaisuudesta ja lähteistä ja arvioida fosforikuormituksen tulevaa kehitystä. Fosforikuormitukseen vaikuttavat ilmaston muuttuminen, muutokset maataloudessa ja kuormitusta vähentävät vesienhoidon toimenpiteet. Nykyistä fosforikuormitusta tarkennettiin erityisesti luonnonhuuhtouman alueellisen jakauman ja metsätalouden toimenpiteiden osalta. Muuttuvan ilmaston vaikutusta tarkasteltiin jaksoilla 2020-29 ja 2050-59. Jaksolla 2020-29 tarkasteltiin lisäksi mahdollisuuksia vaikuttaa kuormitukseen vesienhoidon toimenpiteillä maataloudessa. Jaksolla 2050-59 tarkasteltiin fosforikuormitusta maatalouden kehityskulkua kuvaavilla eri skenaarioilla. Päämääränä tarkasteluissa on arvioida, millä vaihteluvälillä fosforikuormitus vesistöihin todennäköisesti tulee olemaan näillä jaksoilla.

Tarkastelussa käytettiin VEMALA-mallia, joka on koko lisälmen reitin kattava ravinnekuormitusmalli. Se sisältää eri kuormituslähteistä vesistöön tulevien fosforikuormien kuvauksen ja fosforin kulkeutumisen ja pidättymisen kuvauksen vesistöissä. VEMALA-malliin liitettynä toimii myös peltolohkotason ICECREAM-malli, joka kuvaa lohkojen ominaispiirteiden (mm. kaltevuus ja maalaji) ja viljelytoimenpiteiden perusteella lohkon ravinnekierron ja vesistöön päätyvän kuormituksen.

6.1 Kokonaisfosforin kuormitus vesistöihin lisälmen reitillä nykytilanteessa ja skenaarioissa

6.1.1 Yleistä

VEMALA-mallilla arvioitu kokonaisfosforin kuormitus vesistöihin lisälmen reitillä on noin 154 000 kg v⁻¹ (taulukko 5), joka on keskiarvo vuosille 2006–2011. Kuormituslähteet suurimmasta kuormittajasta pienimpään ovat maatalous, luonnonhuuhtouma, metsätalous, haja-asutus, laskeuma ja pistekuormitus (sisältäen turvetuotannon) (kuva 40).



Kuva 40. Vesistöihin päätyvän kokonaisfosforin kuormituksen jakaantuminen eri lähteisiin lisälmen reitillä.

Taulukko 5. Kokonaisfosforin bruttokuormituksen jakaantuminen eri kuormituslähteisiin lisälmen reitillä.

Maatalous	Luonnonhuuhtouma pelloilta	Metsätalous	Luonnonhuuhtouma metsistä	Haja-asutus	Hulevesi	Pistekuormitus	Laskeuma	Yhteensä
85380	5938	8902	39005	6172	109	3608	5344	154458

6.1.2 Skenaariot

Tässä projektissa käytettiin samoja skenaarioita kuin Marisplan-projektissa (Huttunen ym. 2015). Kolmen ilmastonmuutosskenaarion lisäksi simuloitiin maataloudessa tapahtuvia muutoksia. Kolmeen erilaiseen ilmastonmuutokseen sopeutumista kuvaavaan sosioekonomiseen skenaarioon perustuvia maatalousskenaarioita verrattiin skenaarioon, jossa maatalouden muutokset eivät olleet tulevaisuudessa merkittäviä ("business as usual"). Maatalousskenaariota simuloiva ajanjakso Marisplan projektissa oli 2014–2050.

Ilmastonmuutosskenaariot:

- Keskiarvoskenaario: keskiarvo 19:stä globaalista ilmastomallista päästöskenaariolla A1B. Skenaariossa sadanta kasvaa 11.5 % ja lämpötila 3.2 °C
- Märkä skenaario (RCA3-HadCM3-A1B), sadanta +16.2 %, lämpötila +2.6 °C
- Kuiva skenaario (HIRHAM-ARPEGE-A1B), sadanta +4.7 %, lämpötila +2.5 °C

Maatalouden muutosskenaariot:

- **Onnistunut sopeutuminen (OnS).** Tässä optimistisessa skenaariossa kevätiljajien ja nurmen sadot kasvavat 30 % (0,9 % vuodessa) ja öljykasvien ja syysviljojen sadot 60 % vuosien 2013–2050 aikana. Hinnat, politiikka, tutkimus ja kehitys, mm. uudet pidempään kasvukauteen soveltuvat kasvilajikkeet, johtavat siihen, että maatalous sopeutuu tehokkaasti ilmastonmuutokseen.
- **Keskinkertainen sopeutuminen (KeS).** Sadot kasvavat lineaarisesti 10 %:lla vuosien 2013–2050 aikana (0,25 % vuodessa).
- **Vähäinen sopeutuminen (VäS).** Ilmastonmuutokseen sopeutuminen on harvinaista, vaikkakin

jotkut maatilat onnistuvat välttämään viljasatojen pienenemisen kalkitseamalla ja käyttämällä fungisidejä. Koska sopeutuminen maatalo- ja kasvitieteellä on harvinaista, sekä viljojen että nurmen sadot tippuvat 10 %.

6.1.3 Nykyinen kokonaisfosforin kuormitus vesistöihin ja kuormituksen muutokset ilmaston ja maatalouden muutosskenaarioissa

Tarkasteltaessa jaksoa 2050-59 VEMALAlla simuloitu kokonaisfosforin kuormitus vesistöihin muuttuu ilmastonmuutoksen keskiarvoskenaariossa nykyisestä hyvin vähän (-2...1 %). Märässä skenaariossa kuormitus kasvaa 11...13 % ja kuivassa skenaariossa se pienenee 6...9 % valunnan vähenemisen takia (taulukko 6). Maatalouden kuormitus pienenee keskiarvoskenaariossa 2–6 %. Lumen enimmäismäärä vähenee huomattavasti lisälmen reitillä keskimäärin 120 mm:stä 50 mm:iin lumen vesiarvona. Nykyään lumen sulaminen keväällä aiheuttaa runsaasti pintavaluntaa, koska vesi ei pääse imeytymään routaiseen maahan. Lumen sulannan aiheuttama pintavalunta vie mukanaan paljon maa-ainesta ja siihen sitoutunutta fosforia, joka näin päätyy pintavesiin. Mallin mukaan pintavalunta pienenee lisälmen reitillä tulevaisuudessa lumen sulannan vähentyessä. Koska suurin osa lisälmen reitillä olevista pelloista on maalajiltaan karkeita ja suhteellisen tasaisia, lisääntyvä vesisade pääsee imeytymään sulaan maahan eikä aiheuta yhtä paljon pintavaluntaa kuin lumen sulaminen. Tämän takia eroosio vähenee ja sen myötä fosforikuormitus pelloilta pienenee. Luonnonhuuhtouma kasvaa keskiarvoskenaariossa 7 % valunnan lisääntymisen takia.

Taulukko 6. Nykyinen kokonaisfosforin kuormitus vesistöihin ja kuormituksen muutokset (%) ilmaston ja maatalouden muutosskenaarioissa jaksolle 2050-59 mennessä.

	Kokonaiskuormitus			Maatalouden kuormitus			Luonnonhuuhtouma		
	Keskiarvoskenaario	Märkä skenaario	Kuiva skenaario	Keskiarvoskenaario	Märkä skenaario	Kuiva skenaario	Keskiarvoskenaario	Märkä skenaario	Kuiva skenaario
Nykyinen (2006-2011), t v ⁻¹	154			85			45		
"Business as usual", %	0	12	-7	-3	11	-10	7	20	-1
Vähäinen sopeutuminen, %	1	13	-6	-2	13	-9			
Keskinkertainen sopeutuminen, %	-2	11	-9	-6	8	-13			
Onnistunut sopeutuminen, %	-2	11	-9	-6	7	-14			

6.1.4 Luonnonhuuhtouma ja metsätalous

Tässä projektissa luonnonhuuhtouman simulointia parannettiin lisäämällä luonnonhuuhtoumaa Geologian tutkimuskeskuksessa tehdyn tutkimuksen pohjalta (Tammelin ja Kauppila 2015). Suuri luonnonhuuhtouma johtuu pääosin kahdesta syystä:

1. Kiuruveden valuma-alueella (04.523, 04.55, 04.56, 04.57) on runsaasti hienoainesmoreenia, joka erooituu helposti (kuvat 41-42). Kuormitustietojärjestelmä VEPSin arvoihin perustuvaa VEMALAn vuotuista luonnonhuuhtoumaa kasvatettiin kertoimen c_{LH} (1.0...4.7) avulla vastaamaan Tammelinin ja Kauppilan (2015) tutkimuksessa saatuja arvoja:

$$\text{kuorma}_{LH} = \text{kuorma}_{VEPS} * C_{LH}$$

2. Metsätaloudesta tuleva kuormitus on normaalia suurempi johtuen turvemaan isosta osuudesta Luupujoen valuma-alueella 04.57 (34 %), Koskenjoen valuma-alueella 04.56 (27 %) ja Kiuruveden valuma-alueella, jonne kaksi ensin mainittua laskevat, sekä Salahmijärven valuma-alueella 04.54 (32 %) (Kuva 43).

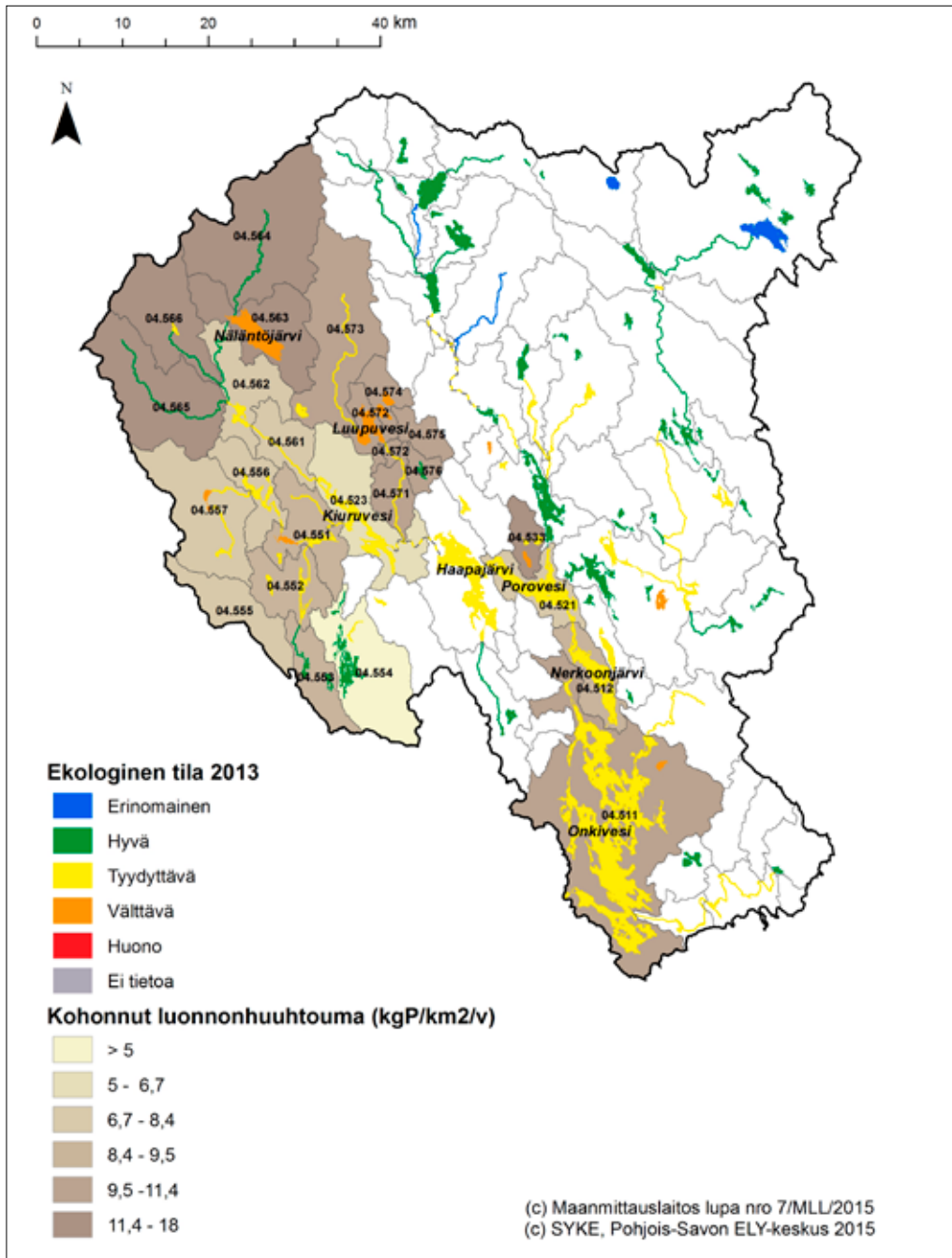
Metsätalouden kuormitus simuloidaan VEMALAssa konseptuaalisella mallilla, eikä se vielä perustu todellisiin osavaluma-alueilla suoritettuihin metsätaloustoimenpiteisiin tai erilaisiin metsämaaperän tyypeihin. VEMALAssa käytetään VEPSin vuosittaisia arvioita metsätalouden ja luonnonhuuhtouman kuormitukse-

ta, ja ne kalibroidaan niin, että järvissä ja joissa havaitut pitoisuudet vastaavat mallinnettua. VEMALAla simuloitu metsätalouden kuormitus lisälmen reitin valuma-alueella on 8900 kg v⁻¹.

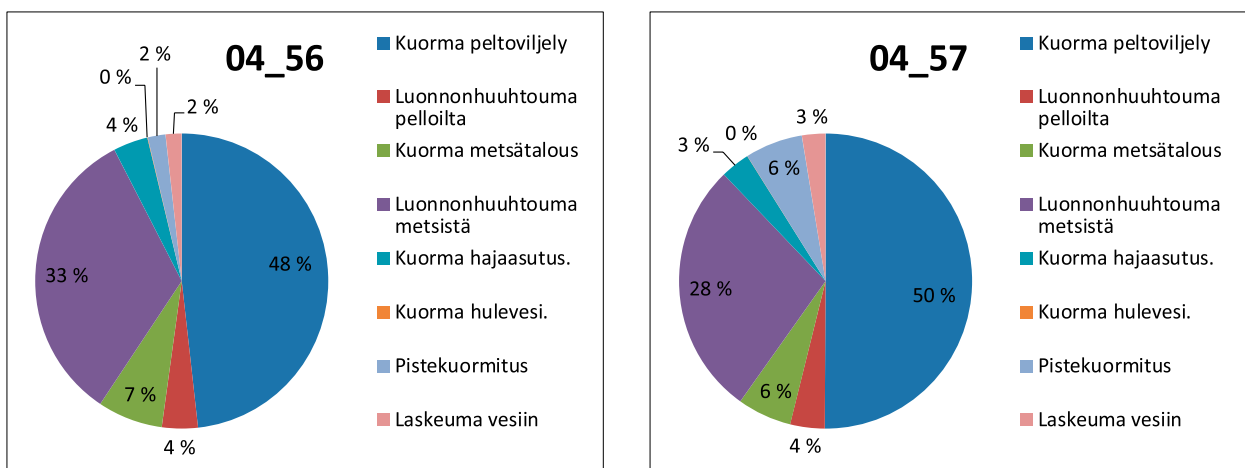
Tässä hankkeessa tehtiin myös VEMALAssa erillinen Excel-pohjainen malli metsätalouden kuormituksen simulointiin. Tavoitteena on liittää malli VEMALAssa tulevaisuudessa. Malli vaatii lähtötiedoiksi avohakkuiden pinta-alan vuosilta 2006–2014 (tiedot saatu Metsäkeskukselta), turve- ja mineraalimaiden osuuden 3. jakovaiheen valuma-alueella sekä metsätalouden ominaiskuormituksen ensimmäisenä vuonna avohakkuun jälkeen kullekin maalajille. Kuormituksen arvioitiin olevan ensimmäisenä vuonna avohakkuun jälkeen korkeampi kuin Finer et al. (2010) raportoima keskimääräinen arvo. Kuormituksen arvot, turvemailta 0,20 kg ha⁻¹ v⁻¹ ja kivennäismailta 0,10 kg ha⁻¹ v⁻¹, ovat kuitenkin havaitun vaihteluvälin sisällä. Malli simuloi kuormitukselle eksponentiaalisen laskun avohakkuuta seuraavina vuosina (kuva 44). Ojituksen uudistamisesta johtuvaa kuormituksen kasvua ei oteta huomioon mallissa:

$$\text{Kuormitus} = \text{ensimmäisen vuoden kuormitus} * e^{(-0.15 * (\text{vuosia avohakkuusta} - 1))}$$

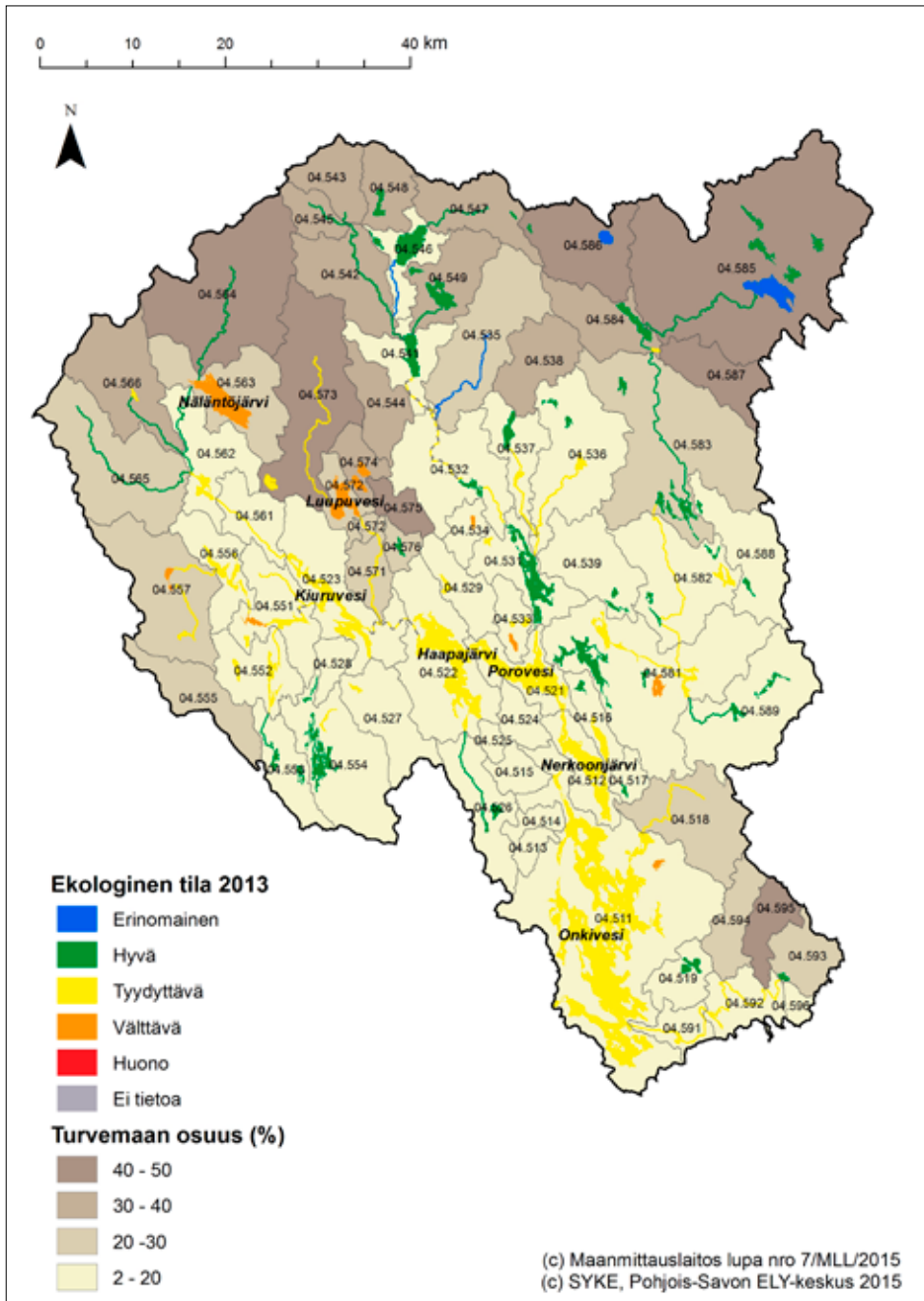
Metsätalouden kuormitus tällä yksinkertaisella mallilla laskettuna on lisälmen reitin valuma-alueella 8053 kg v⁻¹. Tämä arvio on lähellä VEMALAla simuloitua arvoa. Mallien antamat tulokset kuitenkin poikkeavat toisistaan osavaluma-alueilla, joissa on paljon turve- maata.



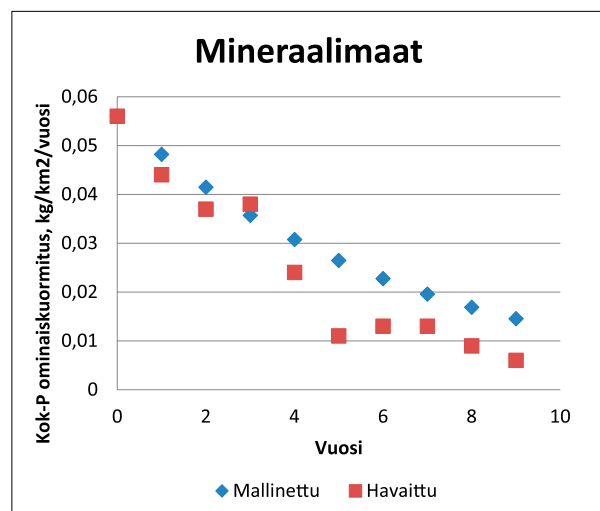
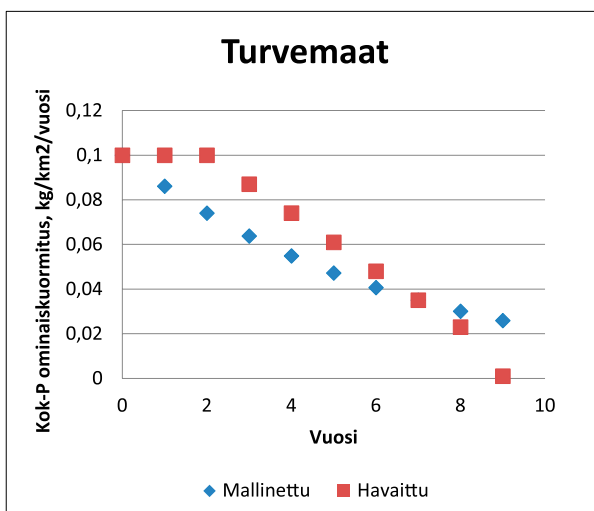
Kuva 41. Osavalmu-alueet, joissa VEMALA-mallissa on tavanomaista suurempi luonnonhuuhtouma Tammelinin ja Kauppilan (2015) tutkimukseen perustuen.



Kuva 42. Osavalmu-alueet (04.56 Koskenjoen valuma-alue, 04.57 Luupujoen valuma-alue), joissa on korkea luonnonhuuhtouma.



Kuva 43. Turvemaan osuus osavalmu-alueilla, mikä vaikuttaa metsätaloudesta tulevan kuormituksen suuruuteen.



Kuva 44. Avohakkuun vaikutus keskimääräiseen kokonaisfosforin ominaiskuormitukseen riippuen avohakkuusta kuluneista vuosista. Havaitut arvot ovat Finérin ym. (2010) tutkimuksesta.

6.2 Järviin tuleva kokonaisfosforikuormitus ja fosforipitoisuuden muutokset lisalmen reitin skenaariotarkasteluissa

lisalmen reitin järviin tuleva nykyinen kuormitus on kuvattu taulukossa 7. lisalmen reitin järviin tuleva kuormitus muuttuu ilmastonmuutoksen keskiarvoskenaariossa hyvin vähän (-4...7 %) (kuva 45). Simuloitu muutos jää VEMALAn epävarmuusrajojen sisälle. Märässä skenaariossa järviin tuleva kuormitus kasvaa. Muutokset simuloitussa bruttokuormituksessa vaikuttavat järviin tulevaan kuormitukseen. Ilmastonmuutoksen lisäksi bruttokuormitukseen vaikuttavat myös muutokset maataloudessa; siirtyminen kevätiljojen viljelystä nurmen viljelyyn ja kotieläinten määrän muuttuminen. Lisäksi muutokset kokonaisfosforin pidättymisessä yläjuoksun järviin vaikuttavat järviin tulevaan kuormitukseen. Fosforia pidättyy vähemmän keskiarvoskenaariossa ja märässä skenaariossa järvien lyhyemmän viiptymän takia. Yleisesti ottaen lievä bruttokuormituksen kasvu ja lyhyempi viiptymä kasvattavat järvien kokonaisfosforipitoisuutta. Enemmän prosesseihin pohjautuvaa mallia kuitenkin tarvitaan, jotta voidaan arvioida ulkoisen kuormituksen muutosten vaikutusta sisäiseen kuormitukseen sekä muutoksia virtauksissa.

6.3 Vesienhoidon toimenpiteiden vaikutus fosforikuormitukseen

Vesienhoidon toimenpiteiden vaikutusta maatalouden kuormitukseen arvioitiin käyttäen ICECREAM-pelto mallia, joka on liitetty vesistöaluetason VEMALAmalliin. Tässä tarkasteltiin toimenpiteiden ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutusta jakson 2020-2030 peltojen fosforikuormitukseen. Arvioinnissa tarkasteltiin seuraavia toimenpiteitä:

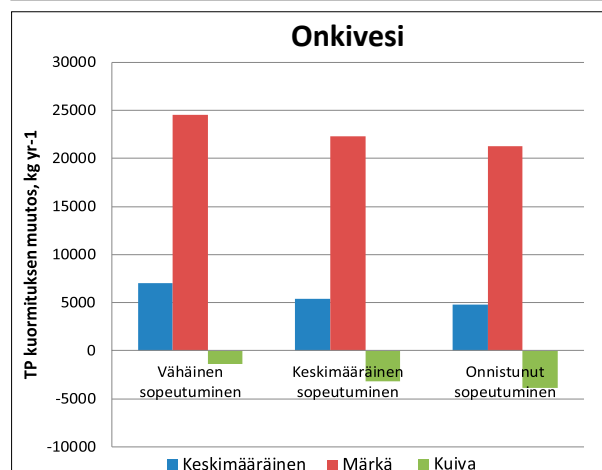
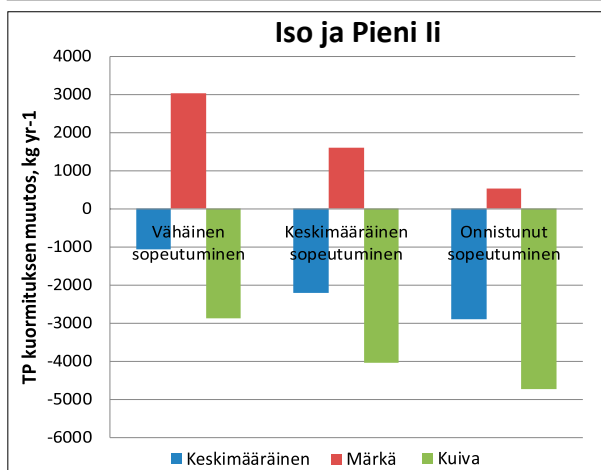
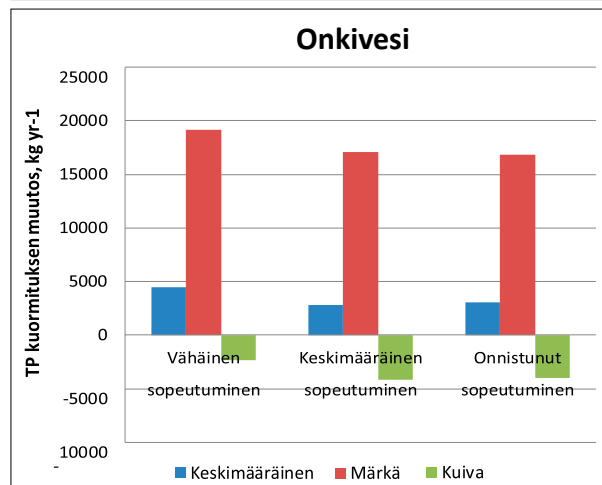
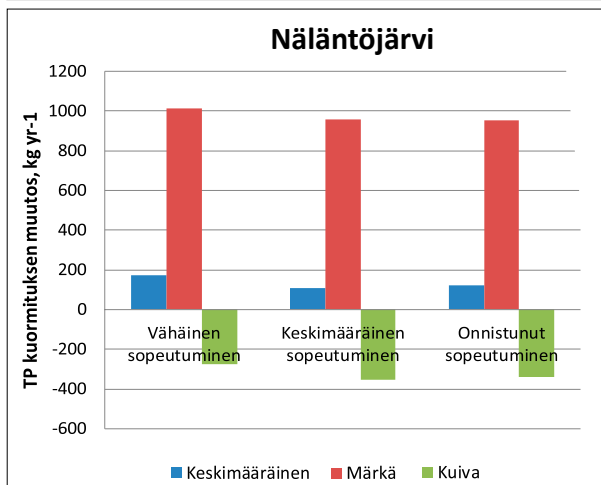
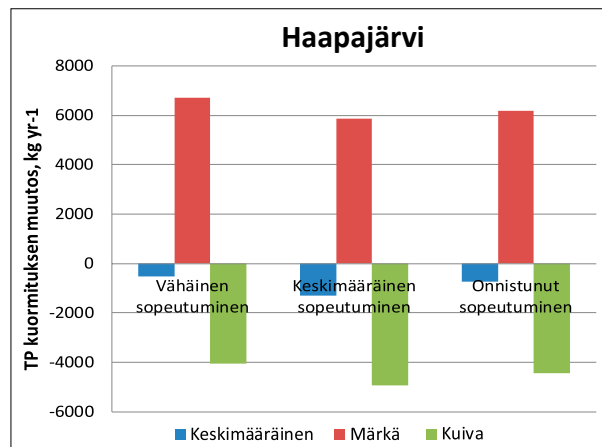
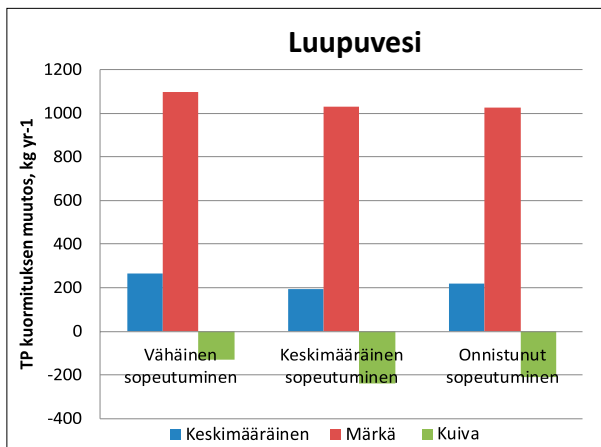
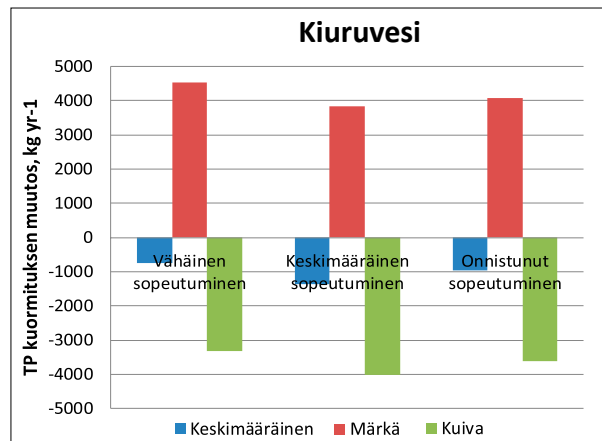
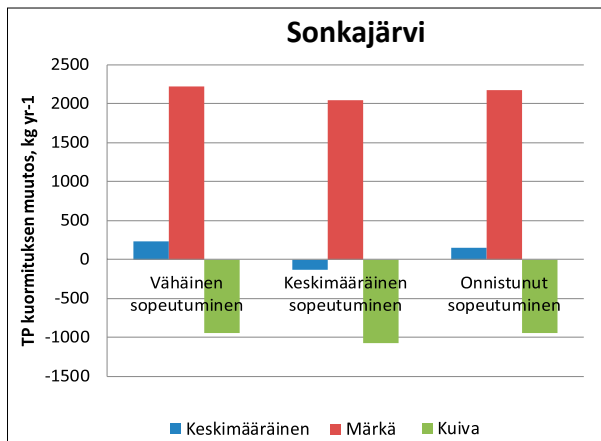
- tarkennettu lannoitus
- talviaikainen kasvipeite
- lietelannan sijoitus nurmilla
- 15 m suojavaoikeus
- kerääjäkasvi

Tarkastelussa katsottiin aluksi näiden toimenpiteiden peltolohkokohtaista vaikutusta (luvut 6.3.1–6.3.3) ja lopuksi eri toimenpiteiden ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutusta (luku 6.3.4).

Toimenpiteiden lohkokohtaiset vaikutukset arvioitiin käyttäen lohkojen todellisia tai arvioituja ominaispiirteitä. Tarkastelussa käytettiin v. 2012 Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskuksen (TIKE:n) peltolohkotietoja, joissa peltoala on noin 67 300 ha. Lähtötiedoiksi tarvitaan lohkon kaltevuusjakauma, maalaji, P-luku (viljavuusanalyysissä määritettävä maan helppoliukoisen fosforin pitoisuus) ja multavuus. Kaltevuusjakauma on laskettu joko tarkemmasta la-

Taulukko 7. Nykyinen kokonaisfosforikuormitus (TP) lisalmen reitin järviin.

	TP pitoisuus	TP kuorma	TP peltoviljely	TP pelto luonnonh.	TP metsätalous	TP metsä luonnonh.	TP haja-asutus	TP pistek	TP laskeuma	TP lähtevä	Pidättyminen
Yksikkö	µg/l	t v ⁻¹	t v ⁻¹	t v ⁻¹	t v ⁻¹	t v ⁻¹	t v ⁻¹	t v ⁻¹	t v ⁻¹	t v ⁻¹	%
Sonkajärvi	40.4	15.5	6.1	0.4	1.4	6.5	0.5	0.3	0.4	14.8	4.6
Luupuvesi	75.8	5.86	2.09	0.27	0.52	2.43	0.13	0.28	0.14	5.72	2.3
Näläntöjärvi	61.9	6.08	1.18	0.21	0.74	3.52	0.11	0.16	0.16	5.95	2.1
Iso li	46.4	26.6	16.4	0.8	1.5	6.6	0.5	0.1	0.6	21.8	17.9
Kiuruvesi	66.3	35.3	16.7	1.7	2.6	11.7	1.5	0.2	0.7	34.6	1.9
Haapajärvi	59.3	48.5	23.1	2.3	3.5	15.6	2.0	0.8	1.2	38.8	20.1
Porovesi	48.6	87.7	46.1	3.3	5.6	24.8	3.4	2.2	2.4	79.3	1.1
Onkivesi	48.2	105.7	58.0	4.0	6.2	26.6	4.2	3.0	3.9	95.0	10.2
Sonkajärvi	40.4	15.5	6.1	0.4	1.4	6.5	0.5	0.3	0.4	14.8	4.6
Luupuvesi	75.8	5.86	2.09	0.27	0.52	2.43	0.13	0.28	0.14	5.72	2.3
Näläntöjärvi	61.9	6.08	1.18	0.21	0.74	3.52	0.11	0.16	0.16	5.95	2.1



Kuva 45. Kokonaisfosforikuormituksen muutos vuosien 2006–2011 ja 2050–2059 välillä ilmaston ja maatalouden muutosskenaarioissa lisälmen reitin järvin

serkeilatusta 2 m korkeusmallista tai epätarkemmasta 10 m korkeusmallista. Laserkeilatettu korkeusmalli kattaa noin 49 000 ha lisälmen reitin pelloista.

Maalaji, P-luku ja multavuustiedot perustuvat maanäytteitä analysoivien laboratoriodien (mm. Viljavuuspalvelu) tietoihin. Todellisia lohko-kohtaisia tietoja on noin 35 600 ha:lle pelloista. Lopuille lohkoista lähtötiedot on arvioitu maannostietokannan ja mm. kuntatason P-lukutietojen perusteella. Saaristomeren valuma-alueella on arvioitu, että puuttuvat lohkojen lähtötiedot aiheuttavat 10-30 % epävarmuuden 3. jakovaiheen tason vesistöalueiden kuormitusarvioihin.

Jos tässä tarkastelussa olisi käytössä todelliset lähtötiedot peltolohkoille, tuloksia olisi mahdollista hyödyntää myös toimenpiteiden kohdentamisessa. Tuloksista olisi esimerkiksi mahdollista muodostaa valmis lista lohkoista, joilla talviaikainen kasvipeitteisyys tai suojavyyhyke vaikuttaa merkittävästi. Tuleviin tarkasteluihin lähtötiedot pyritään tarkentamaan, tosin tietojen saanti edellyttää eri tahojen (viljelijät, Maa- ja metsätaloustuottajain keskusliitto, maatalousviranomaiset) yhteisymmärrystä asiasta.

6.3.1 Suojavyöhyke

Tässä tarkasteltiin 15 m leveällä suojavyyhykkeellä saavutettavaa fosforikuormituksen pienennystä. Tarkastelu tehtiin lohko-kohtaisesti. Tarkastelussa katsottiin v. 2020-2030 tilannetta keskimääräisellä ilmastonmuutosskenaariolla. Tarkastelussa käytettiin viljelyä, jossa lohkoilla viljellään ohraa ja lohko kynnetaan joka syksy. Tarkastelussa verrattiin tilanteita, jossa lohkoilla ei ole suojavyyhykettä tai sillä on 15 m suojavyyhyke.

Maksimaaliseksi fosforikuorman pienennykseksi suojavyyhykkeitä käyttämällä lisälmen reitillä saatiin noin 4500 kg fosforia vuodessa, eli noin 4,6 % peltojen nykyisestä fosforikuormituksesta (Taulukko 8). Maksimi tarkoittaa kuitenkin tilannetta, jossa kaikki pellot kynnettäisiin syksyllä. Lisälmen reitin nykyisellä viljelykasvijakaumalla todellinen vaikutus jää huomattavasti pienemmäksi (luku 6.3.4). Nurmipelloilla suojavyyhykkeen vaikutus on vähäisempi ja sitä ei tarkasteltu tässä erikseen. Suojavyöhykkeen vaikutus maalajeittain on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 8. Suojavyöhykkeen vaikutus fosforikuormitukseen. Peltoala on jaettu luokkiin fosforikuormituksen pienennyksen mukaan. Esimerkiksi peltoja, joilla fosforikuormitus pienenee yli 0,15 kg/ha/v on 3907 ha ja näillä pelloilla saatava kuormituksen pienennys on yhteensä 864 kg P /v.

Fosforikuorman pienennys kg P/ha/v	Peltoala luokassa ha	Kumulatiivinen peltoala ha	Fosforikuorman pienennys kg P/v	Kumulatiivinen pienennys kg P/v	Keskimääräinen kaltevuus %
0.500-	78	78	51	51	12.5
0.475-0.500	18	96	9	60	10.8
0.450-0.475	20	116	9	69	9.6
0.425-0.450	36	152	16	85	11.2
0.400-0.425	36	188	15	100	10.7
0.375-0.400	39	227	15	115	9.5
0.350-0.375	54	281	20	135	9.9
0.325-0.350	84	365	28	163	10.5
0.300-0.325	109	474	34	197	8.4
0.275-0.300	168	642	48	245	8.9
0.250-0.275	262	903	68	313	8.1
0.225-0.250	313	1216	74	387	7.3
0.200-0.225	441	1657	93	481	7.2
0.175-0.200	808	2465	150	631	6.2
0.150-0.175	1442	3907	233	864	5.9
0.125-0.150	2956	6863	402	1266	5.0
0.100-0.125	4991	11854	556	1822	4.3
0.075-0.100	8179	20033	705	2527	4.3
0.050-0.075	17639	37671	1075	3602	3.7
0.025-0.050	20995	58667	788	4391	2.8
0.000-0.025	7972	66639	53	4443	2.5

Taulukko 9. Suojavyöhykkeen kuormituspienennysvaikutus lisälmen reitin pelloilla maalajeittain.

Fosforikuorman pienennys kg P/ha/v	Kaikki ha	Savi ha	Karkea ha	Hiesu ha	Turve ha
0.500-0.525	78	2	41	35	0
0.475-0.500	18	1	9	8	0
0.450-0.475	20	1	6	14	0
0.425-0.450	36	1	23	12	0
0.400-0.425	36	2	21	14	0
0.375-0.400	39	2	16	20	0
0.350-0.375	54	3	34	17	0
0.325-0.350	84	3	53	28	0
0.300-0.325	109	4	46	60	0
0.275-0.300	168	7	92	68	0
0.250-0.275	262	12	133	117	0
0.225-0.250	313	17	146	150	0
0.200-0.225	441	38	197	206	0
0.175-0.200	808	53	316	440	0
0.150-0.175	1442	96	556	791	0
0.125-0.150	2956	238	1013	1705	0
0.100-0.125	4991	634	1608	2748	0
0.075-0.100	8179	2782	3236	2161	0
0.050-0.075	17639	9769	7457	412	0
0.025-0.050	20995	4013	16975	8	0
0.000-0.025	7972	258	2194	27	5493

Taulukko 10. Suorakylvöllä saatava fosforikuormituksen pienennys.

Fosforikuorman pienennys kg P/ha/v	Peltoala luokassa ha	Kumulatiivinen peltoala ha	Fosforikuorman pienennys kg P/v	Kumulatiivinen pienennys kg P/v	Keskimääräinen kaltevuus %
1.500-	793	793	2078	2078	10.6
1.450- 1.500	55	849	82	2160	8.4
1.400- 1.450	53	901	75	2235	7.9
1.350- 1.400	57	958	79	2313	8.3
1.300- 1.350	82	1040	108	2422	8.5
1.250- 1.300	98	1138	124	2546	7.9
1.200- 1.250	68	1206	83	2629	8.5
1.150- 1.200	101	1307	119	2748	7.8
1.100- 1.150	101	1408	114	2862	7.0
1.050- 1.100	143	1551	154	3016	7.8
1.000- 1.050	171	1722	175	3191	6.9
0.950- 1.000	176	1898	171	3362	7.2
0.900- 0.950	202	2100	187	3549	7.5
0.850- 0.900	212	2311	185	3734	6.8
0.800- 0.850	239	2550	197	3931	6.8
0.750- 0.800	266	2816	206	4137	6.5
0.700- 0.750	424	3239	308	4445	6.4
0.650- 0.700	366	3605	246	4691	6.5
0.600- 0.650	584	4189	364	5055	5.8
0.550- 0.600	667	4857	383	5439	6.1
0.500- 0.550	802	5659	419	5858	5.8
0.450- 0.500	916	6575	435	6293	5.6
0.400- 0.450	1243	7818	526	6819	5.3
0.350- 0.400	1468	9286	549	7368	5.0
0.300- 0.350	2053	11339	665	8033	4.7
0.250- 0.300	2811	14149	769	8801	4.6
0.200- 0.250	4000	18150	893	9694	4.3
0.150- 0.200	5879	24029	1019	10713	4.0
0.100- 0.150	8516	32544	1057	11770	3.4
0.050- 0.100	9579	42123	721	12491	2.9
0.000- 0.050	13555	55678	231	12722	2.8
-0.050- 0.000	7548	63226	-182	12540	2.4
-0.100--0.050	3256	66482	-219	12322	1.6
-0.150--0.100	146	66628	-16	12305	1.1
-0.200--0.150	11	66639	-2	12303	0.7
--0.200	0	66639	0	12303	0.0

6.3.2 Talviaikainen kasvipeite

6.3.2.1 Suorakylvö

Suorakylvön vaikutusta fosforikuormitukseen tarkasteltiin kevätiljan viljelyssä vertaamalla suorakylvön ja syyskynnön välistä kuormituseroa. Vertailu tehtiin peltolohkoittain 2020-30 tilanteessa, samoin kuin suo- jakaistan tarkastelussa. Taulukosta 10 nähdään, että lisälmen reitillä on noin 55600 ha peltoja, joilla fosforikuormitus suorakylvöllä olisi pienempi kuin syyskynnönä käyttämällä. Vastaavasti noin 11 000 hehtaarilla suorakylvön fosforikuormitus olisi suurempi kuin syyskynnöllä. Peltoja, joilla suorakylvö kasvattaa fosfo-

rikuormitusta ovat lähinnä tasaisia, kaltevuus alle 2,4 % ja maalajiltaan karkeita (taulukko 11).

Suorakylvöllä voitaisiin maksimissaan pienentää fosforikuormitusta lisälmen reitillä 12 700 kg/v. Tämä toteutuisi vain tilanteessa, jossa kaikki peltoja ovat kevätiljalla ja verrataan syyskynnön ja suorakylvön eroa. Todellinen lisälmen reitillä saavutettavissa oleva vaikutus nykyisellä viljelykasvijakaumalla on kuvattu luvussa 6.3.4.

6.3.2.2 Kevytmuokkaus keväällä

Kevytmuokkauksen käyttöä kevätiljoilla tarkasteltiin samoin kuin suorakylvön käyttöä. Noin 42 000 heh-

Taulukko 11. Suorakylvön vaikutus fosforikuormitukseen eri maalajeilla.

Fosforikuorman pienennys kg P/ha/v	Kaikki ha	Savi ha	Karkea ha	Hiesu ha	Turve ha
1.500-	793	15	553	225	0
1.450- 1.500	55	1	35	19	0
1.400- 1.450	53	2	30	20	0
1.350- 1.400	57	0	31	26	0
1.300- 1.350	82	0	54	28	0
1.250- 1.300	98	0	58	39	0
1.200- 1.250	68	6	46	16	0
1.150- 1.200	101	10	72	19	0
1.100- 1.150	101	2	55	44	0
1.050- 1.100	143	4	84	55	0
1.000- 1.050	171	10	78	83	0
0.950- 1.000	176	22	103	50	0
0.900- 0.950	202	5	143	54	0
0.850- 0.900	212	11	100	102	0
0.800- 0.850	239	23	146	70	0
0.750- 0.800	266	19	152	95	0
0.700- 0.750	424	49	230	145	0
0.650- 0.700	366	87	165	114	0
0.600- 0.650	584	100	222	262	0
0.550- 0.600	667	109	334	224	0
0.500- 0.550	802	145	402	255	0
0.450- 0.500	916	259	406	252	0
0.400- 0.450	1243	342	582	319	0
0.350- 0.400	1468	443	670	355	0
0.300- 0.350	2053	783	782	488	0
0.250- 0.300	2811	1085	1130	596	0
0.200- 0.250	4000	1881	1359	761	0
0.150- 0.200	5879	2911	1918	1050	0
0.100- 0.150	8516	4796	2543	1177	0
0.050- 0.100	9579	4118	4130	1331	0
0.000- 0.050	13555	699	6711	652	5493
-0.050-0.000	7548	0	7467	80	0
-0.100--0.050	3256	0	3223	33	0
-0.150--0.100	146	0	143	2	0
-0.200--0.150	11	0	11	0	0
--0.200	0	0	0	0	0

Taulukko 12. Kevytkuokkauksella keväällä saavutettavissa oleva fosforikuormituksen pienennys verrattuna syyskyntöön.

Fosforikuorman pienennys kg P/ha/v	Peltoala luokassa ha	Kumulatiivinen peltoala ha	Fosforikuorman pienennys kg P/v	Kumulatiivinen pienennys kg P/v	Keskimääräinen kaltevuus %
1.000<	55	55	69	69	15.2
0.950- 1.000	3	58	3	72	16.2
0.900- 0.950	8	65	7	79	11.2
0.850- 0.900	7	72	6	85	11.1
0.800- 0.850	17	90	14	100	11.1
0.750- 0.800	28	118	22	122	10.7
0.700- 0.750	26	144	19	140	11.3
0.650- 0.700	25	169	17	157	8.8
0.600- 0.650	30	199	19	176	12.2
0.550- 0.600	81	280	46	222	10.5
0.500- 0.550	78	358	41	263	8.9
0.450- 0.500	166	523	79	341	7.4
0.400- 0.450	216	739	90	431	6.6
0.350- 0.400	419	1158	156	587	6.2
0.300- 0.350	788	1946	254	842	5.7
0.250- 0.300	1194	3140	324	1166	5.1
0.200- 0.250	1726	4866	388	1554	5.5
0.150- 0.200	3678	8544	629	2183	5
0.100- 0.150	7634	16178	935	3118	4.1
0.050- 0.100	10201	26379	763	3882	3.5
0.000- 0.050	15344	41723	261	4142	3.4
-0.050- 0.000	12764	54486	-327	3816	3.4
-0.100--0.050	10620	65106	-757	3058	2.6
-0.150--0.100	1488	66594	-171	2887	2.3
-0.200--0.150	40	66634	-7	2881	2.1
<-0.200	5	66639	-1	2880	1

Taulukko 13. Nurmen uusinnalla kevytkuokkauksella saavutettavissa oleva fosforikuormituksen pienennys.

Fosforikuorman pienennys kg P/ha/v	Peltoala luokassa ha	Kumulatiivinen peltoala ha	Fosforikuorman pienennys kg P/v	Kumulatiivinen pienennys kg P/v	Keskimääräinen kaltevuus %
1.000<	0	0	0	0	1.9
0.950- 1.000	0	0	0	0	2.2
0.900- 0.950	2	2	2	2	10.6
0.850- 0.900	0	2	0	2	2.7
0.800- 0.850	0	2	0	2	0
0.750- 0.800	0	3	0	2	1.5
0.700- 0.750	3	6	2	5	12.7
0.650- 0.700	3	9	2	7	13.5
0.600- 0.650	1	10	1	8	7.4
0.550- 0.600	39	49	23	30	14.7
0.500- 0.550	29	79	15	45	11.4
0.450- 0.500	15	93	7	52	12.1
0.400- 0.450	79	173	33	85	9.3
0.350- 0.400	107	280	40	126	9.1
0.300- 0.350	253	533	82	208	7.9
0.250- 0.300	479	1012	131	338	7.4
0.200- 0.250	1006	2018	222	560	6.2
0.150- 0.200	2214	4232	379	939	5.7
0.100- 0.150	5559	9791	673	1612	5.1
0.050- 0.100	17528	27319	1234	2846	4
0.000- 0.050	35392	62711	835	3681	3
< 0.000	3928	66639	-26	3655	1.9

taarilla kevytluokka keväällä tuotti pienemmän fosforikuormituksen kuin syyskynnö (Taulukko 12). Vastaavasti noin 24 000 hehtaaria syyskynnön fosforikuormitus oli yhtä pieni tai pienempi. Koko lisälmen reitin alueella kevytluokituksen etu syyskynnöön nähden fosforikuormituksen pienentämisessä olisi maksimissaan noin 4200 kg/v, mikä voidaan saavuttaa vain jos kaikki pellot ovat kevätiljalla.

6.2.2.3 Nurmen uusiminen kevytluokituksella

Nurmen uudistamisessa verrattiin vaihtoehtoja, joissa nurmi joko kynnetaan syksyllä ja uudistetaan suoja-tilaan tai kevytluokitaan keväällä ja uudistetaan suoja-tilaan. Noin 62 700 peltohehtaaria kevytluokituksella uudistus aiheutti pienemmän fosforikuormituksen ja noin 3900 hehtaaria syyskynnöllä uudistus tuotti pienemmän kuormituksen (Taulukko 13). Maksimissaan kevytluokituksella uudistamalla saataisiin noin 3700 kg/v fosforikuormituksen pienennys tilanteissa, jossa kaikki pellot ovat nurmella.

6.3.3 Lietelannan sijoitus

Lietelannan sijoituksen vaikutusta fosforihuuhtoumaan tarkasteltiin nurmilla. Tässä verrattiin vaihtoehtoja,

joissa lietelanta joko levitetään nurmille pintaan tai sijoitetaan. Tässä käytetty lietteen fosforimäärä on 10 kg/ha/v. Tässä tarkastelussa nurmi uudistetaan joka 4. vuosi suoja-tilaan. Uudistusvuonna liete mullataan molemmissa vaihtoehtoissa. Tuloksena lisälmen reitin kaikilla pelloilla vaihtoehtojen ero fosforikuormituksessa on yhteensä noin 10100 kg P/v (Taulukko 14).

6.3.4 Vesienhoidon toimenpiteiden yhteisvaikutus

Arvioitaessa vesienhoidon toimenpiteiden ja muiden alueella tapahtuvien muutosten kokonaisvaikutusta pelloilta vesistöön tulevaisuudessa päätyvään fosforikuormitukseen, täytyy huomioida seuraavat ainakin seikat:

- **Viljelykasvijakauma.** Tässä arvioissa käytettiin alueen vuoden 2012 viljelykasvijakaumaa TIKE:n rekisteristä. Viljelykasvijakauma voi kuitenkin muuttua tulevaisuudessa, kun tuotteiden ja tuotantopanosten hinnat vaihtelevat ja muuttuva ilmasto vaikuttaa mm. kasvukauden pituuteen.
- **Ilmaston muuttuminen.** Peltojen fosforikuormitus ja toimenpiteiden vaikutus siihen riippuu tulevai-

Taulukko 14. Lietelannan sijoituksella saatava fosforikuorman pienennys.

Fosforikuorman pienennys kg P/ha/v	Peltoala luokassa ha	Kumulatiivinen peltoala ha	Fosforikuorman pienennys kg P/v	Kumulatiivinen pienennys kg P/v	Keskimääräinen kaltevuus %
1.000<	109	109	148	148	15
0.950- 1.000	12	120	11	160	13.6
0.900- 0.950	49	169	45	205	12.2
0.850- 0.900	33	202	29	234	11.8
0.800- 0.850	53	255	44	277	11.2
0.750- 0.800	70	325	54	332	10.6
0.700- 0.750	69	394	50	381	11.2
0.650- 0.700	107	501	72	453	9.9
0.600- 0.650	174	674	108	562	9.4
0.550- 0.600	219	894	125	687	9
0.500- 0.550	352	1245	185	872	8.3
0.450- 0.500	537	1782	254	1126	7.8
0.400- 0.450	723	2505	306	1432	7.2
0.350- 0.400	1118	3623	417	1849	6.7
0.300- 0.350	2115	5738	682	2531	6.1
0.250- 0.300	3687	9425	1006	3536	5.2
0.200- 0.250	6184	15609	1373	4909	4.5
0.150- 0.200	10905	26513	1886	6796	3.8
0.100- 0.150	14847	41361	1838	8634	3
0.050- 0.100	15973	57334	1204	9838	2.8
0.000- 0.050	9098	66432	298	10136	2.3
-0.050- 0.000	202	66634	-1	10135	1.4
<-0.050	5	66639	0	10134	10

suuden ilmastosta. Tässä tarkasteltiin kuutta eri ilmastoskenaariota jaksolle 2020-30.

- **Lohkon eri toimenpiteiden yhteisvaikutus.** Samalle lohkolle käytettävät eri toimenpiteet vaikuttavat toistensa tehokkuuteen. Esimerkiksi talviaikainen kasvipeite lohkolle vähentää suojavaikkeen hyötyä.

Toteutetussa tarkastelussa toimenpiteet valittiin lohkokokohtaisesti seuraavassa järjestyksessä ja seuraavien kriteerein:

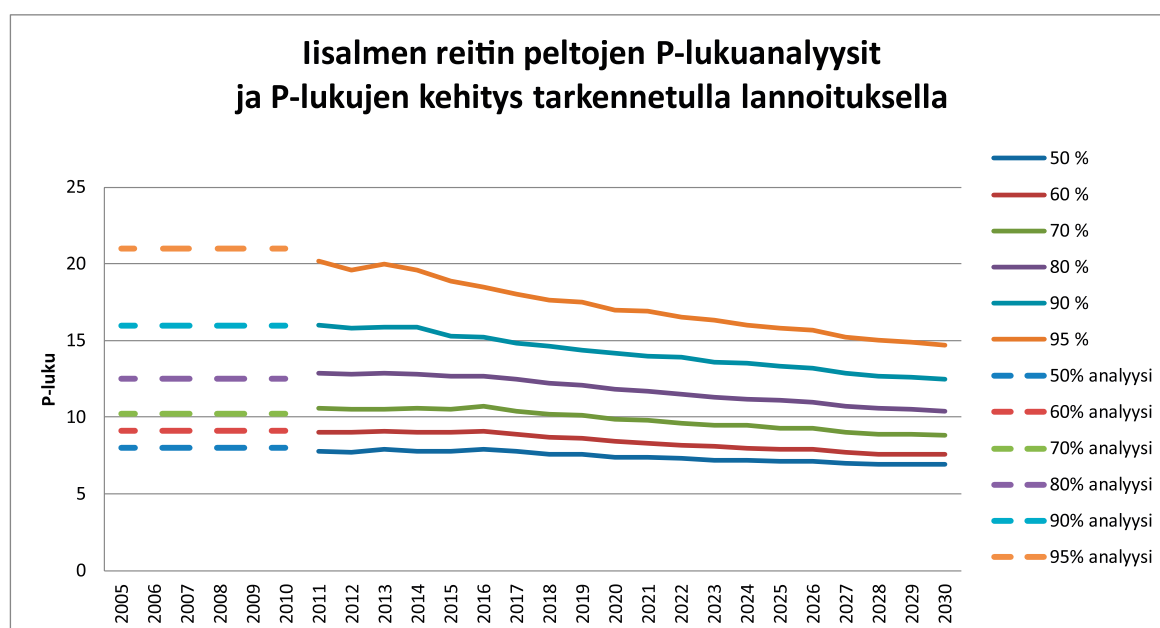
1. **Tarkennettu lannoitus** on käytössä kaikilla lohkoilla. Tarkennetussa lannoituksessa fosforin viljavuusluokissa hyvä ja korkea ei käytetä lainkaan fosforilannoitusta. Alemmissa viljavuusluokissa lannoitetaan fosforia 1 kg enemmän kuin sadon mukana poistuu.
2. **Talviaikainen kasvipeite** valitaan käyttöön lohkolle, jos se pienentää fosforikuormitusta yli 0,01 kg/ha/v. Tässä verrataan vaihtoehtoja syyskyntö ja suorakylvö keväällä.
3. **15 m suojavaikkeen** valitaan lohkolle jos se pienentää fosforikuormitusta yli 0,1 kg/ha/v.
4. **Lietteen sijoitus nurmilla** valitaan käyttöön, jos se pienentää fosforikuormitusta yli 0,01 kg/ha/v.
5. **Kerääjäkasvin käyttö.** Kerääjäkasvia voidaan käyttää kevätiljoilla erityisesti typen sitomiseen, mutta se auttaa myös estämään eroosiota ja fosforikuormitusta. Kerääjäkasvi valitaan peltolohkolle, jos se pienentää fosforikuormitusta yli 0,01 kg/ha/v.

Huomion arvoista on, että toimenpiteet valitaan tässä järjestyksessä. Esimerkiksi kalteville lohkoille tulee tyypillisesti valituksi talviaikainen kasvipeite. Kun lohkolle jo on talviaikainen kasvipeite, niin suojavaikkeen hyöty on hyödyllinen enää harvoilla lohkoilla.

Tarkennetulla lannoituksella voidaan vaikuttaa peltojen P-lukuihin ja sitä kautta fosforikuormituksen riskiin. Nykyisten lisälmen reitiltä saatavissa olevien viljavuustietojen perusteella 95 %:lla peltoalasta P-luku on alle 21 (kuva 46). Tässä tarkastellulla tarkennetun lannoituksen mallilla P-luvut laskisivat v. 2030 mennessä siten, että 95 %:lla peltoalasta P-luku olisi korkeintaan noin 15 ja mediaani (50 % arvo) pysyisi nykyisellään.

Toimenpiteet valittiin peltolohkoille keskimääräisen ilmastomuutoskenaarion tilanteessa. Tämä tarkoittaa, että toimenpiteiden hyöty mitattiin skenaarion mukaisessa ilmastossa jaksolla 2020-30. Toimenpiteiden kokonaisvaikutus kuvattiin vertaamalla nykytilajakson 2000-2010 kuormitusta jakson 2020-30 kuormitukseen eri toimenpiteillä.

On huomattava, että jakso 2000-2010 on ilmastollisesti niin lyhyt, että se ei välttämättä kuvaa keskimääräistä kuormitusta nykyilmastossa. Ilmastoa tarkasteltaessa käytetään yleensä 30 vuoden jaksoja. Tässä käytetyt delta-muutos ilmastomuutoskenaariot on määritelty muutoksena jakson 1971-2000 säähän. Tässä tarkastelussa vuosien 2020-30 sää on kyseisen ilmastomuutoskenaarion mukainen, eli 1971-2000 sää muutettuna skenaarion muutoksilla. Kokonaisuutena tämä tarkoittaa, että kuvassa 47



Kuva 46. Tarkennetulla lannoituksella on mahdollista alentaa peltojen P-lukuja. Viljavuusanalyysien perusteella 95 %:ssa peltoalasta P-luku on 21 tai alle. Mediaani, eli 50 % arvo on noin 7.

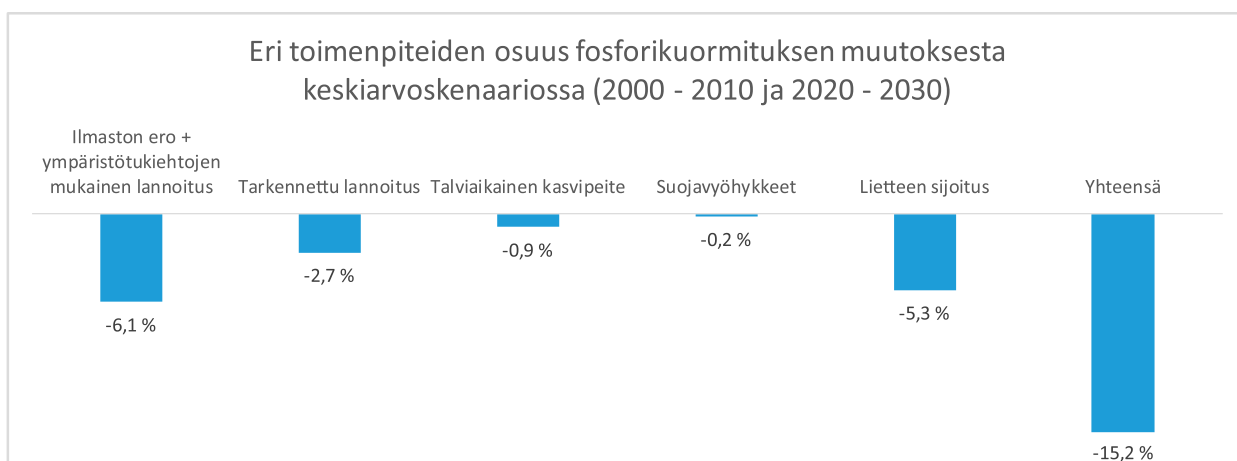
oleva ilmaston ero:sta johtuva kuormituksen muutos ei johdu pelkästään ilmastonmuutoksesta, vaan se sisältää myös 2000-2010 jakson luontaisesta vaihtelusta johtuvan eron keskimääräiseen. Lopputuloksena kuitenkin kuvan 47 tulokset vastaavat kysymykseen: millainen jakson 2020-30 peltojen fosforikuormitus on verrattuna 2000-2010 toteutuneeseen, jos esitetyt toimenpiteet toteutetaan.

Kuvan 47 tuloksista nähdään, että jos kaikilla lisälmen reitin pelloilla käytettäisiin nykyisten ympäristötukiehtojen mukaista lannoitusta, niin keskiarvoskenaariossa ilmastonmuutoksen mukaisessa ilmastossa jaksolla 2020-30 peltojen fosforikuormitus olisi noin 6 % jakson 2000-10 kuormitusta pienempi. Tämä muutos sisältää edellä kuvatun mukaisesti ilmaston muutoksen, jakson 2000-2010 luontaisen vaihtelun ja lannoituksen vaikutukset. Tarkentamalla lannoitusta lisäksi edellä kuvatun tarkennetun lannoituksen mukaisesti kuormitus pienisi noin 2,7 % lisää. Talviaikaisella kasvipeitteellä kuormitukseen voidaan vaikuttaa noin prosenttiin, suojavyöhykkeillä hyvin vähän ja lietteen sijoituksella nurmilla noin

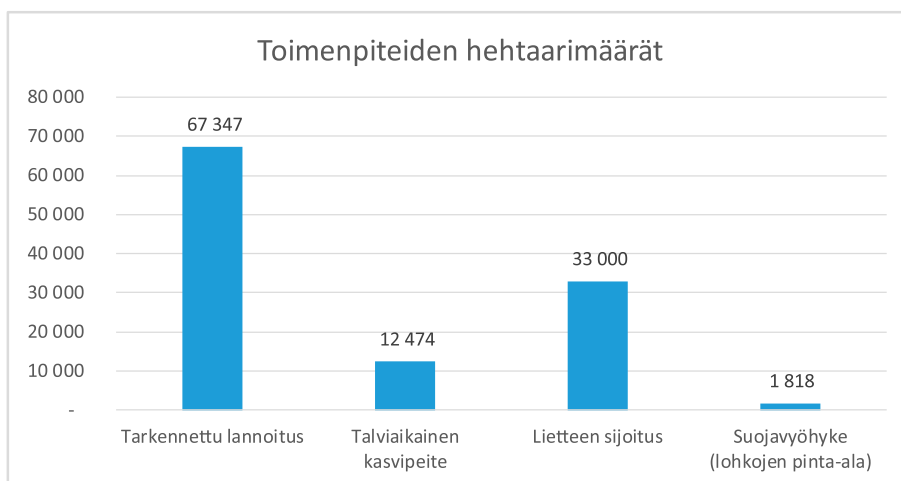
5,3 %. Yhteensä toimenpiteillä kuormitus olisi noin 15 % nykyistä pienempi.

Talviaikaisen kasvipeitteen vaikutus kuormitukseen jää varsin vähäiseksi johtuen ainakin kahdesta syystä: tarkennettu lannoitus pienentää korkeimpia P-lukuja ja siten vähentää kuormitusriskiä ja toisaalta suuri osa lisälmen reitin pelloista on nurmia. Suojavyöhykkeiden kokonaisuhyöty lisälmen reitillä jää hyvin vähäiseksi johtuen näistä samoista syistä ja lisäksi siitä että lohkolle valitaan ensin talviaikainen kasvipeite, jos se pienentää fosforikuormitusta ja vasta tämän jälkeen suojavyöhyke.

Tarkastelussa saadut eri toimenpiteiden hehtaari määrät on esitetty kuvassa 48. Tarkennettua lannoitusta sovelletaan kaikille lohkoille. Talviaikainen kasvipeite on hyödyllinen lisätoimenpide noin 12 500 ha alalle. Tämä tarkoittaa tilanteita, joissa voidaan valita kynnetäänkö lohko syksyllä vai suorakylvetään tai kevytmuokataan vasta keväällä. Koska lisälmen reitillä on nurmia noin 39 000 ha ja jonkin verran syysviljoja, niin talviaikaisen kasvipeitteisyyden kokonaisalaksi



Kuva 47. Jos ilmasto muuttuu keskimääräisen ilmastonmuutosskenaariossa mukaisesti, niin silloin 2020-luvulla voidaan kuormitusta vähentävillä toimenpiteillä päästä noin 15 % nykyistä pienempään fosforikuormitukseen pelloilta.



Kuva 48. Fosforikuormitusta vähentävien toimenpiteiden hehtaari määrät

tulisi noin 52 000 ha. Lietteen sijoitus on hyödyllinen noin 33000 hehtaarilla, eli suurella osalla nurmialasta. Suojavyöhykkeet ovat hyödyllisiä lohkoilla, joiden pinta-ala on noin 1800 ha (lohkojen pinta-ala, ei suojavyöhykkeiden).

Keskiarvoskenaariossa valitut toimenpiteet tuottivat noin 15 % pienennyksen fosforikuormitukseen 2020-30 jaksolla. Tämän lisäksi tarkasteltiin näiden toimenpiteiden vaikutusta eri ilmastoskenaarioilla ja myös jakson 2001-10 sääarvoilla (Kuva 49). Kuormitus pieneni kaikissa vaihtoehdoissa, mutta vaihteluväli on suuri, -1 - -15 %.

Tämä tarkastelu ei huomioi kaikkia tulevaisuuden ravinnekuormitukseen vaikuttavia tekijöitä ja siksi sitä pitäisi täydentää ainakin näiltä osin:

- Eri ilmastomuutoskenaarioissa eri toimenpiteillä saatava hyöty voi vaihdella. Tässä toimenpiteet valittiin ilmastomuutoksen keskiarvoskenaarion tilanteessa. Toimenpiteiden valinta tulisi tarkastella erikseen jokaisessa ilmastomuutoskenaariossa.
- Kasvilajijakauma voi muuttua jossakin määrin jo 2020-luvulla. Tässä raportissa on kuvattu kasvilajien muutoksen vaikutuksia 2050-60 tilanteessa, mutta vaikutukset ja yhteisvaikutukset toimenpiteiden kanssa tulisi arvioida myös 2020-luvulle.
- Tässä tarkastelussa viljelykasvien sijoittelu peltolohkoille noudattaa vuoden 2012 tilannetta, huomioiden kuitenkin viljelykierron vaatimukset. On mahdollista tarkastella myös miten vaikuttaa, jos pellon kasvilajivalinnassa huomioidaan myös huuhtoutumis- ja eroosioriski. Esimerkiksi niin, että suurimman eroosioriskin pellot olisivat nurmella.

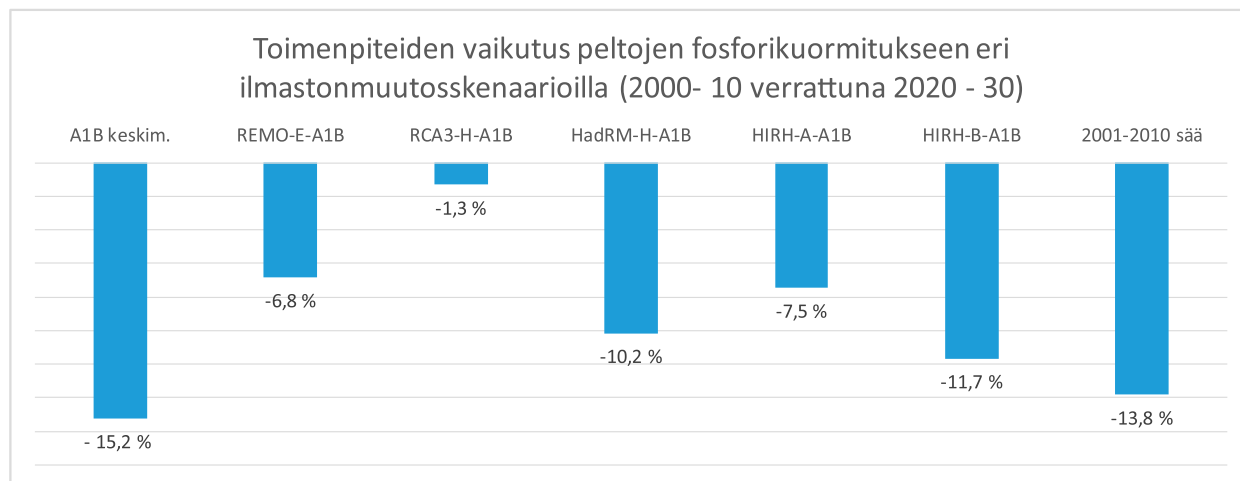
Tämän käytännön toteutus tosin ei todennäköisesti olisi helppoa, sillä se vaatisi yhteistyötä vilja- ja karjatilojen välillä. Mahdollinen hyöty voidaan kuitenkin selvittää laskelmalla.

- Toimenpidemääriä voidaan tarkentaa vastaamaan vesienhoidon suunniteltuja toimenpiteitä, jolloin saadaan arvio niiden vaikutuksista. Nykyinen arvio on maksimi mitä näillä toimenpiteillä voidaan vaikuttaa. Asiantuntija-arvion mukaan vesienhoidon toimenpiteet pienentäisivät fosforikuormitusta noin 18%, mikä sisältää myös kosteikkojen ja laskeutusaltaiden vaikutuksen, jotka eivät olleet tässä tarkastelussa mukana.

6.4 Yhteenveto

Vesienhoidon toimenpiteiden ja ilmastomuutoksen vaikutusta vesistöjen ravinnekuormitukseen arvioitiin VEMALA-mallilla, joka on koko lisälmen reitin kattava ravinnekuormitusmalli. Malliarvion mukaan lisälmen reitillä noin 70 % vesistöjen fosforikuormituksesta on ihmisperäistä ja noin 30 % luonnonhuuhtoumaa. Ihmisperäisestä fosforikuormituksesta noin 75 % tulee maataloudesta, mikä merkitsee, että maatalouden toimenpiteillä on suurimmat mahdollisuudet vaikuttaa kuormitukseen.

Vesienhoidon toimenpiteistä tässä tarkasteltiin tarkennettua lannoitusta, talviaikaista kasvipeitettä, suojavyöhykkeitä, lietteen sijoitusta nurmilla ja kerääjäkasveja. Käyttämällä tarkennettua lannoitusta kaikilla pelloilla, suorakylvöä noin 12 000 hehtaarilla, lietteen



Kuva 49. Tarkastelluilla toimenpiteillä saatava fosforikuormituksen muutos eri ilmastomuutoskenaarioissa. Eri skenaarioiden vaihteluväli jo 2020-30 jaksolla on huomattava.

sijoitusta lähes kaikilla nurmilla ja varaamalla suoja-
vyöhykkeille 122 ha voidaan 2020-luvulla päästä pel-
tojen fosforikuormituksessa ilmastonmuutoskenaari-
osta riippuen tasolle -1 - -15 % nykytilaan verrattuna.
Ilmastonmuutoksen epävarmuus jo 2020-luvulla on
huomattava, eli epäsuotuisimmassa skenaariossa
kuormitus pysyisi toimenpiteistä huolimatta lähes ny-
kytilaan.

Maatalouteen ja maatalouden fosforikuormituk-
seen tulevaisuudessa lisälmen reitillä niin kuin koko
Suomessakin vaikuttavat toteutettavat vesiensuojelun
toimenpiteet, ilmaston muuttuminen ja maataloustuot-
teiden ja tuotantopanosten hintojen muuttumisesta
johtuvat muutokset viljelijöiden viljelykasvivalinnoissa
ja lannoitusmäärissä. Maataloustuotteiden ja tuotan-
topanosten hintojen muutoksesta aiheutuvaa maa-
talouden ja peltojen kuormituksen muutosta arvioitiin
vuoden 2050 tilanteessa samanaikaisesti eri ilmas-
tonmuutoskenaarioiden kanssa. Maatalouden kuor-
mitus näissä vaihtoehdoissa vaihtelee välillä -14 % ja
+13 % nykytilaan verrattuna. Samanaikaisesti ilmas-
tonmuutos vaikuttaa myös luonnonhuhutoumaan ja
metsätalouden kuormitukseen, jolloin vesistöjen ko-
konaiskuormitus vaihtelee välillä -9 % - +13 % nykyti-
laan verrattuna.

7 Vesiensuojelutoimenpiteiden kustannustehokkuus ja ilmastonmuutoskestävyys

Tässä luvussa on kuvattu lisälmen reitin ilmastonmuutostarkastelujen vesienhoidon toimenpiteitä koskeva osuus. Tarkastelussa laskettiin ensiksi vesiensuojelutoimenpiteiden kustannustehokkuus lisälmen reitillä 2. jakovaiheen valuma-alueittain, mikä mahdollistaa toimenpiteiden tarkemman kohdentamisen kustannustehokkuuden mukaan valuma-alueelle, sekä arviot valuma-alueen eri järvien tilan parantamiseksi tarvittavista kustannustehokkaimmista toimenpiteistä.

Tarkastelun toisessa osassa tutkittiin maatalouden vesienhoitotoimenpiteiden kustannustehokkuutta erilaisissa ilmastonmuutos- ja maatalouskenaarioissa. Skenaariolaskelmat tehtiin koko lisälmen reitin valuma-alueelle.

Tarkastelut on tehty käyttäen Suomen ympäristökeskuksessa kehitettyä kustannustehokkaiden toimenpiteiden valintatyökalua (KUTOVA). Työkalu on tarkemmin kuvattu Hjerpen ja Väisäsen (2015) artikkelissa, lisäksi työkalu ja raportteja sen aiemmista sovelluskohteista on ladattavissa Suomen ympäristökeskuksen verkkosivuilta (http://www.syke.fi/fi-Fi/Tutkimus_kehittaminen/Itameren_vesistöjen_ja_vesivarojen_kestava_kaytto/Mallit_ja_tyokalut/Vesienhoidon_mallit/Kustannustehokkaiden_toimenpiteiden_valintatyokaluu_KUTOVA).

KUTOVA-työkalulla voidaan arvioida vesiensuojelutoimenpiteiden kustannustehokkuutta ja saavutettavissa olevaa fosforikuormituksen vähennystä. Lisäksi työkalulla voidaan muodostaa kustannustehokkaita toimenpideyhdistelmiä. Työkaluun on sisällytetty vesienhoidon toimenpiteitä, jotka tähtäävät fosforin haja-kuormituksen vähentämiseen valuma-alueella. Kaikki vesienhoidon toimenpiteet eivät siis ole tarkastelussa mukana. Toimenpiteiden kustannustehokkuutta arvioidaan ainoastaan fosforikuormituksen suhteen, eikä tarkastelu ota huomioon esimerkiksi toimenpiteiden toteutettavuutta, hyväksyttävyyttä tai vaikutuksia esimerkiksi tippikuormaan tai luonnon monimuotoisuuteen.

7.1 Vesiensuojelutoimenpiteiden kustannustehokkuus osavaluma-alueittain

Tässä osassa tarkastellaan osavaluma-alueittain vesiensuojelutoimenpiteiden kustannustehokkuutta ja saavutettavissa olevaa fosforikuormituksen vähennystä. Tarkastelun perusteella arvioidaan mitä toimenpiteitä kannattaa milläkin osavaluma-alueella tehdä ja kuinka paljon niillä voitaisiin vähentää fosforikuormitusta alueella.

7.1.1 Käytetyt lähtötiedot

Vesienhoidon suunnittelua varten lisälmen reitille tehtiin KUTOVA-tarkastelu keväällä 2014. Tätä tarkastelua varten lähtötietoja pyrittiin kuitenkin tarkentamaan. Pohjois-Savon ELY-keskus toimitti tarkennettuja lähtötietoja mm. koskien metsätalouden toimenpiteitä ja viemäroimättömän haja-asutuksen määrää. Lisäksi peltokuormituksen osalta tietoja täydennettiin mm. p-lukujen, maalajien ja kaltevuuksien osalta. Tarkennettujen lähtötietojen avulla VEMALA-mallin arvioita fosforikuormituksesta edelleen tarkennettiin.

7.1.1.1 Kuormitus

Kuormitustiedot kerättiin VEMALASTA, josta on saatavissa nykyisin kuormitus jaettuna kuormituslähteittäin (pelto, metsätalous, luonnonhuhutouma, laskeuma, haja-asutus, hulevedet, pistekuormitus). Kuormitustiedot ovat keskiarvoja vuosien 2006-2011 arvoista. Lisäksi turvetuotannon kuormitustiedot haettiin ympäristönsuojelun tietojärjestelmä VAHTIsta. Lisäksi maatalouden kuormitusta kokonaisuutena ja sekä nurmipeitteisiltä ja talviaikaisesti kasvipeitteisiltä pelloilta on arvioitu myös VIHMA-työkalulla (Puustinen ym. 2010). Kuormituksen lähtötiedot osa-alueittain on esitetty liitteessä 3.

7.1.1.2 Maksimialat

Tarkastelua varten täytyy kerätä tietoja, joiden avulla voidaan laskea kunkin toimenpiteen potentiaalinen maksimitoteutusala. Esimerkiksi peltojen osalta tarvitaan tieto koko peltopinta-alasta sekä peltoalasta, joka on jo monivuotisessa nurmiviljelyssä tai talviaikaisesti kasvipeitteisenä. Tiedot kerättiin ELY-keskuksessa ja osin niitä selvitettiin paikkatietoaineistojen ja VIHMA-mallin avulla (liite 3).

7.1.1.3 Valuma-aluekohtaiset reduktiot

KUTOVA-työkalussa osalle maatalouden toimenpiteistä lasketaan VIHMA-mallin avulla valuma-aluekohtaiset reduktiot, eli fosforin pidätyskertoimet. Nämä reduktiot on esitetty liitteessä 3. Muiden toimenpiteiden reduktiot ovat vakioita ja ne on kuvattu esimerkiksi Hjerpen & Väisäsen (2015) työssä.

7.1.2 Toimenpiteiden kustannustehokkuus ja saavutettavissa oleva kuormitusvähennys

Vesiensuojelutoimenpiteiden kustannustehokkuus vaihtelee toimenpiteittäin ja osavaluma-alueittain. Kaikilla alueilla kustannustehokkaimpia maatalouden toimenpiteitä ovat suojavyöhykkeet, peltojen talviaikainen kasvipeitteisyys ja monivuotinen nurmiviljely kaltevilla pelloilla (kaltevuus >3%) sekä kosteikot (taulukko 15).

Metsätaloudessa kustannustehokkaimpia toimenpiteitä ovat kunnostusojituksen eroosiontorjuntaan tähtäävät putki- ja pohjapadot sekä metsälannoitusten suojakaistat. Turvetuotannon kustannustehokkaimpia toimenpiteitä ovat virtaamansäätö ja pintavalutuskentät ilman pumppausta. Viemäröimättömän haja-asutuksen toimenpiteistä kustannustehokkaimpia ovat loma-asutuksen kiinteistökohtaiset jätevesienkäsittelyjärjestelmät.

Osavaluma-alueiden välillä vaihtelu toimenpiteiden kustannustehokkuudessa on suurinta haja-asutuksen ja turvetuotannon toimenpiteiden, sekä metsätalouden kunnostusojitusten eroosiontorjuntaan tähtäävillä toimenpiteillä ja peltojen säätösalaajituksella. Maatalouden toimenpiteet ovat kustannustehokkaimpia Onkiveden alueella (04.51), Naarvanjoen valuma-alueella (04.59), Poroveden alueella (04.52) ja Iso-lin alueella (04.53).

Metsätalouden toimenpiteet ovat kustannustehokkaimpia Iso-lin alueella, Sonkajärven reitin valuma-alueella (04.58), Onkiveden alueella ja Naarvanjoen valuma-alueella. Haja-asutuksen toimenpiteet ovat kustannustehokkaimpia Sonkajärven reitin valuma-alueella, Koskenjoen valuma-alueella (04.56) ja Poroveden alueella. Turvetuotannon toimenpiteet ovat kustannustehokkaimpia Iso-lin, Poroveden ja Naarvanjoen alueilla.

Toimenpiteiden kuormitusvähennyspotentiaalin kannalta vaikuttavimpia toimenpiteitä kaikilla osavaluma-alueilla ovat maatalouden keskikokoiset ja suuret kosteikot, monivuotinen nurmiviljely kaltevilla pelloilla, säätösalaajitus ja ravinnetaseen hallinta. Lisäksi viemäröimättömän haja-asutuksen toimenpiteet kuuluvat kaikilla alueilla vaikuttavimpiin yksittäisiin toimenpiteisiin (taulukko 16).

Alueellisesti eniten hajontaa on turvetuotannon ja metsätalouden toimenpiteiden vaikuttavuudessa. Eriytisesti turvetuotannon osalta Koskenjoen (04.56) ja Luupujoen (04.57) valuma-alueilla voitaisiin vähentää jopa 3-5 % alueiden kokonaiskuormituksesta, kun muilla alueilla toimenpiteiden vaikutus kokonaiskuormitukseen on alle prosentin luokkaa.

7.1.2.1 Toimenpiteiden kohdistaminen osavaluma-alueille

Vertailemalla osavaluma-alueiden fosforikuormituksen vähennyksen kustannustehokkuuskäyriä voi huomata, että kaikista kustannustehokkaimmin kuormitusta voisi vähentää Naarvanjoen valuma-alueella (kuva 50). Kyseinen osavaluma-alue on kuitenkin pieni ja se laskee aivan Onkiveden alaosiin (kuva 3), joten lisälmen reitin vesistöjen ekologisen tilan parantamisen kannalta täällä tehdyillä toimenpiteillä ei ole juuri merkitystä. Lisäksi Naarvanjoen alueen kuormituksen osuus koko lisälmen reitin kuormituksesta on vähäinen. Muita kustannustehokkaimpia alueita ovat Luupujoen, Iso-lin ja Poroveden alueet.

Tarkoituksenmukaisempaa olisikin tarkastella kustannustehokkuuskäyriä suhteutettuna koko lisälmen reitillä syntyvään kuormitukseen nähden (kuva 51). Tässä tarkastelussa kolme osavaluma-aluetta näyttää muita suotuisimpana kuormituksen vähentämisen kannalta: Onkiveden, Iso-lin ja Sonkajärven reitin alueet.

Taulukko 15. Toimenpiteiden kustannustehokkuus osavalmu-alueittain. Mitä tummemmalla sävyllä toimenpide on korostettu, sitä kustannustehokkaampi se keskimäärin on.

Toimenpide		Kustannustehokkuus €/P kg								
		04.51	04.52	04.53	04.54	04.55	04.56	04.57	04.58	04.59
Maatalous	Suojavyöhykkeet, 0,5-1,5% kaltevuus	1 820	2 210	2 370	2 500	2 740	3 750	3 240	2 190	1 540
	Suojavyöhykkeet, 1,5-3,0% kaltevuus	600	750	810	830	940	1 280	1 060	770	530
	Suojavyöhykkeet, 3,0-6,0% kaltevuus	140	170	190	190	220	300	240	180	120
	Suojavyöhykkeet, >6,0% kaltevuus	60	70	80	80	90	130	100	80	50
	Pienet kosteikot (<0,5 ha), 20-30 % peltoa	300	360	320	360	350	500	440	330	260
	Pienet kosteikot (<0,5 ha), 30-50 % peltoa	180	230	180		210	300	270	210	150
	Pienet kosteikot (<0,5 ha), > 50 % peltoa	110	110	110	120	130	170	170	120	
	Keskikokoiset kosteikot (0,5-2 ha), 20-30 % peltoa	380	430	370	410	460	600	640	440	340
	Keskikokoiset kosteikot (0,5-2 ha), 30-50 % peltoa	220	290	240	260	300	370	360	250	200
	Keskikokoiset kosteikot (0,5-2 ha), > 50 % peltoa	160	200	150	290	220	220	210	190	140
	Suuret kosteikot (> 2 ha), 20-30 % peltoa	270	300	280	340	350	390	440	320	250
	Suuret kosteikot (> 2 ha), 30-50 % peltoa	190	200	180		220	340	300	160	210
	Suuret kosteikot (> 2 ha), > 50 % peltoa	120	160	140			190	170	180	140
	Peltojen talviaikainen eroosion torjunta, <0,5% kaltevuus	1 400	1 850	1 920	1 960	2 630	3 490	2 620	2 030	1 330
	Peltojen talviaikainen eroosion torjunta, 0,5-1,5% kaltevuus	840	1 100	1 140	1 170	1 530	2 090	1 590	1 210	790
	Peltojen talviaikainen eroosion torjunta, 1,5-3,0% kaltevuus	470	610	630	640	830	1 140	880	640	430
	Peltojen talviaikainen eroosion torjunta, 3,0-6,0% kaltevuus	200	260	270	280	360	490	380	280	190
	Peltojen talviaikainen eroosion torjunta, >6,0% kaltevuus	120	150	150	160	200	270	210	150	100
	Monivuotinen nurmiviljely, 1,5-3,0% kaltevuus	1 120	1 350	1 260	1 530	1 890	2 750	2 370	1 240	990
	Monivuotinen nurmiviljely, 3,0-6,0% kaltevuus	90	110	120	120	160	210	170	120	80
Monivuotinen nurmiviljely, >6,0% kaltevuus	40	50	50	50	70	90	70	50	40	
Säätösaloitus ym.	830	970	410	1 250	1 100	1 870	2 440	660	720	
Ravinteiden käytön hallinta	1 030	1 570	2 070	1 150	1 920	2 160	1 200	2 330	1 560	
Metsätalous	Uudistushakkuiden suojakaista	890	800	700	680	720	480	670	620	700
	Lannoitusten suojakaista	80	100	110	140	110	180	210	140	140
	Metsätalouden pintavalutuskentät	120	260	80	300	270	310	430	100	230
	Metsätalouden putkipadot	40	100	30	110	100	110	160	40	80
	Metsätalouden pohjapadot	70	160	50	180	170	190	260	60	140
	Metsätalouden kosteikot	260	550	170	630	570	650	910	220	490
Haja-asutus	Viemäröinnin laajentaminen haja-asutusalueille	770	390	740	630	460	340	820	290	750
	Uudet haja-asutuksen kiinteistökohtaiset jätevesien käsittelyjärjestelmät	850	430	810	690	500	380	900	320	820
	Uudet loma-asutuksen kiinteistökohtaiset jätevesien käsittelyjärjestelmät	360	180	350	290	210	160	390	140	350
	Vapautuksen saaneiden kiinteistöjen jäteveden käsittelyjärjestelmien tehostaminen	790	400	760	640	470	350	840	300	770
Turvetuotanto	Pintavalutuskenttä pumppaamalla (kesä/ ympärivuotinen)		680	340	770		780	1 020	780	
	Pintavalutuskenttä (ei pumppausta)		220	110	240		250	320	250	
	Virtaaman säätö		160	80	180		180	230	180	170
	Kemiallinen käsittely		1 160	580	1 310		1 320	1 730	1 330	1 230
	Pienkemikalointi		610	300	680		690	900	700	650

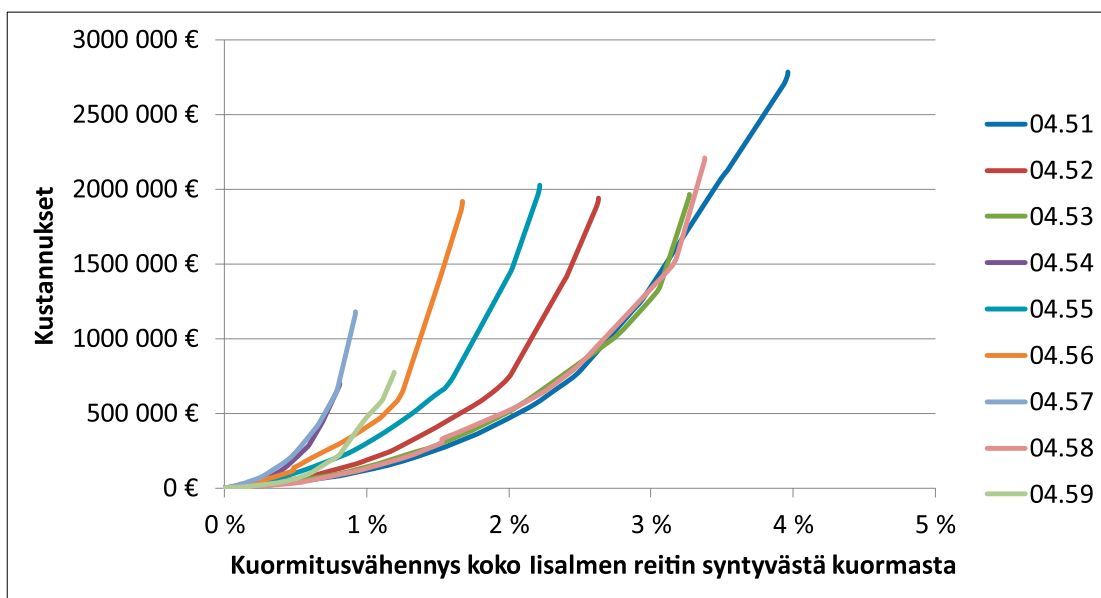
Taulukko 16. Toimenpiteillä saavutettavissa oleva kuormitusvähennys prosentteina osavaluma-alueen kokonaiskuormituksesta. Mitä tummemmalla sävyllä toimenpide on korostettu, sitä vaikuttavampi toimenpide keskimäärin on.

		Saavutettavissa oleva kuormitusvähennys (% osavaluma-alueen kokonaiskuormasta)								
		04.51	04.52	04.53	04.54	04.55	04.56	04.57	04.58	04.59
Maatalous	Toimenpide									
	Suojavyöhykkeet, 0,5-1,5% kaltevuus	0.1 %	0.1 %	0.0 %	0.1 %	0.0 %	0.1 %	0.1 %	0.0 %	0.1 %
	Suojavyöhykkeet, 1,5-3,0% kaltevuus	0.4 %	0.3 %	0.2 %	0.2 %	0.2 %	0.2 %	0.2 %	0.2 %	0.4 %
	Suojavyöhykkeet, 3,0-6,0% kaltevuus	1.3 %	0.9 %	1.0 %	0.4 %	0.7 %	0.3 %	0.3 %	0.7 %	1.5 %
	Suojavyöhykkeet, >6,0% kaltevuus	0.5 %	0.7 %	0.7 %	0.1 %	0.3 %	0.1 %	0.1 %	0.4 %	1.2 %
	Pienet kosteikot (<0,5 ha), 20-30 % peltoa	0.1 %	0.1 %	0.2 %	0.1 %	0.2 %	0.2 %	0.1 %	0.2 %	0.3 %
	Pienet kosteikot (<0,5 ha), 30-50 % peltoa	0.2 %	0.2 %	0.3 %		0.1 %	0.2 %	0.2 %	0.2 %	0.2 %
	Pienet kosteikot (<0,5 ha), > 50 % peltoa	0.3 %	0.4 %	0.2 %	0.3 %	0.2 %	0.2 %	0.3 %	0.2 %	
	Keskikokoiset kosteikot (0,5-2 ha), 20-30 % peltoa	1.1 %	1.2 %	1.4 %	1.1 %	1.7 %	1.3 %	1.7 %	1.1 %	2.9 %
	Keskikokoiset kosteikot (0,5-2 ha), 30-50 % peltoa	1.7 %	1.7 %	2.2 %	1.2 %	1.1 %	1.5 %	1.1 %	1.0 %	1.7 %
	Keskikokoiset kosteikot (0,5-2 ha), > 50 % peltoa	1.3 %	0.7 %	1.4 %	0.2 %	1.0 %	0.7 %	0.8 %	0.6 %	0.8 %
	Suuret kosteikot (> 2 ha), 20-30 % peltoa	1.6 %	1.4 %	1.4 %	0.6 %	1.4 %	1.4 %	1.8 %	1.0 %	0.5 %
	Suuret kosteikot (> 2 ha), 30-50 % peltoa	1.5 %	1.7 %	1.8 %		1.7 %	1.0 %	1.2 %	0.4 %	0.3 %
	Suuret kosteikot (> 2 ha), > 50 % peltoa	0.8 %	0.2 %	0.8 %			0.3 %	0.9 %	0.1 %	0.5 %
	Peltojen talviaikainen eroosion torjunta, <0,5% kaltevuus	0.1 %	0.1 %	0.0 %	0.0 %	0.1 %	0.0 %	0.1 %	0.0 %	0.1 %
	Peltojen talviaikainen eroosion torjunta, 0,5-1,5% kaltevuus	0.3 %	0.2 %	0.1 %	0.2 %	0.1 %	0.1 %	0.3 %	0.1 %	0.2 %
	Peltojen talviaikainen eroosion torjunta, 1,5-3,0% kaltevuus	0.7 %	0.4 %	0.4 %	0.3 %	0.3 %	0.2 %	0.3 %	0.3 %	0.6 %
	Peltojen talviaikainen eroosion torjunta, 3,0-6,0% kaltevuus	1.1 %	0.8 %	0.9 %	0.4 %	0.5 %	0.3 %	0.3 %	0.6 %	1.3 %
	Peltojen talviaikainen eroosion torjunta, >6,0% kaltevuus	0.4 %	0.5 %	0.5 %	0.1 %	0.2 %	0.1 %	0.1 %	0.3 %	0.8 %
	Monivuotinen nurmiviljely, 1,5-3,0% kaltevuus	0.3 %	0.2 %	0.2 %	0.1 %	0.1 %	0.1 %	0.1 %	0.2 %	0.3 %
	Monivuotinen nurmiviljely, 3,0-6,0% kaltevuus	2.7 %	2.0 %	2.2 %	0.9 %	1.3 %	0.6 %	0.6 %	1.5 %	3.0 %
	Monivuotinen nurmiviljely, >6,0% kaltevuus	1.1 %	1.4 %	1.5 %	0.3 %	0.6 %	0.2 %	0.3 %	0.9 %	2.4 %
	Säätösalaojitus ym.	4.0 %	3.7 %	4.4 %	2.3 %	4.0 %	3.0 %	3.1 %	3.1 %	4.3 %
Ravinteiden käytön hallinta	2.4 %	1.7 %	1.3 %	1.5 %	1.6 %	1.4 %	2.6 %	0.9 %	1.5 %	
Metsätalous	Uudistushakkuiden suojakaista	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.1 %	0.0 %	0.1 %	0.0 %	0.1 %	0.0 %
	Lannoitusten suojakaista	0.1 %	0.1 %	0.1 %	0.2 %	0.1 %	0.2 %	0.2 %	0.2 %	0.1 %
	Metsätalouden pintavalutuskentät	0.3 %	0.3 %	0.4 %	0.9 %	0.4 %	0.7 %	0.6 %	0.7 %	0.4 %
	Metsätalouden putkipadot	0.5 %	0.7 %	0.7 %	1.9 %	0.9 %	1.4 %	1.2 %	1.4 %	0.8 %
	Metsätalouden pohjapadot	0.3 %	0.4 %	0.4 %	1.1 %	0.5 %	0.9 %	0.7 %	0.8 %	0.5 %
	Metsätalouden kosteikot	0.2 %	0.3 %	0.3 %	0.7 %	0.3 %	0.6 %	0.5 %	0.5 %	0.3 %
Haja-asutus	Viemäroinnin laajentaminen haja-asutusalueille	2.2 %	1.4 %	1.0 %	2.0 %	1.7 %	1.5 %	2.0 %	1.0 %	2.1 %
	Uudet haja-asutuksen kiinteistökohtaiset jätevesien käsittelyjärjestelmät	1.9 %	1.2 %	0.9 %	1.8 %	1.5 %	1.4 %	1.8 %	0.9 %	1.8 %
	Uudet loma-asutuksen kiinteistökohtaiset jätevesien käsittelyjärjestelmät	1.0 %	1.5 %	0.4 %	0.5 %	1.3 %	0.6 %	0.3 %	1.6 %	0.4 %
	Vapautuksen saaneiden kiinteistöjen jäteveden käsittelyjärjestelmien tehostaminen	0.5 %	1.1 %	0.4 %	0.2 %	0.7 %	0.8 %	0.4 %	1.0 %	0.4 %
Turvetuotanto	Pintavalutuskenttä pumppaamalla (kesä/ypärivuotinen)		0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.7 %	2.1 %	0.4 %	
	Pintavalutuskenttä (ei pumppausta)		0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.6 %	1.7 %	0.4 %	
	Virtaaman säätö		0.0 %	0.2 %	0.3 %	0.0 %	0.8 %	1.0 %	0.2 %	0.2 %
	Kemiallinen käsittely		0.1 %	0.4 %	0.8 %	0.0 %	2.5 %	4.3 %	0.7 %	0.5 %
	Pienkemikalointi		0.1 %	0.4 %	0.8 %	0.0 %	2.7 %	4.6 %	0.7 %	0.5 %

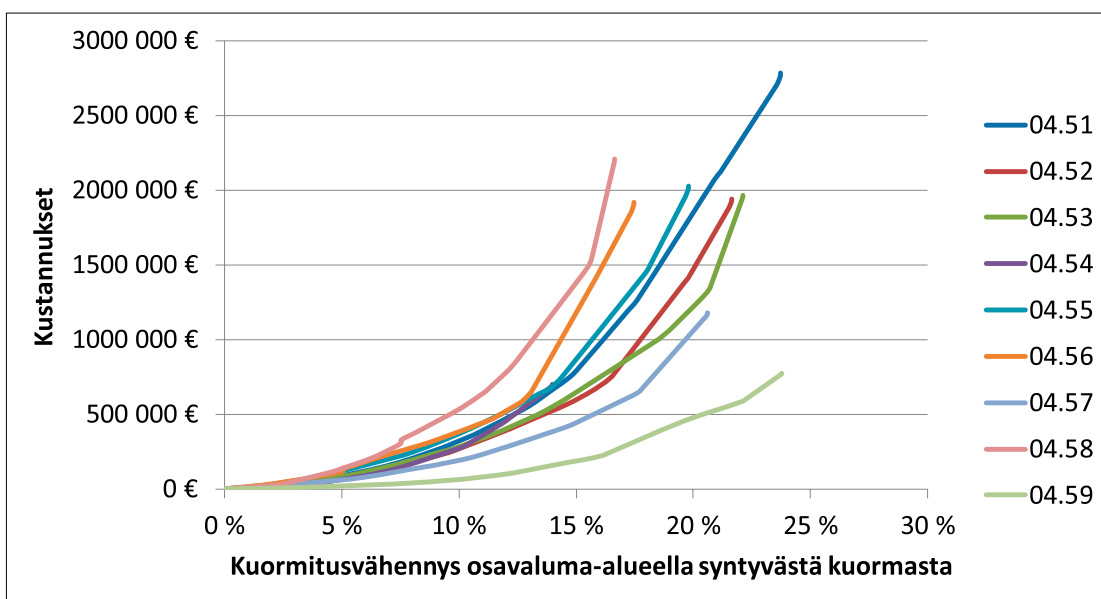
Yhdistämällä KUTOVA-tarkastelua esimerkiksi VEMALA-mallin arvioon kuormituksen kulkeutumisesta voidaan arvioida missä kuormitusta pitäisi vähentää kunkin reitin keskeisimpien tyydyttävässä tai heikommassa tilassa olevien järvien tilan parantamiseen. Seuraavassa on tarkasteltu joitakin keskeisimpiä järviä KUTOVAN ja vesienhoidon toista suunnittelukierosta varten VEMALAN pohjalta tuotetun fosforitasekaavion avulla. Tasekaavion mukaan monilla alueilla ei tapahdu fosforin pidättymistä lainkaan. Ottaen huomioon, että reitillä on paljon isoja järviä, voisi olettaa järvien olevan voimakkaasti sisäkuormitteisia tai muuten tasekaavion oikeellisuus on syytä kyseenalaistaa.

Onkivesi

Onkivedellä ulkoisen fosforikuormituksen vähennystavoite hyvän tilan saavuttamiseksi on 40 %. Onkiveteen tulevasta fosforikuormasta yli 80 prosenttia on peräisin Nerkoonjärvestä virtaavasta vedestä. Onkiveden alueen toimenpiteillä voitaisiin saavuttaa maksimissaan noin 24 % kuormitusvähennys alueella syntyvästä kuormasta. Tämä vastaa noin 5 prosentin kuormitusvähennystä kaikesta järveen päätyvästä kuormasta. Suurin osa tarvittavasta kuormitusvähennyksestä täytyy siis saada aikaiseksi yläpuolisilla valuma-alueilla.



Kuva 50. Osavaluma-alueiden kustannustehokkuuskäyrät fosforikuormituksen vähentämiselle.



Kuva 51. Osavaluma-alueiden kustannustehokkuuskäyrät suhteutettuna koko lisalmen reitillä syntyvään fosforikuormitukseen.

Nerkoonjärvi

Nerkoonjärven kuormitusvähennystarpeen arvioidaan fosforin suhteen olevan 10 %. Nerkoonjärveen tulevasta kuormasta jopa 97 % on peräisin Porovedestä ja sen yläpuolisilta valuma-alueilta. Tarvittava kuormitusvähennys on siis saatava aikaiseksi Poroveden yläpuolisilla alueilla.

Porovesi

Myös Poroveden ulkoisen fosforikuormituksen vähentämistarpeen on arvioitu olevan 10 %, jotta hyvä ekologinen tila voitaisiin saavuttaa. Poroveteen tulevasta kuormasta 46 % on peräisin Iso-lin ja Sonkajärven reitin alueilta, joiden vesistöt ovat jo pääosin hyvässä tilassa. Näillä alueilla fosforikuormituksen vähentämiseen tähtäävät toimenpiteet ovat kustannustehokkaimpia. Eli vaikka vesistöt näillä alueilla ovatkin hyvässä tilassa, eikä alueille sen suhteen olisi tarvetta kohdentaa vesienhoidon toimenpiteitä, olisi kuitenkin näillä alueilla kuormituksen vähentäminen kustannustehokasta ja luultavasti jopa tarpeellista Poroveden ja sen alapuolisten vesistöjen tilan kannalta. Myös Poroveden alueen (04.52) toimenpiteillä voidaan merkittävästi vaikuttaa vesistöjen tilaan.

Haapajärvi

Haapajärvellä ulkoisen fosforikuormituksen vähennystavoite hyvän tilan saavuttamiseksi on 45 %. Haapajärveen tulevasta fosforikuormasta noin kolme neljännestä on peräisin Kiuruvedestä, 14 % Luupujoen valuma-alueelta ja loput järven omalta lähivaluma-alueelta. Kuormitusvähennystavoitteen saavuttamiseksi kuormitusta on vähennettävä Haapajärven omalla valuma-alueella sekä yläpuolisilla alueilla.

Kiuruvesi

Kiuruveden kuormitusvähennystarpeen arvioidaan fosforin suhteen olevan 40 %. Kiuruvedeen tulevasta fosforikuormasta 84 % on peräisin Sulkavanjärven (04.55) ja Koskenjoen (04.56) valuma-alueilta. Merkittävä osa järven tilan parantamiseksi tehtävistä toimenpiteistä tulisi kohdistaa näille osavaluma-alueille.

7.1.3 Tarkasteluihin liittyvä epävarmuus

Tarkasteluihin liittyy useita oletuksia ja epävarmuuslähteitä. Valuma-alue tarkastelussa lähtötietoja keskiarvoistetaan. Esimerkiksi toimenpiteiden kustannuksissa ja reduktioissa esiintyy todellisuudessa hajontaa. Epävarmuuksia ja niiden käsittelyä on kuvattu aiemmin KUTOVAN verkkosivuilta löytyvissä raporteissa sekä Hjerpen & Väisäsen (2015) artikkelissa.

Tuloksia tulkitessa on tärkeää muistaa, että KUTOVA-työkalu laskee alueella syntyvän kuorman vähentämisen kustannustehokkuutta. Se ei siis ota luontaista pidättymistä huomioon. Tästä syystä tarkasteltaessa yksittäisen kohteen, kuten Onkiveden, kuormituksen vähentämiseksi tarvittavia toimenpiteitä täytyy KUTOVAN tuloksia käyttää yhdessä esimerkiksi VEMALAN kanssa, jotta voidaan arvioida mihin toimenpiteitä kannattaa kohdistaa.

Iisalmen reitin osalta tässä tarkastelussa lähtötietoja on pyritty tarkentamaan siltä osin, mikä on mahdollista ja tarkastelun tarkkuustason huomioon ottaen järkevää. Täten lähtötiedoista peräisin olevaa epävarmuutta on saatu minimoitua. Tarkastelu on siis tehty parhaimmalla saatavilla olevalla tiedolla. Alla on tarkemmin avattu muutamia erityisesti Iisalmen reitin aiheistossa epävarmuutta aiheuttavia seikkoja.

KUTOVA-työkalussa maatalouden vesiensuojelukosteikoiden kustannustehokkuus on laskettu VEMALA-mallilla korkeusmallin pohjalta lasketuille potentiaalisille kosteikkopaikoille, jotka täyttävät ympäristötukijärjestelmän mukaiset ehdot (väh 20 % peltoa valuma-alueella). KUTOVA-laskelmissa oletuksena on, että kosteikot olisivat kooltaan 2 % niiden yläpuolisesta valuma-alueesta, jolloin niiden reduktio olisi 34 %. Mahdolliset kosteikot on KUTOVAssa jaettu yhdeksään luokkaan pinta-alan ja yläpuolisen valuma-alueen peltoisuuden mukaan. Iisalmen reitillä ELY-keskuksen asiantuntijoiden toiveesta tarkasteltiin kosteikoiden kustannustehokkuutta olettaen, että ne olivat kooltaan vain 1 % yläpuolisesta valuma-alueestaan. Tällöin kosteikon laskennallinen reduktio olisi 23 %.

Tarkastelu osoitti, että kosteikon kustannustehokkuuteen oletuksella kosteikon suhteellisella koolla ei ole juuri merkitystä. 2 % kosteikoilla kustannustehokkuus Iisalmen reitin osa-alueilla vaihtelee 109 ja 639 €/P kg välillä. Tarkastelun perusteella 1 % kosteikoilla kustannustehokkuus vaihtelisi 78 ja 519 €/P kg välillä. Suurin ero on se, että käytännössä suuria, yli 2 ha kosteikoita ei osa-alueilla olisi. Keskikokoisten kos-

teikoiden kustannustehokkuus paranisi keskimäärin noin kolmanneksen ja pienten kosteikkojen kustannustehokkuus säilyisi suunnilleen ennallaan.

Vaikka kosteikkojen kustannustehokkuus, eli kuormituksesta poistuvan fosforikilon hinta, ei merkittävästi muuttuisikaan suhteessa pienemmillä kosteikoilla, olisi kokonaisuudessaan kosteikoilla saavutettavissa oleva kuormitusvähennys noin kolmanneksen pienempi kuin 2 % kosteikoilla. Tämä johtuu suoraan kosteikoiden erilaisesta reduktiosta, joka on 1 % kosteikoilla kolmanneksen pienempi. Kustannustehokkuuslaskelmissa pienten kosteikoiden edullisemmat investointi- ja ylläpitokustannukset kompensoivat kuitenkin tätä erilaisista pidättymiskertoimista aiheutuvaa eroa.

Toinen huomion arvoinen epävarmuutta aiheuttava seikka lisälmen reitin tarkasteluissa ovat haja-asutuksen kuormitusluvut. Vaikka viemäröimättömän haja-asutuksen piirissä olevista vakituksista asukkaista ja kesämökeistä saatiin ELY-keskukselta tarkennettuja lähtötietoja, eivät VEMALA-mallin arviot haja-asutuksen kuormituksesta ole täysin yhteneviä tarkennettujen asukaslukujen kanssa. Erityisesti tämä aiheutti ongelmia osa-alueella 04.54, missä VEMALA selvästi aliarvioi haja-asutuksen kuormitusta. Kyseiselle alueelle tarkastelussa käytettiin kuormituksen lähtötietona ELYn antamia asukaslukumäärä- ja lomakiinteistöarvioita sekä kuormitustietojärjestelmä VEPS:n ominaiskuormituslukuja haja-asutukselle. Muillakin osa-alueilla VEPS:n ominaiskuormituslukujen avulla laskettu kuormitus poikkeaa VEMALAn arvoista jopa -42 - 45 %. Systemaattisesti suuntaan tai toiseen tulokset eivät kuitenkaan poikkeaa.

Kolmas epävarmuutta aiheuttava seikka on luontaisen rehevyyden arvioiminen lisälmen reitillä. Uuden tutkimustiedon valossa lisälmen reitin luonnonhuuhtouma saattaa olla korkeampi kuin nykyisin esimerkiksi VEMALA-mallilla arvioitu (Tammelin & Kauppila 2015). Näitä uusia arvioita reitin luontaisesta rehe-

vydestä ei kuitenkaan pystytty tällä aikataululla otamaan huomioon lisälmen reitin tarkastelussa, eli arviot luonnonhuuhtoumasta perustuvat vanhaan VEMALA-mallin tietoon.

7.2 Vesiensuojelutoimenpiteiden ilmastonmuutoskestävyys

Tarkastelun toisessa osassa arvioitiin maatalouden vesiensuojelutoimenpiteiden kustannustehokkuutta tulevaisuudessa ilmastonmuutos- ja maatalousskenaarioissa. Lisäksi vertailtiin vesienhoidon toisen suunnittelukauden toimenpiteiden ja samoilla kustannuksilla muodostettujen kustannustehokkaiden toimenpideyhdistelmien vaikutuksia kuormitukseen nykytilassa ja eri skenaarioissa. Laskelmat tehtiin koko lisälmen reitin vesistöalueelle.

7.2.1 Lähtötiedot ja skenaariot

Tarkastelussa käytettiin samoja skenaarioita kuin ilmastonmuutoksen kuormitusvaikutustarkasteluissa (luku 6.1.2). Tarkastelun lähtötiedot saatiin VEMALA-mallista, jonka avulla simuloitiin ilmastonmuutoksen (keskiarvoskenaario) vaikutusta fosforikuormitukseen lisälmen reitillä. Lisäksi VEMALAlla arvioitiin kolmen maatalouden skenaarion vaikutuksia kuormitukseen (taulukko 17). Maatalousskenaarioissa viljelykasvien satoisuus ja maailmanmarkkinahinnat ohjaavat valittavia viljelykäytäntöjä ja kasvilajeja (Huttunen ym. 2015). Tarkasteltava ajanjakso kaikissa skenaarioissa on vuodet 2051-2060. Kasvilajijakaumat eri skenaarioihin on esitetty kuvassa 52. VIHMA-työkalulla arvioitiin toimenpiteiden maksimitoteuttamislaajuutta ja fosforin pidätyskertoimia.

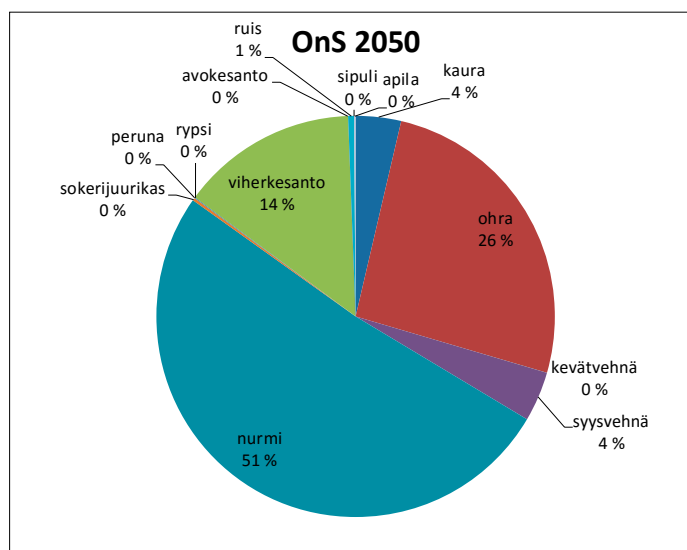
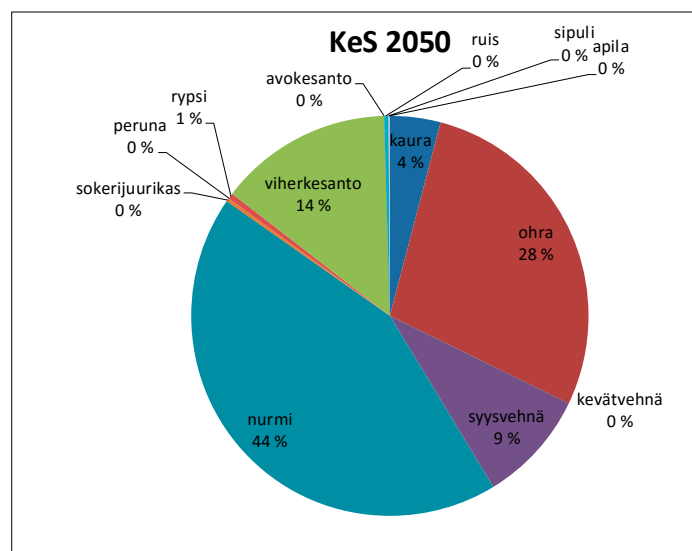
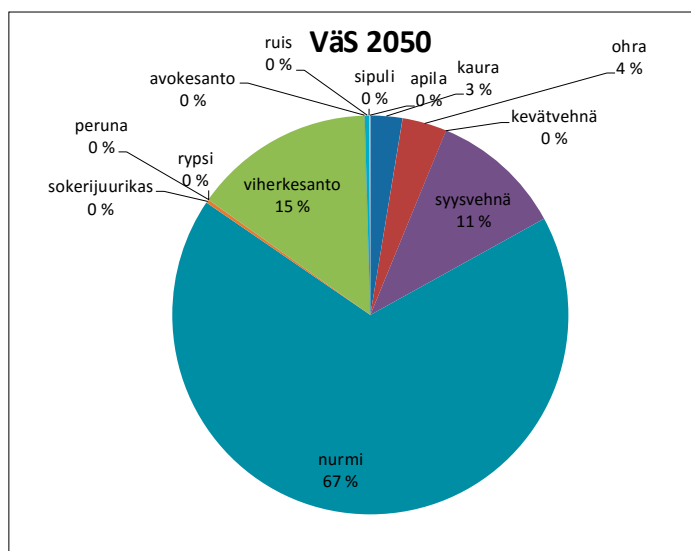
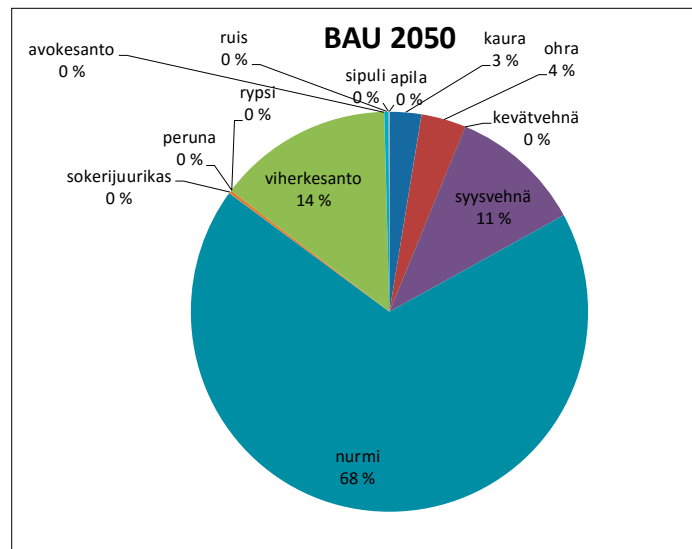
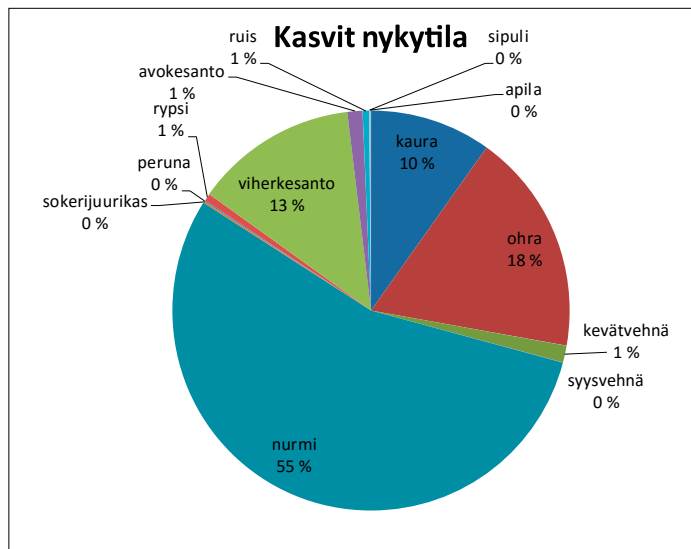
Taulukko 17. Fosforikuormitus (kg/a) nykytilassa ja eri skenaarioissa lisälmen reitillä.

	Nykytila	BAU	VäS	KeS	OnS
Maatalous	85771	83309	88234	81942	79241
Metsätalous	3755	3755	3755	3755	3755
Laskeuma	5344	5344	5344	5344	5344
Luonnonhuuhtouma	37825	40757	40757	40757	40757
Hulevesi	109	109	109	109	109
Haja-asutus	5180	5180	5180	5180	5180
Pistekuormitus	3608	3608	3608	3608	3608
Yhteensä	141591	142061	146986	140694	137993

Tarkasteltavat skenaariot ovat:

- Business as usual (BaU)
- Onnistunut sopeutuminen (OnS)

- Keskinertainen sopeutuminen (KeS)
- Vähäinen sopeutuminen (Väs)



Kuva 52. Kasvilajijakaumat nykytilassa ja eri skenaarioissa.

7.2.2 Tulokset

Yksittäisten toimenpiteiden kustannustehokkuus pääsääntöisesti huononee tulevaisuuden skenaarioissa. Selitys muutoksiin löytyy kuormituksen ja kasvilajien muutoksista. Suurin muutos on Business as usual (BaU) ja Vähäinen sopeutuminen (VäS) -skenaarioissa suojavyöhykkeillä ja peltojen talviaikaisella kasvi- peitteisyydellä (taulukko 18). Näissä skenaarioissa nurmien ja syysviljojen ala on jo niin suuri, ettei niitä lisäämällä, voida enää merkittävästi vaikuttaa kuormitukseen. Samalla ilmaston muutos kuitenkin lisää kuormitusta. Kustannustehokkuus paranee edellä mainituissa skenaarioissa ravinteiden käytön hallinnan osalta. Lisäksi kosteikot ovat nykyistä kustannustehokkaampia VäS-skenaariossa. Keskinertainen sopeutuminen (KeS) skenaariossa suojavyöhykkeiden ja monivuotisen nurmiviljelyn kustannustehokkuus paranee nykytilaan verrattuna.

Tarkastelussa arvioitiin myös vesienhoidon toisen suunnittelukauden toimenpiteiden ja kustannustehokkaan toimenpideyhdistelmän vaikutuksia kuor-

mituksen vähentämiseen eri skenaarioissa. Toisen suunnittelukauden toimenpiteet poimittiin VEMUsta. Toimenpiteet syötettiin KUTOVA-työkaluun ja arvioitiin saavutettava kuormitusvähennys sekä toimenpideyhdistelmän kustannukset. Toimenpideohjelmassa esitetyn vaihtoehdon kustannukset asetettiin budjetti- rajoittimeksi ja ryhdyttiin kokoamaan kustannustehokasta toimenpideyhdistelmää, kunnes valitut kustannukset täyttyvät.

Tarkastelun tulokset on esitetty kuvassa 53. Kokonaiskuormitus vaikuttaisi kasvavan BaU ja VäS -skenaarioissa. VäS-skenaariossa toimenpideohjelman mukaiset toimet eivät riittäisi edes nykyisen kuormitustason saavuttamiseen. Parhaiten muuttuviin olosuhteisiin vastaavat KeS ja OnS skenaariot, joissa kuormitus ilman toimenpiteitäkin olisi nykykuormitusta pienempi. Kustannustehokkailla toimenpiteillä näissä skenaarioissa voitaisiin saavuttaa noin 15 prosentin kuormitusvähennys nykytasoon verrattuna. Toimenpideohjelman mukaisilla toimenpiteilläkin kuormitusvähennys olisi noin 9 prosenttia.

Taulukko 18. Maatalouden vesiensuojelutoimenpiteiden kustannustehokkuus eri skenaarioissa suhteessa nykytilaan. Vihreällä merkityillä toimenpiteillä kustannustehokkuus paranee ja kelta-punaisella merkityillä toimenpiteillä se heikkenee tulevaisuudessa. Skenaariot on kuvattu luvussa 6.1.2.

Toimenpide	Nykytila (€/P kg)	BaU	VäS	KeS	OnS
Suojavyöhykkeet, 0,5-1,5% kaltevuus	2306	168 %	153 %	-5 %	9 %
Suojavyöhykkeet, 1,5-3,0% kaltevuus	788	142 %	129 %	-7 %	8 %
Suojavyöhykkeet, 3,0-6,0% kaltevuus	183	117 %	105 %	-10 %	6 %
Suojavyöhykkeet, >6,0% kaltevuus	78	113 %	101 %	-11 %	6 %
Pienet kosteikot (<0,5 ha), 20-30 % peltoa	342	3 %	-3 %	5 %	8 %
Pienet kosteikot (<0,5 ha), 30-50 % peltoa	208	3 %	-3 %	5 %	8 %
Pienet kosteikot (<0,5 ha), > 50 % peltoa	119	3 %	-3 %	5 %	8 %
Keskikokoiset kosteikot (0,5-2 ha), 20-30 % peltoa	430	3 %	-3 %	5 %	8 %
Keskikokoiset kosteikot (0,5-2 ha), 30-50 % peltoa	264	3 %	-3 %	5 %	8 %
Keskikokoiset kosteikot (0,5-2 ha), > 50 % peltoa	182	3 %	-3 %	5 %	8 %
Suuret kosteikot (> 2 ha), 20-30 % peltoa	310	3 %	-3 %	5 %	8 %
Suuret kosteikot (> 2 ha), 30-50 % peltoa	208	3 %	-3 %	5 %	8 %
Suuret kosteikot (> 2 ha), > 50 % peltoa	144	3 %	-3 %	5 %	8 %
Peltojen talviaikainen eroosion torjunta, <0,5% kaltevuus	2018	324 %	299 %	3 %	13 %
Peltojen talviaikainen eroosion torjunta, 0,5-1,5% kaltevuus	1196	324 %	299 %	3 %	13 %
Peltojen talviaikainen eroosion torjunta, 1,5-3,0% kaltevuus	648	324 %	299 %	3 %	13 %
Peltojen talviaikainen eroosion torjunta, 3,0-6,0% kaltevuus	279	324 %	299 %	3 %	13 %
Peltojen talviaikainen eroosion torjunta, >6,0% kaltevuus	155	323 %	299 %	3 %	13 %
Monivuotinen nurmiviljely, 1,5-3,0% kaltevuus	1418			55 %	37 %
Monivuotinen nurmiviljely, 3,0-6,0% kaltevuus	121	144 %	130 %	-7 %	8 %
Monivuotinen nurmiviljely, >6,0% kaltevuus	53	126 %	113 %	-9 %	7 %
Säätösalaajitus ym.	911	3 %	-3 %	5 %	8 %

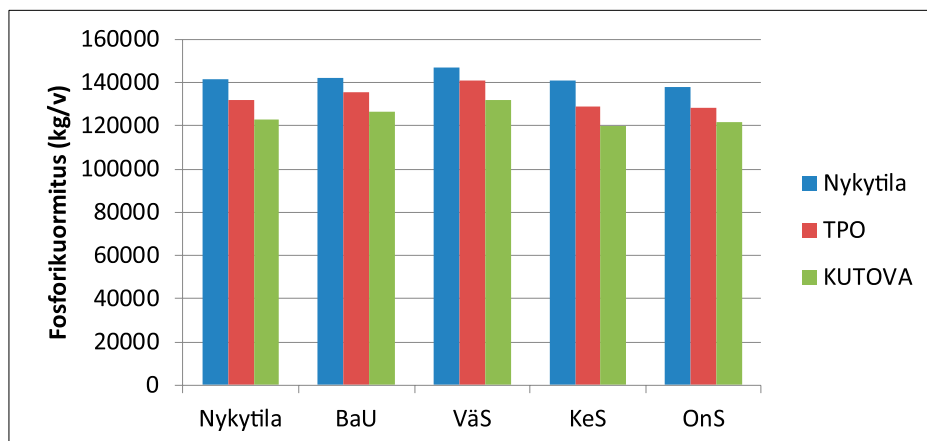
Vesienhoidon toisen kauden suunnitelluilla toimenpiteillä saavutettaisiin noin 4-8 % kuormitusvähennys skenaariosta riippuen. Kustannustehokkailla toimenpiteillä samalla budjetilla on saavutettavissa noin 10-15 % kuormitusvähennys. Suunnitellut toimenpiteet kompensoivat ilmastonmuutoksen vaikutusta, mutta maatalouden muutoksilla on suurempi merkitys toimenpiteiden vaikuttavuuteen.

Taulukossa 19 on esitetty vesienhoidon toisella suunnittelukaudella lisälmen reitille alustavasti suunnitellut KUTOVA-yhteensopivat täydentävät toimenpiteet. Kustannustehokkaissa toimenpideyhdistelmissä maatalouden vesiensuojelukosteikkojen lukumäärä on huomattavasti toimenpideohjelmassa esitettyä vaihtoehtoa suurempi. Myös suojavyöhykkeitä on kustannustehokkaissa vaihtoehdoissa enemmän. Vastaavasti ravinteiden käytön hallintaa ja peltojen talviaikaista kasvipeitteisyyttä on kustannustehokkaissa vaihtoehdoissa vähemmän. Monivuotinen nurmiviljely, talviaikainen kasvipeitteisyys ja suojavyöhykkeet olisi kustannustehokkainta kohdistaa kaltevimmille pelloille.

7.3 Yhteenveto

KUTOVA-työkalun avulla voidaan muodostaa vesienhoidon yleissuunnittelua tukevia arvioita vesiensuojelutoimenpiteiden kustannustehokkuudesta ja vaikutuksesta kuormitukseen. Lisälmen reitillä arvioitiin KUTOVA-työkalun avulla vesiensuojelutoimenpiteiden kustannustehokkuutta. Tarkastelu koostui kahdesta osasta: i) vesiensuojelutoimenpiteiden kustannustehokkuus reitin eri osavaluma-alueilla ja toimenpiteiden kohdistaminen sekä ii) ilmastonmuutos ja maatalousskenaarioiden vaikutus toimenpiteiden kustannustehokkuuteen sekä vesienhoitosuunnitelman ilmastonmuutoskestävyys.

Yleisesti ottaen kaikilla osavaluma-alueilla kustannustehokkaimpia vesiensuojelutoimenpiteitä ovat metsä- ja maatalouden toimenpiteet. Myös osa turvetuotannon toimenpiteistä on kustannustehokkaita. Turvetuotannon ja metsätalouden osuus kokonaiskuormituksesta on kuitenkin varsin pieni, joten näiden sektoreiden toimenpiteillä ei voida merkittävästi vaikuttaa alueen kokonaiskuormitukseen.



Kuva 53. Vesienhoidon toimenpideohjelman mukaisen ja kustannustehokkaan toimenpideyhdistelmän vaikutukset kuormitukseen eri skenaarioissa.

Taulukko 19. Vesienhoidon toisella suunnittelukaudella lisälmen reitille alustavasti suunnitellut KUTOVA-yhteensopivat täydentävät toimenpiteet.

Toimenpide	Yksikkö	Määrä
Keskitetyn viemäroinnin toteuttaminen haja-asutusalueilla	asuntoa	450
Uudistushakkuiden suojakaista	ha	300
Peltojen talviaikainen eroosion torjunta	ha	40000
Maatalouden suojavyöhykkeet	ha	350
Metsälannoitusten suojakaista	ha	66
Metsätalouden eroosiohaittojen torjunta	kpl (vs-rakenne)	84
Maatalouden kosteikot ja lasketusaltaat	kpl	120
Metsien kunnostusojituksen tehostettu vesiensuojelu	kpl (vs-rakenne)	60
Ravinteiden käytön hallinta	ha	60000

Maatalouden toimenpiteistä kustannustehokkaimpia toimenpiteitä ovat kosteikot sekä suojavyöhykkeet ja peltojen talviaikainen kasvipeitteisyys kaltevilla pelloilla. Näillä toimenpiteillä voidaan myös merkittävästi vaikuttaa valuma-alueen kokonaiskuormitukseen. Viemäröimättömän haja-asutuksen toimenpiteet eivät ole yhtä kustannustehokkaita kuin maatalouden toimenpiteet, mutta niillä voidaan kuitenkin vaikuttaa merkittävästi lisälmen reitin kokonaiskuormitukseen.

KUTOVA-työkalu arvioi toimenpiteiden kustannustehokkuutta ja vaikuttavuutta valuma-alueella syntyvän kuorman suhteen, eikä se ota huomioon ravinteiden pidättymistä alueen vesistöissä. Tästä syystä toimenpiteiden kustannustehokkaassa kohdentamisessa valuma-alueille KUTOVA-työkalua käytettiin yhdessä VEMALA-mallin pohjalta luotujen ainetasekaavioiden kanssa. Toimenpiteitä kannattaa kohdistaa paitsi suurten hyvää huonommassa tilassa olevien järvien lähivaluma-alueille myös vesistön latvoille. Kustannustehokasta ja mahdollisesti jopa välttämättömästä on vähentää kuormitusta myös osa-alueilla, missä vesistöt ovat jo pääosin hyvässä ekologisessa tilassa (Sonkajärven reitin ja Iso-lin alueet), sillä lähes puolet Poroveden kuormituksesta on peräisin näiltä alueilta.

Muuttuvassa ilmastossa ja maatalouden kentässä yksittäisten toimenpiteiden kustannustehokkuus pääsääntöisesti huononee eri tulevaisuuden skenaariois-

sa. Selitys muutoksiin löytyy kuormituksen ja kasvilajien muutoksista. Vesienhoidon toimenpideohjelmassa alueelle suunnitellut toimenpiteet kompensoivat ilmastomuutoksen vaikutusta, mutta maatalouden muutoksilla on suurempi merkitys toimenpiteiden vaikuttavuuteen.

Tarkastelun tuloksiin liittyy epävarmuutta, muun muassa jo mallin vaatimien lähtöoletusten suhteen. On kuitenkin muistettava, että malli on yksinkertaistus todellisuudesta ja tarkasteluun sisältyy sellaisia tekijöitä, joihin liittyvää epävarmuutta ei ole mahdollista poistaa. Toisaalta työkalun laskenta perustuu parhaaseen saatavilla olevaan tietoon. Lisälmen reitillä lähtötietoja pyrittiin epävarmuuden minimoimiseksi tarkentamaan huomioiden reitin paikalliset olosuhteet. Mallin tuloksia hyödyntäessä on kuitenkin muistettava, että tulokset ovat suuntaa antavia ja suuruusluokkaa osoittavia. KUTOVA-työkalun tarkoituksena on kuitenkin tuottaa kaikille vesistöalueille yhteismitallista tietoa, jota voidaan käyttää vesienhoitotoimenpiteiden suunnitteluun ja toimenpiteiden kustannusten vertailuun.

Epävarmuustarkastelu kuitenkin osoitti, että esimerkiksi kosteikon kokoon liittyvät oletukset eivät merkittävästi vaikuta kosteikon kustannustehokkuuteen. Sen sijaan kosteikoilla yhteensä saavutettavissa olevaan kuormitusvähennykseen käytetyillä oletuksilla on merkitystä.

Viitteet

- Finér, L., Mattsson, T., Joensuu, S., Koivusalo, H., Laurén, A., Makkonen, T., Nieminen, M., Tattari, S., Ahti, E., Kortelainen, P., Koskiahho, J., Leinonen, A., Nevalainen, R., Piirainen, S., Saarelainen, J., Sarkkola, S. & Vuollekoski, M. 2010. Metsäisten valuma-alueiden vesistökuormituksen laskenta. Suomen ympäristö 10/2010. 33 s.
- Heikkilä, J. 2007. Fosforikuormituksen vaikutus lisaalten reitin veden laatuun. Järviketjutarkastelu. Insinööri AMK tutkintoon sisältyvä opinnäytetyö. Savonia-ammattikorkeakoulu – Ympäristötekniikan opetus- ja tutkimusyksikkö.
- Hjerpe, T. & Väisänen, S. 2015. A practical tool for selecting cost-effective combinations of phosphorus loading mitigation measures in Finnish catchments. International journal of river basin management. DOI: 10.1080/15715124.2015.1012516.
- Huttunen, I., Lehtonen, H., Huttunen, M., Piirainen, V., Korppoo, M., Veijalainen, N., Viitasalo, M. & Vehviläinen, B. 2015a. Effects of climate change and agricultural adaptation on nutrient loading from Finnish catchments to the Baltic Sea. Science of the Total Environment. pp. 168-181 DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.05.055
- Huttunen, I., Huttunen, M., Piirainen, V., Korppoo, M., Lepistö, A., Räike, A., Tattari, S. & Vehviläinen, B. 2015b. A national scale nutrient loading model for Finnish watersheds – VEMALA. Environmental modeling and assessment, DOI: 10.1007/s10666-015-9470-6
- 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.
- IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, in press.
- 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.
- Keto, A., Sammalkorpi, I. 1995. Vesijärviraportti VYH 218. Vesijärvi- ja järviprojekti 1987-1994. Ravintoketjukurios, tutkimukset ja toimenpiteet. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A 218.
- Marttunen, M., Nieminen, H., Keto, A., Suomalainen, M., Tarvainen, A., Moilanen, S. & Järvinen, E. 2004. Pirkanmaan keskeisten järvien säännöstelyn kehittäminen. Yhteenveto ja suositukset. Suomen ympäristö 689. 92 s.
- Mustonen, T. 2001. Onki- ja Poroveden säännöstelyselvitys – Virkistyskäytön kannalta sopivien vedenkorkeusvyöhykkeiden arviointi. Fortum Teknologia. Julkaisematon raportti.
- Puustinen, M., Turtola, E., Kukkonen, M., Koskiahho, J., Linjama, J., Niinioja, R. & Tattari, S. 2010. VIHMA - a tool for allocation of measures to control erosion and nutrient loading from Finnish agricultural catchments. Agriculture Ecosystems & Environment 138(3-4): 306-317.
- Ruosteenoja, 2013. Maailmanlaajuisiin malleihin perustuvia lämpötila- ja sademääräskenaarioita. Saatavilla Ilmatieteen laitoksen www-sivuilta. http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=c4c5bf12-655e-467a-9ee0-f06d8145aaa6&groupId=30106
- Tammelin, M. & Kauppila, T. 2015. lisaalten reitin luontainen rehevyys. Vesitalous 2/2015: 41-44.
- Tarvainen, A., Verta, O.M., Marttunen, M., Nykänen, J., Korhonen, T., Pönnkä, H. & Höytämö, J. 2006. Koitereen säännöstelyn vaikutukset ja kehittämismahdollisuudet. Yhteenveto ja suositukset. Suomen ympäristö 37. 112 s.
- Tuononen, E., Vähäsöyrinki, E. & Österlund, P. 1981. Vedenkorkeuden vaikutus rantamaiden puustoon. Vesihallituksen tiedotuksia 206. 125 s.
- van der Linden P. & 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.
- Vallinkoski, V., Miettinen, T., Aalto, J. (toim.) Vesien tila hyväksi yhdessä. Pohjois-Savon vesienhoidon toimenpideohjelma vuosille 2016 - 2021. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen raportteja 1/2016.
- 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, Tromsø, Norway, 17-19 Oct 2005.
- Veijalainen, N., Jakkila, J., Nurmi, T., Vehviläinen, B., Marttunen, M. & Aaltonen, J. 2012. Suomen vesivarat ja ilmastomuutos – vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen. WaterAdapt-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 16/2012. 138 s.

Liitteet

Liite 1. Vaikutusten arvioinnissa käytetyt mittarit ja niiden laskentatavat

Taulukko 1. Tarkastelussa käytetyt mittarit ja niiden selitykset.

Muuttuja	Mittari	Selitys	Yksikkö
VAIKUTUKSET VESILUONTOON			
Rantavyöhykkeen eliöstö ja syyskutuiset kalat	Vedenkorkeuden alenema talvella	Jäätymisspäivän vedenkorkeuden ja jääpeitteisen ajan alimman vedenkorkeuden välinen erotus	m
Kasvillisuus	Kevättulvan suuruus	Kevättulvan aikaisen ylimmän vedenkorkeuden ja avovesikauden mediaanivedenkorkeuden erotus	m
	Saraikon laskennallinen laajuus	Kasvukauden vedenkorkeuden 10 % pysyvyytason ja 75 % pysyvyytason erotus	m
Kevätkutuiset kalat	Veden minimisyvyys saraikossa hauen kutuaikana	Laskennallisen saraikkovyöhykkeen alarajan ja minimivedenkorkeuden erotus ajanjaksolla jäiden lähdöstä 4 viikkoa eteenpäin	m
	Vedenkorkeuden lasku hauen kutuaikana	Kevättulvahuipun ja jäänlähtöpäivästä neljän seuraavan viikon alimman vedenkorkeuden erotus	m
Linnut	Vedenkorkeuden nousu lintujen pesintäaikana	Pesintäajan (alkaa 2 vk jäänlähtöpäivästä, päättyy 6 vk jäänlähtöpäivästä) korkeimman vedenkorkeuden ja 2 vk jäänlähtöpäivän jälkeisen vedenkorkeuden erotus	m
VAIKUTUKSET VIRKISTYSKÄYTTÖÖN			
Virkistyskäyttö	Vedenkorkeuden pysyvyys virkistyskäytön kannalta hyvällä tasolla	Päivien lukumäärä virkistyskäyttökaudella 15.5.-30.9., jolloin vedenkorkeus on virkistyskäytölle hyvällä tasolla (taulukko 2)	päivien lkm
TALOUDELLISET VAIKUTUKSET			
Tulvariski järvillä	Tulvarajan ylitys (pellot)	Päivien lukumäärä kaudella 5.6. – 30.9., jolloin vedenkorkeus ylittää peltovahinkorajan (taulukko 2)	päivien lkm
	Tulvarajan ylitys (rakennukset, teollisuus)	Päivien lukumäärä koko vuoden aikana, jolloin vedenkorkeus ylittää rakennuksille tai teollisuudelle määritetyn tulvavahinkorajan (taulukko 2)	päivien lkm
	Tulvatilanteiden määrä, metsävahingot	Sellaisten vähintään 2 viikkoa kestävien jaksojen lukumäärä, jolloin vedenkorkeus on metsävahinkorajan yläpuolella (taulukko 2).	jaksojen lkm
Tulvariski alapuolella	Alapuolinen tulvariski talvella (Maaninkajärvi)	Päivien lukumäärä jouluihelmikuussa, jolloin Onkiveden menovirtaama >250 m ³ /s ja Kallaveden vedenkorkeus > NN +82,00 m.	päivien lkm
Vesiliikenne	Vedenkorkeus vesiliikenteelle turvallisella tasolla Ahkionlahden ja Nerkoon kanavissa ja väylillä	Päivien lukumäärä vesiliikennekaudella 15.5.-30.9., jolloin vedenkorkeus on kanavien ja niihin liittyvien väylien mitoitusvedenkorkeustasolla (taulukko 2).	päivien lkm
Vesivoima	Vesivoiman tuotanto	Päivittäisten virtaamien ja vedenkorkeuksien perusteella laskettu energiantuotanto.	MWh

Taulukko 2. Mittareiden laskennassa käytettyjä raja-arvoja.

	Porovesi (NN + m)	Onkivesi (NN + m)
Virkistyskäytölle hyvä vedenkorkeusvyöhyke	85,55 – 85,75	84,45 – 84,70
Tulvavahinkoraja, metsävahingot		85,25
Tulvavahinkoraja, pellot, sisältää vettymisvaran	86,10	84,90
Tulvavahinkoraja, rakennukset/teollisuus	87,00	85,75
Kanavien ja niihin liittyvien väylien mitoitusvedenkorkeudet	85,35 – 87,10	84,35 – 85,80

Liite 2. Mittareiden muutokset vertailujaksoon verrattuna

Kuvaajissa ja taulukoissa mittareiden muutosten perusteella luokiteltu vaikutus vertailujaksoon 1971-2000 verrattuna keskiarvoskenaarioissa sekä ääriskenaarioissa (kylmä, lämmin ja märkä)

- 2010-39 nykyisten lupaehtojen mukainen säännöstelytapa
- 2040-69 nykyisten lupaehtojen mukainen säännöstelytapa
- 2040-69 sopeutuva säännöstelytapa

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

POROVESI												
	2010-39 Nykyinen				2040-69 Nykyinen				2040-69 Sopeutuva			
	KA	Kylmä	Lämmin	Märkä	KA	Kylmä	Lämmin	Märkä	KA	Kylmä	Lämmin	Märkä
VAIKUTUKSET VESILUONTOON												
Vedenkorkeuden alenema talvella (m)	0	0	0	0	0	0	0	0	++	++	++	++
Kevättulvan suuruus (m)	--	-	---	--	---	--	---	---	--	-	---	--
Saraikon laskennallinen laajuus (m)	-	0	-	0	-	0	-	0	0	0	0	+
Veden minimisyvyys saraikossa hauen kutuaikana (m)	0	0	-	0	-	0	--	--	0	0	+	+
Vedenkorkeuden lasku hauen kutuaikana (m)	+++	+	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	+++	+++
Vedenpinnan nousu lintujen pesintäaikana (m)	0	0	-	0	--	0	---	---	-	0	-	-
VAIKUTUKSET VIRKISTYSKÄYTTÖÖN												
Vedenkorkeuden pysyvyys virkistyskäytön kannalta hyvällä tasolla virkistyskäyttökauden (1.5.-30.9.) aikana (pv)	+	0	+	+	+	+	0	+	++	+	++	+
TALOUDELLISET VAIKUTUKSET												
Tulvarajan ylitys (rakennukset, pellot, teollisuus), vuoden suurin, m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vesiliikenteelle hyvien päivien lkm (pv)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ONKIVESI												
	2010-39 Nykyinen				2040-69 Nykyinen				2040-69 Sopeutuva			
	KA	Kylmä	Lämmin	Märkä	KA	Kylmä	Lämmin	Märkä	KA	Kylmä	Lämmin	Märkä
VAIKUTUKSET VESILUONTOON												
Vedenkorkeuden alenema talvella (m)	0	0	0	0	0	0	0	0	++	+	++	++
Kevättulvan suuruus (m)	--	0	--	-	--	-	---	--	--	-	---	--
Saraikon laskennallinen laajuus (m)	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
Veden minimisyvyys saraikossa hauen kutuaikana (m)	0	0	-	0	-	0	--	-	+	0	+	+
Vedenkorkeuden lasku hauen kutuaikana (m)	+++	+	+++	++	+++	++	+++	+++	+++	++	+++	+++
Vedenpinnan nousu lintujen pesintäaikana (m)	0	0	--	0	--	0	---	-	0	0	0	0
VAIKUTUKSET VIRKISTYSKÄYTTÖÖN												
Vedenkorkeuden pysyvyys virkistyskäytön kannalta hyvällä tasolla virkistyskäyttökauden (1.5.-30.9.) aikana (pv)	+	0	++	+	++	+	++	++	++	+	++	++
TALOUDELLISET VAIKUTUKSET												
Tulvarajan ylitys (rakennukset, pellot, teollisuus), vuoden suurin, m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alapuolinen tulvariski talvella (pv)	0	0	0	-	0	0	-	--	0	0	-	--
Vesiliikenteelle hyvien päivien lkm (pv)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energiantuotanto (%)	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0	-	-

Liite 3. KUTOVA-tarkastelun lähtötiedot.

Taulukko 1. Tarkastelussa käytetyt kuormitustiedot osa-valuma-alueittain

VEMALA	04.51	04.52	04.53	04.54	04.55	04.56	04.57	04.58	04.59	Koko alue	Yksikkö
Maatalous	15875	10668	15386	3143	10640	6754	3254	14988	5063	85771	kg
Metsätalous	344	307	414	409	361	519	206	1048	147	3755	kg
Laskeuma	1835	899	427	313	447	245	168	916	93	5344	kg
Luonnonhuuhtouma	3493	3098	4227	4014	3718	5353	2176	10214	1532	37825	kg
Hulevesi	22	18	13	1	11	9	3	28	5	109	kg
Haja-asutus	999	858	445	255	694	466	185	1285	232	5420	kg
Pistekuormitus	1128	1393	59	73	13	242	345	312	42	3608	kg
Yhteensä	23696	17241	20971	8209	15884	13586	6337	28792	7115	141832	kg
VIHMA											
Maatalous yhteensä	13368	10690	14520	3006	10643	8474	3871	14208	4005	82784	kg
Syysviljat	112	68	70	14	31	35	11	119	3	464	kg
Nurmet	7189	6078	9041	1863	7026	5779	2413	8698	2080	50167	kg
VAHTI											
Turvetuotanto	0	14	105	77	5	426	339	257	41	1264	kg

Taulukko 2. Toimenpiteiden potentiaalisen maksimitoteutus alan laskemisessa hyödynnetyt lähtötiedot.

	04.51	04.52	04.53	04.54	04.55	04.56	04.57	04.58	04.59	Koko alue	Lähde	Yksikkö
Peltopinta-ala	11546	9217	11629	2797	9728	8265	3881	12201	3306	72570	VIHMA	ha
Syysviljojen ala	98	58	51	13	27	35	12	96	3	393	VIHMA	ha
Nurmien ala	7102	6023	8403	1889	7022	5946	2527	8536	2051	49501	VIHMA	ha
Pelloista savimailla	26 %	32 %	44 %	29 %	25 %	21 %	19 %	40 %	19 %	31 %	VIHMA	%
Pelloista eloperäisillä mailla	4 %	6 %	5 %	5 %	12 %	12 %	10 %	8 %	4 %	7 %	VIHMA	%
Hakkuuala	344	276	326	312	292	283	154	733	115	28345	ELY/ Metsäkeskus	ha/v
Kunnostusojitusala	110	211	90	327	258	425	234	288	90	2033	ELY/ Metsäkeskus	ha/v
Ojitettu turvemaa	6708	7350	11548	13719	9846	23250	10697	36586	5164	124868	Paikkatietoai- neisto/SYKE	ha
Viemäröimätön haja-asutus	941	346	427	223	341	220	244	328	256	3326	ELY/RHR	kpl
Viemäröimätön loma-asutus	1288	733	483	188	662	196	96	974	168	4788	ELY/RHR	kpl
Ikävapautuksen piirissä oleva asutus	20 %	48 %	33 %	12 %	30 %	38 %	18 %	53 %	18 %	29 %	SYKE erilliselvitys	%
Turvetuotannon ala	0	38	139	229	56	1279	1330	777	115	3962	Vahti	ha
Pintavalutuskenttä	0	0	132	213	0	768	403	102	115	1732	Vahti	tuotan- toha
Virtaaman säätö	0	3	0	16	41	131	471	83	0	745	Vahti	tuotan- toha
Kemiallinen käsittely	0	0	0	0	0	0	0	49	0	49	Vahti	tuotan- toha

Taulukko 3. VIHMA-mallilla määritetyt valuma-aluekohtaiset reduktiot osalle maatalouden toimenpiteistä.

	04.51	04.52	04.53	04.54	04.55	04.56	04.57	04.58	04.59	Koko alue
Ravinnetaseen hallinta / Optimaalinen lannoitus	4 %	3 %	2 %	4 %	2 %	3 %	5 %	2 %	2 %	3 %
Peltojen talviaikainen kasvipeitteisyys, <0,5%	0.3 %	0.3 %	0.1 %	0.2 %	0.3 %	0.3 %	0.5 %	0.2 %	0.2 %	0.2 %
Peltojen talviaikainen kasvipeitteisyys, 0,5-1,5%	0.8 %	0.8 %	0.4 %	1.1 %	0.5 %	0.8 %	1.3 %	0.5 %	0.7 %	0.7 %
Peltojen talviaikainen kasvipeitteisyys, 1,5-3%	2.3 %	1.7 %	1.5 %	1.9 %	1.4 %	1.6 %	1.6 %	1.5 %	1.9 %	1.7 %
Peltojen talviaikainen kasvipeitteisyys, 3-6%	3.8 %	3.2 %	3.4 %	2.6 %	2.4 %	1.7 %	1.4 %	3.2 %	3.9 %	3.1 %
Peltojen talviaikainen kasvipeitteisyys, >6%	1.2 %	1.8 %	1.8 %	0.6 %	0.9 %	0.3 %	0.5 %	1.4 %	2.4 %	1.3 %
Monivuotinen nurmiviljely, <0,5%	-0.3 %	-0.3 %	-0.1 %	-0.3 %	-0.3 %	-0.3 %	-0.6 %	-0.2 %	-0.2 %	-0.2 %
Monivuotinen nurmiviljely, 0,5-1,5%	-0.2 %	-0.1 %	0.0 %	-0.2 %	-0.1 %	-0.2 %	-0.3 %	0.0 %	-0.1 %	-0.1 %
Monivuotinen nurmiviljely, 1,5-3%	0.9 %	0.8 %	0.7 %	0.8 %	0.6 %	0.6 %	0.6 %	0.8 %	0.8 %	0.8 %
Monivuotinen nurmiviljely, 3-6%	8.7 %	7.4 %	7.8 %	6.0 %	5.6 %	4.0 %	3.2 %	7.6 %	8.8 %	7.1 %
Monivuotinen nurmiviljely, >6%	3.4 %	5.2 %	5.4 %	1.9 %	2.7 %	1.0 %	1.4 %	4.3 %	7.0 %	3.9 %
Suojavyöhykkeet, <0,5%	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
Suojavyöhykkeet, 0,5-1,5%	0.3 %	0.3 %	0.1 %	0.4 %	0.2 %	0.3 %	0.5 %	0.2 %	0.2 %	0.2 %
Suojavyöhykkeet, 1,5-3%	1.3 %	1.0 %	0.8 %	1.1 %	0.9 %	1.0 %	1.0 %	0.9 %	1.1 %	1.0 %
Suojavyöhykkeet, 3-6%	4.0 %	3.5 %	3.5 %	2.8 %	2.9 %	2.1 %	1.6 %	3.6 %	4.3 %	3.4 %
Suojavyöhykkeet, >6%	1.6 %	2.5 %	2.5 %	0.9 %	1.5 %	0.5 %	0.7 %	2.0 %	3.4 %	1.9 %
Peltojen kaltevuus (ha), <0,5%	1380	1375	1000	342	1802	1382	950	1698	355	10286
Peltojen kaltevuus (ha), 0,5-1,5%	2664	2208	1670	918	2165	2696	1462	2377	663	16823
Peltojen kaltevuus (ha), 1,5-3%	4046	2693	3957	919	2978	2726	1016	3783	1040	23159
Peltojen kaltevuus (ha), 3-6%	2949	2248	3841	544	2291	1314	379	3485	928	17978
Peltojen kaltevuus (ha), >6%	507	692	1160	75	491	147	73	858	320	4324

Julkaisusarjan nimi ja numero Raportteja 13/2016				
Vastuualue Ympäristö ja luonnonvarat				
Tekijät Tanja Dubrovin, Turo Hjerpe, Inese Huttunen, Markus Huttunen, Juho Jakkila, Vanamo Piirainen, Tuulikki Miettinen, Veli-Matti Vallinkoski, Bertel Vehviläinen		Julkaisuaika Maaliskuu 2016		
		Kustantaja / Julkaisija Pohjois-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus		
		Hankkeen rahoittaja / toimeksiantaja Pohjois-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus		
Julkaisun nimi lisalmen reitin ilmastonmuutostarkastelut - säännöstelyjen toimivuus ja ilmastonmuutoksen vaikutukset kuormitukseen				
Tiivistelmä Selvityksessä arvioitiin ilmastonmuutoksen vaikutuksia lisalmen reitin hydrologiaan, säännöstelylupien toimivuuteen sekä vesistöjen kuormitukseen ja tilaan. Ilmastokenaarioiden perusteella virtaamien ennakoidaan kasvavan lisalmen reitin joissa ja järvissä talvella ja syksyllä, kun taas kevään maksimivirtaamat aikaistuvat ja pienenevät. Ilmastonmuutoksen odotetaan myös lyhentävän kautta, jolloin maa on lumen peitossa ja roudassa. Ilmastonmuutoksen hydrologisia vaikutuksia sekä sopeutumismahdollisuuksia Onki- ja Poroveden säännöstelykäytäntöjä muuttamalla tarkasteltiin Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) Vesistömallijärjestelmän avulla vertailujaksolla 1971-2000 sekä tulevaisuuden jaksoilla 2010-39 ja 2040-69. Tulosten perusteella nykyisen lupaehdon mukainen kevätkuoppa Poro- ja Onkivedellä osoittautuu useimpina vuosina tarpeettomaksi kevättulvien pienenemisen ja aikaistumisen johdosta. Raportissa on esitetty sopeutuva säännöstelyohje, jossa kevätkuoppaa on aikaistettu ja madallettu tai jätetty joinakin vuosina kokonaan tekemättä. Jatkossa suuriin tulovirtaaman nousuihin on syytä varautua talvella mahdollisesti pitämällä järvien vedenkorkeuksia hieman nykyisen kaltaista säännöstelykäytäntöä alempana. Sopeutuva säännöstelykäytäntö edellyttäisi säännöstelyluvan muuttamista. Mallinnettujen hydrologisten skenaarioiden ja toisaalta lupaehtojen mukaisen sekä sopeutuvan säännöstelyn vaikutuksia vesiluontoon, virkistyskäyttöön ja taloudellisiin tekijöihin Onki- ja Porovedellä arvioitiin vedenkorkeus- ja virtaamavaihteluista laskettujen mittareiden avulla. Tulosten perusteella sopeutuvaa säännöstelytapaa voidaan pitää vesiluonnon ja vesistön käytön kannalta suositeltavana, kun se toteutetaan joustavasti tulovirtaamaennuste huomioon ottaen. Säännöstelytapaa voisi kehittää vielä paremmin varautumaan lisääntyviin talvitulviin. Ilmastonmuutoksen ja maatalouden sopeutumisen vaikutuksia fosforikuormitukseen tulevaisuuden jaksoilla 2020-30 ja 2050-59 arvioitiin VEMA-LA-mallilla. lisalmen reitin järviin tuleva fosforikuormitus muuttuu ilmastonmuutoksen keskiarvoskenaariossa jaksolle 2050-59 mennessä vain vähän (-4...7 %), mutta runsassateisessa skenaariossa se kasvaa selvästi. Vesienhoidon toimenpiteiden vaikutusta maatalouden kuormitukseen arvioitiin käyttäen ICECREAM-mallia. Käyttämällä tarkennettua lannoitusta kaikilla pelloilla, suorakylvöä noin 12 000 hehtaarilla, lietteen sijoitusta lähes kaikilla nurmilla ja varaamalla suojavyöhykkeille 122 ha, voidaan 2020-luvulla päästä peltojen fosforikuormituksessa ilmastonmuutoskenaariosta riippuen 1 – 15 % nykytilaa pienemmälle tasolle. Vesiensuojelutoimenpiteiden kustannustehokkuutta lisalmen reitillä arvioitiin KUTOVA-työkalun avulla. Yleisesti ottaen kaikilla osavalmu-alueilla kustannustehokkaimpia vesiensuojelutoimenpiteitä ovat metsä- ja maatalouden toimenpiteet. Maatalouden toimenpiteistä kustannustehokkaimpia ovat kosteikat sekä suojavyöhykkeet ja peltojen talviaikainen kasvipeitteisyys kaltevilla pelloilla. Toimenpiteitä kannattaa kohdistaa paitsi suurten hyvää huonommassa tilassa olevien järvien lähivaluma-alueille myös vesistön latvoille. Kustannustehokasta ja mahdollisesti jopa välttämätöntä olisi vähentää kuormitusta Poroveden kannalta myös osa-alueilla, missä vesistöt ovat jo pääosin hyvässä ekologisessa tilassa (Sonkajärven reitin ja Iso-lin alueet). Muuttuvassa ilmastossa ja maatalouden kentässä yksittäisten toimenpiteiden kustannustehokkuus pääsääntöisesti huononee eri tulevaisuuden skenaarioissa. Vesienhoidon toimenpideohjelmassa alueelle suunnitellut toimenpiteet kompensoivat ilmastonmuutoksen vaikutusta, mutta maatalouden muutoksilla on suurempi merkitys toimenpiteiden vaikuttavuuteen.				
Asiasanat (YSA:n mukaan) vesistöt, hydrologia, ilmastonmuutokset, sopeutuminen, vaikutukset, vesistöjen säännöstely, tulvat, vesistömallit, skenaariot, vesistönkuormitus, vesiensuojelu, kustannustehokkuus				
ISBN (Painettu) 978-952-314-	ISBN (PDF) ISBN 978-952-314-403-3	ISSN-L 2242-2846	ISSN (painettu) ISSN 22-	ISSN (verkkójulkaisu) ISSN 2242-2854
www www.doria.fi/ely-keskus		URN ISBN:978-952-314-403-3		Kieli Suomi
Sivumäärä 71				
Julkaisun tilaukset				
Kustannuspaikka ja -aika 2016			Painotalo Juvenesprint Tampere 2016	

RAPORTTEJA 13 | 2016

IISALMEN REITIN ILMASTONMUUTOSTARKASTELUT

- SÄÄNNÖSTELYJEN TOIMIVUUS JA ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET KUORMITUKSEEN

Pohjois-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

ISBN 978-952-314- (painettu)

ISBN 978-952-314-403-3 (PDF)

ISSN-L 2242-2846

ISSN 22- (painettu)

ISSN 2242-2854 (verkkajulkaisu)

URN:ISBN:978-952-314-403-3

www.doria.fi/ely-keskus | www.ely-keskus.fi