



Alajärven säännöstelyn kehittäminen

Ilmastonmuutos- ja säännöstelylaskennat

MIIA KUMPUMÄKI





Alajärven säännöstelyn kehittäminen

Ilmastonmuutos- ja säännöstelylaskennat

MIIA KUMPUMÄKI

RAPORTEJA 15 | 2019

**ALAJÄRVEN SÄÄNNÖSTELYN KEHITTÄMINEN
ILMASTONMUUTOS- JA SÄÄNNÖSTELYLASKENNAT**

Hämeen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

Taitto: KEHA-keskus

Kansikuva: Eija Isomäki

Kartat:

Painotalo:

ISBN 978-952-314-775-1 (PDF)

ISSN-L 2242-2846

ISSN 2242-2854 (verkkajulkaisu)

URN:ISBN:978-952-314-775-1

www.doria.fi/ely-keskus

Sisältö

1. Työn tarkoitus.....	2
2. Alajärven säännöstely.....	3
3. Laskentamenetelmät	6
4. Ilmastonmuutoksen vaikutukset.....	8
5. Selvitetyt säännöstelyvaihtoehdot ja niiden vaikutukset	13
6. Ilmastonmuutoksen ääriskenaariotarkastelu.....	18
7. Yhteenveto	21
8. Lähteet	22

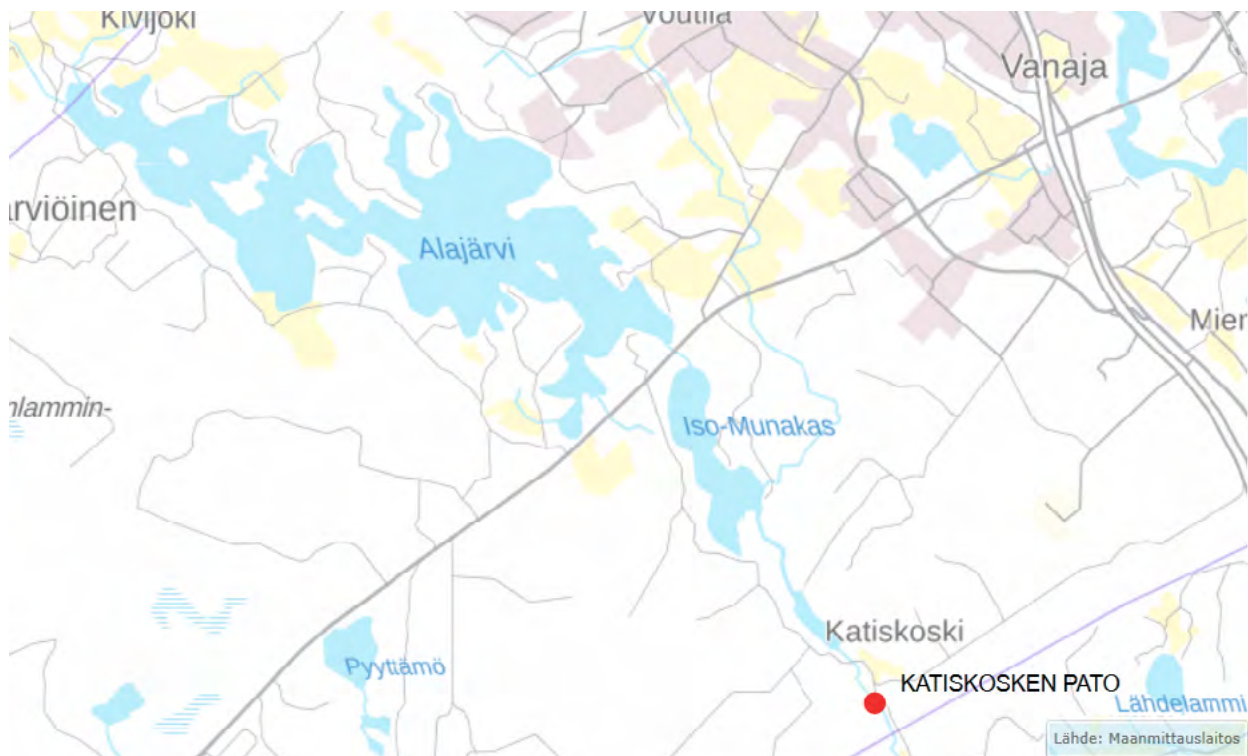
1. Työn tarkoitus

Alajärvi sijaitsee Kanta-Hämeessä Hämeenlinnassa (kuva 1 ja 2). Järvi on kooltaan 628 hehtaaria, ja sen rannoilla on paljon kesämökkejä sekä ulkoilualueita. Alajärveä säännöstellään Katiskosken padolla, lisäksi luvanhaltija HS-Vesi eli Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy käyttää Alajärven vettä tekopohjaveden tuotannossa. Katiskosken säännöstelyn ja tekopohjaveden imeytysveden oton arvioidaan ilmastonmuutoksen myötä hankaloituvan. Voimassa oleva säännöstelylupa on vuodelta 1985 (Länsi-Suomen vesioikeuden lupa nro 14/1985/1), ja tässä työssä tarkastellaan säännöstelyn kehittämismahdollisuuksia ottaen huomioon järven nykyiset käyttötarpeet sekä muuttuva ilmasto.

Tarkastelualue sisältää Alajärven valuma-alueen ja rajoittuu Katiskosken patoon. Alajärveltä, Katiskoskelta sekä alapuoliselta Suojärveltä saadaan tällä hetkellä vedenkorkeuden havainnot Suomen ympäristökeskuksen järjestelmiin sekä Vesistömallijärjestelmän hydrologiseen malliin. Havaintojen avulla vesistömallin laskentaa ja ennusteita tarkastelualueella on saatu parannettua ja

säädettyä, mikä helpottaa vaihtelevien vesitilanteiden ennakointia ja hallintaa jatkossa. Reaaliaikaiset havainnot ja vesistöennusteet ovat nähtävillä verkkosivuilla <http://wwwi2.ymparisto.fi/i2/35/index.html>.

Ilmastonmuutos- ja säännöstelylaskennat on laadittu Suomen ympäristökeskuksessa yhteistyössä Hämeen ELY-keskuksen, Vanajavesikeskuksen, Alajärven ja Takajärven suojeluyhdistyksen sekä HS-Veden kanssa. Laskentojen tuloksia esiteltiin myös vesistön käyttäjille suunnatussa yleisötilaisuudessa Hämeenlinnassa syyskuussa 2018. Tarkastelussa oli pakollisen kalenteriin sidotun kevätkuopan muuttaminen joustavammaksi ja erilaiset vesitilanteet paremmin huomioon ottavaksi sekä padon minimivirtaaman ja tekopohjaveden imeytysveden oton muutoksien vaikutukset. Simulointitettiin Suomen ympäristökeskuksen Vesistömallilla sekä historiajaksolle (1981–2010) että ilmastonmuutosjaksoille (2020–2049 ja 2040–2069).



Kuva 1. Alajärvi ja Katiskosken pato (kartta: Ympäristökarttapalvelu Karpalo, lähde Maanmittauslaitos)



Kuva 2. Alajärven ilmakuva (kuva: Suvi Mäkelä)

2. Alajärven säännöstely

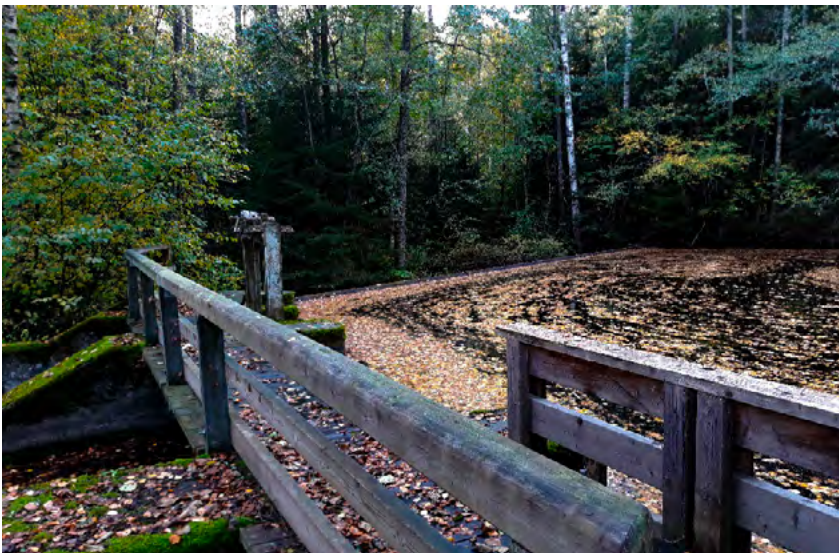
Alajärveä säännöstellään Katiskosken padolla (kuva 3 ja 4). HS-vesi käyttää Alajärven vettä tekopohjaveden tuotannossa vedenottoluvan mukaisesti (kuvat 6 ja 7). Säännöstelylupa (Länsi-Suomen vesioikeuden lupa nro 14/1985/1) mukaisesti kevätkuoppa on pakollinen ja se on tehtävä kalenterin mukaan huhtikuun alkuun mennessä. Vedenkorkeuden talvialenema on säännöstellyksi järveksi maltillinen. Kevättulvan aikana vesi pyritään nostamaan 15.5. mennessä kesän tavoitetasolle. Lisäksi Alajärvelle on määritelty luvan mukainen yläraja sekä raja, jonka alapuolella vettä ei saa pumpata imeytysvedeksi. Jatkuva juoksutus Katiskoskella on luvan mukaan oltava vähintään 70 l/s. Säännöstelyn ylärajan ylittymisen estämiseksi tapahtuva juoksutuksen muutos saa olla avoveden aikana enintään 1 m³/s vuorokaudessa ja talviolosuhteissa enintään 0,3 m³/s vuorokaudessa. Padon avaukset on luvan mukaan suoritettava siten, että alapuoliossa vesistöissä ei aiheudu haitallista tulva-aaltoa. Alajärven ja Katiskosken säännöstelyrajat on kuvattu kuvassa 5, jossa on mukana myös vedenkorkeushavainnot vuodelta 2017.

Luvan saaja saa ottaa vettä Alajärvestä tekopohjaveden muodostamista varten enintään 6 000 000 m³ vuodessa, kuitenkin enintään 20 000 m³ vuorokaudessa. Käytännössä pumppaus on ollut vuositasolla keskimäärin noin 7100–8300 m³/d, pääsääntöisesti noin 8000 m³/d eli 2 920 000 m³/vuosi. Jatkossa on kuitenkin varauduttava kapasiteetin osalta toteutuneita jonkin verran isompiin imeytysvesimääriin vedenhankinnan turvaamiseksi, tulevaisuudessa riittänee noin 4 400 000 m³/vuosi. (HS-Vesi).

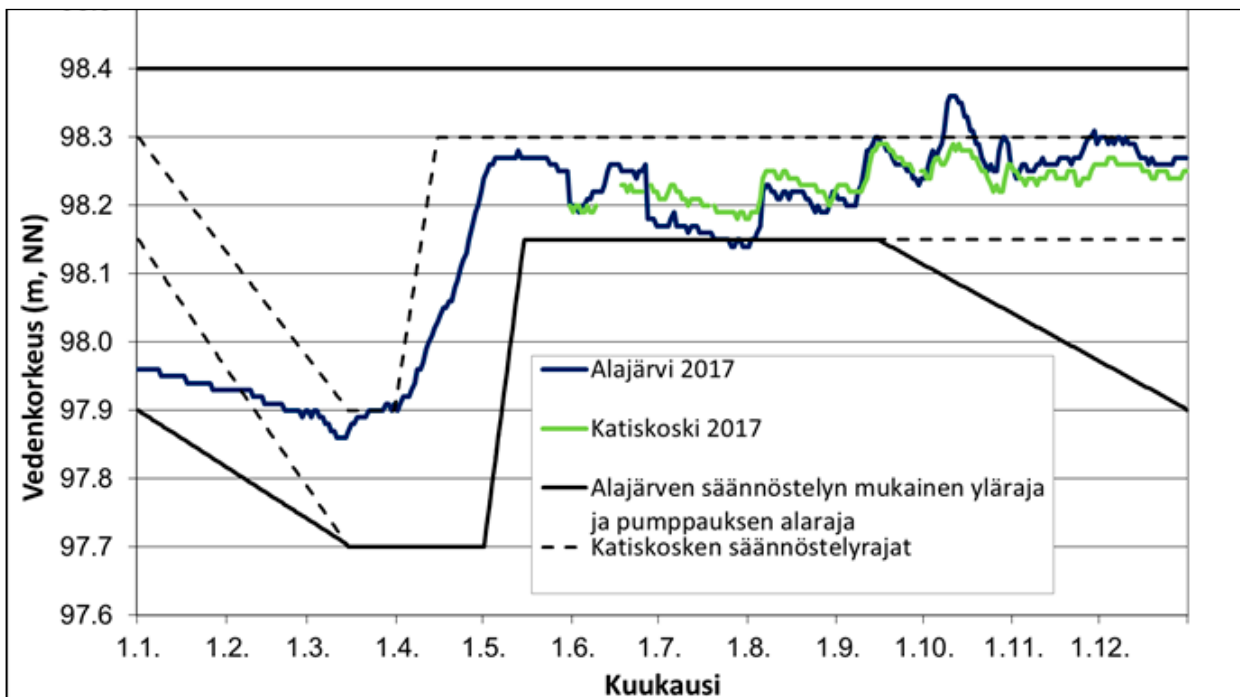
Alajärven aiemmissa säännöstelykokouksissa on todettu, että säännöstelylupia on pääsääntöisesti pystytty noudattamaan. Alajärven pienehkö koko on mahdollistanut pinnan saamisen ylös kesällä kevätkuopan jälkeen myös kuivempina alkukesinä. Luvan joustavoittaminen kevätkuopan osalta olisi kuitenkin tarpeen varsinkin tulevien hydrologisten olosuhteiden takia. Katiskosken alapuolella ongelmana on ollut nopeat vedenpinnan tason nousut ja laskut sekä liian pieni minimivirtaama. Alueella on havaittu rapu- ja taimenkanta. Lisäksi imeytysveden oton kannalta pumppauksen alaraja on jo aiheuttanut hankaluuksia poikkeuksellisen kuivina kesinä, jolloin olisikin tarpeen saada joustovaraa



Kuva 3. Katiskosken padon ylisyyksykynnys (kuva: Suvi Mäkelä)



Kuva 4. Katiskosken pato (kuva: Milla-Torkkel)



Kuva 5. Alajärven ja Katiskosken vedenkorkeuden havainnot vuodelta 2017, säännöstelyraja ja imeytysveden oton alaraja.

Alajärven vedenpinnan alentamiseen nykyisestä rajasta kevyemmällä menettelyllä kuin tilapäisen poikkeuksen hakemisella. Muutoin ylä- tai alarajojen muutoksille ei koeta tarvetta. Tulvien osalta kevät- ja syystulvat ovat aiheuttaneet vahinkoa lähinnä maanviljelylle.



Kuva 6. Ahveniston ilmeitysallas (kuva: Petri Siiro)



Kuva 7. Ahveniston sadetus kesällä (kuva: Petri Siiro)

3. Laskentamenetelmät

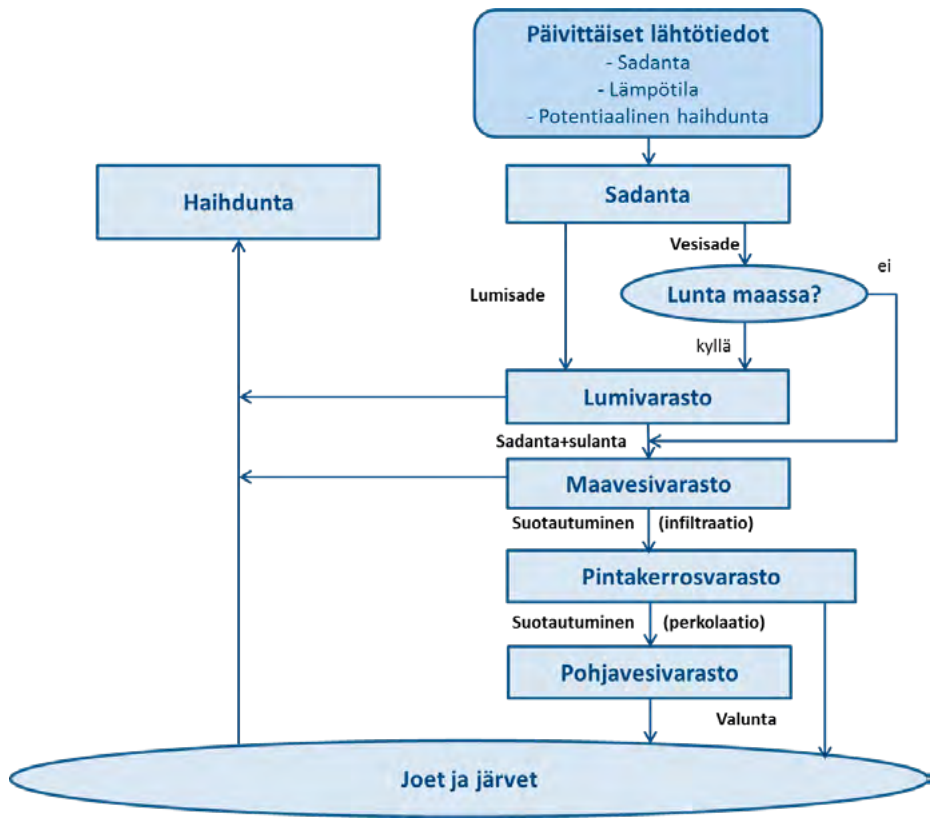
Ilmastonmuutoksen ja säännöstelyn vaikutuksia Alajärven tulovirtaamaan, vedenkorkeuteen ja juoksutuksiin tarkasteltiin Vesistömallijärjestelmän hydrologisen mallin avulla (Vehviläinen ym. 2005, kuva 8). Vesistömallijärjestelmä on Suomen ympäristökeskuksessa kehitetty järjestelmä, joka simuloi ja ennustaa hydrologista kiertoa koko Suomen alueella sekä rajavesistöissä. Mallia voidaan kalibroida olemassa olevien hydrologisten havaintojen pohjalta, ja siihen syötettävät lähtötiedot (lämpötila, sadanta, potentiaalinen haihdunta) yhdessä valuma-alueen ominaisuuksien kanssa antavat tietoa mm. lumen vesiarvon kehittymisestä, pohjavesistä sekä veden virtauksesta kohti valuma-alueen purkupistettä.

Vesistömallilla tehdyissä simuloinneissa Alajärven lähtövirtaama laskettiin säännöstelyohjeen avulla, jossa lähtövirtaaman suuruus riippuu järven vedenkorkeudesta ja päivämäärästä. Historiajakson säännöstelyä mallinnetaan laskennoissa nykykäytäntöjen ja lupien mukaisesti. Huomioon on otettu nykyiset säännöstelyrajat, minimi- ja maksimijuoksutukset sekä olemassa olevat historiajakson hydrologiset havainnot. Imeytysveden otolle on mallinnuksessa käytetty arviota $3\,000\,000\text{ m}^3/\text{vuosi}$ eli $0,1\text{ m}^3/\text{s}$ silloin kun ollaan pumppauksen alarajan yläpuolella. Näiden tietojen pohjalta muodostettiin nykyvaihtoehtoa kuvaileva säännöstelyohje, ja sitä käyttäen voitiin laskea 30 vuoden aikasarjat vedenkorkeuksille ja virtaamille sekä historiajaksolle että ilmastonmuutosjaksoille. Tämän jälkeen säännöstelyohjetta muokattiin suunniteltujen säännöstelyvaihtoehtojen mukaisiksi, ja mallinnukset tehtiin

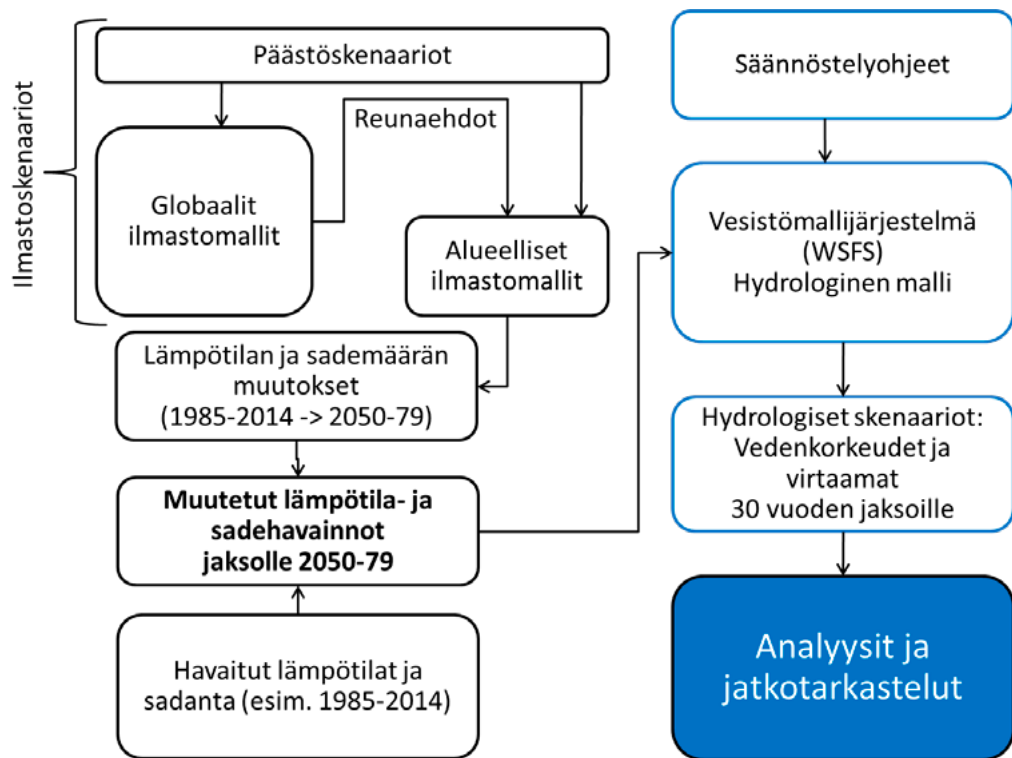
uudelleen käyttäen näitä muokattuja säännöstelyohjeita. Näin voitiin tutkia, miten ilmastonmuutos sekä erilaiset säännöstelykäytännöt vaikuttavat Alajärven vedenkorkeuteen ja lähtövirtaamaan sekä Katiskosken padon vedenkorkeuteen.

Tässä selvityksessä on käytetty RCP (Representative Concentration Pathway) päästöihin perustuvia ilmastoskenaarioita ja globaalia ilmastomallia (Moss ym. 2010). Tarkasteluun valittiin ilmastoskenaario RCP 4,5, joka sisältää keskimääräiset päästöt vuosisadan lopulle mennessä eli säteilypakotteen $4,5\text{ W/m}^2$ (Ruosteenoja ym. 2016). Lämpötilan muutosten osalta tarkastelussa on myös huomioitu muutokset lämpötilan jakaumassa. Historiajaksona on käytetty 30 vuoden jaksoa 1981–2010 ja ilmastonmuutosjaksoina 2020–2049 ja 2040–2069. Keskiarvoskenaariota lisäksi on tarkasteltu muutama ääriskenaariota, jotta ilmastonmuutokseen liittyvä epävarmuus tulee huomioitua. Valituissa ääriskenaarioissa lämpötilan ja sadannan muutokset poikkeavat eniten keskimääräisestä.

Historiajaksolla Vesistömallin lähtötietoina käytettiin havaittuja lämpötiloja ja sadantoja, joiden perusteella simuloitiin päivittäiset virtaamat ja vedenkorkeudet. Ilmastonmuutoksen vaikutusta tarkasteltiin niin sanotulla delta-change -menetelmällä (Arnell 1999, Prudhomme ym. 2003, Veijalainen ym. 2012), jossa hydrologisen mallin vertailujakson havaittuja lähtötietoja – lämpötilaa ja sademäärää – muutetaan ilmastoskenaarioiden mukaisten keskimääräisten lämpötilan ja sademäärän muutosten mukaisesti. Näin saadaan ilmastonmuutos huomioitua vedenkorkeuksia ja virtaamia laskettaessa. Ilmastonmuutoslaskentojen periaatteet on esitetty kaavion muodossa kuvassa 9.



Kuva 8. Periaatekuva Vesistömallijärjestelmän toiminnasta (Dubrovin ym. 2017b).



Kuva 9. Kaaviokuva ilmastonmuutoksen hydrologisten vaikutusten arvioinnista, esimerkkinä muutosten laskenta jaksolle 2050–2079 (Dubrovin ym. 2017a).

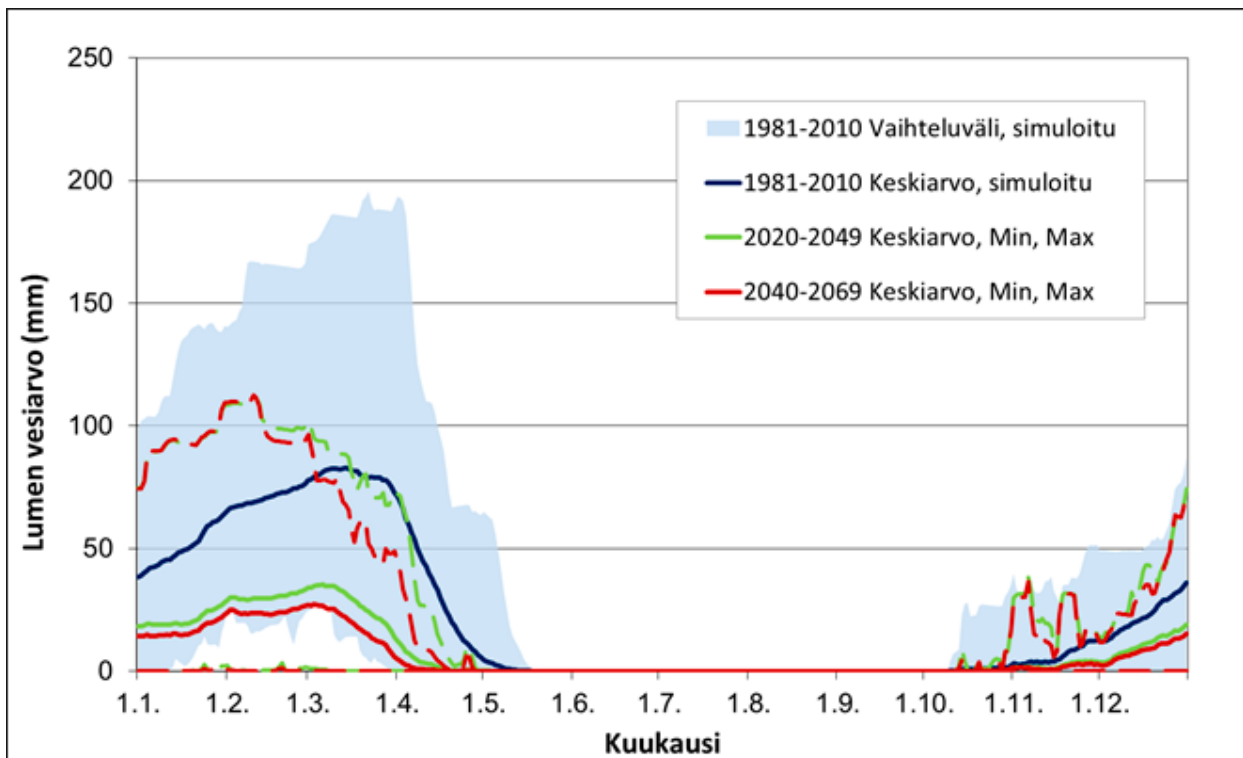
4. Ilmastonmuutoksen vaikutukset

Ilmastoskenaarioiden mukaan vuoden keskilämpötilat nousevat, ja talvella lämpötilan nousu on suurempaa kuin kesäkuukausina. Myös vuotuiset sademäärät kasvavat ilmastonmuutoksen seurauksena. Sademäärän osalta luonnollisella vaihtelulla on kuitenkin suurempi vaikutus kuukausittaisiin sademäärän muutoksiin, ja erot eri skenaarioiden välillä ovat suurempia. Sadannat kasvavat keskimäärin eniten marraskuun ja maaliskuun välisenä aikana ja vähiten loppukesällä. Kesäiset rankkasateet voivat kuitenkin voimistua ja toisaalta kuivat jaksotkin saattavat yleistyä. (Dubrovin ym. 2017b)

Lämpötilan ja sadannan muutokset vaikuttavat lumen kertymiseen Alajärven valuma-alueella. Ilmastonmuutoksen vuoksi lunta sulaa useammin jo talven aikana, ja osa talven sateista tulee suoraan vetenä. Lumipeitteinen aika lyhenee, ja lumen vesiarvo on pienempi kevääseen tultaessa. Lumen määrä väheneekin eniten alkutalvesta ja keväällä, koska lunta alkaa kertyä myöhemmin ja se sulaa aikaisemmin keväällä, ja on ilmastonmuutosjaksoilla keski-

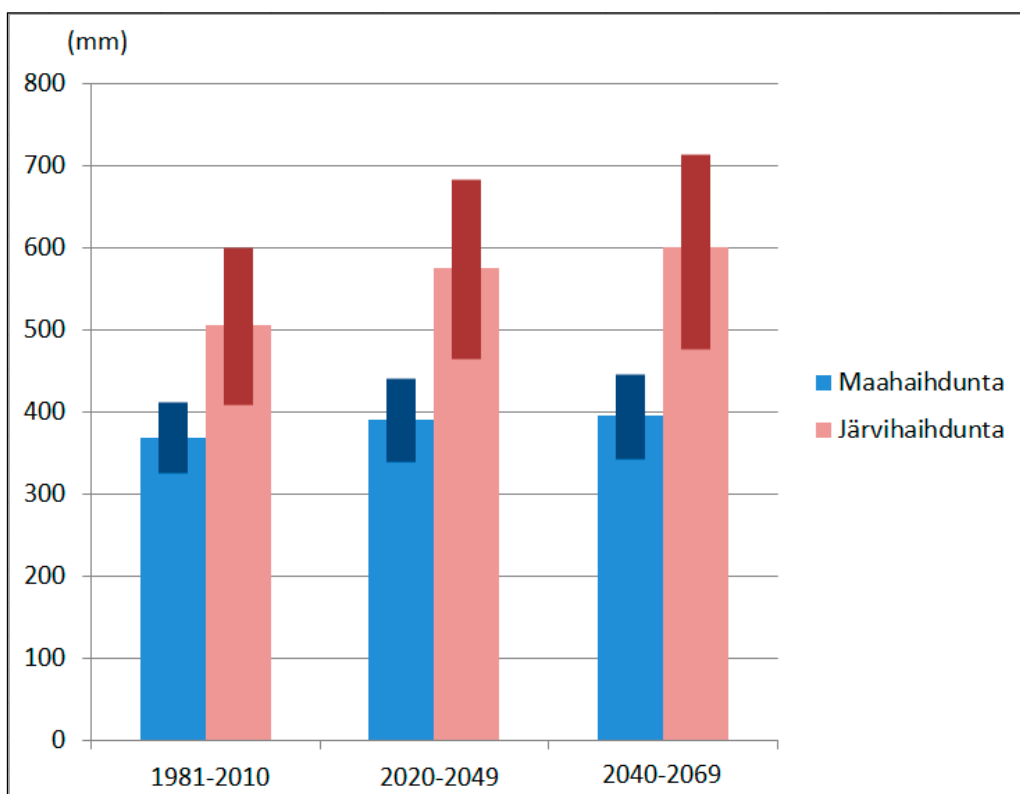
määrin suurempaa kuin historiajaksolla. Varsinkin järvistä vuositason tapahtuva haihdunta kasvaa selvästi. Maa-alueelta tapahtuva haihdunta ei puolestaan kasva niin selvästi, koska kesällä haihdunta rajoittaa ajoittain kuivempi maaperä. Kuvissa 10 ja 11 on esitetty ilmastonmuutoksen vaikutus lumen vesiarvoon sekä haihdunnan vuosisummiin Alajärven valuma-alueella.

Jokien virtaamat ja järvien tulovirtaamat tulevat keskimäärin kasvamaan ilmastonmuutoksen vaikutuksesta vuosittaisen sademäärien keskimäärin kasvaessa. Vuosittaisen valunnan kasvu ei kuitenkaan tule olemaan yhtä suuri kuin sadannan, koska myös haihdunta kasvaa ilmastonmuutosjaksoilla lämpenemisen vuoksi ja pienentää osaltaan valun- toja. Virtaamat kasvavat ilmastonmuutosjaksoilla suhteellisesti eniten talvella, koska sateet lisääntyvät ja tulevat useammin vetenä, ja lunta sulaa useammin jo talven aikana. Kevätajan virtaamat puolestaan pienenevät sekä keskimäärin että huippujen osalta, ja kevättulvahuippujen ajankohta aikaistuu.

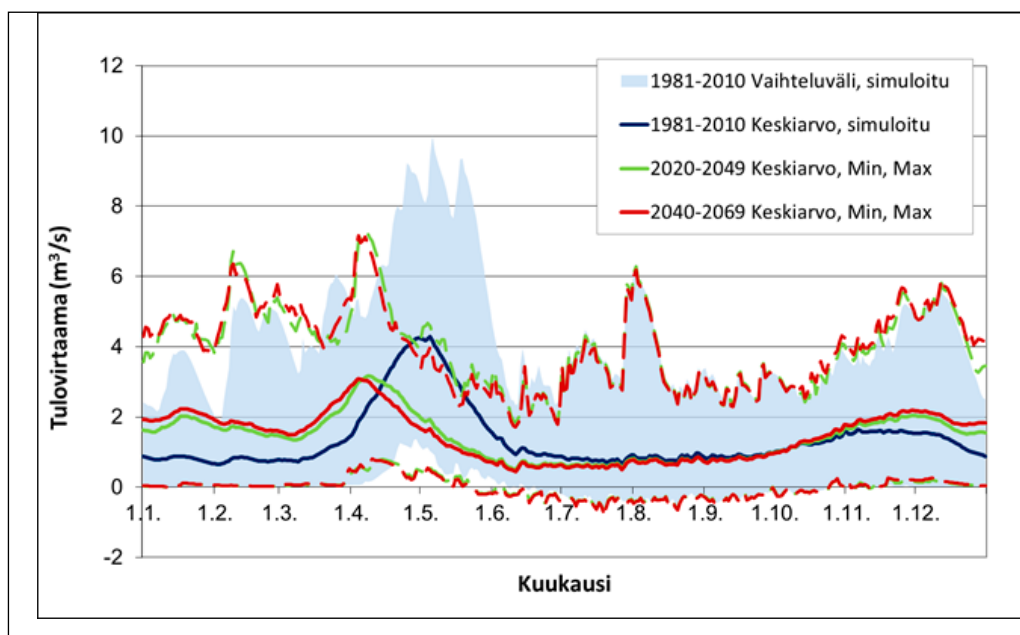


Kuva 10. Ilmastonmuutoksen vaikutus lumen vesiarvoon Alajärven valuma-alueella. Sininen viiva kuvaa päivittäin 30 vuoden keskiarvoa menneellä jaksolla 1981–2010, ja vaaleansininen taustaväri suurimpia ja pienimpiä päiväarvoja samalla jaksolla. Vihreä yhtenäinen viiva on keskiarvo lähitulevaisuuden jaksolla 2020–2049 ja vihreät katkoviivat jakson suurimpia ja pienimpiä arvoja. Punaiset viivat ovat vastaavasti jakson 2040–2069 arvoja.

Kuva 11. Ilmastonmuutoksen vaikutus maa-alueilta tapahtuvan haihdunnan ja järvihaihdunnan vuosisummien keskiarvoon Alajärven valuma-alueella. Tummallalla palkilla on esitetty kunkin jakson vuosisummien vaihteluväli.



Kuva 12. Ilmastonmuutoksen vaikutus Alajärven tulovirtaamaan eri vuodenaikoina. Tulovirtaama voi olla kuivimpina aikoina jopa negatiivinen, jos haihdunta on järveen valuma-alueelta tulevaa vesimäärää suurempi.



Kesän ja syksyn virtaamat voivat ilmastonmuutosjaksoilla pienentyä, koska maaperä kuivuu kevään aikaistumisesta, kesän pidentymisestä ja haihdunnan lisääntymisestä johtuen. Toisaalta kesän ja syksyn suurimmat sateet voivat kasvaa ja lisääntyä ilmastonmuutosjaksoilla, joten suurimpien virtaamahuippujen voidaan kuitenkin odottaa kasvavan. Kuvassa 12 on esitetty Alajärven tulovirtaaman 30 vuoden päivittäiset keski-, minimi- ja maksimi-arvot historiajaksolla 1981–2010 sekä ilmastonmuutosjaksoilla 2020–2049 ja 2040–2069 keskimääräisellä ilmastonmuutoskenaariolla.

Alajärven vedenkorkeudella on selvä vuodenaikainen vaihtelu, johon vaikuttavat mm. sadannan vuotuinen vaihtelu, sateen varastoituminen maaperään ja vesistöihin, lumen kertyminen ja sulanta, haihdunnan vuodenaikaisvaihtelu sekä valuma-alueen ominaisuudet. Järven pinta on yleensä alimillaan alkukeväällä ja loppukesällä, ja ylimmillään keväisin ja syksyisin. Ilmastonmuutos vaikuttaa järvien vedenkorkeuksiin ja lähtövirtaamiin eniten talvisin, koska sateet tulevat useammin vetenä, ja lunta sulaa useammin jo talven aikana kasvattaen

tulovirtaamia ja vedenkorkeuksia. Kevättulvat ovat historiajaksolla olleet vuoden suurimpia tulvia, mutta ilmastonmuutosjaksoilla suurimmat virtaamahuiput ajoittuvat useammin talvikuukausille. Ilmastonmuutosjaksojen syys- ja talvitulvat jäävät kuitenkin mallinnusten perusteella pienemmiksi kuin historiajakson suurimmat kevättulvahuiput.

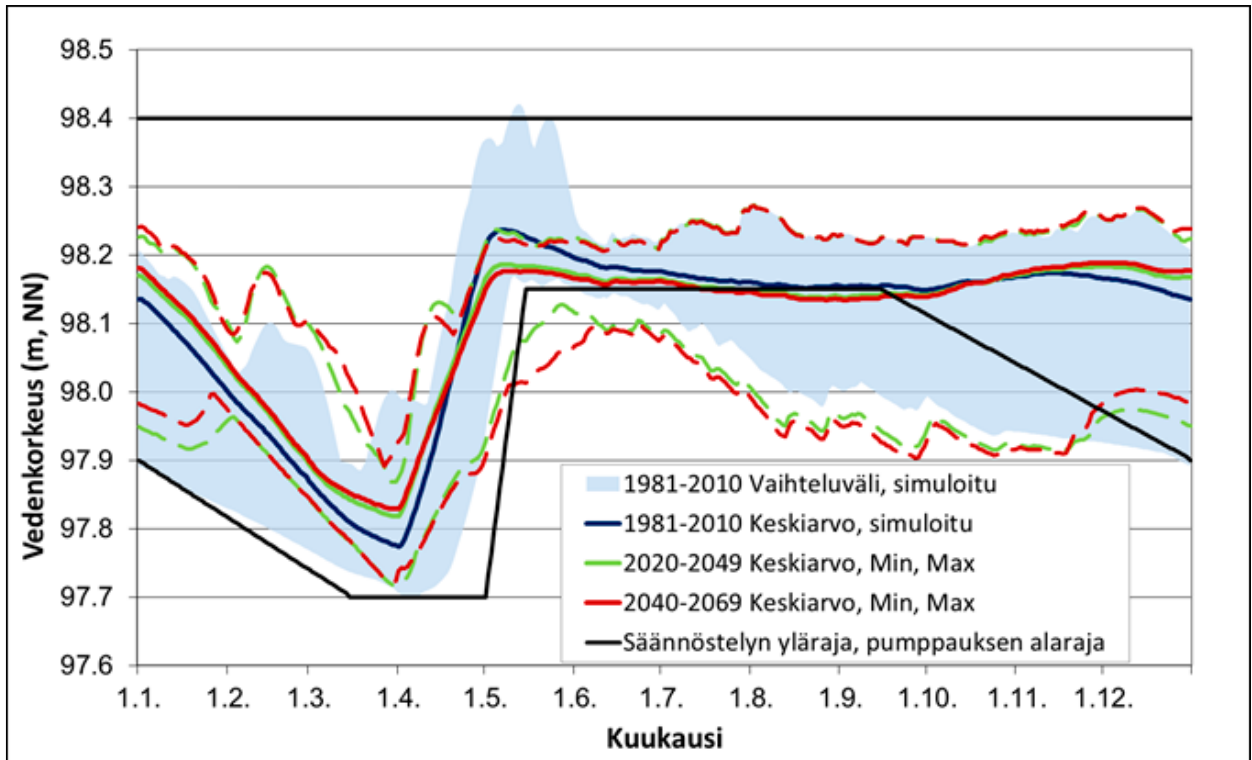
Talvisin joudutaan jatkossa juoksuttamaan selvästi historiajaksoa enemmän tulovirtaaman kasvun lisäksi sen takia, että luvassa määrätään laskemaan Alajärven vedenkorkeutta pakolliseen kevätkuoppaan, suuremmista tulovirtaamista huolimatta. Talven ja alkukevään keskimääräiset juoksutukset siis kasvavat ilmastonmuutosjaksoilla, mutta sekä vedenkorkeuden että juoksutuksen kevättulvan aikaiset suurimmat arvot kuitenkin pienevät. Huhti–toukokuun juoksutukset tulevat myös keskimäärin pienenemään selvästi, koska Alajärveä pyritään silloin nostamaan kohti kesävedenkorkeuksia vaikka tulovirtaamahuiput on jo pääosin ohitettu.

Ilmastonmuutosjaksoilla kesäjakso pitenee aikaistuvien ja pienenevien kevättulvahuippujen sekä lämpimämpien loppukesien vuoksi. Kokonai-

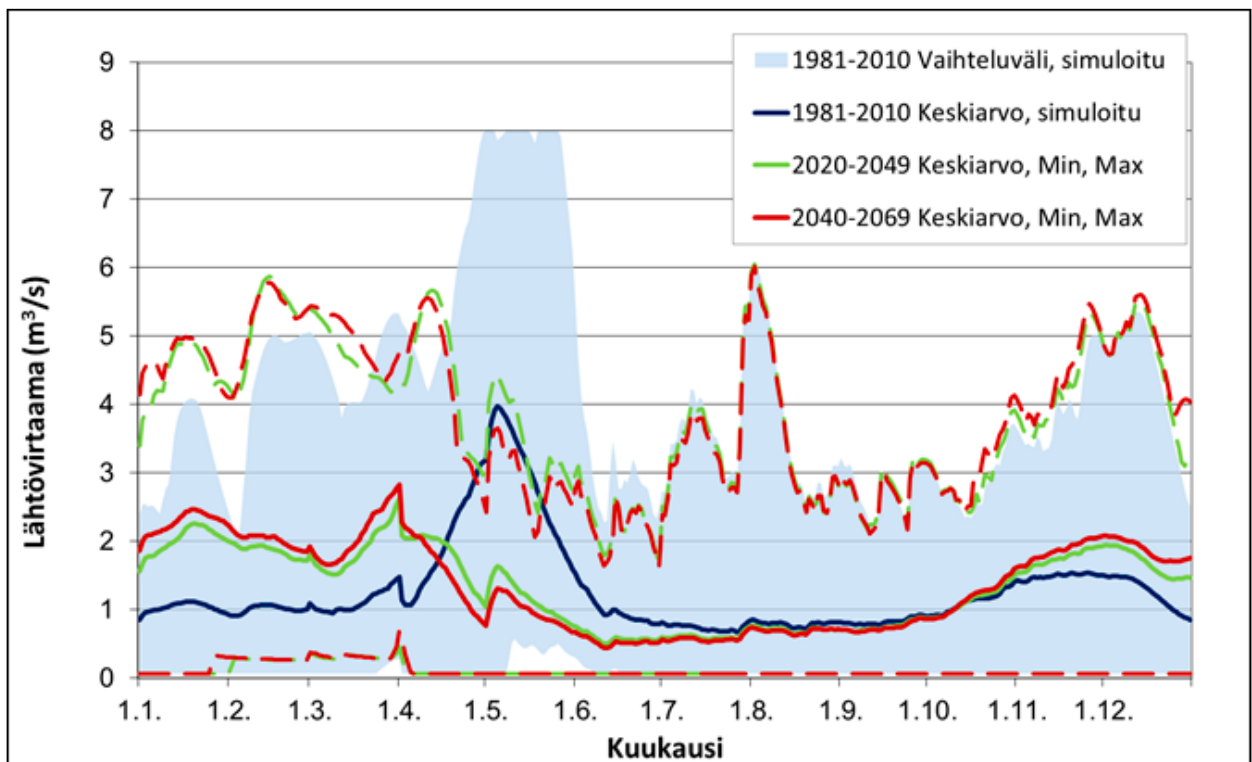
suudessaan tulovirtaama järveen (ns. nettotulovirtaama) voi olla kuivimpina aikoina jopa negatiivinen, jos haihdunta on järveen tulevaa vesimäärää suurempi. Alajärven vedenkorkeus pysyy kuitenkin keskimäärin lähellä historiajakson keskimääräistä tasoa, mutta alimmat vedenkorkeudet laskevat kesän mittaan historiajaksoa alemmaksi. Syksyt ja alkutalvet ovat puolestaan ilmastonmuutosjaksoilla sateisempia kuin aiemmin, ja ilmastonmuutosjaksoilla Alajärven vedenkorkeus onkin mallinnusten perusteella usein marras–joulukuussa historiajaksoa korkeammalla. Katiskosken pienimpiin juoksutuksiin ilmastonmuutoksella ei ole tässä vaikutusta, koska minimivirtaama on pidetty samana kaikilla laskentajaksoilla. Ilmastonmuutoksen vaikutukset Alajärven vedenkorkeuteen ja lähtövirtaamaan sekä Katiskosken padon vedenkorkeuteen luvan ja nykykäytäntöjen mukaisella säännöstelyllä on esitetty kuvissa 14–16. Kuvissa 13 ja 17 näkyy talvinen ja kesäinen maisema Alajärvellä. Alajärvi on tärkeä virkistyskäyttökohde lähialueen asukkaille.

Kuva 13. Talvinen Alajärvi (kuva: Eija Isomäki)

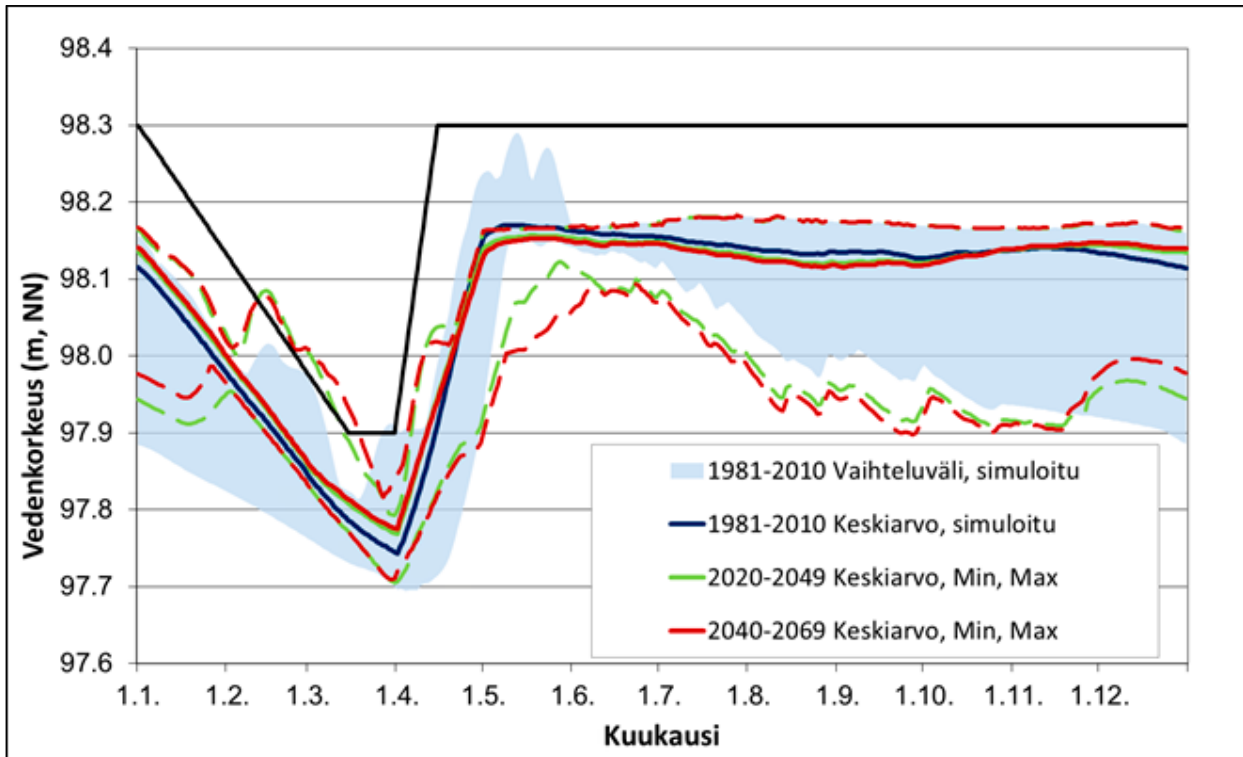




Kuva 14. Nykykäytäntöjen ja lupien mukainen säännötely historia- ja ilmastonmuutosjaksolla, kuva Alajärven vedenkorkeuden muutoksista.



Kuva 15. Nykykäytäntöjen ja lupien mukainen säännötely historia- ja ilmastonmuutosjaksolla, kuva Alajärven lähtövirtaaman muutoksista.



Kuva 16. Nykykäytäntöjen ja lupien mukainen säännöstely historia- ja ilmastonmuutosjaksoilla, kuva Katiskosken padon vedenkorkeuden muutoksista.



Kuva 17. Alajärven virkistyskäyttöä, kuva: Eija Isomäki.

5. Selvitetyt säännöstelyvaihtoehdot ja niiden vaikutukset

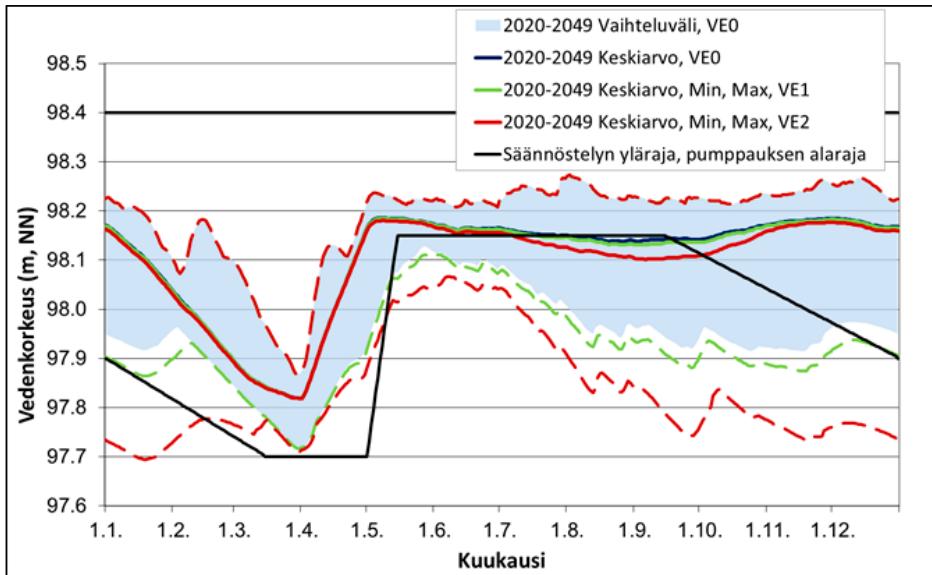
Tässä työssä on muodostettu Alajärvelle erilaisia tulevaisuuden säännöstelyvaihtoehtoja. Tarkastelussa oli pakollisen kalenteriin sidotun kevätkuopan muuttaminen joustavammaksi, koska vähälumisina talvina luvan mukaisen kevätkuopan teko ei ole tarkoituksenmukaista. Kevätkuopan joustavuus helpottaa järven nostamista kesäkorkeuksiin sekä talvi- ja kevättulvien hallintaa. Lisäksi tarkasteltiin Katiskosken padon minimivirtaaman ja tekopohjaveden imeytysveden oton muutoksien vaikutuksia Alajärven vedenkorkeuteen.

Erilaisten säännöstelykäytäntöjen vaikutuksia tarkasteltiin Vesistömallijärjestelmällä sekä historia- että ilmastonmuutosjaksoilla. Tarkastelut tehtiin vertailemalla nykyisten lupaehtojen ja käytäntöjen mukaista säännöstelyä (VE0) vaihtoehtoihin säännöstelytapoihin (VE1–VE5). Säännöstelyvaihtoehtojen tavoitteet ja periaatteet on esitetty taulukossa 1. Vaihtoehtoja ei ole tarkoitus toteuttaa sellaisenaan, vaan vaihtoehtotarkastelun tavoitteena on arvioida erilaisten säännöstelykäytäntöjen vaikutuksia vesistössä.

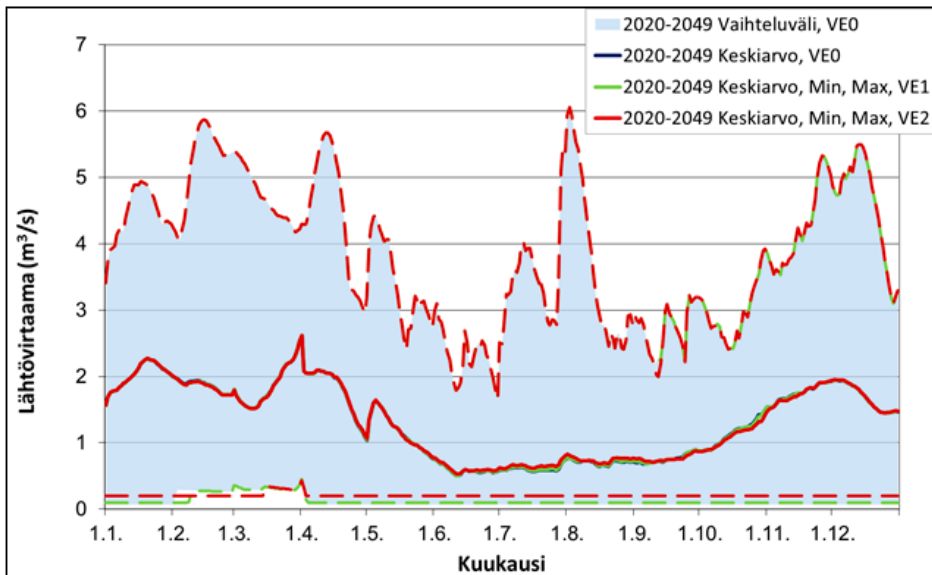
Säännöstelyvaihtoehdoilla on vaikutusta Alajärven vedenkorkeuteen ja juoksutukseen sekä vedenkorkeuteen Katiskosken padolla. Vaihtoehtotarkastelussa pääpaino on lähitulevaisuuden ilmastonmuutosjaksolla 2020–2049. Kuvissa 18–26 on esitetty säännöstelyvaihtoehtojen vaikutus Alajärven vedenkorkeuden ja lähtövirtaaman sekä Katiskosken vedenkorkeuden päivittäisiin minimeihin, maksimeihin ja keskiarvoihin ilmastonmuutosjaksolla 2020–2049.

Taulukko 1. Säännöstelyvaihtoehtojen tavoitteet ja periaatteet.

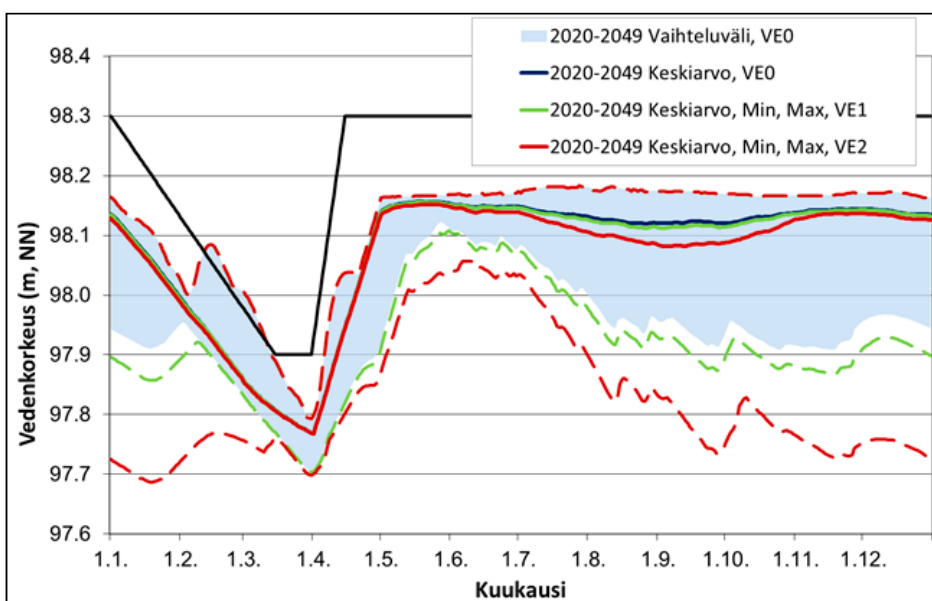
Vaihtoehto	Korostettavat tavoitteet	Toteutus
VE0	<ul style="list-style-type: none"> Säännöstelyssä noudatetaan mahdollisimman hyvin nykyistä säännöstelylupaa ja nykykäytäntöjä. Vertailuvaihtoehto 	<ul style="list-style-type: none"> Säännöstely on luvan ja nykykäytäntöjen kaltaista mahdollisuuksien mukaan Minimivirtaama Katiskoskella 0,07 m³/s Imeytysveden otto 0,1 m³/s alarajan yläpuolella
VE1	<ul style="list-style-type: none"> Minimivirtaaman kasvattaminen 	<ul style="list-style-type: none"> Minimivirtaama Katiskoskella 0,1 m³/s Imeytysveden otto 0,1 m³/s alarajan yläpuolella
VE2	<ul style="list-style-type: none"> Minimivirtaaman kasvattaminen 	<ul style="list-style-type: none"> Minimivirtaama Katiskoskella 0,2 m³/s Imeytysveden otto 0,1 m³/s alarajan yläpuolella
VE3	<ul style="list-style-type: none"> Kevätkuopan sopeutuminen lumitilanteeseen 	<ul style="list-style-type: none"> Kevätkuoppaa loivennetaan ja aikaistetaan vähälumisina talvina (kun lumen vesiarvo alle 60 mm) Minimivirtaama Katiskoskella 0,07 m³/s Imeytysveden otto 0,1 m³/s alarajan yläpuolella
VE4	<ul style="list-style-type: none"> Kevätkuopan sopeutuminen lumitilanteeseen 	<ul style="list-style-type: none"> Kevätkuoppaa loivennetaan ja aikaistetaan vähälumisina talvina (kun lumen vesiarvo alle 60 mm) Minimivirtaama Katiskoskella 0,1 m³/s Imeytysveden otto 0,1 m³/s alarajan yläpuolella
VE5	<ul style="list-style-type: none"> Imeytysveden oton määrän kasvattaminen 	<ul style="list-style-type: none"> Minimivirtaama Katiskoskella 0,07 m³/s Imeytysveden otto 0,14 m³/s pumppauksen alarajasta välittämättä



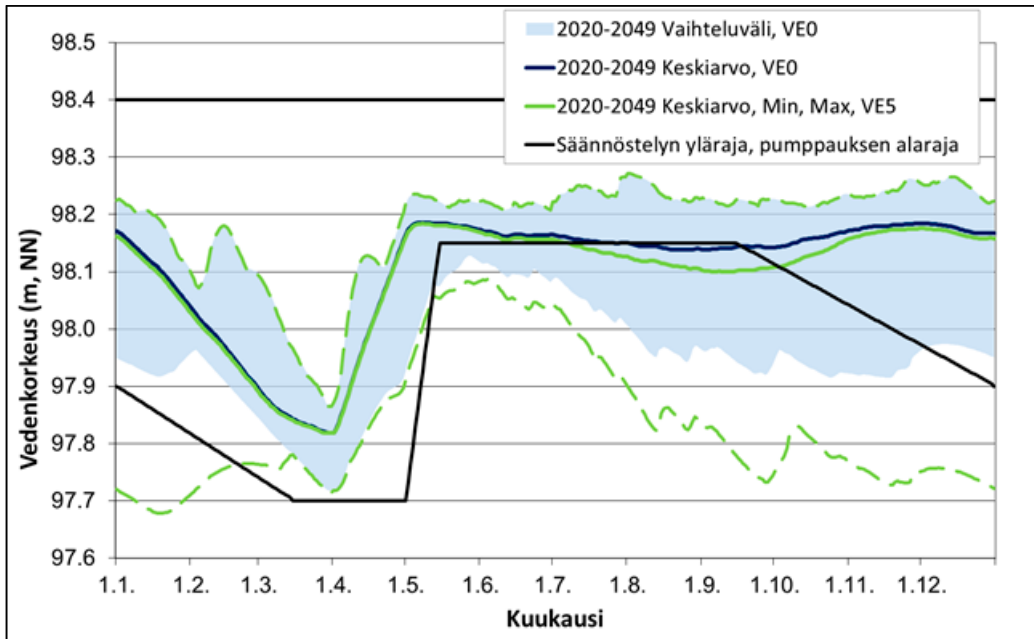
Kuva 18. Säätöstelyvaihtoehtojen VE1 ja VE2 vaikutus Alajärven vedenkorkeuteen ilmastomuutosjaksolla 2020–2049.



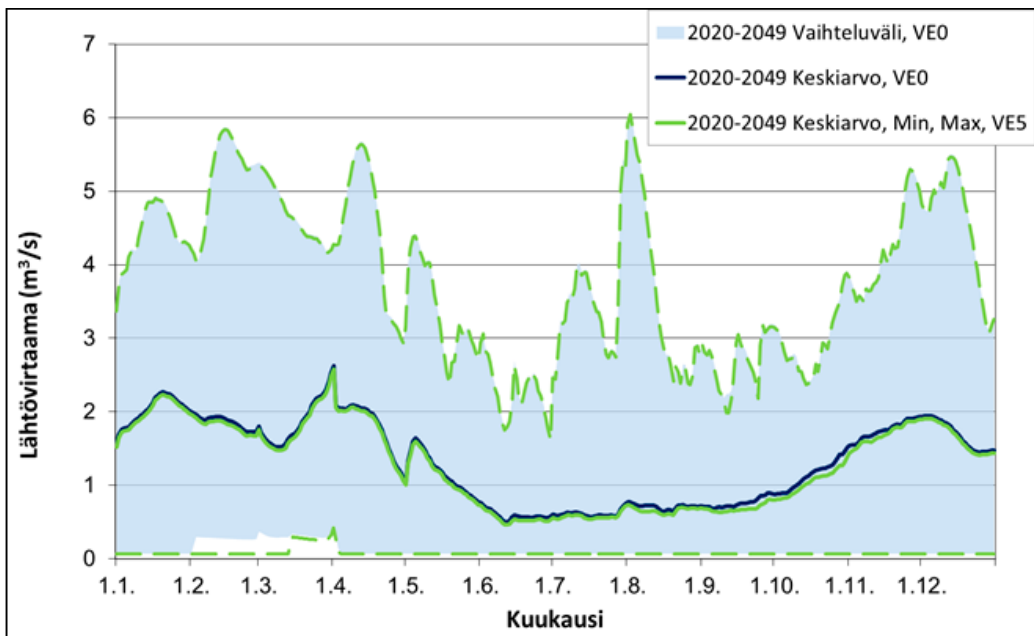
Kuva 19. Säätöstelyvaihtoehtojen VE1 ja VE2 vaikutus Alajärven lähtövirtaamaan ilmastomuutosjaksolla 2020–2049.



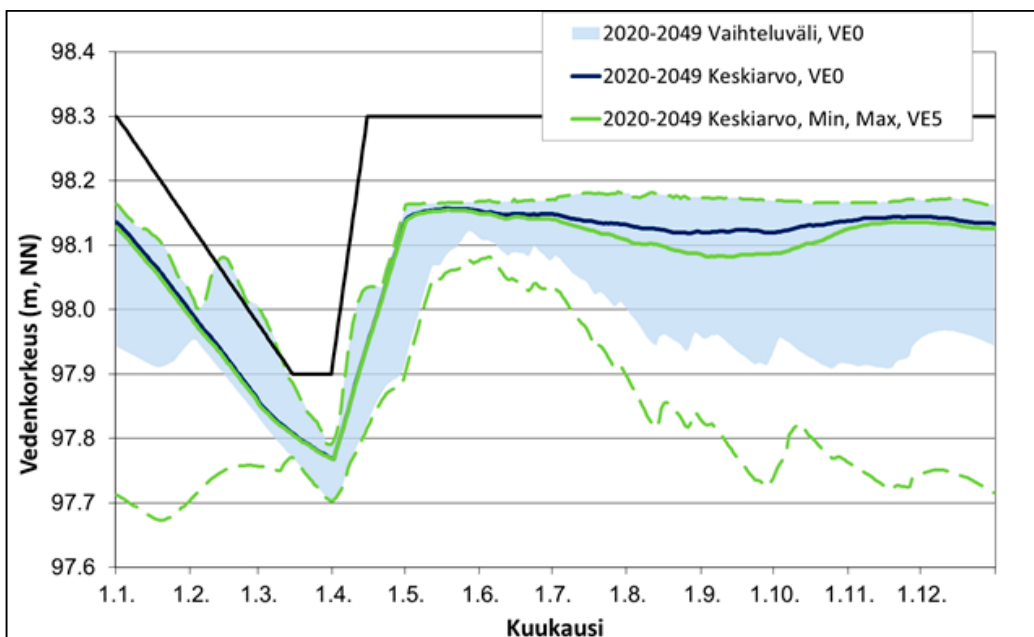
Kuva 20. Säätöstelyvaihtoehtojen VE1 ja VE2 vaikutus Katiskosken vedenkorkeuteen ilmastomuutosjaksolla 2020–2049.



Kuva 24. Säätö- vaihtoehdon VE5 vaikutus Alajärven vedenkorkeuteen ilmastonmuutosjaksolla 2020–2049.



Kuva 25. Säätö- vaihtoehdon VE5 vaikutus Alajärven lähtövirtaamaan ilmastonmuutosjaksolla 2020–2049.



Kuva 26. Säätö- vaihtoehdon VE5 vaikutus Kattiskosken vedenkorkeuteen ilmastonmuutosjaksolla 2020–2049.

Vaihtoehdoissa VE1 ja VE2 tutkittiin minimijuoksu-
tusten kasvattamisen vaikutusta Alajärven veden-
korkeuteen. Vaihtoehdossa VE1 minimivirtaama
Katiskoskella oli 0,1 m³/s ja vaihtoehdossa VE2
0,2 m³/s, jolloin Katiskosken alapuoliselle osuudel-
le saadaan enemmän vettä nykyvaihtoehtoon VE0
verrattuna. Alajärven vedenkorkeus pysyy kesällä
keskimäärin tason 98,10 m (NN) yläpuolella kuten
VE0, mutta alimmat vedenkorkeudet laskevat his-
toriajakson säällä 3 (VE1) ja 15 cm (VE2) alemmas
kuin VE0. Ilmastonmuutosjaksolla ongelma koros-
tuu, koska kevättulvat tulevat aikaistumaan ja pie-
nenemään ja kesät lämpenevät ja pitenevät, jol-
loin Alajärven vedenkorkeus laskee kesän aikana
noin 10 cm (VE1) ja 20 cm (VE2) alemmas histo-
riajakson VE0 verrattuna. Varsinkin vaihtoehdossa
VE2 järven vedenkorkeus laskee jopa keskimäärin
imeytysveden oton alarajan alapuolelle. Taulukos-
sa 2 on esitetty eri vaihtoehtojen kesän alimmat ve-
denkorkeudet Alajärvellä.

Vaihtoehdoissa VE3 ja VE4 tarkasteltiin kevät-
kuopan loiventamista ja aikaistamista vähälumisina
talvina, jotka tulevat yleistymään ilmastonmuutok-
sen vaikutuksesta. Tämä tehtiin siten, että veden-
korkeuden annettiin nousta säännöstelyohjeen
määrittämää juoksu- ja imetyksen pienentämällä silloin, kun
lumen vesiarvo Vesistömallissa oli alle 60 mm jak-
solla 10.1.–20.5. ja Alajärven vedenkorkeus oli
alle 98,30 m (NN). Kevätkuopan sopeuttaminen lu-
mitilanteeseen ja kevään tulovirtaamaennusteisiin
helpottaa Alajärven vedenkorkeuden nostamista
kesän tavoitetasolle. Kevätkuopan loiventaminen
pienentää lisäksi talviajan juoksu- ja imetyksen tarvetta, joka
muuten kasvatti ilmastonmuutosjaksoille mentä-
essä. Kevättulvan jälkeisellä ajalla ja alkukesästä
voidaan puolestaan juoksu- ja imetyksen enemmän, koska
Alajärven pinta on korkeammalla. Toisaalta tästä
voi aiheutua suurempia juoksu- ja imetyksen tarpeita
varsinkin huhtikuussa, jos kevätkuoppa on tehty loivana ja kevät
onkin hyvin sateinen. Järven huhti–toukokuu-
set vedenkorkeushuiput nousevat samalla 5–10 cm vaih-
toehtoon VE0 verrattuna.

Historiajaksolla (VE0) kevätkuoppa ajoittuu simu-
loinneissa keskimäärin maaliskuu–huhtikuun vaihtee-
seen siten, että alin vedenkorkeus on keskimäärin
97,78 m (NN). Ilmastonmuutosjaksoilla lumitilan-
teeseen sopeutuvalla säännöstelyllä kevätkuopan
ajankohta aikaistuu muutamalla viikolla (ajoittuu
pääosin maaliskuulle) ja sen keskimääräinen sy-
vyys olisi 97,90 m (NN) jaksolla 2020–2049, ja
97,94 m (NN) jaksolla 2040–2069. Vaihtoehdois-
sa VE3 ja VE4 Alajärven vedenkorkeutta ei useina
vuosina lasketa juuri lainkaan tammi–maaliskuus-
sa. Tämä johtuu lämpimimpien talvien suurista tu-
lovirtaamista ja vähäisistä lumimääristä.

Alajärven vedenkorkeuden nosto kevätkuoppaa
loiventamalla auttaa kesän alimpien vedenkorkeuk-
sien suhteen, alimmat vedenkorkeudet eivät vaih-
toehdoissa VE3 ja VE4 laske juuri historiajakson
VE0:a alemmas (taulukko 2). Vaihtoehdossa VE4,
jossa minimivirtaama on nostettu 0,1 m³/s:iin, ve-
denkorkeus laskee muutaman sentin alemmas kuin
VE3:ssa, jossa minimivirtaama on luvan mukainen
0,07 m³/s. Kummassakin vaihtoehdossa Alajärven
vedenkorkeus pysyy kesällä keskimäärin imeytys-
veden oton alarajan yläpuolella.

Vaihtoehdossa VE5 tarkasteltiin imeytysveden
oton määrän kasvattamista tulevaisuudelle arvi-
oituun maksimimäärään eli 0,14 m³/s, ja imeytys-
veden oton alaraja jätettiin huomiotta. Alajärven
vedenkorkeus pysyisi keskimäärin tason 98,10 m
(NN) yläpuolella, mutta kesän ja alkutalven alimmat
vedenkorkeudet laskevat noin 20 cm alemmas kuin
VE0 historiajaksolla (taulukko 2). Katiskosken ke-
säajan virtaamat pienenevät keskimäärin vain vä-
hän, ja minimivirtaama Katiskoskella on nyky-
luvan mukainen 0,07 m³/s.

Imeytysveden oton jatkuessa suurempana vuo-
den ympäri (VE5), Alajärven vedenkorkeus las-
kisi talven aikana historiajaksolla alimmillaan ta-
solle 97,40 m (NN). Ilmastonmuutosjaksolla talven
suuremmat tulovirtaamat nostavat hieman talven
alimpia vedenkorkeuksia ja Alajärven vedenkor-
keus laskisi alimmillaan vain tasolle 97,68 m (NN)
saakka.

Taulukko 2: Elo- ja syyskuun alimmat vedenkorkeudet Alajärvellä

Vaihtoehto	Elokuu 1981	2010 (NN)	Syyskuu 1981	2010 (NN)	Elokuu 2020	2049 (NN)	Syyskuu 2020	2049 (NN)
VE0	97,98 m		97,97 m		97,94 m		97,92 m	
VE1	97,96 m		97,94 m		97,92 m		97,88 m	
VE2	97,88 m		97,82 m		97,82 m		97,74 m	
VE3	98,03 m		98,01 m		97,98 m		97,95 m	
VE4	98,00 m		97,97 m		97,95 m		97,92 m	
VE5	97,88 m		97,80 m		97,82 m		97,73 m	

6. Ilmastonmuutoksen ääriskenaariotarkastelu

Tuloksia on tuotettu keskimääräisen ilmastoskenaarion lisäksi myös yksittäisillä ilmastoskenaarioilla ilmastonmuutokseen liittyvien epävarmuuksien huomioimiseksi. Ääriskenaariotarkastelu on tehty käyttäen säännöstelyn nykyvaihtoehtoa eli VE0. Tarkasteluun on valittu neljä keskimääräisestä skenaariosta poikkeavaa ääriskenaariota:

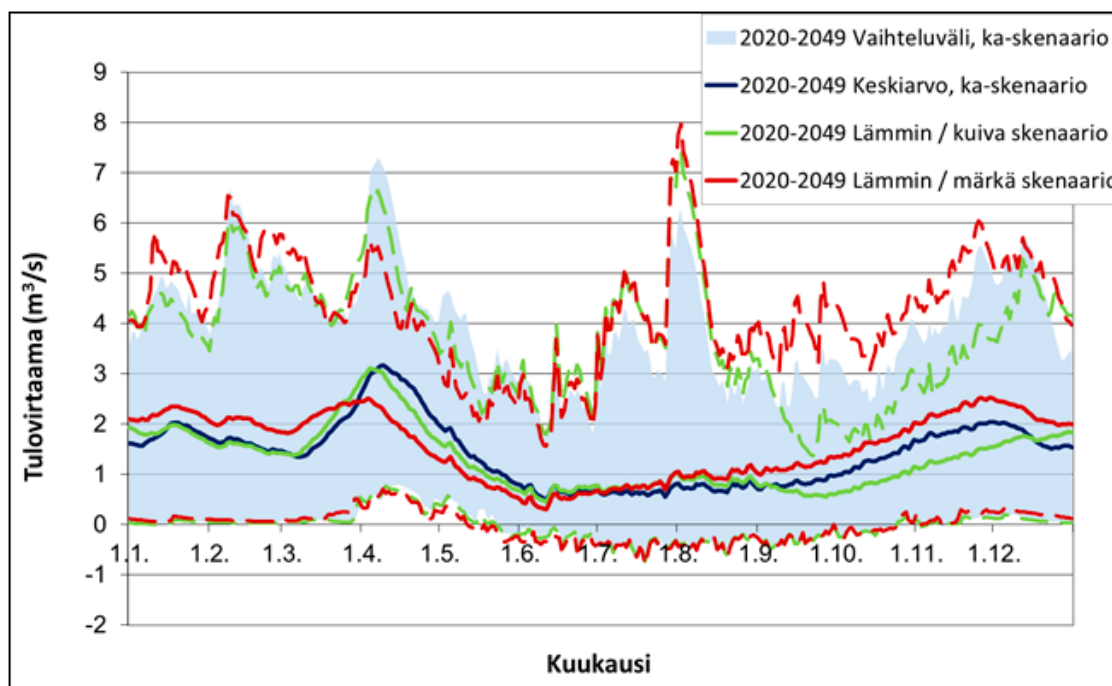
- lämmin ja kuiva (suuret lämpötilan muutokset, pienet sademäärän muutokset)
- lämmin ja märkä (suuret lämpötilan ja sademäärän muutokset)
- kylmä ja kuiva (pienet lämpötilan ja sademäärän muutokset)
- kylmä ja märkä (pienet lämpötilan muutokset, suuret sademäärän muutokset)

Ääriskenaarioiden laskentatulokset on esitetty kuvissa 27–32.

Lämpimässä ja märässä skenaariossa talvet leudontuvat ja talven vesisademäärät kasvavat muita skenaarioita enemmän, mikä johtaa suurempiin tulovirtaamiin talvella ja toisaalta vähäisemmän lumen määrän ja aikaisemman kevään myötä kuivempiin ja vähävetisempiin kesiin. Märkä ja

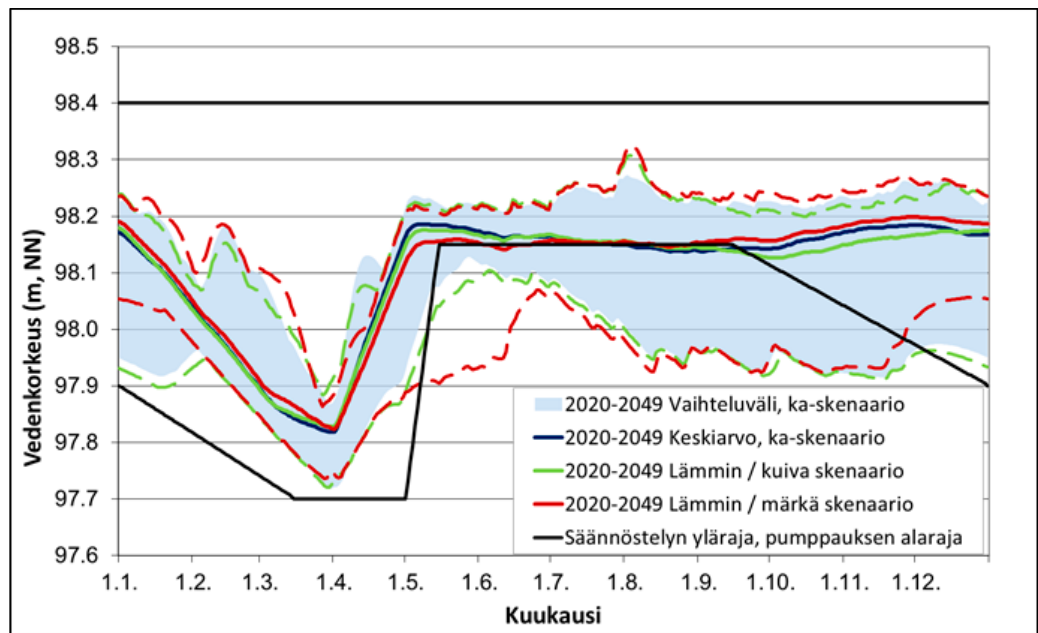
lämmin skenaario tuottaisikin keskiarvoskenaarion tuloksiin verrattuna suurempia tulo- ja lähtövirtaamia loppukesällä, syksyllä ja talvella, ja Alajärven vedenkorkeus olisi ajoittain hieman korkeammalla. Alkukevällä kevätkuopan teon jälkeen Alajärven pinta puolestaan jäisi kuivimpina vuosina selvästi keskimääräistä skenaariota alemmas, koska kevään tulovirtaamat jäävät pienemmiksi. Lämmin ja kuiva skenaario tuottaisi keskiarvoskenaariota pienempiä tulovirtaamia ja matalampia vedenkorkeuksia lähinnä loppukesällä ja syksyllä.

Kylmissä skenaarioissa (varsinkin kylmässä ja kuivassa) talviajan tulovirtaamat ovat pienempiä kuin keskimääräisessä skenaariossa, koska sateet tulevat useammin lumena. Kylmässä ja kuivassa skenaariossa kevättulvat aikaistuvat 2–4 viikkoa historiajakson tulviin verrattuna kuten keskimääräisessä skenaariossa, mutta talvella kertyneen suuremman lumimäärän vuoksi kevään suurimmat tulovirtaamahuiput säilyisivät edelleen lähes historiajakson tulvien suuruksina. Keskimääräisissä vedenkorkeuksissa ei ole merkittävää eroa kylmien skenaarioiden ja keskimääräisen skenaarion välillä, mutta kylmässä ja märässä skenaariossa kesän alimmat vedenkorkeudet eivät laske yhtä paljon kuin keskimääräisessä skenaariossa.

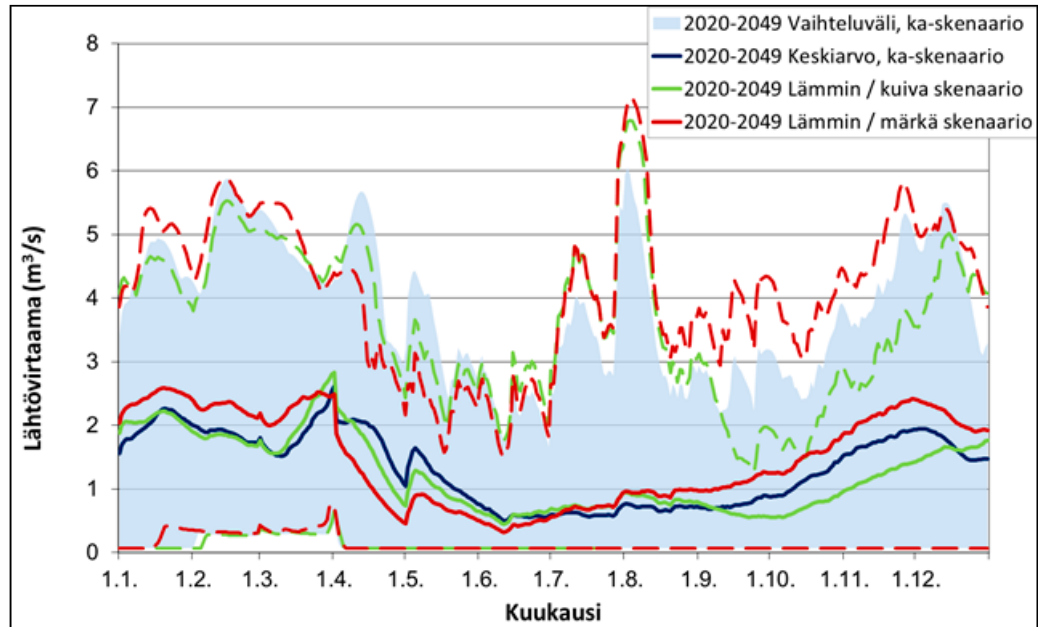


Kuva 27. Alajärven tulovirtaama jaksolla 2020–2049 ilmastomuutoksen keskiarvoskenaariolla, lämpimällä ja kuivalla sekä lämpimällä ja märällä skenaariolla. Tulovirtaama voi olla kuivimpina aikoina jopa negatiivinen, jos haihdunta on järveen valuma-alueelta tulevaa vesimäärää suurempi.

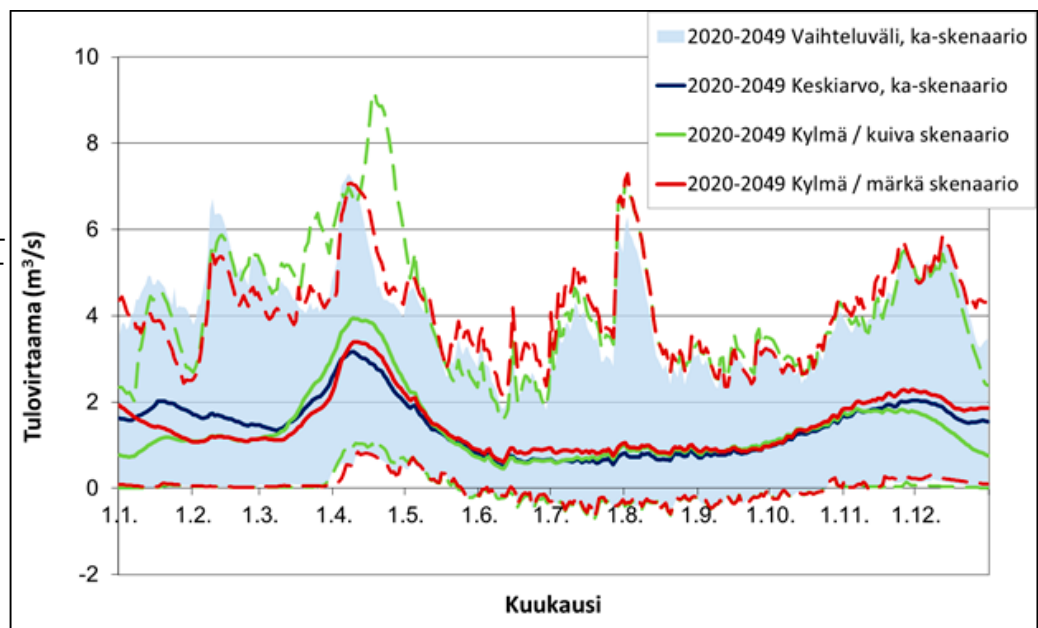
Kuva 28. Alajärven vedenkorkeus jaksolla 2020–2049 ilmastonmuutoksen keskiarvoskenaariolla, lämpimällä ja kuivalla sekä lämpimällä ja märällä skenaariolla

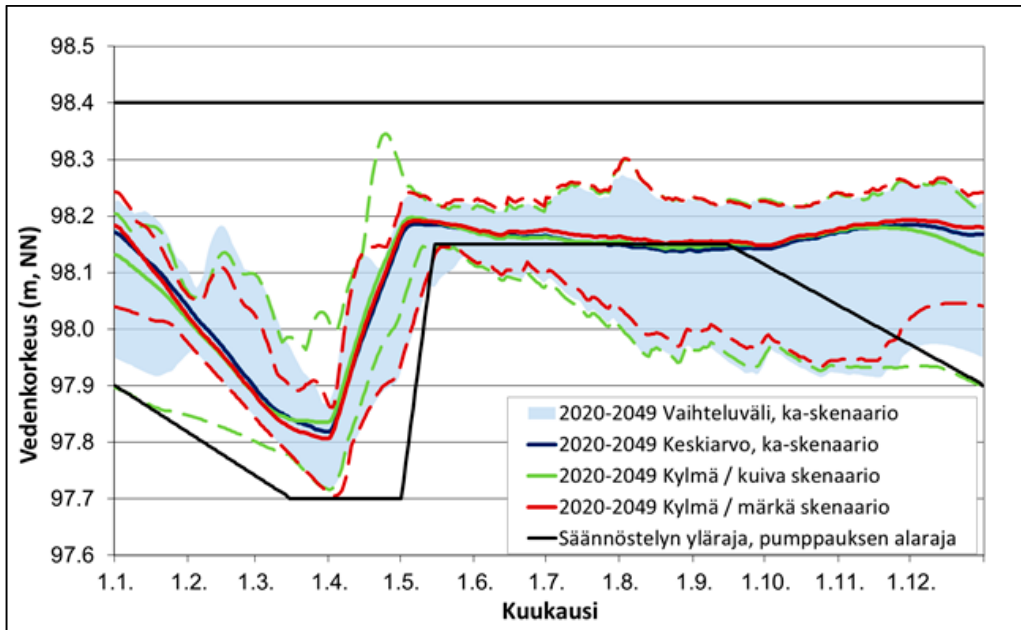


Kuva 29. Alajärven lähtövirtaama jaksolla 2020–2049 ilmastonmuutoksen keskiarvoskenaariolla, lämpimällä ja kuivalla sekä lämpimällä ja märällä skenaariolla

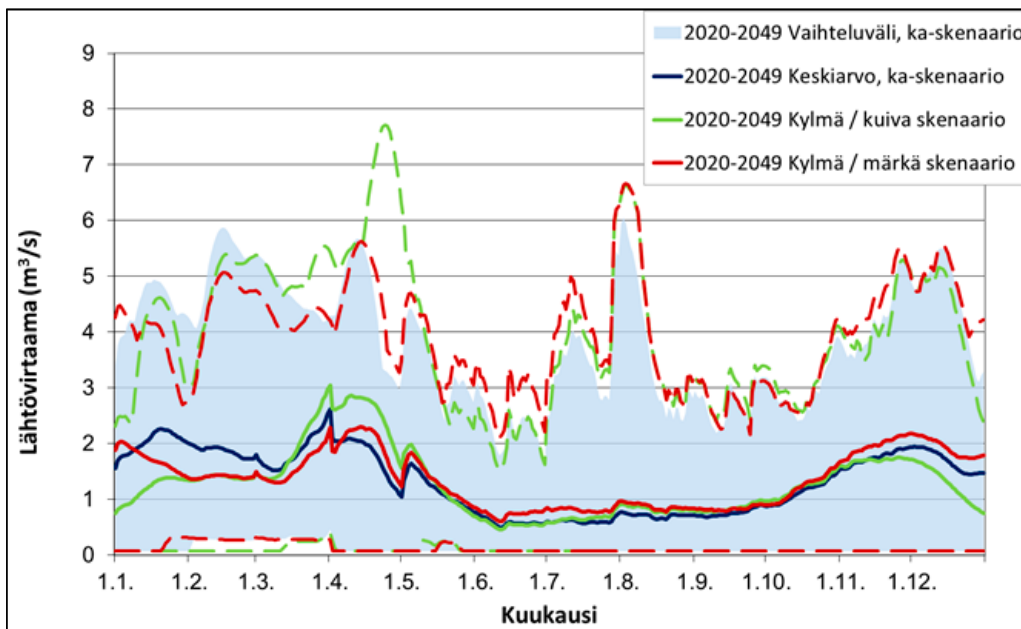


Kuva 30. Alajärven tulovirtaama jaksolla 2020–2049 ilmastonmuutoksen keskiarvoskenaariolla, kylmällä ja kuivalla sekä kylmällä ja märällä skenaariolla. Tulovirtaama voi olla kuivimpina aikoina jopa negatiivinen, jos haihdunta on järveen valuma-alueelta tulevaa vesimäärää suurempi.





Kuva 31. Alajärven vedenkorkeus jaksolla 2020–2049 ilmastonmuutoksen keskiarvoskenaariolla, kylmällä ja kuivalla sekä kylmällä ja märällä skenaariolla



Kuva 32. Alajärven lähtövirtaama jaksolla 2020–2049 ilmastonmuutoksen keskiarvoskenaariolla, kylmällä ja kuivalla sekä kylmällä ja märällä skenaariolla

7. Yhteenveto

Alajärven vedenkorkeusvaihtelussa on historiajaksolla havaittavissa selvä kevättulva ja kesän aikana laskeva vedenpinta. Ilmastonmuutos muuttaa tilanetta siten, että osa kevään tulovirtaamista siirtyy talvelle, ja kevään tulovirtaamahuiput aikaistuvat ja jäävät aiempaa pienemmiksi. Myös kuivimpien kesien tulovirtaamien ennakoidaan pienenevän, ja kuivuustilanteiden pahenevan. Pitkäkestoinen kuivuus pienentää tulovirtaamia ja vesistöistä voi haihtua enemmän vettä kuin sinne tulee. Säännöstelyä olisi näin ollen tarpeen mukauttaa erilaisiin ja muuttuviin vesitilanteisiin sopivaksi. Tässä työssä on tarkasteltu kevätkuopan aikaistamisen ja loiventamisen vaikutuksia sekä minimijuoksutusten ja imeytysveden oton määrän kasvattamisen mahdollisuuksia ilmastonmuutoksen vaikutukset huomioon ottaen.

Kevätkuopan loiventamisella voidaan nähdä useita hyötyjä. Vähälumisina talvina ei ole tarpeellista varautua suuriin kevättulovirtaamiin ja juoksu- ttaa vettä järvestä suuria määriä talven entisestään kasvavien tulovirtaamien aikana, vaan säästää vettä järvestä loppukevääille vedenkorkeuden nos-

tamiseksi kesän tavoitetasoille. Mahdollisten kuivuustilanteiden kannalta on tärkeää, että Alajärvessä riittää vettä kesän ja syksyn mittaan, myös juoksu- tettaavaksi sekä imeytysveden oton tarpeisiin.

Minimivirtaaman tai imeytysveden oton määrän kasvattamista ei voida keskimääräistä kuivempina vuosina tehdä ilman merkittävää vaikutusta Alajärven alimpiin vedenkorkeuksiin. Mutta, mikäli samanaikaisesti sopeutetaan kevätkuoppaa vesi- ja lumitilanteen mukaisesti ja pidetään Alajärven pintaa silloin korkeammalla, voidaan myös Alajärvellä välttää vedenkorkeuden liiallista laskua kesän aikana. Minimijuoksutuksen valinta vaikuttaa Alajärven lisäksi alajuoksun vesitilanteeseen.

Kaikilla tarkastelluilla ilmastonmuutosskenaarioilla ja säännöstelyvaihtoehdoilla vuoden ylimmät vedenkorkeudet tulevat olemaan ilmastonmuutos- jaksolla matalampia kuin historiajaksolle simuloitujen kevättulvahuiput. Tulviin varautuminen on kuitenkin edelleen tarpeen, jotta toisaalta järven omat tulva- korkeudet säilyvät maltillisina ja toisaalta juoksu- tuksia tasaamalla Katiskoskesta ei tarvitse juoksu- ttaa suurimpia virtaamia alapuolisen vesistön tulvahuipun aikaan. Ilmastonmuutoksen myötä tulvia voi Etelä-Suomessa esiintyä mihin aikaan vuode- sta tahansa. Juoksu- tuksissa on hyvä huomioida sekä vallitseva että ennustettu vesitilanne. Haitallisen suurien vedenpinnan ja juoksu- tuksen vaihteluita voidaan vähentää vesitilanteen seurannalla.

Sekä skenaarioihin että vaikutustarkasteluihin liittyy epävarmuuksia. Todellisuudessa vuosien ja ilmastonmuutosjaksojen välinen vaihtelu voi olla erilaista kuin tämän työn simulointituloksissa, ja muutokset voivat esiintyä aikaisemmin tai myö- hemmin. Säännöstelyluvan ja -käytännön tulisi olla riittävän joustavia, jotta voidaan varautua erilaisiin vuosiin eli kesän kuivuuteen ja talven suurempiin tulovirtaamiin, ja edelleen myös runsaslumisiin talviin ja suuriin kevättulviin.

8. Lähteet

Arnell, N.W. 1999. The effect of climate change on hydrological regimes in Europe: a continental perspective. *Global and Environmental Change* 9(1): 5–23.

Dubrovin, T., Isid, D., Kumpumäki, M., Mustajoki, J., Jakkila, J. & Marttunen, M. 2017a. Kehittämissuositukset Pirkanmaan keskeisten järvien säännöstelyille. Pirkanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Raportteja 26/2017.

Dubrovin, T., Jakkila, J., Aaltonen, J., Kumpumäki, M. & Vehviläinen, B. 2017b. Kokemäenjoen vesistöalueen padotus- ja juoksutus selvitys. Suomen ympäristökeskus.

Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., van Vuuren, D. P., Carter, T. R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G. A., Mitchell, J. F. B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S. J., Stouffer, R. J., Thomson, A. M., Weyant, J. P., and Wilbanks, T. J. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment, *Nature*, 463, 747, 10.1038/nature08823

Prudhomme, C., Jacob, D. & Svensson, C. 2003. Uncertainty and climate change impacts on the flood regime of small UK catchments. *Journal of Hydrology* 277(1): 1–23.

Ruosteenoja, K., Jylhä, K. & Kämäräinen, M. 2016. Climate projections for Finland under the RCP forcing scenarios. *Geophysica* 51(1), 17–50.

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, 17–19 October 2005, Tromsø, Norway

Veijalainen, N., Jakkila, J., Nurmi, T., Vehviläinen, B., Marttunen, M. & Aaltonen, J. 2012. Suomen vesivarat ja ilmastonmuutos – vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen. WaterAdapt -projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 16/2012. 138 s.

Julkaisusarjan nimi ja numero Raportteja 15/2019				
Vastuualue Ympäristö ja luonnonvarat				
Tekijät Miia Kumpumäki		Julkaisuaika Huhtikuu 2019		
		Kustantaja /Julkaisija Hämeen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus		
Julkaisun nimi Alajärven säännöstelyn kehittäminen Ilmastonmuutos- ja säännöstelylaskennat				
Tiivistelmä Alajärven säännöstelyn kehittämistyössä tarkasteltiin säännöstelyn kehittämismahdollisuuksia ottaen huomioon järven nykyiset käyttötärpeet sekä muuttuva ilmasto. Ilmastonmuutos- ja säännöstelylaskennat on laadittu Suomen ympäristökeskuksessa yhteistyössä Hämeen ELY-keskuksen, Vanajavesikeskuksen, Alajärven ja Takajärven suojeluyhdistyksen sekä HS-Veden kanssa. Alajärven vedenkorkeusvaihtelussa on historiajaksolla havaittavissa selvä kevättulva ja kesän aikana laskeva vedenpinta. Ilmastonmuutos muuttaa tilannetta siten, että osa kevään tulovirtaamista siirtyy talvelle, ja kevään tulovirtaamahuiput aikaistuvat ja jäävät aiempaa pienemmiksi. Myös kuivimpien kesien tulovirtaamien ennakoitaan pienenevän, ja kuivuustilanteiden pahenevan. Säännöstelyä olisi näin ollen tarpeen mukauttaa erilaisiin ja muuttuviin vesitilanteisiin sopivaksi. Tässä työssä on tarkasteltu kevätkuopan aikaistamisen ja loiventamisen vaikutuksia sekä minimijuoksutusten ja imeytysveden oton määrän kasvattamisen mahdollisuuksia ilmastonmuutoksen vaikutukset huomioon ottaen. Kevätkuopan loiventamisella voidaan nähdä useita hyötyjä. Vähälumisina talvina ei ole tarpeellista varautua suuriin kevättulovirtaamiin ja juoksuuttaa vettä järvestä suuria määriä talven entisestään kasvavien tulovirtaamien aikana, vaan säästää vettä järvestä loppukevääille vedenkorkeuden nostamiseksi kesän tavoitetasoille. Minimivirtaaman tai imeytysveden oton määrän kasvattamista ei voida keskimääräistä kuivempina vuosina tehdä ilman merkittävää vaikutusta Alajärven alimpiin vedenkorkeuksiin. Mutta, mikäli samanaikaisesti sopeutetaan kevätkuoppaa vesi- ja lumitilanteen mukaisesti ja pidetään Alajärven pintaa talvella ja keväällä korkeammalla, voidaan liiallista vedenkorkeuden laskua välttää kesän aikana. Säännöstelyluvan ja -käytännön tulisikin olla riittävän joustavia, jotta voidaan varautua erilaisiin vuosiin eli kesän kuivuuteen ja talven suurempiin tulovirtaamiin, ja edelleen myös runsaslumisiin talviin ja suuriin kevättulviin.				
Asiasanat (YSA:n mukaan) Alajärvi, virtaama, veden korkeus, säännöstely, ilmastonmuutos, hydrologinen kierto				
ISBN (Painettu)	ISBN (PDF) 978-952-314-775-1	ISSN-L 2242-2846	ISSN (painettu) 2242-2846	ISSN (verkojulkaisu) 2242-2854
www www.doria.fi/ely-keskus		URN URN:ISBN:978-952-314-775-1		Kieli Suomi
Sivumäärä 28				
Kustannuspaikka ja -aika Hämeenlinna 2019				

RAPORTTEJA 15 | 2019
ALAJÄRVEN SÄÄNNÖSTELYN KEHITTÄMINEN
ILMASTONMUUTOS- JA SÄÄNNÖSTELYLASKENNAT

Hämeen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

ISBN 978-952-314-775-1 (PDF)
ISSN-L 2242-2846
ISSN 2242-2854 (verkkajulkaisu)

URN:ISBN:978-952-314-775-1

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