



Suomen ympäristökeskuksen raportteja 30 | 2026

Ilmastonmuutos ja virtaamien muuttuminen Kemi-, Kymi- ja Lieksanjoen alueilla

Vuoden 2026 arvio

Noora Veijalainen, Meri Virman, Antti Mäkelä



Suomen ympäristökeskus
Finlands miljöcentral
Finnish Environment Institute

Ilmastonmuutos ja virtaamien muuttuminen Kemi-, Kymi- ja Lieksanjoen alueilla

Vuoden 2026 arvio

Noora Veijalainen, Meri Virman, Antti Mäkelä



Suomen ympäristökeskus
Finlands miljöcentral
Finnish Environment Institute

Suomen ympäristökeskuksen raportteja 30 | 2026

Suomen ympäristökeskus
Ilmastoratkaisut

Kirjoittajat: Noora Veijalainen¹⁾, Meri Virman²⁾, Antti Mäkelä²⁾,

¹⁾ Suomen ympäristökeskus

²⁾ Ilmatieteen laitos

Vastaava erikoistoimittaja: Nina Pirttioja

Rahoittaja/toimeksiantaja: Kemijoki Oy

Julkaisija ja kustantaja: Suomen ympäristökeskus (Syke)

Latokartanonkaari 11, 00790 Helsinki, puh. 0295 251 000, syke.fi

Taitto: Tekijät ja Grano Oy

Kannen kuva: Kemijoki Oy

Julkaisu on saatavana veloitusetta internetistä: syke.fi/julkaisut | helda.helsinki.fi/syke

ISBN 978-952-11-5874-2 (PDF)

ISSN 1796-1726 (verkkokj.)

Julkaisuvuosi: 2026

Tiivistelmä

Ilmastonmuutos ja virtaamien muuttuminen Kemi-, Kymi-, ja Lieksanjoen alueilla – vuoden 2026 arvio

Ilmastonmuutos on jo vaikuttanut ja vaikuttaa jatkossa Suomen lämpötiloihin, sadantaan ja jokien virtaamiin. Tässä raportissa tarkastellaan vaikutuksia kolmella eri vesistöalueella Suomessa, Kemi-, Kymi- ja Lieksanjoella käyttäen tuoreimpia ilmastomalliaineistoja ja vesistömallinnusta.

Ilmastonmuutoksen seurauksena lämpötilat kohoavat ja sadannat keskimäärin kasvavat tarkastelluilla alueilla. Ennakoidut lämpötilan ja sadannan keskimääräiset kasvut sekä kuukausimuutokset ovat pääosin varsin samanlaisia kuin aiemmissa arvioinneissa. Kesäisten rankkasateiden muuttumista arvioitiin tarkan erotuskyvyn alueellisen HCLIM-ilmastomalliaineiston avulla. Tulosten perusteella Lieksanjoen, Kymijoen ja Kemijoen ympäristössä rankimmat sateet yleisesti voimistuisivat jonkin verran vuosisadan keskiosiin ja loppuosiin mentäessä.

Vesistömallilla simuloitujen tulosten perusteella keskivirtaamat kasvavat erityisesti Pohjois-Suomessa Kemijoen alueella ilmastonmuutoksen myötä. Etelämpänä Lieksanjoella ja Kymijoella muutokset keskivirtaamissa ovat pienempiä ja Kymijoella keskivirtaamat myös pienenevät joillain skenaarioilla. Vuosivirtaamien muutokset ovat keskimäärin melko pieniä, jaksolla 2040-2069 noin -2– + 9 %, mutta eri vuodenaikojen virtaamissa on suuria muutoksia. Erityisesti talven virtaamat kasvavat, kun taas kesän pääasiassa pienenevät. Vastaavasti sademäärissä on vuodenaikaisvaihtelua, ja etenkin Kymijoen alueella loppukesän sademäärät voivat vähetä suurimpien kasvihuonekaasujen päästöjen skenaariossa vuosisadan loppupuolella.

Tulvien muuttuminen ilmastonmuutoksen seurauksena riippuu vesistöalueesta ja sen ominaisuuksista. Lumen sulamisesta aiheutuvat kevättulvat pienenevät etenkin vuosisadan puolivälistä lähtien, kun taas talven tulvat kasvavat. Rankkasateiden muutokset vaikuttavat lähinnä kesän tulviin kasvattaen niitä, mutta tarkastelluissa suurissa vesistöissä kesätulvat eivät yleensä olleet vuoden suurimpia tulvia. Kesän kuivuuden riski lisääntyy suurimmalla osalla ilmastoskenaarioita aikaisemman kevään, vähenevän lumen ja kasvavien lämpötilojen ja haihduntojen seurauksena. On tärkeä huomata, että tässä raportissa esitetyt tulokset ovat ilmastollisia eli pidemmän aikajakson kuluessa tapahtuvia muutoksia, ja yksittäinen vuosi voi erota keskimääräisestä huomattavasti.

Asiasanat:

ilmastonmuutos, lämpötila, sademäärä, virtaamat, skenaariot, hydrologinen mallinnus, vesistöt

Sammandrag

Klimatförändringen och förändringarna i vattenföringen i Kemi älv, Kymmene älv och Lieksa älv – 2026

Klimatförändringen har redan påverkat och kommer framöver att påverka temperaturer, nederbörd och vattenföringen i Finlands vattendrag. I denna rapport granskas effekterna i tre olika avrinningsområden i Finland – Kemi älv, Kymmene älv och Lieksa älv – med hjälp av de senaste klimatförändringsdata och hydrologisk modellering.

Till följd av klimatförändringen stiger temperaturerna och nederbörden ökar i genomsnitt i de studerade områdena. De prognostiserade genomsnittliga ökningarna i temperatur och nederbörd samt de månatliga förändringarna överensstämmer till stor del med tidigare uppskattningar. Förändringar i intensiva sommarregn analyserades med hjälp av den högupplösta HCLIM-modellen, och resultaten visar att de kraftigaste regnen i områdena kring Lieksa älv, Kymmene älv och Kemiälven generellt skulle bli något intensivare mot mitten och slutet av seklet.

Baserat på resultat simulerade med hydrologiska modeller ökar medelvattenföringen särskilt i norra Finland, i Kemi älvens område, till följd av klimatförändringen. Längre söderut, i Lieksa älv och Kymmene älv, är förändringarna i medelvattenföringen mindre, och i vissa scenarier minskar medelvattenföringen i Kymmene älv. Förändringarna i årsavrinningen är i genomsnitt relativt små, cirka -2 till +9 % under perioden 2040–2069, men variationerna mellan olika årstider är stora. Särskilt vinterns vattenföring ökar, medan sommarens vattenföring huvudsakligen minskar. På motsvarande sätt varierar nederbörden mellan årstiderna, och särskilt i Kymmene älvs område kan nederbörden under sensommaren minska i scenariot med de högsta växthusgasutsläppen mot slutet av seklet.

Hur översvämningar förändras till följd av klimatförändringen beror på avrinningsområdet. Vårfloder som orsakas av snösmältning minskar, särskilt från mitten av seklet, medan vinteröversvämningarna ökar. Förändringar i kraftiga regn påverkar främst sommaröversvämningar genom att öka dem, men i de studerade stora vattendragen var sommaröversvämningar vanligtvis inte årets största. Risken för sommarens torka ökar i de flesta klimatscenarier på grund av tidigare vår, minskad snömängd samt ökade temperaturer och avdunstning. Det är viktigt att notera att resultaten i denna rapport avser klimatologiska förändringar över längre tidsperioder, och enskilda år kan avvika avsevärt från genomsnittet.

Nyckelord: klimatförändringen, temperatur, nederbörd, vattenföring, scenarier, hydrologisk modellering, vattendrag

Abstract

Climate change and changes in discharges in Kemi-, Kymi- and Lieksanjoki Areas – Estimation in 2026

Climate change has already affected and will continue to affect temperatures, precipitation, and river discharges in Finland. This report examines the impacts in three different catchment areas in Finland—the Kemi River, the Kymi River, and the Lieksanjoki—using the latest climate model outputs and hydrological modelling.

As a result of climate change, temperatures are rising and precipitation is increasing on average in the studied areas. The projected mean increases in temperature and precipitation, as well as the monthly changes, are largely consistent with previous assessments. Changes in heavy summer rainfall were evaluated using data made with the high-resolution HCLIM regional climate model, and the results indicate that the most intense rains in the areas surrounding the Lieksanjoki, Kymi River, and Kemi River are generally expected to intensify somewhat toward the middle and end of the century.

Based on simulations produced by a hydrological model, mean discharges are increasing particularly in northern Finland in the Kemi River basin due to climate change. Further south, in the Lieksanjoki and Kymi River, changes in mean discharges are smaller, and in some scenarios, mean discharges in the Kymi River decrease. Changes in annual mean discharge are on average fairly small, approximately from –2 to +9% for the period 2040–2069, but there are large changes in discharges of different seasons. Winter discharges, in particular, increase, while summer discharges mainly decrease. Similarly, precipitation shows seasonal variation, and especially in the Kymi River basin, late-summer precipitation may decrease under the highest greenhouse gas emission scenario toward the end of the century.

Changes in flooding due to climate change depend on the catchment type and properties. Spring floods caused by snowmelt decrease, particularly from the mid-century onward, while winter floods increase. Changes in heavy rainfall mainly affect summer floods by increasing them, but in the large catchments studied, summer floods were generally not the largest floods of the year. The risk of summer drought increases in most climate scenarios due to earlier onset of spring, reduced snow amounts, and increasing temperatures and evaporation. It is important to note that the results presented in this report describe climatic changes over longer time periods, and individual years may differ considerably from the average.

Keywords: climate change, temperature, precipitation, discharges, scenarios, hydrological modeling, watersheds

Ilmastomuutos ja virtaamien muuttuminen Kemi-, Kymi- ja Lieksanjoen alueilla – vuoden 2026 arvio

Noora Veijalainen, Meri Virman, Antti Mäkelä

Tämän raportin ydinviestit:

- Ilmastomuutoksen vaikutuksesta Suomen lämpötilan ennakoidaan nousevan ja sadannan kasvavan, mikä vaikuttaa vesistöjen virtaamiin
- Tarkastelluilla valuma-alueilla vesistömallinuksen ja ilmastoskenaarioiden perusteella
 - Keskivirtaamat kasvavat erityisesti Pohjois-Suomessa Kemijoen alueella, Itä-Suomessa Lieksanjoella kasvu on pienempää
 - Keski-Suomessa ja Kymenlaaksossa Kymijoen alueella muutokset keskivirtaamissa ovat pääosin pieniä ja keskivirtaamat myös pienenevät joillain skenaarioilla
 - Eri vuodenaikojen virtaamissa on suuria muutoksia, talven virtaamat kasvavat, kun taas kesän pääasiassa pienenevät
 - Rankkasateiden arvioidaan kasvavan, mikä lisää kesän tulvien suuruutta, mutta tarkastelluissa suurissa vesistöissä vaikutus tulvariskiä voi olla vähäinen
- Ennakoidut muutokset aiheuttavat tarvetta sopeutua järvien säännöstelyssä, vesivoiman suunnittelussa ja tulvariskien ja jää- ja hyödepäätöriskien hallinnassa.

Esipuhe

Tämä työ on tehty Kemijoki Oy:n tilauksesta tukemaan yhtiön varautumista ilmastonmuutoksen vaikutuksiin. Sen tarkoituksena on tuottaa tietoa Kemijoki Oy:n toiminta-alueen eli Kemi-, Kymi- ja Lieksanjoen valuma-alueiden ennakkoidusta ilmaston muuttumisesta kuluva vuosisadan aikana sekä ilmastonmuutoksen vaikutuksista virtaamiin ja tulviin. Työ on tehty Ilmatieteen laitoksen (IL) Sään ääri-ilmiöt ja ilmastonmuutos -ryhmässä sekä Suomen ympäristökeskuksen (Syke) Hydrologiset ennusteet-ryhmässä. IL vastasi hankkeessa lämpötila- ja sadantaskenaarioitten tuottamisesta ja toimitti nämä skenaariot Sykelle jatkokäyttöä varten. Syke vastasi hydrologisten muutosten arvioinnista hydrologista mallia käyttäen. Raporttiin tarvittavat laskelmat on tehty vuoden 2026 alkupuolella.

Noora Veijalainen

22.5.2026

Helsinki

Sisällys

Tiivistelmä.....	3
Sammandrag.....	4
Abstract	5
Esipuhe	7
1 Johdanto	9
2 Aineistot ja menetelmät	11
2.1 CMIP6 ilmastoskenaariot	11
2.1.1 Hydrologisessa mallinnuksessa käytetyt CMIP6 skenaariot	12
2.2 HCLIM ilmastomalli	13
2.2.1 HCLIM-ilmastomalli hydrologisessa mallinnuksessa	15
2.3 Vesistömalli	15
3 Ilmastomuutos Kemi-, Kymi- ja Lieksanjoen alueella	15
3.1 Lämpötilat ja sadannat.....	16
3.2 Kesän sadanta, HCLIM.....	24
3.3 Lumi	28
3.4 Virtaamat.....	31
3.4.1 Virtaamat CMIP6-skenaarioilla	33
3.5 Tulvien ja alivirtaamien muuttuminen.....	37
3.6 Virtaamat ja tulvat HCLIM.....	42
3.7 Vertailu aiempiin tuloksiin	44
4 Ilmastoskenaarioiden epävarmuustekijät	46
5 Johtopäätökset.....	48
Lähteet.....	49

1 Johdanto

Tässä raportissa arvioidaan ilmastomuutoksen vaikutuksia lämpötilaan, sadantaan, lumen määrän, virtaamiin ja tulviin kolmella alueella Suomessa. Nämä alueet ovat Kemijoen vesistö Lapissa, Kymijoen vesistö Keski-Suomessa ja Lieksanjoen vesistö Itä-Suomessa.

Ilmastomuutos etenee maailmanlaajuisesti nopeasti, ja viime vuosien havaintojen ja arvioiden perusteella nykyiset päästövähennystoimet eivät vielä riitä Pariisin ilmastopimuksen tavoitteiden saavuttamiseen. IPCC:n (International Panel on Climate Change) kuudennen arviointiraportin (AR6, Sixth Assessment Report, IPCC 2021) mukaan maapallon ilmasto on jo lämmennyt yli 1 °C esiteolliseen aikaan verrattuna, ja ihmisen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt ovat selkeästi tämän lämpenemisen pääasiallinen syy. Pariisin ilmastopimuksen tavoitteena on rajoittaa maapallon keskilämpötilan nousu alle 1,5 °C:een, mutta ilman pikaisia ja merkittäviä lisätoimia lämpötilan arvioidaan nousevan selvästi tätä enemmän tällä vuosisadalla.

Tuoreimmat eurooppalaiset ja pohjoiseurooppalaiset havainnot osoittavat Euroopan olevan maailman nopeimmin lämpenevä maanosa (Ilmatieteen laitos, 2026). Vuonna 2025 vähintään 95 % Euroopan pinta-alasta koki tavanomaista lämpimämmän vuoden, ja Fennoskandian pohjoisosissa esiintyi poikkeuksellinen, useita viikkoja kestänyt helleaalto, jonka aikana lämpötilat nousivat paikoin yli 30 °C myös napapiirin tuntumassa.

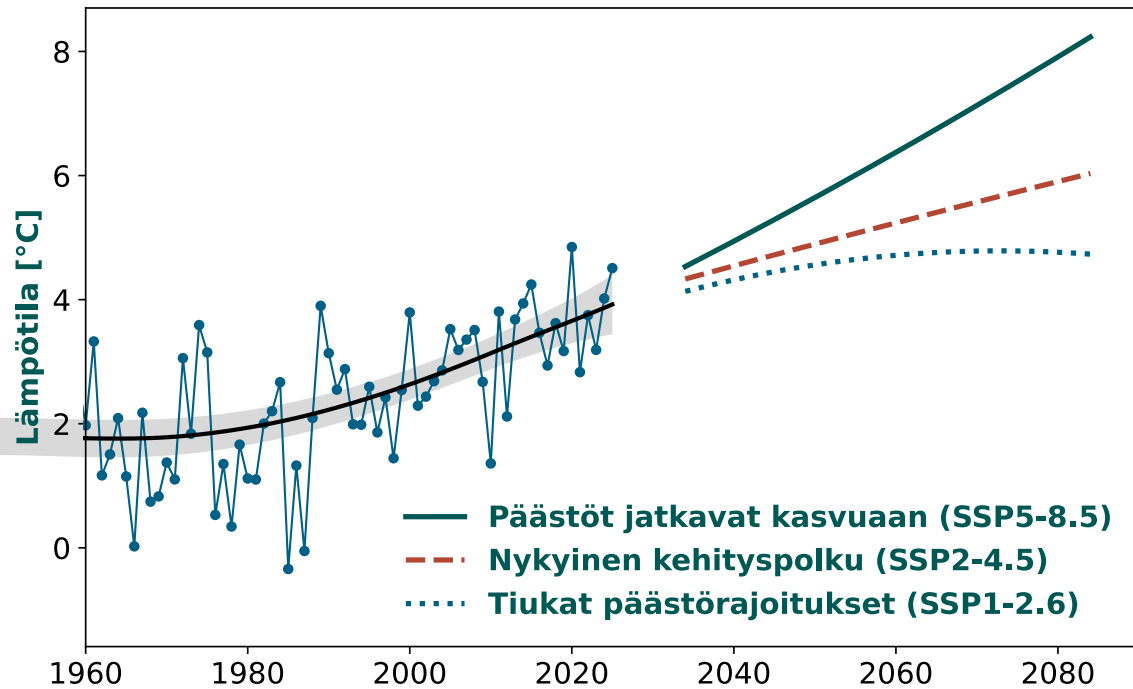
Suomessa ilmaston lämpeneminen on ollut vielä maanosankin keskiarvoa nopeampaa. Ilmatieteen laitoksen havaintoaineistojen mukaan Suomen keskilämpötila on noussut viimeisten 50 vuoden aikana noin 0,5 °C vuosikymmentä kohti (Kuva 1). Lämpenemisen kiihtyminen näkyy erityisesti talvikaudella, jolloin talvet ovat lyhentyneet, pakkaspäivien määrä vähentynyt ja lumipeiteaika lyhentynyt. Keväisin vesistöt vapautuvat jäältä aiempaa aikaisemmin, ja kesäisin järvien ja jokien veden lämpötilat kohoavat helleaaltojen aikana aiempaa korkeammiksi.

Samaan aikaan ilmastomuutoksen vaikutukset hydrologiseen kiertoon ovat voimistuneet. Viime vuosina Euroopassa on koettu sekä laajoja kuivuuksia että rankkasateiden aiheuttamia vakavia tulvia (EEA 2024). Lumen määrässä on Euroopan tasolla havaittavissa selkeä vähenevä trendi (C3S/ECMWF ja WMO, 2026). Nämä kehityskulut korostavat hydrologisten ääri-ilmiöiden, sekä kuivuuden että tulvien riskien mahdollisesti samanaikaista yleistymistä muuttuvassa ilmastossa. Paikalliset vaihtelut eri puolilla Eurooppaa ja erityyppisissä vesistöissä ovat kuitenkin merkittäviä.

Lämpötilan, sadannan ja lumen muutokset vaikuttavat vesistöjen virtaamiin ja vedenkorkeuksiin ja Suomen virtaamahavainnoissa on jo nähtävissä trendejä suurempiin talven virtaamiin ja kevättulvien aikaistumiseen (Korhonen 2019). Vaikutukset kuitenkin vaihtelevat eri puolella Suomea. Ilmastomuutoksen arvioidaan jatkossa muuttavan erityisesti eri vuodenaikojen virtaamia ja vedenkorkeuksia talven lämmitessä ja kevään aikaistuessaa (Parjanne ym. 2021, Veijalainen ym. 2012, Veijalainen ym. 2018). Myös kokonaisvirtaamissa esiintyy muutoksia.

Tässä raportissa arvioidaan ilmastomuutoksen vaikutuksia vuoteen 2100 asti kolmella vesistöalueella Suomessa, Kemi-, Kymi- ja Lieksanjoella, joissa sijaitsee Kemijoki Oy:n vesivoimalaitoksia. Ne ovat hydrologisilta ominaisuuksiltaan ja ilmastoltaan erilaisia vesistöjä, joten ilmastomuutoksen vaikutukset ovat niissä hieman erilaisia. Arviot perustuvat globaalien ilmastomallien tuloksiin eri kasvihuonekaasuskenaarioilla ja vesistömallinnukseen ilmastomallien tietoja käyttäen.

Vuoden keskilämpötila Suomi (FMI ClimGrid + CMIP6-ennusteet)



Kuva 1. Suomen havaitut vuosikeskilämpötilat 1960–2025 (siniset pisteet), niihin sovitettu muutoskäyrä (musta) ja muutokseen liittyvä epävarmuus (95 % luottamusväli, harmaa), sekä CMIP6-ilmastomallien arvio lämpötilojen kehityksestä vuosisadan loppuun mennessä kolmen eri kasvihuonekaasuskenaarion mukaan alkaen 2030-luvulta. Havaitut keskilämpötilat pohjautuvat Ilmatieteen laitoksen ClimGrid -hila-aineistoon (Aalto ym. 2016).

Samoihin kolmeen vesistöön kohdistuvia ilmastomuutoksen vaikutuksia tarkasteltiin aiemmin vuonna 2018 tehdyssä selvityksessä (Veijalainen ym. 2018). Tuolloin arviot perustuivat CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) -ilmastomalleihin ja RCP-skenaarioihin (Representative Concentration Pathway, päästöjen ja kasvihuonekaasujen pitoisuuksien kehitystä kuvaavat polut/skenaariot), ja tarkasteluissa korostuivat erityisesti virtaamien vuodenaikaismuutokset, kevättulvien aikaistuminen sekä talvivirtaamien kasvu. Vuoden 2018 jälkeen sekä ilmaston havaittu muutos että tieteellinen ymmärrys tulevasta kehityksestä ovat täsmentyneet. Edellisen raportin jälkeen on tullut käyttöön uusimpien maailmanlaajuisten ilmastomallien (nk. CMIP6-mallit, Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) aineistot. Lisäksi Ilmatieteen laitoksella on käytössä pohjoismaisen HARMONIE-Climate-ilmastomallin (HCLIM) tarkan erotuskyvyn aineisto, joka mahdollistaa etenkin rankkasateiden muutosten paremman tarkastelun.

Tässä raportissa päivitetään Kemijoki Oy:n laitospaikkoja koskeva ilmastomuutoskuva Kemi-, Kymi- ja Lieksanjoen alueilla hyödyntämällä uusimpia maailmanlaajuisia ja alueellisia ilmastomalliaineistoja ja Syken Vesistömallijärjestelmän hydrologista mallia. Erityistä huomiota kiinnitetään ilmastomuutoksen etenemiseen viime vuosina sekä niihin sademäärien ja ääri-ilmiöiden muutoksiin, joilla on merkitystä vesistöjen hydrologialle ja vesivoimatuotannon toimintaedellytyksille.

2 Aineistot ja menetelmät

IPCC:n kuudes arviointiraportti julkaistiin vuonna 2021 (IPCC 2021). Siinä on käytössä sosio-ekonomisiin oletuksiin pohjautuvia uusia päästöjen ja hiilinielujen kehitystä kuvaavia skenaarioita (SSP=Shared Socio-economic Pathways, Meinshausen et al. 2020). Uusimman sukupolven globaaleja ilmastomalleja, jotka käyttävät SSP-skenaarioita kutsutaan nimellä CMIP6 (IPCC 2021, Tebaldi et al. 2021) ja ne ovat nyt korvaamassa aiempia CMIP5 skenaarioita, jotka käytettiin mm. tämän raportin aiemmassa versiossa (Veijalainen ym. 2018).

Ilmatieteen laitoksen vertailuissa (Ruosteenoja ja Jylhä 2021) uudet CMIP6 ilmastoskenaariot olivat monilta osin samankaltaisia kuin aiemmat skenaariot, mutta erosivat aiemmista skenaarioista erityisesti korkeampien kesälämpötilojen osalta. Tällä voi olla vaikutusta erityisesti haihdunnan laskennassa.

Lisäksi uudet tarkemman erotuskyvyn alueelliset ilmastomallit ovat osoittaneet, että erityisesti kesän rankkasateet kasvavat huomattavasti enemmän kuin keskimääräiset sateet (Utriainen ym. 2025). Rankkasateiden muutoksen huomioiminen hydrologisissa laskennoissa vaikuttaa erityisesti kesän maksimivirtaamien simulointiin.

2.1 CMIP6 ilmastoskenaariot

Keskimääräisten vuosi- ja kuukausisademäärien sekä lämpötilojen muutoksia arvioitiin maailmanlaajuisen CMIP6-ilmastomallien perusteella. Tarkastelut perustuvat 28 eri ilmastomallin tuloksiin, joita on aiemmin validoitu ja kuvattu suomalaisiin olosuhteisiin soveltuviksi. Mallien alkuperäinen alueellinen erotuskyky vaihtelee noin 100–300 kilometrin välillä, mutta analyysia varten mallikentät interpoloitiin yhtenäiseen 10 km x 10 km hila-aineistoon. CMIP6-aineistojen avulla laskettiin sademäärien muutokset Kemijoki Oy:n laitospaikoilla neljän eri SSP-kasvihuonekaasuskenaarion mukaisesti. Käytetyt SSP-skenaariot olivat:

- SSP1–2.6. Alhaiset kasvihuonekaasupäästöt. Ihmiskunta on hiilineutraali noin vuonna 2075.
- SSP2–4.5. Keskinkertaiset kasvihuonekaasupäästöt. Ihmiskunnan tuottamat hiilidioksidipäästöt kasvavat aluksi hitaasti, mutta kääntyvät laskuun ennen vuotta 2050.
- SSP3–7.0 Suuret kasvihuonekaasupäästöt. Ihmiskunnan tuottamat hiilidioksidipäästöt kaksinkertaistuvat nykyisestä vuoteen 2100 mennessä.
- SSP5–8.5. Hyvin suuret kasvihuonekaasupäästöt. Ihmiskunnan tuottamat hiilidioksidipäästöt kolminkertaistuvat nykyisestä vuoteen 2075.

CMIP6-aineistot soveltuvat erityisesti pitkän aikavälin keskimääräisten muutosten tarkasteluun, mutta niiden karkea erotuskyky rajoittaa kykyä kuvata paikallisia ja lyhytkestoisia sääilmiöitä.

2.1.1 Hydrologisessa mallinnuksessa käytetyt CMIP6 skenaariot

Hydrologisessa mallinnuksessa käytetään valikoitua joukkoa CMIP6 ilmastoskenaarioista. Valitut skenaariot on esitetty Taulukossa 1. Tarkastellut jaksot olivat 2020–2049, 2040–2049 ja 2070–2099, joita verrattiin vertailujaksoon 1991–2020. Hydrologisessa mallinnuksessa käytettiin kolmea päästöjen ja kasvihuonekaasujen pitoisuuksien kehitystä kuvaavaa SSP-skenaarioita, jotka olivat SSP1-2.6, SSP2-4.5 ja SSP5-8.5. CMIP-mallilla tehtävien hydrologisten skenaarioiden lisäksi joitain laskentoja tehtiin yhdistämällä CMIP6 ilmastoskenaarioita ja HCLIM mallin arvioita rankkojen sateiden muutoksesta. Nämä laskennat on kuvattu kohdassa 1.2.1

Ilmastoskenaariot ovat osa NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections (NEX-GDDP-CMIP6, Nasa 2025, Thrasher ym. 2022) aineistoa. NEX-GDDP-CMIP6-aineisto koostuu globaalien ilmastomallien pienempään mittakaavaan skaalatuista ilmastoskenaarioista. Globaalit mallit ovat osa CMIP6-ajoja ja niitä on näissä tarkasteluissa ajettu kolmella eri SSP-kasvihuonekaasuskenaariolla (Meinshausen et al. 2020). Tämän aineiston tarkoituksena on tarjota joukko globaaleja, korkearesoluutisia, harhakorjattuja ilmastonmuutosskenaarioita, joita voidaan käyttää arvioimaan ilmastomuutoksen vaikutuksia prosesseihin, jotka ovat herkkiä pienemmän mittakaavan ilmastogradientteille ja paikallisen topografian vaikutuksille ilmastoon. Laajemmasta skenaariojoukosta valittiin yhdeksän globaalia ilmastomallia, jotka kattoivat laajan joukon erilaisia ilmastomuutoksen vaikutuksia lämpötilan ja sadannan muutosten osalta (lämmen-kylmä ja märkä-kuiva akseleilla). Valinnassa käytettiin hyväksi Ruosteenojan (2021) tekemää arviota globaalien mallin toimivuudesta Euroopassa. Lisäksi suosittiin malleja, jotka vastasivat aiemmin Syke:ssä käytössä olleita malleja (samojen ilmastomallikeskusten uudet malliversiot). Taulukossa 1 on esitetty valittujen ilmastoskenaarioiden nimet ja niiden lämpötilan ja sadannan muutoksia jaksolla 2040–2069.

Vesistömallinnuksessa käytettiin ns. delta change-menetelmää (Arnell 1999, Prudhomme ym. 2003). Paitsi ilmastoskenaariot, laskentaan vaikuttaa myös käytetty vertailujakso eli jakso johon ilmastomallien simulointeja verrataan ja jonka havaittuja lämpötiloja, sadantoja ja muita meteorologisia suureita muutetaan vesistömallinnuksessa ilmastoskenaarioiden mukaisesti. Nyt tehdyissä laskennoissa vertailujaksoksi on valittu 1991–2020. Käytetyssä menetelmässä vertailujaksolla vesistömallin lähtötietoina käytetään havaittuja lämpötiloja ja sademääriä ja muita meteorologisia suureita. Ilmastomuutos otetaan huomioon muuttamalla havainnoista laskettuja alueellisia lämpötiloja ja sademääriä valitun ilmastoskenaarioiden mukaisesti. Lämpötilassa muutos on kuukausittainen muutos asteina, sadannoissa kuukausittainen prosenttimuutos. Myös tuulen nopeutta ja suhteellista kosteutta muokataan vastaavasti. Kuukausittaiset muutokset on laskettu vesistömallin jokaiselle osa-alueelle globaalien ilmastomallien hilamuotoisista tuloksista käyttäen kolmen kuukauden liukuvaa keskiarvoa. Tulevien jaksojen virtaamat ja vedenkorkeudet simuloidaan käyttäen lähtötietoina muutettuja sademääriä ja lämpötiloja ja muita meteorologisia suureita, jolloin saadaan uudet päivittäiset arvot 30 vuoden jaksoille 2020–2049, 2040–2049 ja 2070–2099.

Lämpötilan muutoksessa mukana on myös lämpötilasta riippuva komponentti, ns. lämpötilasta riippuva lämpötilan muutos (Andréasson ym. 2004). Menetelmässä lämpötilan muutokset riippuvat kuukausikeskiarvon muutoksen lisäksi lämpötilan tilastollisen jakauman muutoksesta, jolla huomioidaan se, että etenkin talvella alhaiset lämpötilat nousevat ilmastomallien mukaan enemmän kuin lauhdat lämpötilat. Jakauman muutos on arvioitu globaalien ilmastomallien päivittäisistä arvoista.

Taulukko 1. Hydrologisessa mallinnuksessa käytetyt ilmastoskenaariot ja niiden sadannan ja lämpötilan muutokset jaksolla 2040–2069 verrattuna 1991–2020 jaksoon kahdella SSP-polulla Kemijoella, Valajaskosken yläpuolisella valuma-alueella

Skenaario	Lämpötilan muutos SSP2-4.5	Sadannan muutos SSP2-4.5	Lämpötilan muutos SSP5-8.5	Sadannan muutos SSP5-8.5
HadGEM3-GC31-LL	3,3	11,5	4,5	10,9
MPI-ESM1-2-LR	2,4	0,6	3,3	1,2
EC-Earth3	3,5	15,8	4,6	24,2
CNRM-CM6-1	1,9	-1,2	2,4	2,4
CanESM5	4,0	18,8	4,4	18,2
IPSL-CM6A-LR	2,6	7,3	3,8	6,1
MIROC6	2,7	6,1	3,2	9,7
MRI-ESM2-0	2,4	5,5	3,1	6,1
NorESM2-MM	1,7	0,0	2,0	1,8
keskiarvo (9 mallia)	2,7	7,1	3,5	9,0

2.2 HCLIM ilmastomalli

Lyhytkestoisia ja voimakkaita rankkasateita tarkasteltiin alueellisella HARMONIE-Climate-ilmastomallilla tuotetusta aineistosta (HCLIM, Lind ym. 2023). Mallin alueellinen erotuskyky on 3 × 3 kilometriä, mikä mahdollistaa paikallisten kuurosateiden huomattavasti realistisemmän simuloinnin verrattuna maailmanlaajuisiin ja karkeampiin malleihin (Médus ym. 2022).

HCLIM-ilmastomalliaineisto on tuotettu pohjoismaisena yhteistyönä NorCP-hankkeessa (Nordic Convection Permitting Climate Projections). Tässä työssä käytetty aineisto kattaa historiallisen jakson 1986–2005 sekä kaksi tulevaisuusjaksoa (2041–2060 ja 2081–2100). Tarkastelut rajattiin kesäkauteen, toukokuun alusta syyskuun loppuun, jolloin rankkasateet ovat Suomessa yleisimpiä.

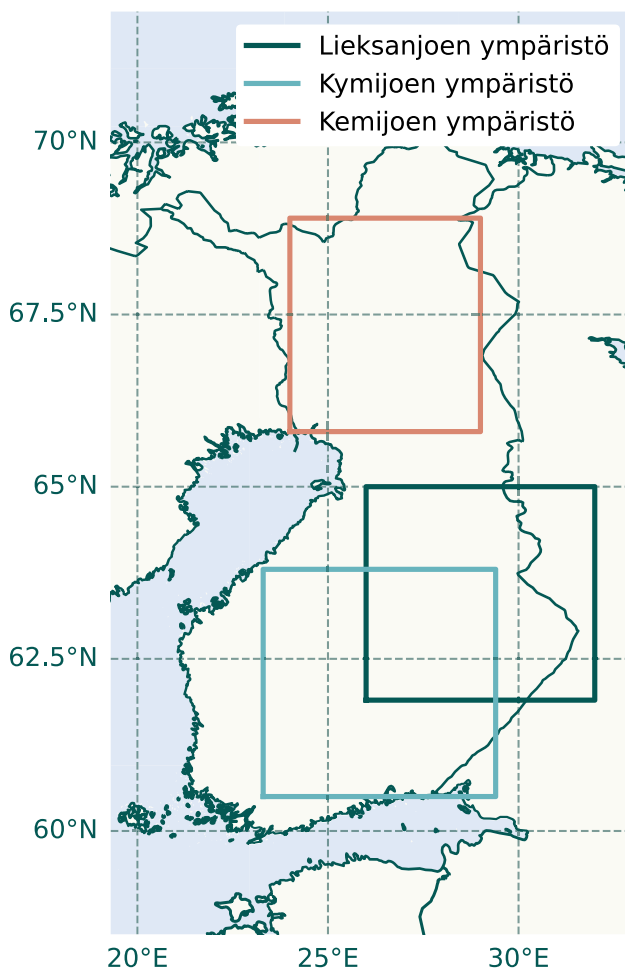
Rankkasateiden muutoksia tarkasteltiin hyödyntämällä HCLIM-ilmastomalliaineistoja, joissa simulaa-tion reunaehdot perustuvat joko globaaliin EC-Earth tai GFDL CMIP5-ilmastomalliin ja RCP-skenaarioihin. Aineisto pohjautuu CMIP5-ilmastomalleihin, koska uuden sukupolven globaaleja CMIP6-ilmastomalleja ei ollut vielä saatavilla HCLIM-aineiston kehittämisvaiheessa EC-Earth reunaehtoihin perustuvissa simulaatioissa kasvihuonekaasujen kehitystä kuvattiin RCP4.5- ja RCP8.5-skenaarioilla, mutta GFDL-reunaehdoilla luotu aineisto oli saatavilla ainoastaan RCP8.5-skenaariolle. RCP4.5 ja RCP8.5-skenaariot vastaavat suurin piirtein SSP4.5- ja SSP8.5-skenaarioita. EC-Earth-ilmastomallin simuloima il-mastonmuutoksen voimakkuus on lähellä CMIP5-mallien keskiarvoa, kun taas GFDL-ilmastomalli simu-loi voimakkaampaa lämpenemistä.

Nykyilmaston osalta HCLIM-EC-Earth ja HCLIM-GFDL simulaatioita vertailtiin HCLIM-ilmastomalliaineistoon, jossa reunaehdot perustuvat havaintopohjaiseen uusanalyysiaineistoon (ERA-Interim) ja joka kattaa ajanjakson 1998–2018. Tämän aineiston on näytetty esittävän rankkasateiden havaitun ja-kauman pohjoismaissa kohtuullisen hyvin (Médus ym. 2022). Tässä työssä EC-Earth- ja GFDL-ilmasto-malleihin sekä ERA-Interim uusanalyysiin pohjautuviin HCLIM-ilmastomalliaineistoihin viitataan nimillä HCLIM-ECE, HCLIM-GFDL ja HCLIM-ERA1.

Rankkasateiden voimakkuutta arvioitiin laskemalla sateisten päivien sademäärän 95- ja 99-prosent-tipistearvo jokaisessa mallin hilaruudussa Lieksanjoen, Kymijoen ja Kemijoen ympäristössä (alueet ovat

esitettyinä kuvassa 2). Sateisilla päivillä tarkoitetaan tässä päiviä, jolloin vuorokauden sademäärä ylitti 1 mm. Sademäärän 95-prosenttipistearvo vastaa sitä sademäärää, jonka alapuolelle jää 95 % arvoista ja jonka ylittää vain kaikkein runsaimmat 5 %. Vastaavasti 99-prosenttipistearvo vastaa sitä sademäärää, jonka ylittää vain kaikkein runsaimmat 1 %. Prosenttipistearvoissa on jonkin verran alueellista vaihtelua, josta suuri osa selittyy rankkasateiden satunnaisuudella. Muutokset arvioitiin vertaamalla tulevaisuusjaksoja historialliseen jaksoon aluekeskiarvojen avulla.

HCLIM-ilmastomalliaineistoa ei ole harhankorjattu, koska tämä vaatisi laajemman tutkimuskokonaisuuden, eikä rankkasateista ole välttämättä saatavilla riittävän tarkkoja alueellisia havaintoja. Reunaehtoina käytettyihin globaaleihin ilmastomalleihin sisältyy jonkin verran harhoja havaintoihin verrattuna, mikä vaikuttaa HCLIM-ilmastomallin simuloimien rankkasateiden lukumääriin ja voimakkuuteen. Tämän vuoksi aineistosta johdetut sademäärän absoluuttiset arvot eivät ole täysin realistisia, mutta aineistoa voidaan käyttää ilmastomuutoksen voimakkuuden arvioimiseen ja sen aiheuttamien sademäärän muutosten tarkasteluun. Vaikka HCLIM-ilmastomalliaineisto tarjoaa globaaleja malleja tarkempaa tietoa rankkasateiden muutoksista, muutossignaaleihin liittyy epävarmuutta, joka johtuu vain yhden alueellisen mallin käytöstä (koska muita vastaavia ei ole), ja rankkasateiden luonteeseen kuuluvasta satunnaisuudesta. Tästä syystä tuloksia tarkastellaan ensisijaisesti alueellisina keskimääräisinä muutossignaaleina yksittäisten paikallisten tapahtumien sijaan. Tarkasteltavan alueen koon tulee olla riittävän suuri satunnaisvaihtelun vaikutuksen pienentämiseksi ja toisaalta riittävän pieni, jotta alue kuitenkin edustaa paikallista ilmastoa.



Kuva 2. HCLIM-rankkasadeanalyysien tarkastelualueet.

2.2.1 HCLIM-ilmastomalli hydrologisessa mallinnuksessa

HCLIM-ilmastomallin tuloksia käytettiin myös vesistömallinnuksen lähtötietoina. Nämä laskennat on tarkoitettu lähinnä arvioimaan vesistöjen herkkyyttä rankkasateiden muutoksille.

Laskennat tehtiin yhdistämällä HCLIM-ilmastomallin tulokset globaalien ilmastomallien skenaarioiden tuloksiin (Taulukko 1). Lämpötilojen muutos ja tavanomaisten sateiden muutos olivat samoja kuin globaaleissa ilmastomalleissa. Ainoastaan rankkasateita (yli 95 % rankkasateet) touko-syyskuussa muutettiin HCLIM-ilmastomallin tulosten mukaan. Muutos tehtiin kullekin vesistömallin osa-alueelle erikseen, jolloin laajemman alueen rankkasateiden muutos riippuu sateen laajuudesta. Yli 95 prosenttipisteen, mutta alle 99 prosenttipisteen rankkasateita muutettiin 95 prosenttipisteen muutosten mukaisesti, ja yli 99 prosenttipisteen sateita 99 prosenttipisteen sateiden mukaisesti. Raja-arvoina käytettiin HCLIM-mallin vertailujakson 1998–2018 ERA-Interim analyysiin pohjautuvia arvoja 95 ja 99 prosenttipisteiden sateille eri vesistöille (Taulukot 4–6). Lisäksi sadantoja skaalattiin, jotta kokonaissademäärä ei kasvaisi enempää kuin skenaarion arvioitu sademäärän kasvu. Lopputulemana simuloinneissa siis rankat sateet muuttuvat eri tavalla, HCLIM-mallin tulosten mukaisesti, mutta muuten laskennat vastaavat aiemmin kuvailtuja ilmastomuutosskenaarioihin pohjautuvia laskentoja vesistömallilla.

2.3 Vesistömalli

Tässä raportissa esitetyt hydrologiset laskennat on tehty käyttäen Syken Vesistömallijärjestelmän WSFS-P malliversiota (Kolhinen ym. 2026). WSFS-P (Watershed Simulation and Forecasting System – version P) on hydrologinen malli, joka on suunniteltu virtaamien, vedenkorkeuksien ja muiden keskeisten hydrologisten muuttujien simulointiin ja ennustamiseen. WSFS-P-malli on kehitetty erityisesti Suomen olosuhteiden ja boreaalisten ilmastojen asettamiin erityishaasteisiin, erityisesti lumen dynamiikkaan liittyen. Malli kattaa kaikki Suomen valuma-alueet ja sitä käytetään operatiiviseen ennustamiseen, tutkimukseen ja suunnitteluun. WSFS-P mallissa on useita kehittyneitä osamalleja, kuten energiataseeseen perustuvan lumimalli, Penman–Monteithin yhtälöön perustuva evapotranspiraatiomalli, kahden maakerroksen maaperämalli sekä pohjavesimalli. Kaikissa näissä hyödynnetään paikkatietopohjaista, hajautettua maaperä- ja maankäyttöaineistoa. Malli on kalibroitu kansallisen virtaama-, vedenkorkeus- ja lumihavaintoverkoston havaintojen avulla (Kolhinen ym. 2026).

Aiemmissa ilmastosimuloinneissa, kuten vuoden 2018 raportissa (Veijalainen ym. 2018) on käytetty Vesistömallijärjestelmän aiempaa versiota, konseptuaalista WSPS-O malliversiota. Se eroaa WSFS-P malliversioista erityisesti osamallien (lumi, haihdunta, maankosteus) määrittelyjen osalta eikä siinä ollut erillistä laskentaa eri maankäyttö- ja maaperäluokille. Ilmastoskenaarioihin pohjautuviin vesistömallin tuloksiin vaikuttaa erityisesti vesistömalliversioiden erilainen lumen laskenta sekä haihdunnan laskenta.

3 Ilmastonmuutos Kemi-, Kymi- ja Lieksanjoen alueella

3.1 Lämpötilat ja sadannat

Ilmastonmuutosaiheisia selvityksiä on tehty viime vuosina Suomessa useita. Sateisuuden havaittuja ja ennakoituja muutoksia Suomen maakunnissa -raportissa (Luomaranta yms. 2025) on esitetty maakuntakohtaisia havaittuja muutoksia sekä tulevaisuuden arvioita. Lapin osalta lukijaa suositellaan tutustumaan Ilmastonmuutos Lapissa – tietoja Lapin ilmasto- ja energiastategiaan -raporttiin (Ruuhela yms. 2025). Seuraavassa on lyhyt tiivistelmä havaituista sateisuuden muutoksista Luomaranta yms. (2025) raportista Lapin, Pohjois-Karjalan, Keski-Suomen sekä Kymenlaakson osalta.

Vuotuiset sademäärät ovat kasvaneet Lapissa, Pohjois-Karjalassa ja Keski-Suomessa jaksosta 1961–1990 jaksoon 1991–2020, kun taas Kymenlaaksossa muutos on ollut lähes olematonta. Lapissa sadanta on vähäisintä pohjoisessa ja suurinta etelässä, kun taas Pohjois-Karjalassa ja Keski-Suomessa alueellinen vaihtelu on tasaisempaa.

Kaikilla alueilla kesä on sateisin ja kevät kuivin vuodenaika. Sateisuuden havaittu kasvu painottuu erityisesti talveen: selvin trendi nähdään Pohjois-Karjalassa ja Keski-Suomessa, kun taas Lapissa kasvua on paikoin myös keväällä. Muina vuodenaikoina muutokset ovat vähäisempiä. Rankkasadepäiviä mitataan havaintoasemilla Lapissa keskimäärin 0–8 vuodessa, 0–7 Pohjois-Karjalassa ja 0–8 Keski-Suomessa: lukumäärissä on Pohjois-Karjalassa ja paikoin Keski-Suomessa havaittu lievää kasvua (0,3 päivää per vuosikymmen). Lapin osalta tilastollisesti merkitsevää muutostrendiä ei ole havaittu, johtuen mahdollisesti siitä, että rankkasadepäivät (yli 20 mm vuorokaudessa) ovat Lapissa ylipäänsä harvinaisia.

Lämpötilojen ja sademäärien keskimääräisiä vuotuisia sekä kuukausittaisia muutoksia suhteessa vertailukauteen 1991–2020 on laskettu kullekin tutkitulle vesistöalueelle (Kuvat 3–8). Vuosikeskiarvojen muutosarvot on esitetty myös Taulukoissa 2 ja 3. Kuukausikeskiarvojen muutokset eri kasvihuonekaasuskenaarioiden mukaisesti näytetään aikajaksoilla 2035, 2050 ja 2085. On tärkeä huomata, että kyseessä ovat ilmastolliset keskiarvot ko. ajanjakson ympärillä, jolloin esimerkiksi 2085 tarkoittaa jaksolta 2070–2099 laskettuja keskimääräisiä suureiden arvoja. Tulokset ovat 28 maailmanlaajuisen ilmastomallin keskiarvoja (Ruosteenoja 2021; Ruosteenoja ja Jylhä 2021).

Kaikilla tutkituilla alueilla lämpötila ja sademäärä kasvavat ajan sekä kasvihuonekaasuskenaarion myötä. Erot alueiden välillä ovat selkeämpiä sademäärässä kuin lämpötilassa. Kemijoen alue lämpenee hieman enemmän kuin Lieksanjoki ja etenkin Kymijoki, mutta erot ovat kuitenkin melko pieniä. Lähtötilaisuuksissa (2035 ilmasto) lämpötilan muutos verrattuna perusjaksoon 1991–2020 on käytännössä samalla tasolla kaikilla alueilla. Myöhemmillä ilmastojaksoilla (2050 ja 2085) erot alueiden välillä kasvavat, ja Kemijoella muutos on noin 0,1–0,4°C suurempi kuin Kymijoella, ja Lieksanjoki sijoittuu näiden väliin.

Sademäärän osalta alueelliset erot ovat suuremmat kuin lämpötilalla. Suhteellisesti suurin muutosarvio on Kemijoella ja pienin Kymijoella. Kuten lämpötilankin osalta, erot kasvavat ajan sekä kasvihuonekaasuskenaarion myötä: lähitulevaisuudessa (2035) erot ovat melko pieniä (noin 1 prosenttiyksikkö), mutta vuosisadan lopulla (2085) erot ovat suuria erityisesti SSP-3.70 ja SSP5-8.5 -skenaarioissa (esimerkiksi SSP5-8.5 Kemijoki noin 22 %, Lieksanjoki 19 %, Kymijoki 16 %). Sademäärät siten kasvavat pohjoiseen mentäessä ja erot eri alueiden välillä korostuvat tulevaisuudessa.

Taulukko 2. Lämpötilan vuosikeskiarvojen muutokset eri aikajaksoilla kolmen eri kasvihuone-kaasuskenaarion mukaan. Tilan säästämiseksi SSP3-7.0 on jätetty taulukosta pois.

Lämpötilan muutos (°C)	2035			2050			2085		
	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP5-8.5	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP5-8.5	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP5-8.5
Kemijoki	1,3	1,5	1,7	1,7	2,1	2,8	1,9	3,2	5,6
Lieksanjoki	1,3	1,5	1,7	1,7	2,1	2,8	1,9	3,2	5,6
Kymijoki	1,3	1,4	1,7	1,6	2,0	2,6	1,8	3,0	5,3

Taulukko 3. Sademäärän vuosikeskiarvojen muutokset eri aikajaksoilla neljän eri kasvihuone-kaasuskenaarion mukaan. Tilan säästämiseksi SSP3-7.0 on jätetty taulukosta pois.

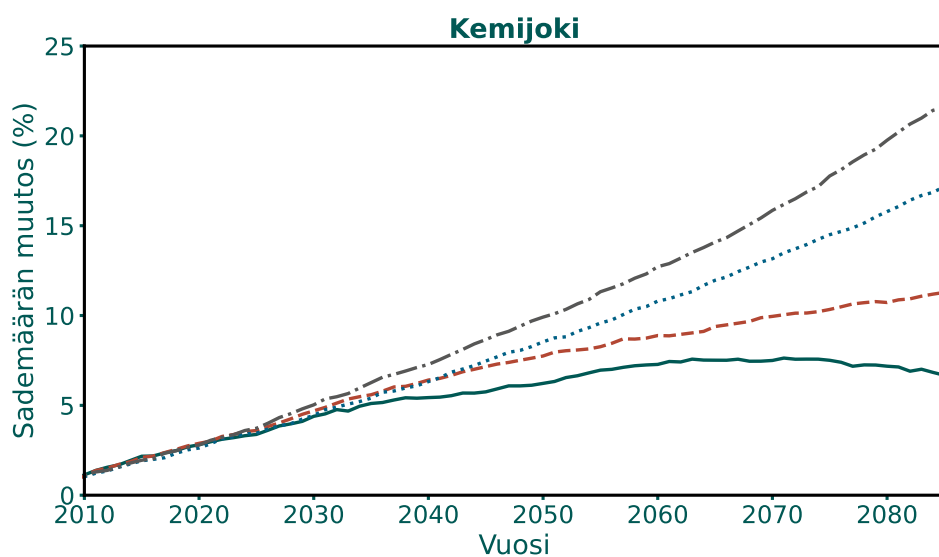
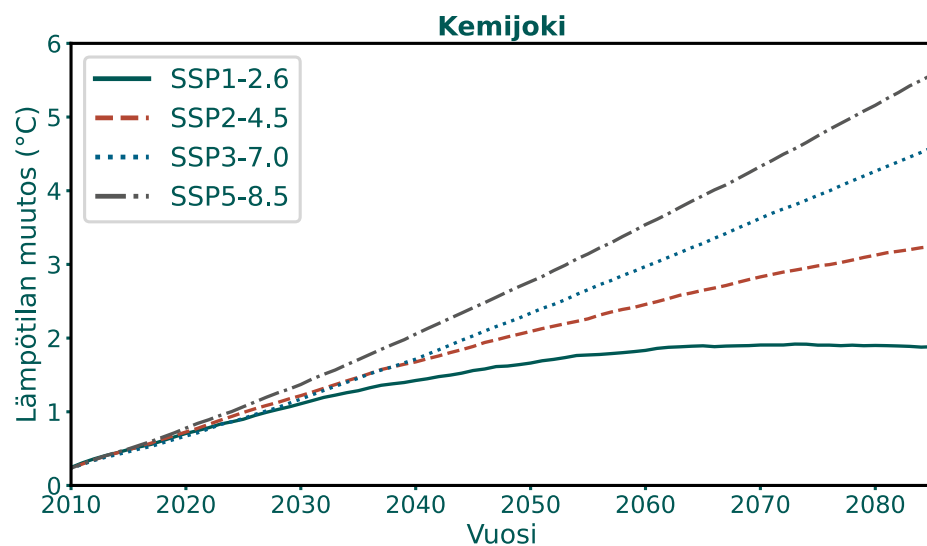
Sadannan muutos (%)	2035			2050			2085		
	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP5-8.5	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP5-8.5	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP5-8.5
Kemijoki	5,1	5,6	6,3	6,2	7,7	9,9	6,7	11,3	21,6
Lieksanjoki	4,7	5,0	5,7	5,8	7,2	8,9	6,6	9,5	18,5
Kymijoki	4,2	4,3	4,9	5,0	6,1	7,7	5,6	8,2	16,0

Kaikilla tutkituilla alueilla lämpenemisen kuukausimuutosarviot ovat samansuuntaisia: talvikuukaudet lämpenevät eniten ja keskikesä vähiten. SSP5-8.5 skenaarion tapauksessa vuosisadan lopulla joului- ja tammikuu olisivat keskimäärin jopa noin 7 °C lämpimämpiä kuin nykyisin, kun SSP1-2.6 osalta vastaava muutos on noin 2 °C.

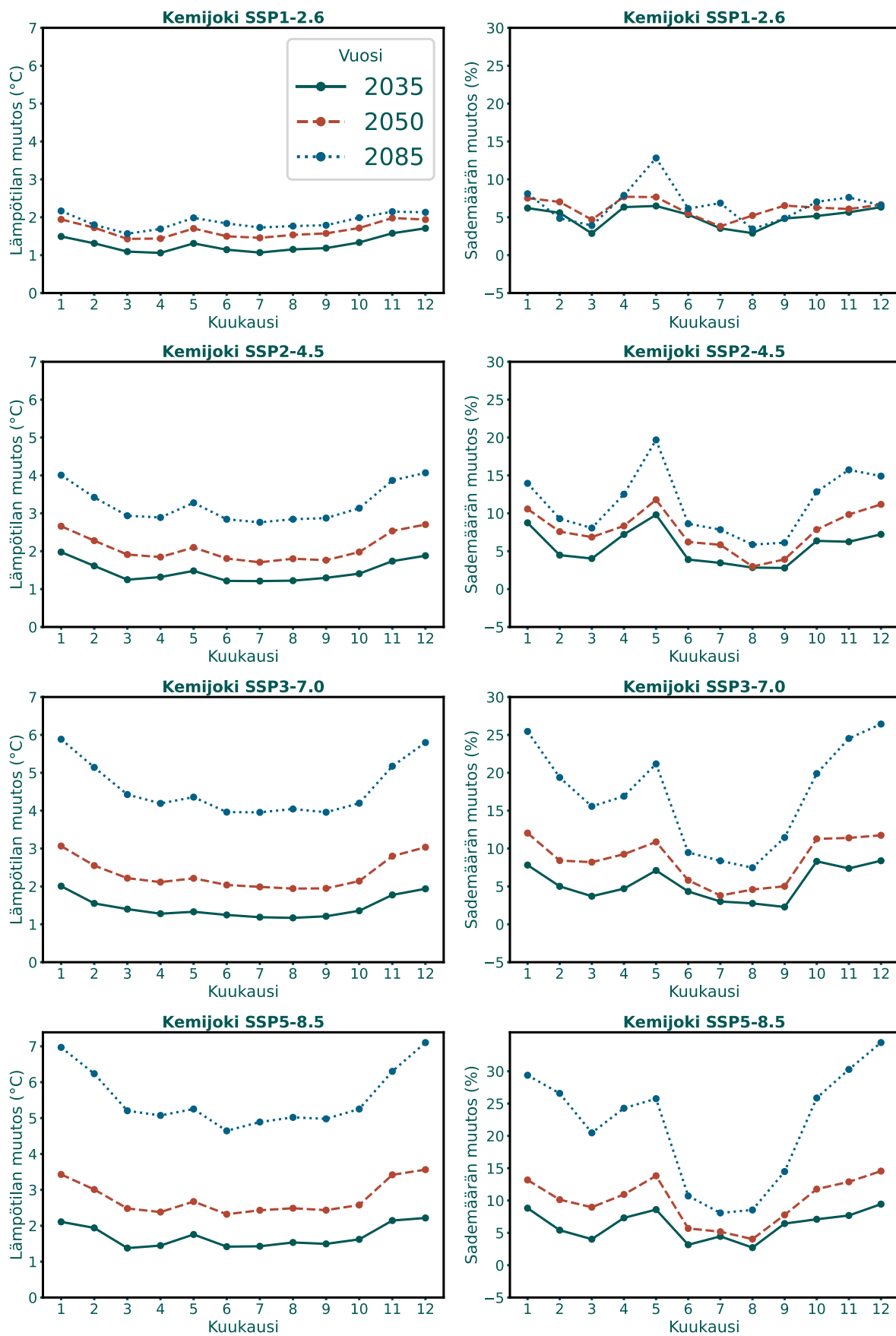
Kuukausisademäärien kasvun osalta suurimmat muutokset ovat kaikilla alueilla marras-helmikuussa sekä toukokuussa. Talvikuukausina SSP5-8.5 skenaarion mukaan muutos olisi vuosisadan loppupuolella jopa noin 30–35 %. Pienimmät muutokset arvioidaan tapahtuvan kaikilla alueilla loppukesästä. Kymijoen osalta arviot näyttävät jo lähitulevaisuudessa SSP5-8.5 osalta sademäärien vähenemistä: esimerkiksi 2050 ilmastossa muutos olisi heinä-elokuussa noin -1 – -2 %.

Sekä vuotuisten että kuukausimuutosten osalta on syytä huomata, että ilmasto jatkaa siis lämpenemistään lähivuosikymmeninä myös pienimpien päästöjen skenaariossa. Tämä johtuu ilmakehään jo päässeiden kasvihuonekaasujen melko pitkistä vaikutusajasta.

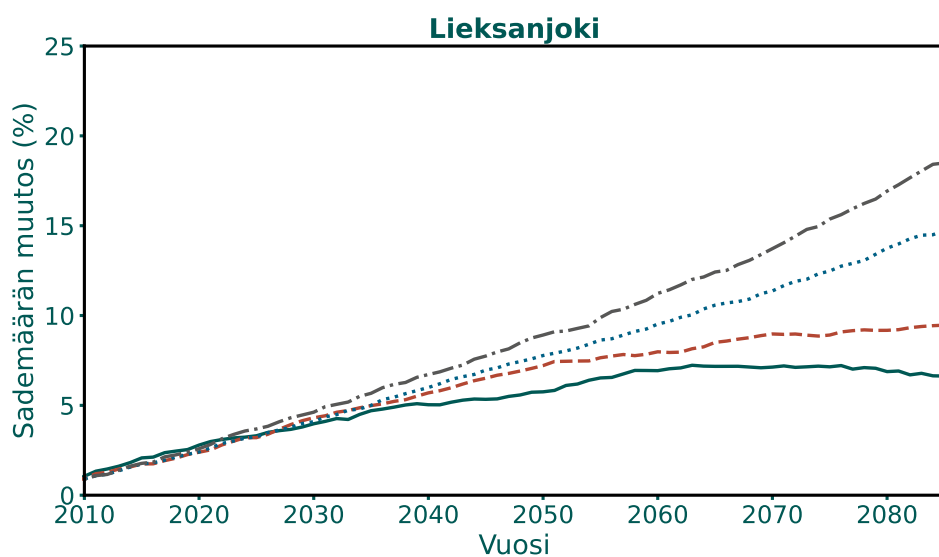
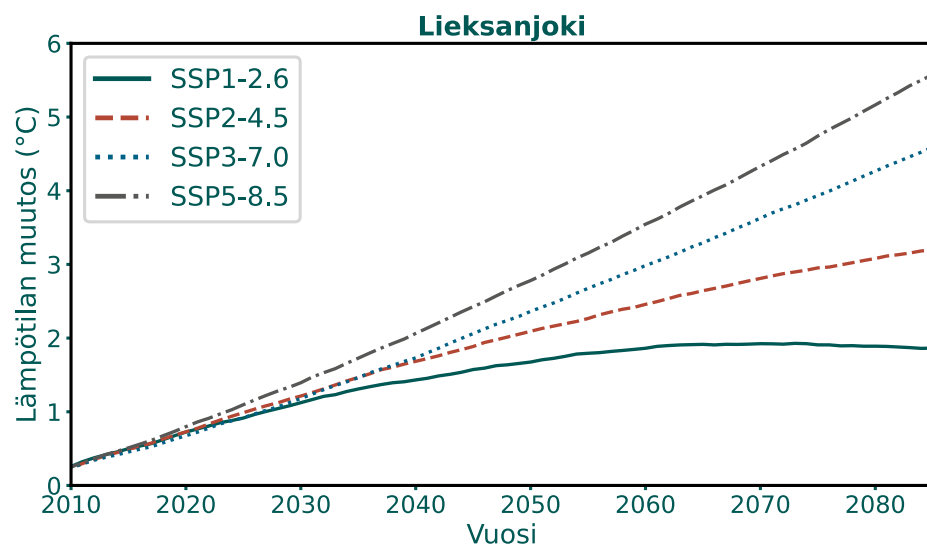
Tässä luvussa esitetyt arviot perustuvat 28 ilmastomallin tuottamien muutosten keskiarvoihin. Yksittäisiä malleja tarkasteltaessa niiden antamat tulokset kuitenkin poikkeavat toisistaan paikoin huomattavasti, mikä heijastaa ilmastomuutosarvioihin liittyvää epävarmuutta. Esimerkiksi SSP2-4.5 -skenaarion mukaisissa ennusteissa vuosisadan puolivälissä mallien välinen vaihteluväli on kuitenkin laaja: lämpötilan muutoksen osalta useita asteita ja sademäärän useita kymmeniä prosentteja.



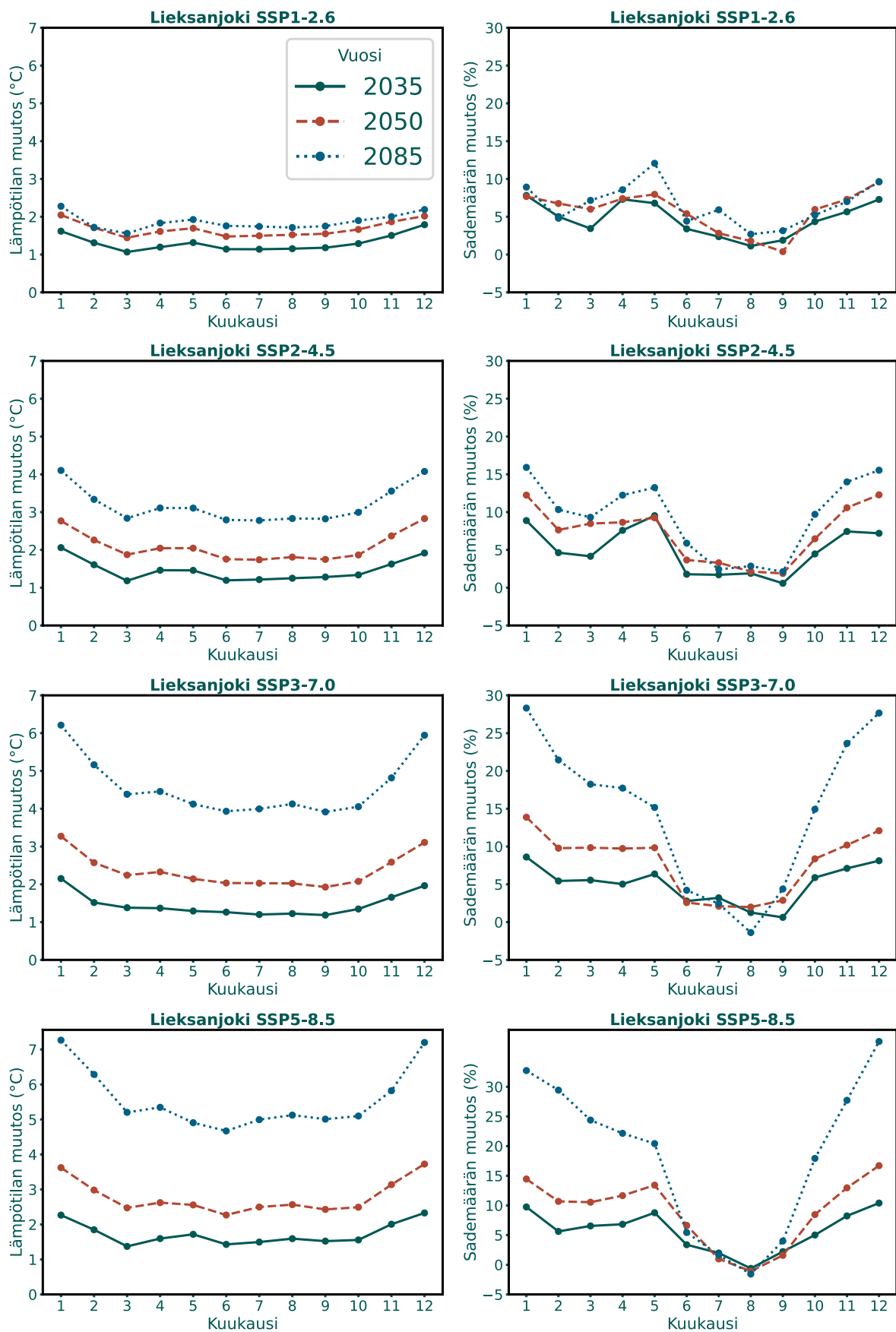
Kuva 3. Keskimääräisen lämpötilan (yllä) ja sademäärän (alla) vuosikeskiarvojen muutokset Kemijoen alueella kuluva vuosisadan aikana eri kasvihuonekaasuskenaarioiden mukaan.



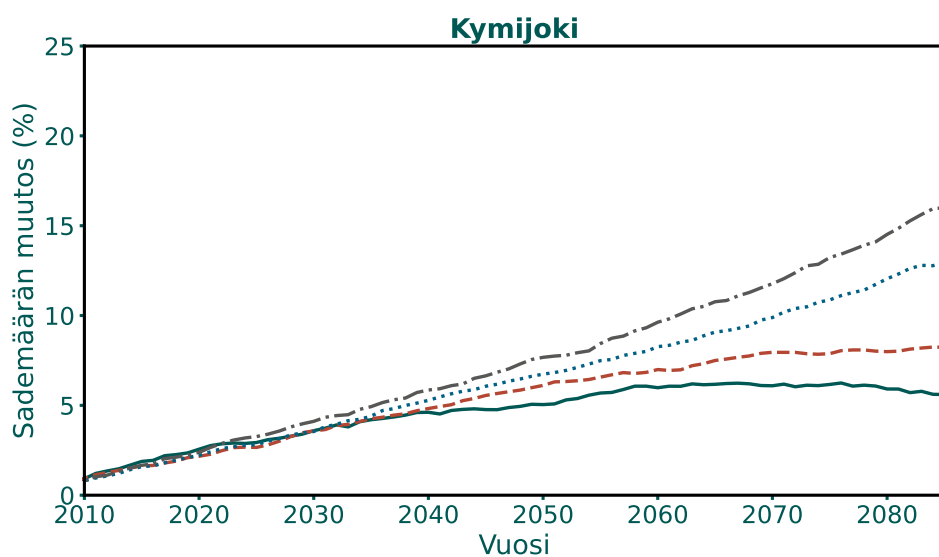
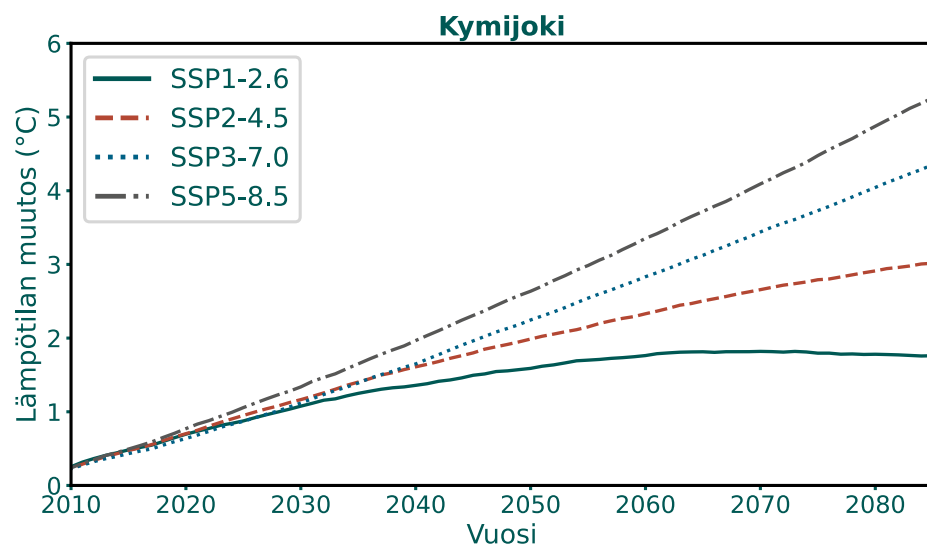
Kuva 4. Lämpötilan (vasemmanpuoleiset kuvat) ja sademäärän (oikealla) kuukausikeskiarvojen muutokset Kemijoella neljän eri kasvihuonekaasuskenaarion mukaan. Kuvissa käyrät kuvaavat eri ilmastojaaksoja.



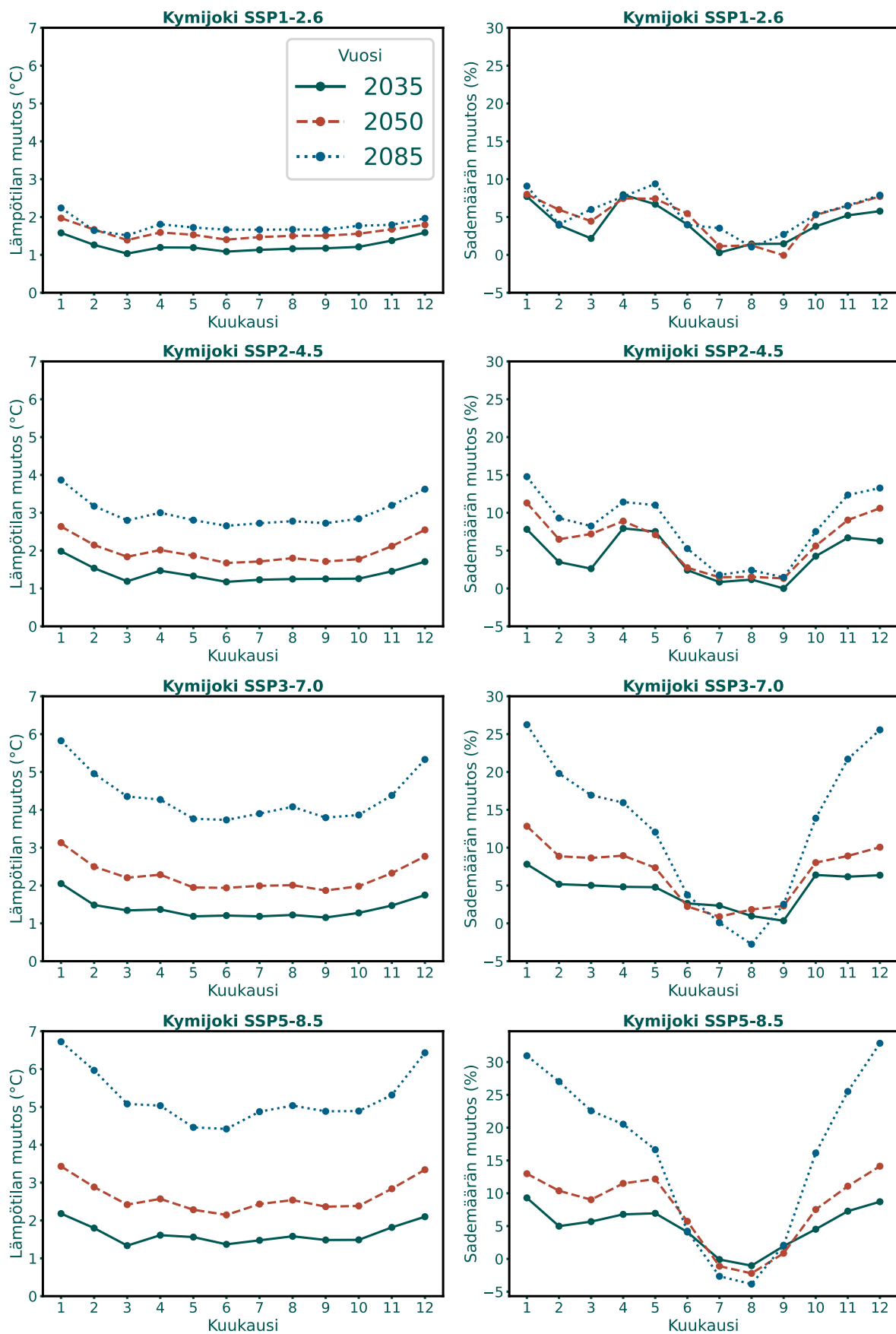
Kuva 5. Keskimääräisen lämpötilan (yllä) ja sademäärän (alla) vuosikeskiarvojen muutokset Lieksanjoen alueella kuluvan vuosisadan aikana eri kasvihuonekaasuskenaarioiden mukaan.



Kuva 6. Lämpötilan (vasemmanpuoleiset kuvat) ja sademäärän (oikealla) kuukausikeskiarvojen muutokset Lieksanjoella neljän eri kasvihuonekaasuskenaariion mukaan. Kuvissa käyrät kuvaavat eri ilmastojaksoja.



Kuva 7. Keskimääräisen lämpötilan (yllä) ja sademäärän (alla) vuosikeskiarvojen muutokset Kymijoen alueella kuluva vuosisadan aikana eri kasvihuonekaasuskenaarioiden mukaan.



Kuva 8. Lämpötilan (vasemmanpuoleiset kuvat) ja sademäärän (oikealla) kuukausikeskiarvojen muutokset Kymijoella neljän eri kasvihuonekaasuskenaariota mukaan. Kuvissa käyrät kuvaavat eri ilmastoja.

3.2 Kesän sadanta, HCLIM

Kesäajan rankkasateiden voimakkuuksia ja niiden muutoksia Lieksanjoen, Kymijoen ja Kemijoen ympäristössä arvioitiin HCLIM-ilmastomallin tulosten perusteella, jotka pohjautuvat RCP4.5- ja RCP8.5-kasvi-huonekaasuskenaarioihin.

Taulukoista 4–6 nähdään, että HCLIM-ilmastomallin simuloimat sateisten päivien sademäärän 95-prosenttipiste on kaikilla tarkastelualueilla keskimäärin suurin heinäkuussa ja pienin touko- ja syyskuussa. Tämä viittaa siihen, että voimakkaat päivittäiset sademäärät ovat keskimäärin suurimmillaan keskikesällä. Kemijoen ympäristössä rankkimmat sateet ovat mallin mukaan keskimäärin heikompia kuin muilla alueilla. Taulukoitujen sademäärien tulkinnassa on kuitenkin hyvä huomata, että arvot ovat todennäköisesti hieman havaittuja sademääriä heikompia ilmastomalliaineistoille tyypillisen harhan johdosta.

Sademäärän 95-prosenttipistearvojen kuukausittainen jakauma säilyisi samankaltaisena, eli voimakkaat sateet olisivat keskimääräisesti voimakkaimmillaan keskikesän kuukausina myös tulevaisuuden ilmastossa. Prosenttipistearvot kuitenkin pääosin kasvaisivat kaikilla tarkastelualueilla ilmaston lämmetessä RCP4.5- ja RCP8.5-skenaarioiden mukaisesti vuosisadan keskiosiin (2041–2060) ja loppuosiin (2081–2100) mentäessä (kuvat 9–11). Kuvista 9–11 nähdään, että ilmaston lämmetessä RCP4.5-skenaariion mukaisesti suurimpien sademäärien kasvu olisi hieman pienempää kuin voimakkaiden päästöjen RCP8.5-skenaariossa, ja yksittäisinä kuukausina rankat sateet saattaisivat keskimäärin jopa hieman heikentyä.

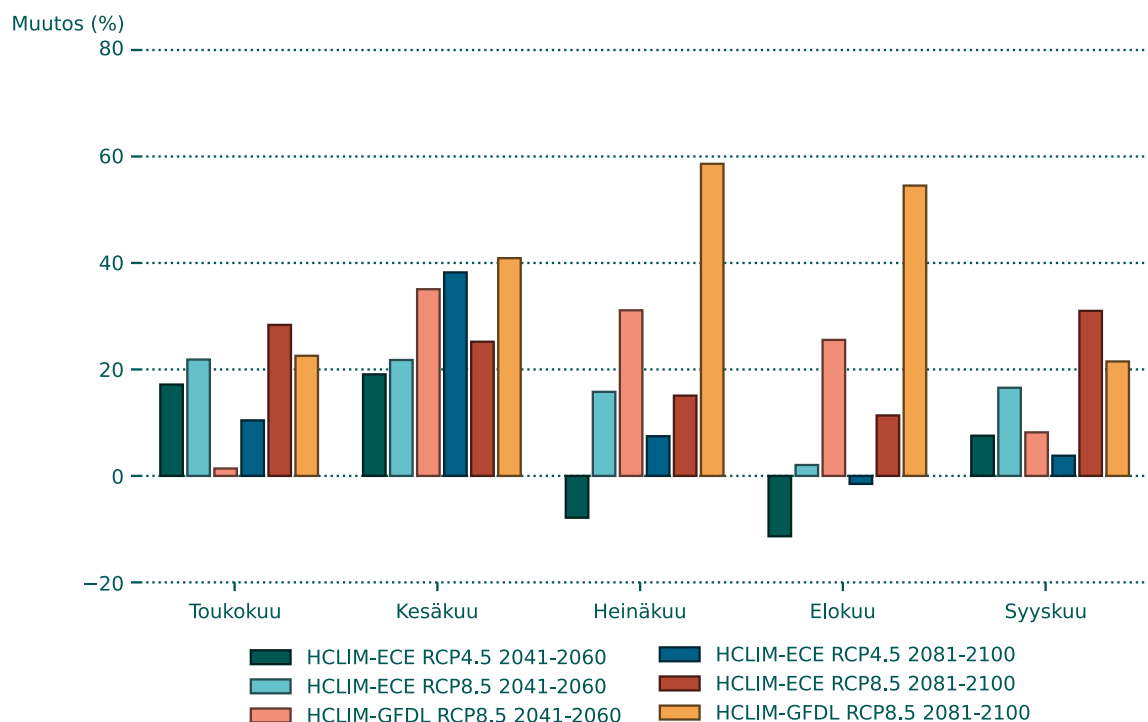
Mikäli sademäärien muutoksia arvioidaan hyödyntämällä 99-prosenttipistearvoa, ovat muutossignaalit varsin samankaltaisia 95-prosenttipistetarkastelun kanssa, mutta sademäärän kasvu on useimmissa kuukausina hieman suurempaa. Ilmaston lämmetessä kaikista voimakkaimpien sateiden arvioidankin voimistuvan enemmän kuin heikompien sateiden (Utriainen ym. 2025).

Yleisesti ottaen tuloksia voidaan siis tulkita siten, että ilmaston lämmetessä Lieksanjoen, Kymijoen ja Kemijoen ympäristössä runsaimmat sateet voimistuisivat jonkin verran vuosisadan keskiosiin ja loppuosiin mentäessä. Muutoksen suuruudelle esitetyissä lukuarvoissa on kuitenkin epävarmuutta, sillä ne perustuvat vain yhden ilmastomallin tuloksiin. Lisäksi pienialaisten rankkasateiden paikallisuus ja sattumanvaraisuus vaikuttaa arvioon.

Taulukko 4. Lieksanjoen ympäristön sademäärän 95-prosenttipistearvon aluekeskiarvo milli-metreissä HCLIM-ilmastomalliaineistossa RCP4.5- ja RCP8.5-kasvihuonekaasuskenaarioissa eri ajanjaksoilla. Prosenttipistearvo on laskettu vain sateisilta päiviltä, joina vuorokautinen sademäärä ylitti 1 mm. Aluekeskiarvo on laskettu kuvan 2 osoittamalta alueelta.

Ajanjakso	Skenaario	Ilmastomalli	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu
1998-2018	-	HCLIM-ERA1	15,4 mm	19,6 mm	26,8 mm	18,7 mm	15,1 mm
1986-2005	-	HCLIM-ECE	14,6 mm	16,2 mm	21,8 mm	19,9 mm	14,1 mm
1986-2005	-	HCLIM-GFDL	14,3 mm	17,4 mm	19,6 mm	16,4 mm	15,2 mm
2041-2060	RCP4.5	HCLIM-ECE	17,1 mm	19,3 mm	20,1 mm	17,6 mm	15,1 mm
2041-2060	RCP8.5	HCLIM-ECE	17,8 mm	19,8 mm	25,2 mm	20,3 mm	16,4 mm
2041-2060	RCP8.5	HCLIM-GFDL	14,5 mm	23,5 mm	25,7 mm	20,5 mm	16,5 mm
2081-2100	RCP4.5	HCLIM-ECE	16,1 mm	22,5 mm	23,4 mm	19,6 mm	14,6 mm
2081-2100	RCP8.5	HCLIM-ECE	18,7 mm	20,3 mm	25,1 mm	22,1 mm	18,4 mm
2081-2100	RCP8.5	HCLIM-GFDL	17,5 mm	24,5 mm	31,1 mm	25,3 mm	18,5 mm

Sateisten päivien sademäärän 95-prosenttipistearvon aluekeskiarvon muutos Lieksanjoen ympäristö

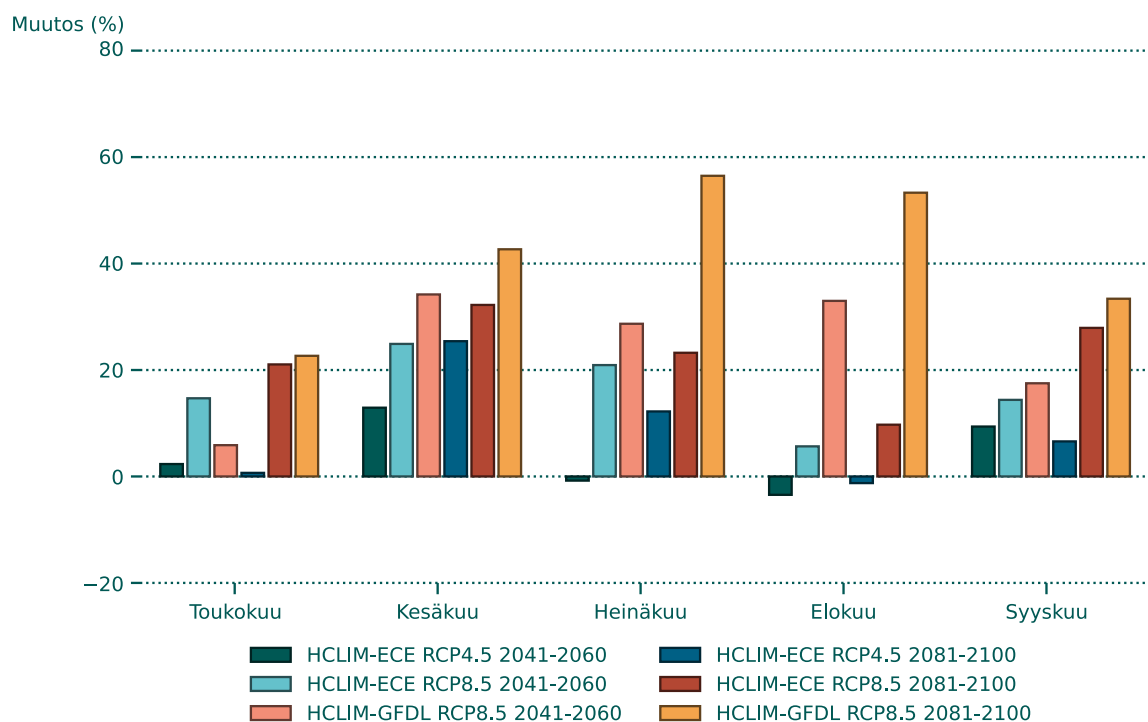


Kuva 9. Lieksanjoen ympäristön sademäärän 95-prosenttipistearvon aluekeskiarvon muutos RCP4.5- ja RCP8.5-kasvihuonekaasuskenaarioissa HCLIM-ilmastomalliin perustuen. Prosenttipistearvo on laskettu vain sateisilta päiviltä, joina vuorokautinen sademäärä ylitti 1 mm. Muutos on laskettu suhteessa historialliseen jaksoon 1986–2005. Aluekeskiarvo on laskettu kuvan 2 osoittamalta alueelta.

Taulukko 5. Kymijoen ympäristön sademäärän 95-prosenttipistearvon aluekeskiarvo millimetreissä HCLIM-ilmastomalliaineistossa RCP4.5- ja RCP8.5-kasvihuonekaasuskenaarioissa eri ajanjaksoilla. Prosenttipistearvo on laskettu vain sateisilta päiviltä, joina vuorokautinen sademäärä ylitti 1 mm. Aluekeskiarvo on laskettu kuvan 2 osoittamalta alueelta.

Ajanjakso	Skenaario	Ilmastomalli	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu
1998-2018	-	HCLIM-ERA1	17,0 mm	19,9 mm	26,2 mm	19,5 mm	15,6 mm
1986-2005	-	HCLIM-ECE	16,0 mm	17,0 mm	21,3 mm	19,5 mm	14,6 mm
1986-2005	-	HCLIM-GFDL	15,1 mm	17,4 mm	19,0 mm	16,5 mm	14,8 mm
2041-2060	RCP4.5	HCLIM-ECE	16,4 mm	19,2 mm	21,2 mm	18,8 mm	15,9 mm
2041-2060	RCP8.5	HCLIM-ECE	18,3 mm	21,3 mm	25,8 mm	20,6 mm	16,7 mm
2041-2060	RCP8.5	HCLIM-GFDL	15,9 mm	23,4 mm	24,4 mm	22,0 mm	17,4 mm
2081-2100	RCP4.5	HCLIM-ECE	16,1 mm	21,3 mm	23,9 mm	19,3 mm	15,5 mm
2081-2100	RCP8.5	HCLIM-ECE	19,4 mm	22,5 mm	26,3 mm	21,4 mm	18,6 mm
2081-2100	RCP8.5	HCLIM-GFDL	18,5 mm	24,9 mm	29,7 mm	25,3 mm	19,7 mm

Sateisten päivien sademäärän 95-prosenttipistearvon aluekeskiarvon muutos Kymijoen ympäristö

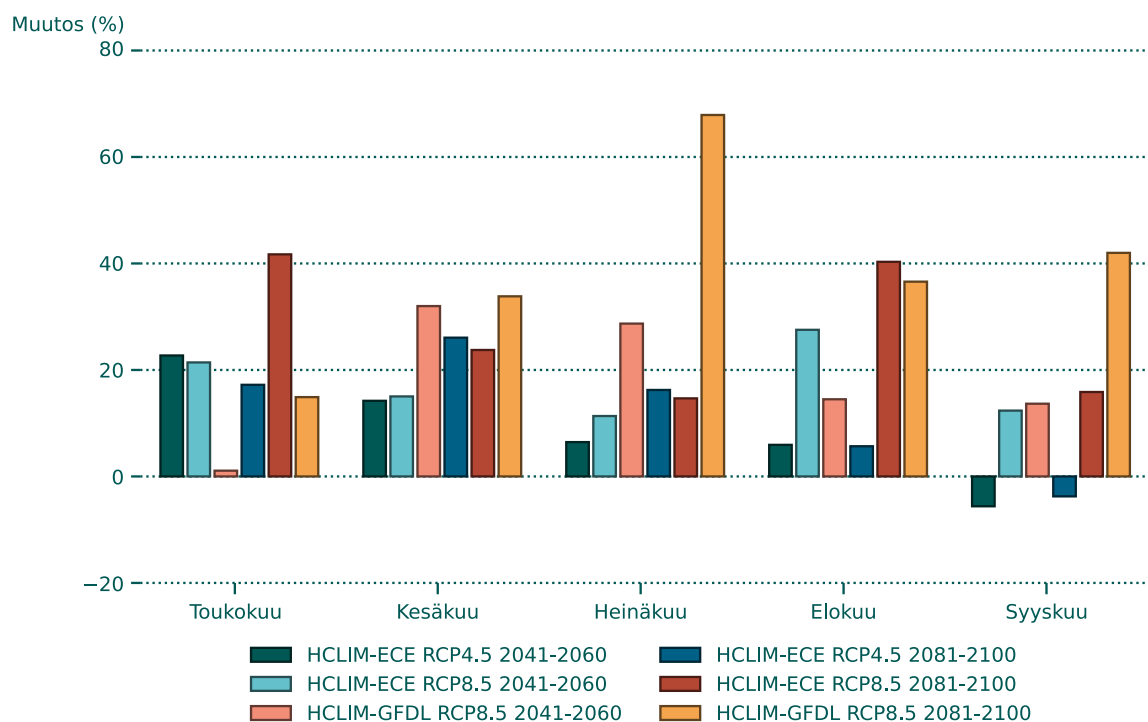


Kuva 10. Kymijoen ympäristön sademäärän 95-prosenttipistearvon aluekeskiarvon muutos RCP4.5- ja RCP8.5-kasvihuonekaasuskenaarioissa HCLIM-ilmastomalliin perustuen. Prosenttipistearvo on laskettu vain sateisilta päiviltä, joina vuorokautinen sademäärä ylitti 1 mm. Muutos on laskettu suhteessa historialliseen jaksoon 1986–2005. Aluekeskiarvo on laskettu kuvan 2 osoittamalta alueelta.

Taulukko 6. Kemijoen ympäristön sademäärän 95-prosenttipistearvon aluekeskiarvo millimetreissä HCLIM-ilmastomalliaineistossa RCP4.5- ja RCP8.5-kasvihuonekaasuskenaarioissa eri ajanjaksoilla. Prosenttipistearvo on laskettu vain sateisilta päiviltä, joina vuorokautinen sademäärä ylitti 1 mm. Aluekeskiarvo on laskettu kuvan 2 osoittamalta alueelta.

Ajanjakso	Skenaario	Ilmastomalli	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu
1998-2018	-	HCLIM-ERA1	12,2 mm	15,5 mm	21,8 mm	18,5 mm	14,6 mm
1986-2005	-	HCLIM-ECE	12,0 mm	15,7 mm	18,1 mm	15,6 mm	14,4 mm
1986-2005	-	HCLIM-GFDL	12,9 mm	15,3 mm	16,7 mm	16,8 mm	14,2 mm
2041-2060	RCP4.5	HCLIM-ECE	14,7 mm	17,9 mm	19,3 mm	16,5 mm	13,6 mm
2041-2060	RCP8.5	HCLIM-ECE	14,5 mm	18,0 mm	20,1 mm	19,9 mm	16,2 mm
2041-2060	RCP8.5	HCLIM-GFDL	13,1 mm	20,3 mm	21,5 mm	19,3 mm	16,1 mm
2081-2100	RCP4.5	HCLIM-ECE	14,0 mm	19,7 mm	21,0 mm	16,5 mm	13,8 mm
2081-2100	RCP8.5	HCLIM-ECE	16,9 mm	19,4 mm	20,8 mm	21,9 mm	16,7 mm
2081-2100	RCP8.5	HCLIM-GFDL	14,8 mm	20,5 mm	28,0 mm	23,0 mm	20,1 mm

Sateisten päivien sademäärän 95-prosenttipistearvon aluekeskiarvon muutos Kemijoen ympäristö

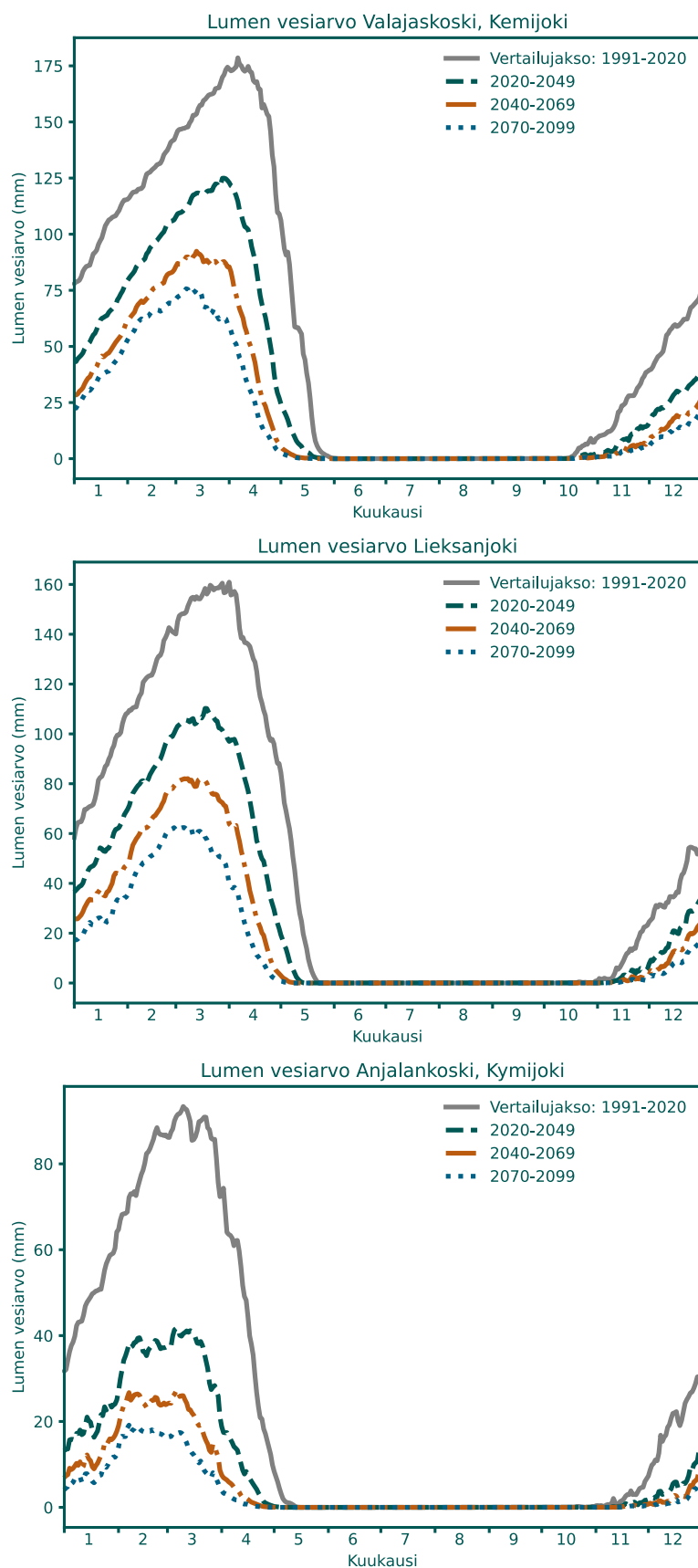


Kuva 11. Kemijoen ympäristön sademäärän 95-prosenttipistearvon aluekeskiarvon muutos RCP4.5- ja RCP8.5-kasvihuonekaasuskenaarioissa HCLIM-ilmastomalliin perustuen. Prosenttipistearvo on laskettu vain sateisilta päiviltä, joina vuorokautinen sademäärä ylitti 1 mm. Muutos on laskettu suhteessa historialliseen jaksoon 1986–2005. Aluekeskiarvo on laskettu kuvan 2 osoittamalta alueelta.

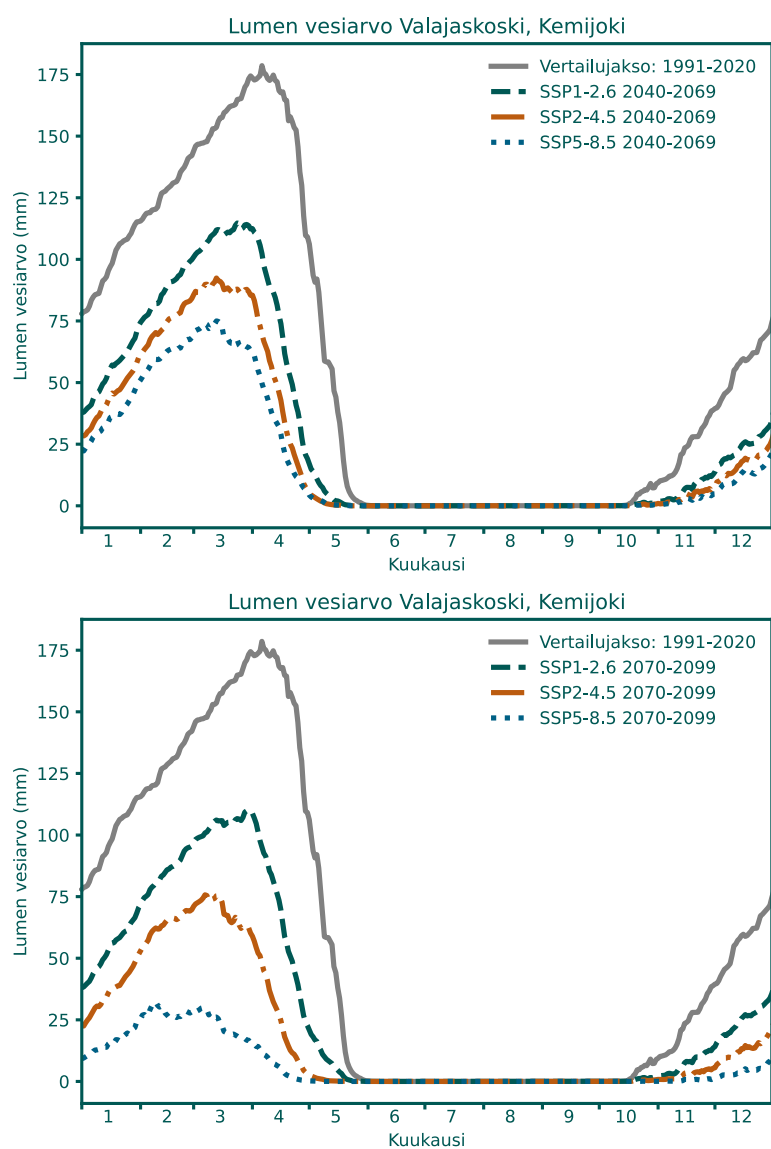
3.3 Lumi

Skenaarioissa lumen määrä arvioidaan lumen vesiaron eli sen sisältämän vesimäärän (mm) perusteella Vesistömallijärjestelmän simuloituista arvoista. Simuloinneissa lumen määrä vähenee kaikilla skenaarioilla selkeästi johtuen lämpötilan noususta ja talven lyhentymisestä (Kuva 12). Lumen määrän väheneminen on voimakkainta Kymijoenla, jossa lumen määrä vähenee selvästi jo 2070–2099 jaksolla. Myös Lieksanjoella ja Kemijoenla lumen määrä vähenee selvästi, johtuen skenaarioiden varsin suurista lämpötilan nousuista. Hydrologisiin tarkasteluihin valituissa yhdeksässä ilmastomallissa oli hieman keskiarvoa suuremmat lämpötilan muutokset (Taulukko 1 ja 2), mikä saattaa osaltaan johtaa hieman suurempaan lumen määrän vähenemiseen. Tästä ja lumen laskennan herkkyydestä johtuen nyt tehdyt arviot lumen määrän vähenemisestä ovat epävarmoja ja voivat hieman yliarvioida lumen vähenemistä.

Eri kasvihuonekaasuskenaariot eroavat selvästi toisistaan jaksosta 2040–2069 eteenpäin ja niiden väliset erot ovat hyvin suuria vuosisadan lopulla (Kuva 13). Jos päästöjen rajoittaminen onnistuu SSP1-2.6 skenaarion mukaisesti lumen määrä ei enää vähene merkittävästi lisää jaksosta 2040–2069 jälkeen, kun taas SSP2-4.5-skenaariolla ja etenkin suurten päästöjen SSP5-8.5 skenaariolla lumen väheneminen jatkuu voimakkaana myös vuosisadan loppupuolella.



Kuva 12. Vuorokauden keskimääräinen lumen vesiarvo (mm) jaksoilla 1991–2020, 2020–2049, 2040–2069 ja 2070–2099 Kemijoen (ylin kuva) koko valuma-alueella, Lieksanjoen (keskellä) valuma-alueella ja Kymijoen (alin) koko valuma-alueella SSP2-4.5-skenaarion mukaan (yhdeksän ilmastomallin mediaanien keskiarvo).



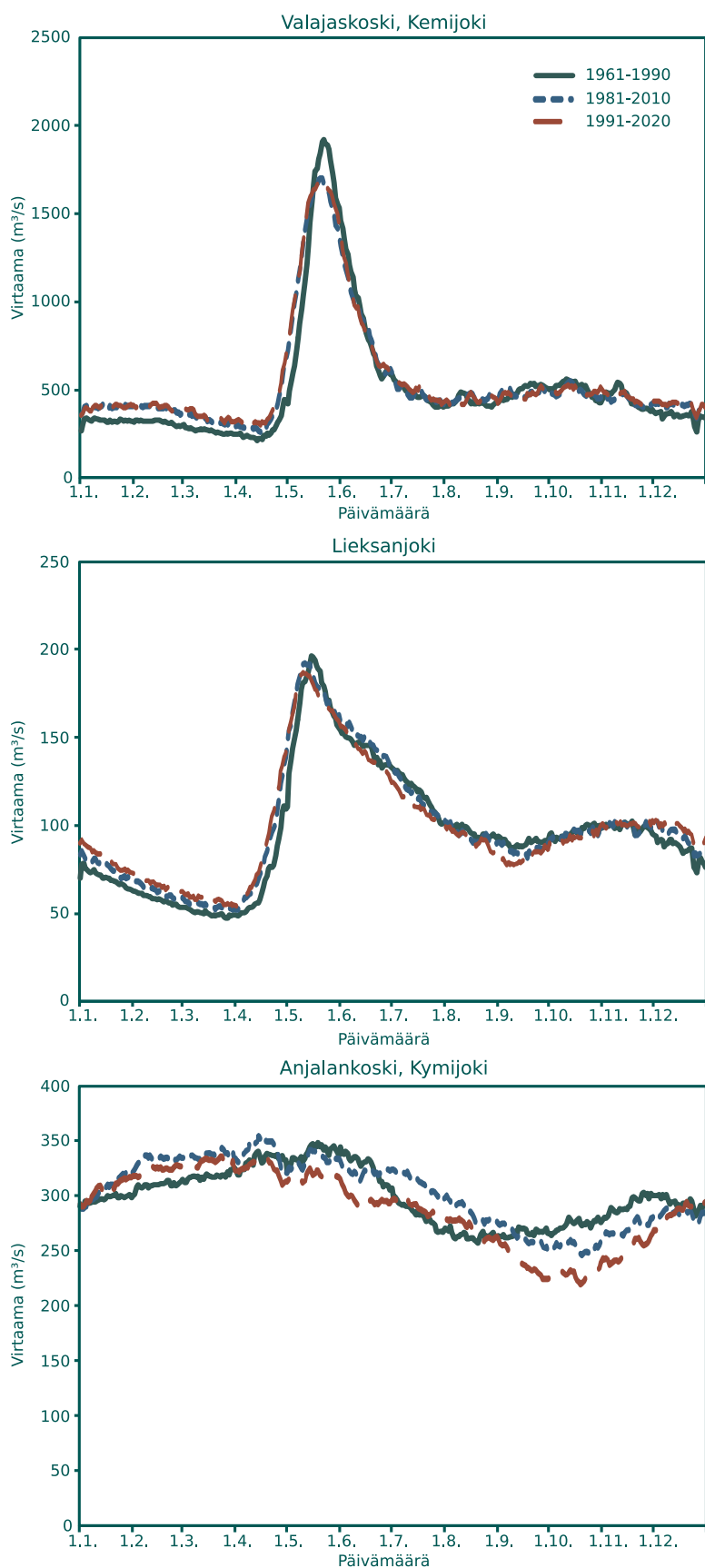
Kuva 13. Vuorokauden keskimääräinen (mediaani) lumen vesiarvo (mm) jaksoilla 1991–2020 ja 2040–2069 (ylempi kuva) ja 2070–2099 (alempi kuva) Kemijoen koko valuma-alueella kolmella eri SSP-skenaariolla (yhdeksän ilmastomallin mediaanien keskiarvo).

3.4 Virtaamat

Virtaamat on simuloitu Vesistömallijärjestelmällä käyttäen vertailujaksoa 1991–2020. Vesistömallin laskennoissa käytetyt vertailujakson virtaamat ovat Vesistömallijärjestelmän (WSFS-P, Kolhinen ym. 2025) simuloimia arvoja, jotka saattavat jonkin verran poiketa havaituista. Erityisesti päivittäinen virtaama ja järvien säännöstely eroavat ajoittain havaituista, pitkän ajan keskiarvoissa erot ovat pienempiä.

Kun verrataan vertailujaksoa 1991–2020 edelliseen kymmenvuotisjaksoon 1981–2010, jota käytettiin aiemmissa laskennoissa, on jaksojen havaittu keskivirtaama kasvanut Valajaskoskella Kemijoessa 1,7 %, Ounasjoella 4,2 %, Lieksanjoella pysynyt samana (-0,07 % pienempi) % ja Kymijoella (Anjalankoski) pienentynyt 4,8 %. Kun jaksoa 1991–2020 verrataan jaksoon 1961–1990 on havaittu keskivirtaama Valajakoskella Kemijoessa kasvanut 7,5 %, Ounasjoella 11,0 % ja Lieksanjoella 3,1 %, mutta pienentynyt Kymijoella 3,7 %. Muutokset johtuvat osittain luontaisesta vaihtelusta, mutta myös ilmastonmuutos on jonkin verran jo vaikuttanut virtaamiin sadannan ja lämpötilan muutosten myötä.

Keskimääräisessä päivittäisissä virtaamissa eri jaksojen välillä ei ole merkittävää eroa Kemijoella (Kuva 14), vaikkakin pientä kasvua keskivirtaamissa erityisesti marraskuussa ja maalis-huhtikuussa on nähtävissä. Sen sijaan Kymijoella kesän ja syksyn virtaamat ovat jaksolla 1991–2020 keskimäärin pienempiä kuin 1981–2010. Lieksanjoella muutokset ovat melko pieniä, talvikauden keskivirtaamat ovat hieman kasvaneet ja kesäkauden taas hieman pienentyneet.



Kuva 14. Havaitut päivittäiset keskivirtaamat (keskiarvo) jaksoilla 1961–1990, 1981–2010 ja 1991–2020.

3.4.1 Virtaamat CMIP6-skenaarioilla

Kuten lumi myös virtaamat muuttuvat tarkastelluissa skenaarioissa huomattavasti johtuen muutoksista lämpötiloissa ja sadannoissa. Taulukoissa 7 ja 8 on esitetty WSFS-P mallilla lasketut arviot virtaamien muutoksista Kemijoella, Lieksanjoella ja Kymijoella. Keskivirtaama keskimäärin kasvaa hieman, mutta muutos on melko pieni ja Kymijoella on myös joitain jaksoja ja kasvihuonekaasuskenaarioita, joilla keskivirtaama hieman pienenee. Keskivirtaamien kasvu on suurinta Kemijoella, jossa se kasvaa jaksolla 2040–2069 noin 4–9 % jaksoon 1991–2020 verrattuna. Lieksanjoella kasvua on noin 3–6 % samalla jaksolla ja Kymijoella virtaaman muutos vaihtelee noin välillä -2– +4 %. Etenkin jaksolla 2070–2099 virtaamien kasvu on suurinta suurimmalla kasvihuonekaasuskenaariolla (SSP5-8.5), mutta aiemmillä jaksoilla SSP-skenaario ei yhtä selkeästi vaikuta virtaamien muutokseen. Tämä voi johtua luontaisen vaihtelun suhteellisesti suuremmasta vaikutuksesta aiemmillä jaksoilla. Valittujen yhdeksän ilmastomallin hieman keskimääräistä (28 mallin keskiarvo) suuremmat lämpötilan muutokset (Taulukko 1 ja 2) vaikuttavat jonkin verran keskimääräisiin virtaamien muutoksiin. Tulosten vaihteluväli kuitenkin pitää sisällään myös selvästi keskimääräistä kylmempiä skenaarioita.

Vaihteluväli eri skenaarioiden välillä on hyvin suuri. Runsassateisimmilla malleilla kasvua virtaamissa voi syntyä jopa 19–21 % jaksolla 2040–2069, kun taas vähäsateisimmilla malleilla virtaamat jopa pienenevät. Kuivimmilla skenaarioilla virtaamien pieneneminen on Kemijoella 2–6 %, Lieksanjoella 7 % ja Kymijoella 10 % jaksolla 2040–2069.

Koko vuoden keskivirtaamissa muutokset eivät ole kovin suuria, mutta eri vuodenaikojen virtaamissa nähdään huomattavasti suurempia muutoksia (Taulukko 9 ja 10, Kuva 15). Talven virtaamat kasvavat hyvin voimakkaasti etenkin Kemijoella ja Lieksanjoella, jossa ne ovat vertailujaksolla 1991–2020 yleensä pieniä. Prosentuaaliset muutokset kasvavat silloin helposti hyvin suuriksi, vaikka virtaaman muutos kuutiometreinä sekunnissa ei välttämättä ole kovin suuri. Kymijoella prosentuaaliset muutokset ovat pienempiä, johtuen siitä, että siellä virtaamat ovat jo vertailujaksolla usein talvella suuria.

Myös kevään (maalis-toukokuu) virtaamat hieman kasvavat (Taulukko 9 ja 10, Kuva 15), kun lumen sulaminen aikaistuu ja siitä aiheutuvat virtaamat ajoittuvat pääosin keväälle, kun vertailujaksolla merkittävä osa sulamisvesistä on ajoittunut kesäkuulle. Vastaavasti kesän virtaamat pienenevät. Syksyllä virtaamat keskimäärin pienenevät Kymijoella ja Lieksanjoella, mutta kasvavat Kemijoella. Kemijoella syksyn virtaamien kasvuun vaikutta erityisesti lauhempi sää ja lumipeitteisen ajan alun myöhentymisen loka-marraskuulta marras-joulukuulle. Nämä kasvattavat marraskuun virtaamia huomattavasti vertailujakson arvoihin nähden.

Virtaamissa suurimmat muutokset ovat eri vuodenaikojen virtaamissa ja liittyvät lämpötilan noususta johtuvaan lumen määrän vähenemiseen ja sen sulamisen ajankohdan muuttumiseen. Talven virtaamat kasvavat selkeästi kaikilla skenaarioilla, kun taas kesän virtaamat pääosin pienenevät.

Taulukko 7. Simuloitu Kemijoen jokipisteiden virtaamien ja järvien tulovirtaamien muutos (%) jaksoilla 2020–2049, 2040–2069 ja 2070–2099 verrattuna jaksoon 1991–2020 eri kasvihuone-kaasuskenaarioilla. Yhdeksän ilmastomallin tulosten keskimääräinen muutos eri SSP-skenaarioilla ja yhdeksän mallin ja kolmen SSP-skenaarion joukon tuloksista laskettu 80 % vaihteluväli.

Jakso ja skenaario	Lokka ja Porttipahta tulovirtaama	Kemijärvi tulovirtaama	Marraskoski virtaama	Valajaskoski virtaama
2020–2049 SSP1-2.6 keskiarvo	5,8	6,1	8,2	6,7
2020–2049 SSP2-4.5 keskiarvo	2,7	3,7	5,9	4,4
2020–2049 SSP5-8.5 keskiarvo	4,1	4,9	6,2	5,1
2020–2049 80 % vaihteluväli	-2,9–12,3	-1,9–12,2	0,0–14,8	-0,7–12,9
2040–2069 SSP1-2.6 keskiarvo	5,2	6,2	8,4	6,9
2040–2069 SSP2-4.5 keskiarvo	3,5	4,9	7,2	5,5
2040–2069 SSP5-8.5 keskiarvo	5,0	6,2	9,1	6,8
2040–2069 80 % vaihteluväli	-6,0–19,1	-4,1–19,0	-2,5–21,4	-4,3–19,6
2070–2099 SSP1-2.6 keskiarvo	2,1	3,5	5,0	3,9
2070–2099 SSP2-4.5 keskiarvo	5,4	7,4	9,4	7,8
2070–2099 SSP5-8.5 keskiarvo	13,9	16,1	21,4	17,3
2070–2099 80 % vaihteluväli	-4,4–26,3	-2,6–25,6	-2,1–29,2	-2,7–26,1

Taulukko 8. Simuloitu Lieksanjoen ja Kymijoen kohteiden virtaamien muutos (%) jaksoilla 2020–2049, 2040–2069 ja 2070–2099 verrattuna jaksoon 1991–2020 eri kasvihuonekaasuskenaarioilla. Yhdeksän ilmastomallin tulosten keskimääräinen muutos eri SSP-skenaarioilla ja yhdeksän mallin ja kolmen SSP-skenaarion joukon tuloksista laskettu 80 % vaihteluväli.

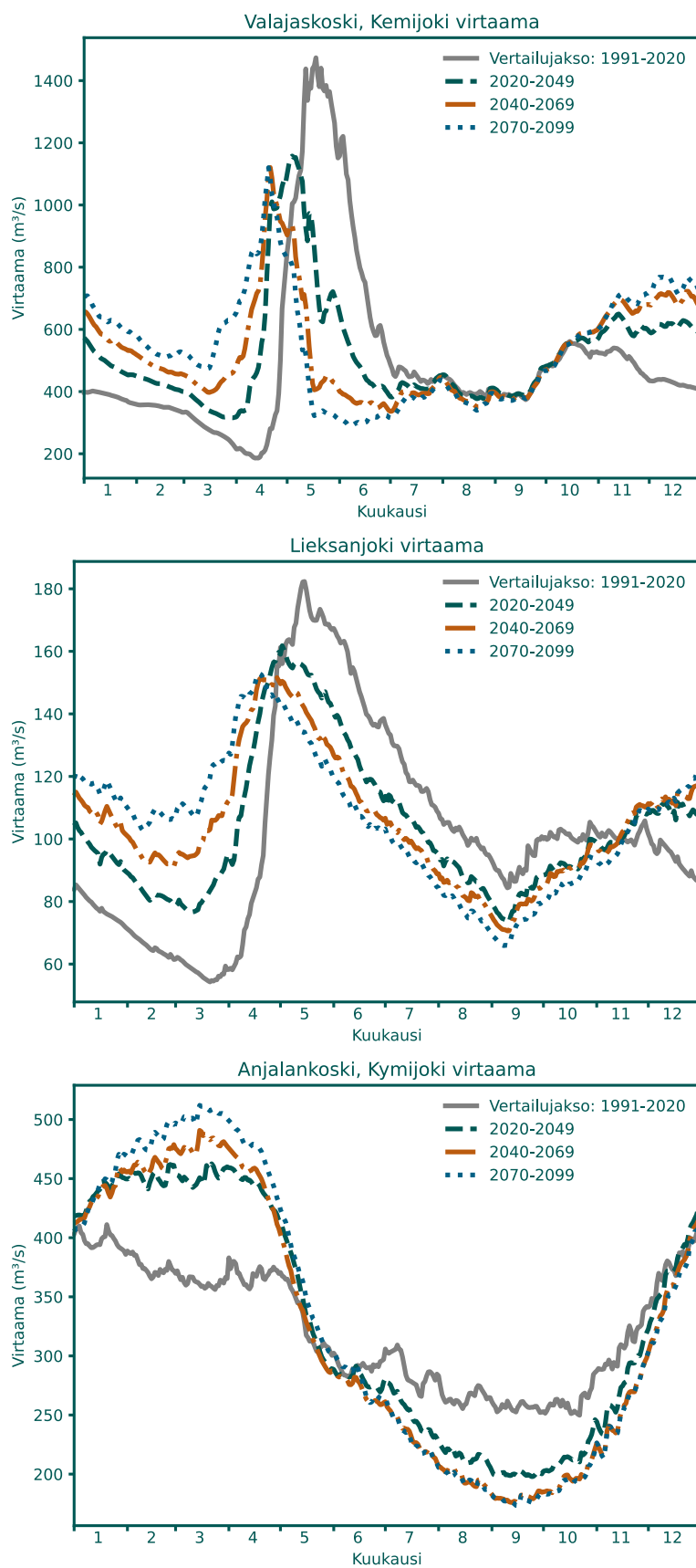
	Lieksanjoen virtaama	Kymijoen virtaama
2020–2049 SSP1-2.6 keskiarvo	3,0	2,1
2020–2049 SSP2-4.5 keskiarvo	1,6	0,3
2020–2049 SSP5-8.5 keskiarvo	3,2	1,3
2020–2049 80 % vaihteluväli	-5,6–10,3	-8,3–11,8
2040–2069 SSP1-2.6 keskiarvo	5,9	3,8
2040–2069 SSP2-4.5 keskiarvo	2,9	-1,6
2040–2069 SSP5-8.5 keskiarvo	2,8	-1,1
2040–2069 80 % vaihteluväli	-7,1–14,1	-10,0–14,3
2070–2099 SSP1-2.6 keskiarvo	1,8	-0,4
2070–2099 SSP2-4.5 keskiarvo	3,1	0,8
2070–2099 SSP5-8.5 keskiarvo	12,1	3,9
2070–2099 80 % vaihteluväli	-6,0–19,7	-12,6–16,5

Taulukko 9. Simuloitu Kemijoen jokipisteiden virtaamien ja järvien tulovirtaamien eri vuodenaikojen keskimääräinen muutos (%) jaksoilla 2020–2049, 2040–2069 ja 2070–2099 verrattuna jaksoon 1991–2020 eri kasvihuonekaasuskenaarioilla

Jakso ja vuodenaika	Lokka ja Porttipahta tulovirtaama	Kemijärvi tulovirtaama	Marraskoski tulovirtaama	Valajaskoski virtaama
2020–2049 talvi	51,2	37,2	71,9	36,0
2020–2049 kevät	12,9	4,7	8,8	7,3
2020–2049 kesä	-29,8	-20,1	-19,1	-20,4
2020–2049 syksy	12,8	10,4	15,8	10,8
2040–2069 talvi	79,8	57,2	113,6	54,1
2040–2069 kevät	12,7	2,9	8,5	7,2
2040–2069 kesä	-41,0	-28,0	-27,8	-30,0
2040–2069 syksy	15,2	11,2	19,6	13,0
2070–2099 talvi	115,7	81,4	175,4	77,5
2070–2099 kevät	11,0	1,9	6,9	8,7
2070–2099 kesä	-39,3	-27,1	-29,3	-31,9
2070–2099 syksy	19,9	15,3	24,2	15,9

Taulukko 10. Simuloitu Lieksanjoen ja Kymijoen kohteiden virtaamien eri vuodenaikojen keskimääräinen muutos (%) jaksoilla 2020–2049, 2040–2069 ja 2070–2099 verrattuna jaksoon 1991–2020 eri kasvihuonekaasuskenaarioilla

Jakso ja vuodenaika	Lieksanjoen virtaama	Kymijoen virtaama
2020–2049 talvi	20,7	9.5
2020–2049 kevät	12,2	12.4
2020–2049 kesä	-12,4	-10.8
2020–2049 syksy	-4,0	-11.0
2040–2069 talvi	31,3	10.8
2040–2069 kevät	17,5	16.1
2040–2069 kesä	-17,7	-14.9
2040–2069 syksy	-6,7	-17.4
2070–2099 talvi	42,4	13.2
2070–2099 kevät	22,2	22.6
2070–2099 kesä	-19,6	-12.3
2070–2099 syksy	-8,6	-17.6



Kuva 15. Simuloitu vuorokauden keskivirtaamat (mediaanivirtaamat) jaksoilla 1991–2020, 2020–2049, 2040–2069 ja 2070–2099 Kemijoessa Valajaskoskella (ylin), Lieksanjoessa (keskellä) ja Kymijoessa Anjalankoskella (alin) SSP2-4.5-skenaarion mukaan (yhdeksän ilmastomallin mediaanien keskiarvo).

3.5 Tulvien ja alivirtaamien muuttuminen

Tulvien muutoksia tarkasteltiin vain alustavalla karkealla tavalla. Tarkempi tarkastelu vaatisi ääriarvojen muutoksen parempaa huomiointia, tilastollisten menetelmien soveltamista ja järvien säännöstelyn parempaa optimointia. Tuloksia voi kuitenkin käyttää suuntaa antavina arvioina pienten ja keskikokoisten tulvien mahdollisista muutoksista. Erittäin harvinaisten suurtulvien, joita käytetään esimerkiksi patojen mitoituksessa, muutosten arviointiin näitä tuloksia ei tulisi käyttää, sillä suurtulvat voivat käyttäytyä eri lailla kuin yleisemmät tulvat (Jakkila ym. 2025).

Tulosten mukaan Kemijoella tulvat pääosin pienenevät ilmastonmuutoksen vaikutuksesta johtuen vähenevästä lumen määrästä (Kuvat 16 ja Kuva 19) etenkin jaksosta 2040–2069 alkaen. Jaksolla 2020–2049 Kemijoen tulvat voivat yhä pysyä nykyisen suuruisina ja suuret kevättulvat ovat yhä yleisiä. Tulvat keskimäärin aikaistuvat touko-kesäkuun vaihteesta toukokuulle, jopa huhtikuulle, erityisesti vuosisadan loppupuolella. Kymmenen tarkastellun skenaarion joukossa on myös joitain skenaarioita, joissa tulvat pysyvät kutakuinkin nykyisen suuruisena. Ääriarvojen parempi huomiointi saattaisi lisäksi kasvattaa tulevaisuuden tulvien suuruuksia. Suuriin tulviin täytyy siis jatkossakin edelleen varautua. Aieman kevättulvan lisäksi kaikissa skenaarioissa syksyn ja alkutalven tulvat (marras-joulukuussa) kasvavat. Runsassateisimmissä skenaarioissa myös kesän rankoista sateista aiheutuvat tulvat kasvavat.

Lieksanjoella tulosten mukaan tulvat pysyvät suurimmalla osalla skenaarioita nykyisen suuruisena tai pienenevät (Kuva 17). Myös täällä kevään tulvat pienenevät, ja syksyn ja talven, joillain skenaarioilla myös kesän tulvat kasvavat. Kaikkein runsassateisimmilla skenaarioilla tulvat voivat jopa hieman kasvaa.

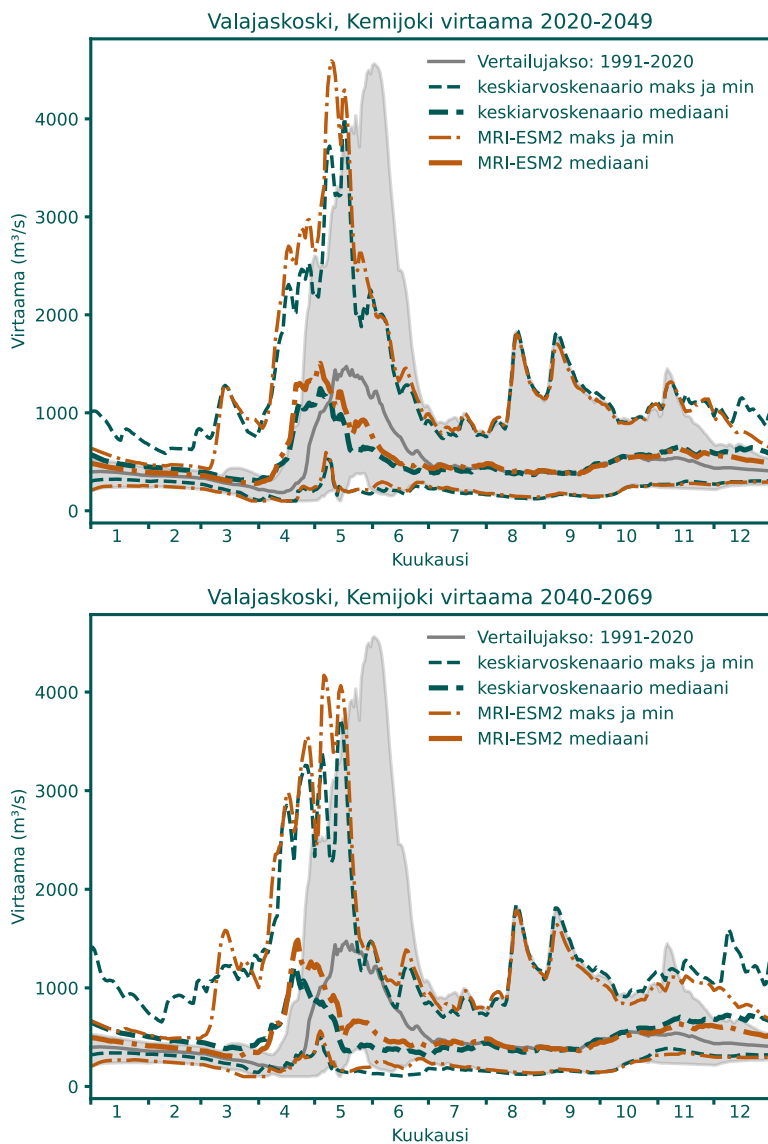
Kymijoella (Kuva 18) suurimmat virtaamat ovat vertailujaksolla varsin erilaisia kuin Kemi- ja Lieksanjoella. Suuria virtaamia esiintyy tasaisesti ympäri vuoden, erityisesti marras-huhtikuussa ja johtuen alueen runsaasta järvisyydestä ja eteläisemmästä sijainnista kevään lumensulamisesta aiheutuvat tulvat eivät ole muiden vuodenaikojen tulvia suurempia. Kymijoella talven tulvat kasvavat selvästi ja tulvien suuruus keskimäärin kasvaa ilmastonmuutoksen vaikutuksesta. Runsassateisimmilla skenaarioilla etenkin jaksolla 2070–2099 tulvien kasvu on suurta, mutta myös keskimääräisillä skenaarioilla tulvat kasvavat jonkin verran.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksesta hyydetulvien riski todennäköisesti kasvaa (Aaltonen ym. 2010). Kymijoessa hyyteen muodostuminen on hyvin yleistä ja sitä on esiintynyt joessa hyvin usein viime vuosina. Kymijoella hyyteen muodostumisen riski todennäköisesti jatkuu lähitulevaisuudessa. Vuosisadan loppupuolella lämpötilojen nousu on alueella jo niin voimakasta, että hyyteen syntyy tarvittavat kovat pakkaset muuttuvat selkeästi harvinaisemmiksi, jolloin pitkällä aikavälillä hyydetulvariski Kymijoella voi vähetä. Kemijoella hyyteen muodostuminen ja hankalat jääolot olivat aikaisemmin harvinaista, mutta viime vuosina ne ovat yleistyneet myös siellä. Virtaamien kasvaminen ja jääkannen synnyn myöhentyminen tulevat todennäköisesti lisäämään hyydetulvien ja jäähän liittyvien ongelmien riskiä Kemijoen alueella.

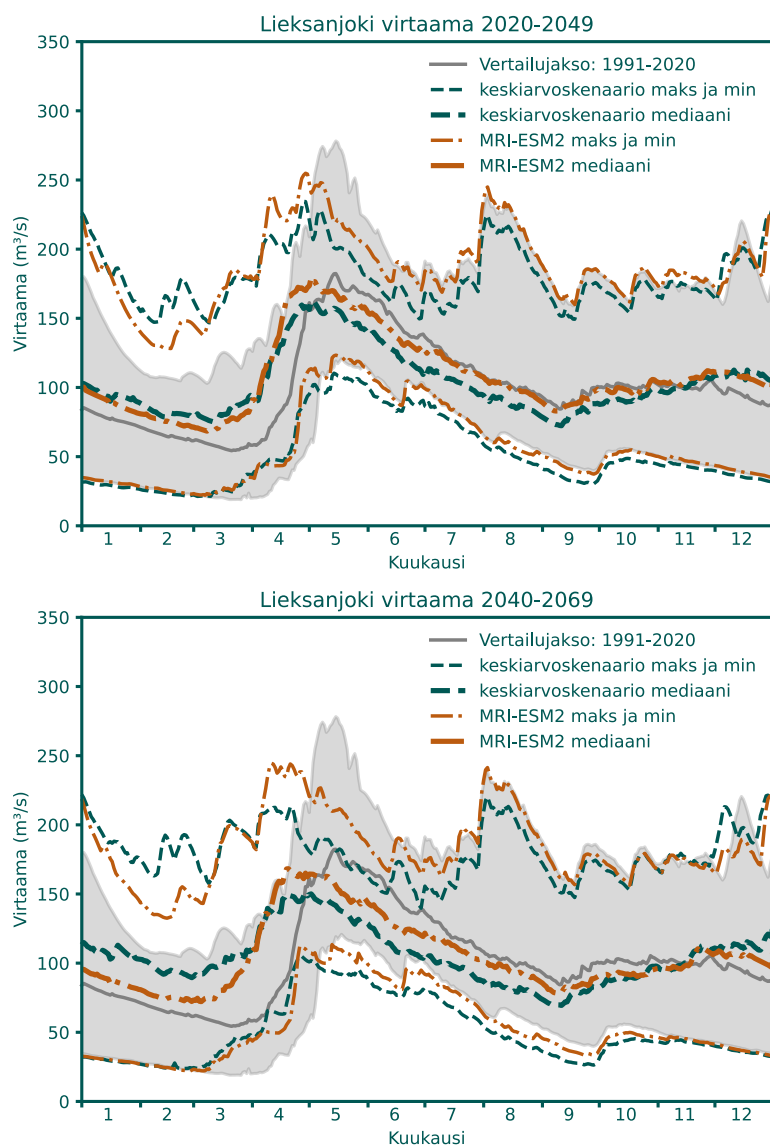
Hyydetulvien lisäksi myös suuret jääpeitekauden virtaamat voivat rikkoa joen jääpeitteen talven aikana ja siten lisätä jääpatojen syntymisen riskiä (Uusikivi ja Vehviläinen 2017). Kuten kuvasta 16 näkyy, suurien jääpeitekauden aikaisten virtaamien mahdollisuus kasvaa selkeästi kaikilla ilmastoskenaarioilla. Nyt tehdyissä simuloinneissa ei ole erikseen yritetty välttää talvikauden suuria virtaamia säännöstelyn avulla. Säännöstelemällä Kemijärveä talvikaudella siten, että virtaamat pidetään pienempinä ja vastaavasti Kemijärven pinnan annetaan nousta korkeammalle, voidaan vähentää jäiden lähdestä aiheutuvaa riskiä (Uusikivi ja Vehviläinen 2017). Jatkossa Kemijärven virtaamia voidaan joutua entistä useammin rajoittamaan sekä jääkannen aikaansaamiseksi Kemijoessa että virtaaman kasvun rajoitta-

miseksi, jotta jo syntynyt jääkansi säilyy. Tämä voidaan joinain vuosina toteuttaa nykyisten lupaehtojen puitteissa, mutta joinain vuosina se voi vaatia poikkeamista lupaehtojen mukaisesta kevään vedenkorkeuksien alentamisesta.

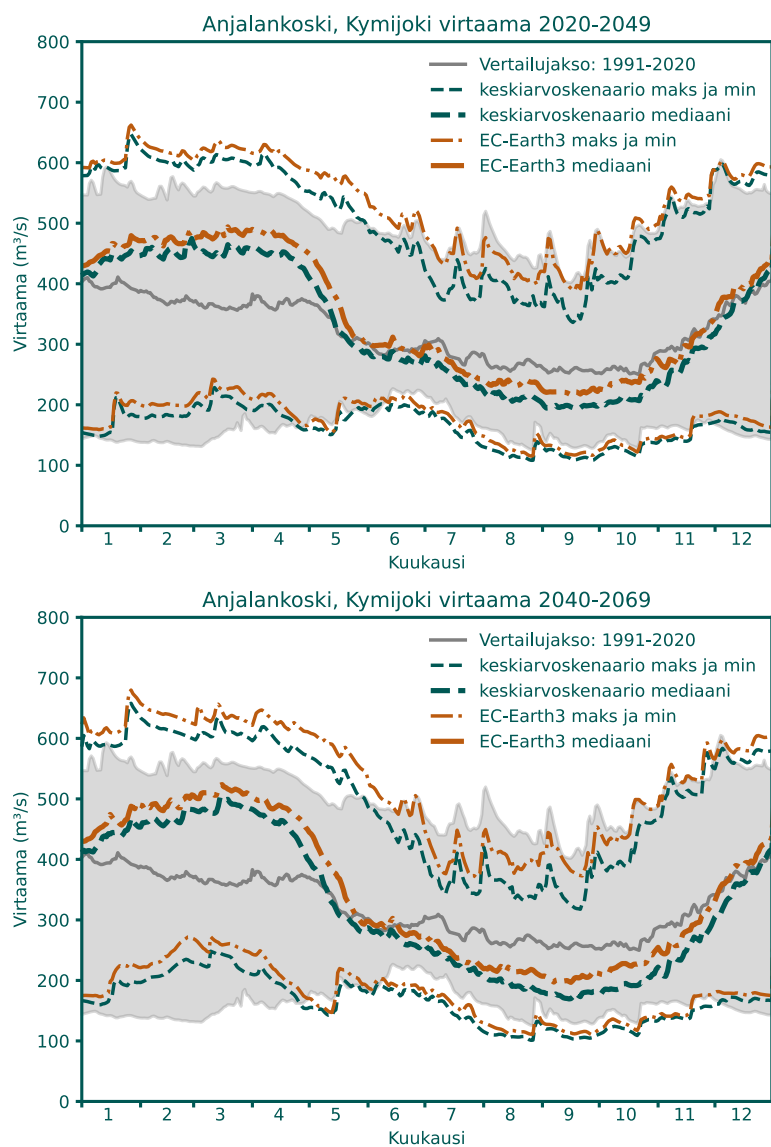
Kuvista 16–19 nähdään myös, että kesän virtaamat keskimäärin pienevät ja kesän alivirtaamat pienenevät kaikissa vesistöissä. Kesän kuivuuden riski siis kasvaa ilmastonmuutoksen myötä suurimmalla osalla skenaarioita. Tämä johtuu vähäisemmästä lumimäärästä, aikaisemmasta kevään alusta ja pidemmästä kesästä sekä suuremmasta haihdunnasta. Kesän virtaamien pieneminen voi aiheuttaa haasteita järvien säännöstelylle. Kun kevät aikaistuu ja kesän virtaamat pienenevät tulee järvet saada kesän virkistyskäytön ja muun käytön kannalta suotuisalle tasolle riittävän ajoissa, ennen kun tulovirtaamat pienenevät liikaa. Tämä voi vaatia muutoksia järvien säännöstelykäytäntöihin tai säännöstelylupiin (Dubrovin ym. 2015).



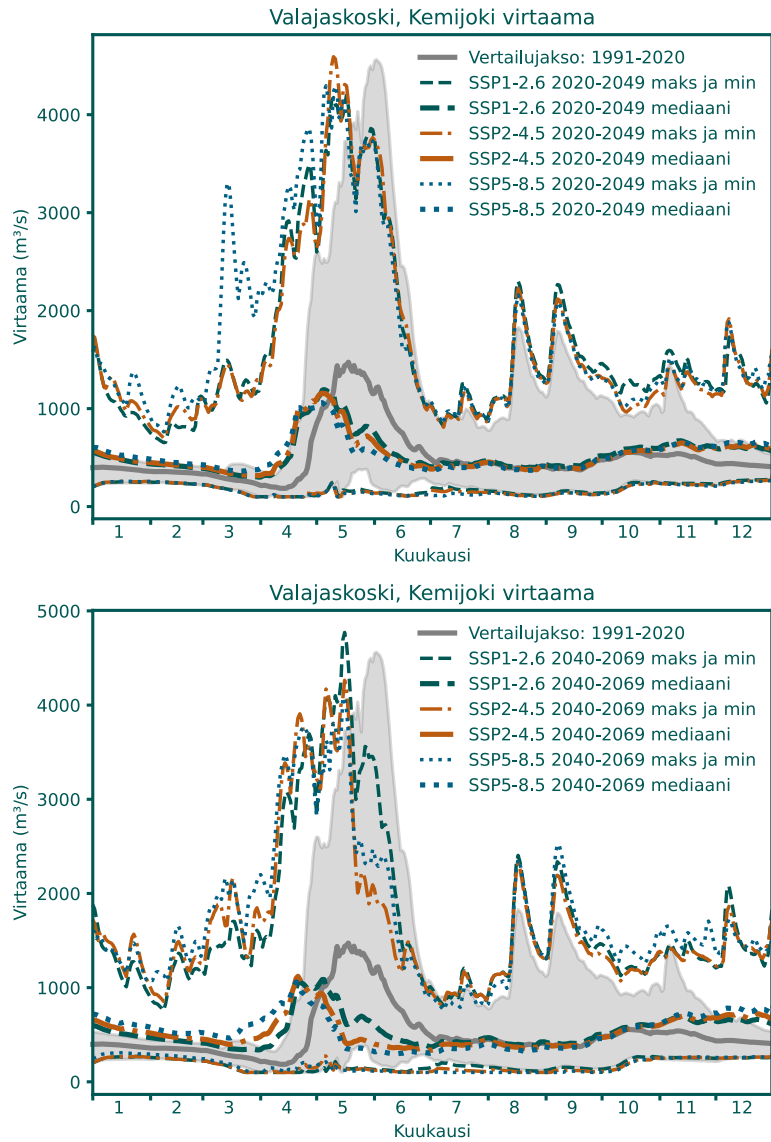
Kuva 16. Simuloidut maksimi-, minimi- ja keskivirtaamat (mediaani) Kemijoen Valajaskoskella vertailujaksolla 1991–2020 ja jaksolla 2020–2049 (ylempi) ja 2040–2069 (alempi) SSP2-4.5-skenaarion keskiarvoskenaariolla (9 mallin keskimääräiset muutokset lämpötilassa ja sadannassa) ja keskimääräiseen verrattuna kylmällä skenaariolla (MRI-ESM2, SSP2-4.5).



Kuva 17. Simuloidut maksimi-, minimi- ja keskivirtaamat (mediaani) Lieksanjoella vertailujaksolla 1991–2020 ja jaksolla 2020–2049 (ylempi) ja 2040–2069 (alempi) SSP2-4.5-skenaarion keskiarvoskenaariolla (9 mallin keskimääräiset muutokset lämpötilassa ja sadannassa) ja keskimääräiseen verrattuna kylmällä skenaariolla (MRI-ESM2, SSP2-4.5).



Kuva 18. Simuloidut maksimi-, minimi- ja keskivirtaamat (mediaani) Anjalankoskella, Kymijoella vertailujaksolla 1991–2020 ja jaksolla 2020–2049 (ylempi) ja 2040–2069 (alempi) SSP2-4.5-skenaariolla (9 mallin keskimääräiset muutokset lämpötilassa ja sadannassa) ja keskimääräiseen nähden runsassateisella skenaariolla (EC-Earth3, SSP2-4.5).



Kuva 19. Simuloidut maksimi-, minimi- ja keskivirtaamat (mediaani) Kemijoen Valajaskoskella vertailujaksolla 1991–2020 ja jaksolla 2020–2049 (ylempi) ja 2040–2069 (alempi) eri SSP-skenaarioilla. Keskiarvo yhdeksän mallin mediaaneista, maksimit ja minimi koko skenaariojoukon maksimit ja minimi (eli peräisin useasta eri malliajosta).

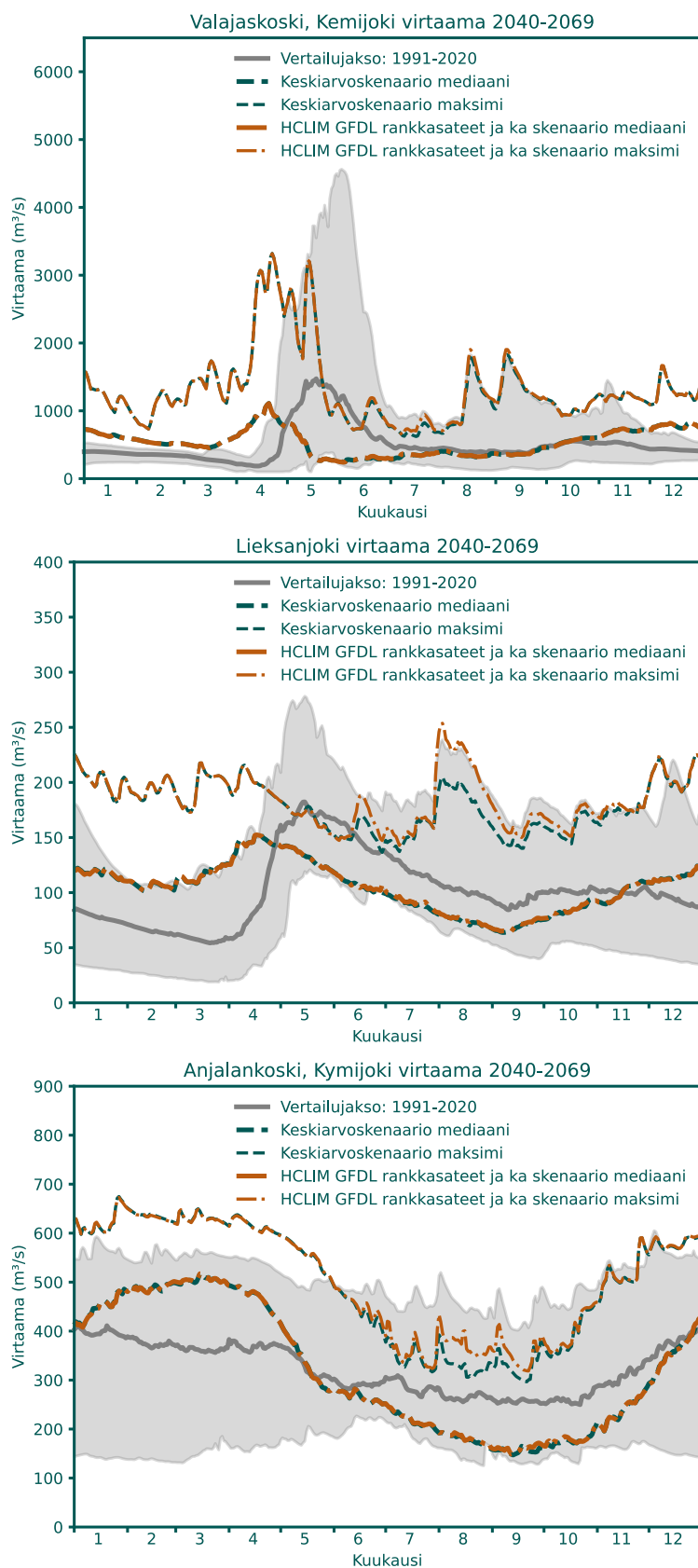
3.6 Virtaamat ja tulvat HCLIM

HCLIM-ilmastomallin tuloksia (taulukot 4–6, kuvat 9–11) kesän rankkojen sateiden muutoksesta käytettiin vesistömallin lähtötietoina arvioimaan vaikutusta virtaamiin. Koska vain kesän rankkoja sateita muutettiin osion 3.4 ja 3.5 tuloksista poikkeavasti, tulokset ovat pääosin samankaltaisia. Havaittavia eroja syntyy ainoastaan kesän maksimivirtaamissa, jotka syntyvät rankkasateiden vaikutuksesta.

Tarkastelut tehtiin kahdella jaksolla, vuosisadan puolivälissä (jakso 2040–2069, HCLIM-ilmastomallin jakso 2041–2060) ja vuosisadan lopulla (jakso 2070–2099, HCLIM-ilmastomallin jakso 2081–2100) ja kolmella skenaarioilla. Skenaarioista kahdella, HCLIM-ECE RCP4.5 ja HCLIM-ECE RCP8.5, erot laskettujen rankkasateiden muutoksen ja globaalien ilmastomallien sadannan muutosten välillä olivat melko pieniä. Joitain eroja näilläkin skenaarioilla on virtaamissa, mutta ne ovat hyvin pieniä. Niinpä virtaamien osalta keskitytään skenaarion HCLIM-GFDL RCP8.5, jonka tuloksissa oli suurimmat kasvut rankkasateissa. Tällä skenaariolla saadaan myös selkeimmät erot virtaamissa.

Kuvasta 20 nähdään, että rankkasateiden erilainen muutos verrattuna tavanomaiseen laskentaan, jossa kaikkia kuukauden sateita muutetaan samalla tavalla, tuottaa erilaisia arvoja ainoastaan kesän maksimivirtaamissa. Lieksanjoella kesätulvat kasvavat selkeästi ja ovat joillain skenaarioilla jopa vuoden suurimpia tulvia. Kymijoella kesätulvat kasvavat myös, mutta talven tulvat ovat useimmilla skenaarioilla niitä selkeästi suurempia. Kemijoella kesän tulvat ovat melko harvinaisia, eivätkä yllä kevään suurimpien tulvien tasolle. Kesän tulvat kasvavat kyllä rankkasateiden kasvaessa, mutta eivät koko vesistöalueen laajuudella aiheuta kovin suuria virtaamapiikkejä. Rankkasateiden aiheuttamat nopeat ja vaikeasti ennustettavat virtaamapiikit voivat kuitenkin aiheuttaa paikallisia ongelmia, esimerkiksi Kelukoskella Sattasjoen virtaama voi kasvaa nopeasti ja aiheuttaa nopean kasvun tulovirtaamissa. Myös Kymijoella välivirtaamat pienistä sivujoista voivat nousta suuriksi. Yleisemminkin rankkasateiden muutoksilla on suurimmat vaikutukset pienillä valuma-alueilla. Nämä tulokset perustuvat siis rankkasateiden suurta kasvua ennakoivaa skenaarioon, ja muilla kahdella skenaariolla (HCLIM-ECE RCP4.5 ja HCLIM-ECE RCP8.5) erot tavanomaiseen laskentaan ovat vielä pienempiä.

Etenkin suurilla valuma-alueilla harvinaisten rankkasateiden muuttuminen ei vaikuta tulviin yhtä paljon kuin pitempikestoisten sadantatapahtumien muuttuminen. Siten laskennoissa käytetty skenaario muiden kuin rankkasateiden muutokselle on usein vaikuttavampi kuin skenaario rankkasateiden muutoksille. Kuvassa 20 on käytetty ns. keskiarvoskenaariota eli yhdeksän globaalien mallin keskiarvoa muille kuin rankkasateille. Valitsemalla runsassateisemmän skenaarion voidaan saada tätä suurempia tulvia. Toisaalta ero tavanomaisten laskentojen ja HCLIM-ilmastomallin tuloksia käyttävien laskentojen välillä pienenee runsassateisimmilla skenaarioilla.



Kuva 20. Kemijoen, Lieksanjoen ja Kymijoen päivittäiset keskimääräiset (mediaani) ja maksimi virtaamat jaksolla 2040–2069 ja vertailujaksolla 1991–2020 simuloituna tavanomaisella sateiden muutoksella (keskiarvoskenaario SSP5-8.5) ja muuttamalla rankkasateita HCLIM-GFDL RCP8.5 skenaarion mukaan (suuret rankkasateiden kasvut) ja muita sateita saman keskiarvoskenaarion (SSP5-8.5) mukaan.

3.7 Vertailu aiempiin tuloksiin

Lämpötilan ja sadannan muutoksen osalta koko 28 mallin keskiarvot CMIP6 malleissa vastasivat varsin hyvin aiempia arvioita lämpötilan ja sadannan muutoksille, ottaen huomioon muuttunut vertailujakso (Taulukko 2 ja 3, Veijalainen ym 2018). Se sijaan hydrologisiin tarkasteluihin valituissa yhdeksässä mallissa oli hieman suurempia eroja. Lämpötilojen muutokset olivat nyt käytetyssä yhdeksässä skenaariosa jonkin verran suurempia kuin aiemmin.

Kun tuloksia virtaamien osalta verrataan vuonna 2018 tehtyihin vastaaviin simulointeihin (Veijalainen ym. 2018) ovat tulokset Kemijoella ja Lieksanjoella melko samankaltaisia (Taulukko 11). Nyt tehdyissä simuloinneissa käytettiin SSP-skenaarioita (CMIP6), kun taas 2018 tehdyissä skenaarioissa oli käytössä RCP-skenaariot (CMIP5) ja lisäksi vanhemmat versiot ilmastomalleista ja vesistömallista. Keski virtaamien muutokset eroavat toisistaan eniten Kymijoella, jossa tulevien jaksojen virtaamat ovat nyt tehdyissä laskelmissa pienempiä kuin aiemmin (Taulukko 11). Aiemmissa laskelmissa Kymijoen virtaamat kasvoivat 4–19 % eri jaksoilla, kun uusissa laskelmissa muutos on -1,5–6 %. Muissa vesistöissä erot ovat melko pieniä, mutta joitain eroja löytyy mm. jaksolla 2040–2069 RCP4.5 skenaariolla tehdyt laskelmat tuottivat suurempia kasvuja kuin vastaavat laskennat SSP2-4.5 skenaariolla. Kaikissa vesistöissä uusissa tuloksissa virtaamien muutokset olivat hieman pienempiä kuin 2018 laskelmissa. Lieksanjoella ero on suurin jaksolla 2070–2099.

Tulosten eroja selittävät erot ilmastoskenaarioissa ja vesistömallinnuksessa. Merkittävimpiä eroja ovat erot valikoiduissa ilmastomalleissa ja Vesistömallijärjestelmän erilaiset versiot (nyt käytössä WSFS-P versio). Skenaarioissa vaikuttaa paitsi erot CMIP5 ja CMIP6 skenaarioissa yleisesti, myös hydrologisissa tarkastelluissa nyt käytetty yhdeksän skenaarion joukko. Vaikka se pyrittiin valitsemaan vastaamaan suuremman skenaarion joukon keskimääräisiä tuloksia, niin yhdeksän skenaariota olivat hieman keskimääräistä (Taulukko 1 ja 2) lämpimämpiä ja joillain kasvihuonekaasuskenaarioilla ja jaksoilla myös hieman kuivempia. Tämä voi vaikuttaa tuloksiin ja osaltaan selittää aiempaa hieman pienempiä virtaamia. Erot skenaarion joukoissa eivät kuitenkaan olleet suuria. Eri vertailujakso 1991–2020 verrattuna aiempaan 1981–2010 voi myös selittää joitain eroja. Vesistömallinnuksessa vaikuttavat erityisesti uusi versio Vesistömallijärjestelmästä (WSFS-P), jossa on uudenlainen haihdunnan sekä lumen laskenta. Haihdunnan muuttuminen vaikuttaa kokonaisvirtaamaan ja erityisesti kesän virtaamiin. Lämpötilan jakauman muutos ja erilainen lumimalli voivat hieman vaikuttaa lumen kertymisen ja sulamisen laskentaan. Katso myös seuraava kappale mallinnuksen epävarmuuksista.

Taulukko 11. Kemijärven tulovirtaaman ja Valajaskosken, Lieksanjoen ja Kymijoen virtaamien muutos jaksoilla 2020–2049, 2040–2069 ja 2070–2099 nyt tehdyissä laskennoissa (taulukot 7 ja 8) verrattuna jaksoon 1991–2020 ja vuonna 2018 tehdyissä laskennoissa (Veijalainen ym. 2018) verrattuna jaksoon 1981–2010

Jakso ja vuodenaika	Kemijärvi tulovirtaama	Valajaskoski virtaama	Lieksanjoen virtaama	Kymijoen virtaama
2020–2049 SSP1-2.6 1991–2020	6,1	6,7	3,0	2,0
2020–2049 SSP2-4.5 1991–2020	3,7	4,4	1,6	0,2
2020–2049 SSP5-8.5 1991–2020	4,9	5,1	3,2	1,3
2020–2049 RCP2.6 1981–2010	4,3	4,0	3,1	4,8
2020–2049 RCP4.5 1981–2010	4,4	4,1	2,2	3,6
2020–2049 RCP8.5 1981–2010	5,8	5,5	5,2	6,8
2040–2069 SSP1-2.6 1991–2020	6,2	6,9	5,9	3,5
2040–2069 SSP2-4.5 1991–2020	4,9	5,5	2,9	-1,5
2040–2069 SSP5-8.5 1991–2020	6,2	6,8	2,8	-1,0
2040–2069 RCP2.6 1981–2010	5,2	4,9	4,0	4,6
2040–2069 RCP4.5 1981–2010	6,1	5,8	4,5	6,2
2040–2069 RCP8.5 1981–2010	10,5	10,0	8,3	10,5
2070–2099 SSP1-2.6 1991–2020	3,5	3,9	1,8	-0,4
2070–2099 SSP2-4.5 1991–2020	7,4	7,8	3,1	0,7
2070–2099 SSP5-8.5 1991–2020	16,1	17,3	12,1	3,8
2070–2099 RCP2.6 1981–2010	5,3	5,0	4,2	5,8
2070–2099 RCP4.5 1981–2010	9,3	8,9	8,0	11,7
2070–2099 RCP8.5 1981–2010	17,4	16,7	14,8	19,0

4 Ilmastoskenaarioiden epävarmuustekijät

Tulevaisuuden ilmastomuutosta koskeviin arvioihin liittyy aina epävarmuuksia. Ilmaston lämpenemisen perusmekanismit ja ihmisen vaikutus ilmastoon tunnetaan hyvin, mutta muutosten tarkka suuruus, alueellinen jakautuminen ja aikataulu sisältävät epävarmuutta. Epävarmuudet voidaan jakaa seuraavasti.

1. Luonnollinen vaihtelu. Suomen ilmastolle on ominaista suuri luontainen vaihtelu, joka voi lyhyillä aikaväleillä peittää alleen ilmastomuutoksen aiheuttaman trendin. Tämän vuoksi ilmastollisia muutoksia tarkastellaan tyypillisesti 30 vuoden keskiarvoina, mikä tasoittaa vuosien välistä vaihtelua ja tuo esiin pidempiaikaiset muutokset.

2. Erot ilmastomalleissa. Ilmastomuutoksen arviointi perustuu useisiin globaaleihin ilmastomalleihin, jotka kuvaavat ilmastojärjestelmää hieman eri tavoin. Mallien välillä on eroja esimerkiksi siinä, miten ilmakehän, merien ja maanpinnan prosesseja yksinkertaistetaan laskennan mahdollistamiseksi. Kaikki mallit eivät myöskään kuvaa Suomen alueellisia ilmasto-olosuhteita yhtä tarkasti. Tämän vuoksi analyyseissä pyritään hyödyntämään usean mallin joukkoa, joka on valittu ja validoitu kuvaamaan mahdollisimman luotettavasti Suomen ilmastoa.

3. Kasvihuonekaasuskenaarioihin liittyvä epävarmuus. Suurin epävarmuuden lähde liittyy tulevaan kasvihuonekaasupäästöjen kehitykseen. Tämä riippuu globaaleista ilmastopoliittisista päätöksistä ja yhteiskunnallisesta kehityksestä, joita on hyvin vaikea ennustaa luotettavasti pitkälle tulevaisuuteen. Lähivuosikymmeninä eri kasvihuonekaasuskenaariot tuottavat keskenään melko samansuuntaisia tuloksia, mutta vuosisadan jälkipuoliskolla erot kasvavat huomattavasti. Suurten päästöjen skenaarioissa lämpeneminen ja muut ilmastovaikutukset voivat olla selvästi voimakkaampia, mikä lisää myös ilmastoriskejä. Tämän hetken ymmärryksen mukaan vaikuttaa epätodennäköiseltä, että pienimpien päästöjen SSP1-2.6-skenaarion saavuttamiseksi tarvittavat hillintätoimet voitaisiin toteuttaa. Vastaavasti ottamalla huomioon jo käytössä olevat päästövähennystoimet, erittäin korkeiden päästöjen skenaario SSP5-8.5 vaikuttaa epätodennäköiseltä. Keskimääräisten päästöjen skenaariot, kuten SSP2-4.5 voisivat siten olla realistisimpia, mutta epävarmuus päästöjen kehitykseen liittyen on yhä suurta.

4. Mahdolliset äkilliset muutokset ja keikahduspisteet. Ilmastojärjestelmään liittyy myös niin sanottuja keikahduspisteitä, joiden ylittyminen voi johtaa nopeisiin ja epälineaarisiin muutoksiin. Tällaiset ilmiöt lisäävät epävarmuutta pitkän aikavälin arvioissa. Viime aikoina keskustelua on herättänyt Atlantin meridionaalinen kierto (AMOC), jonka osan Golf-virta on. AMOC kuljettaa lämpöä tropiikista pohjoiseen ja on Pohjois-Euroopan leudon ilmaston kannalta keskeinen tekijä. Kiertoliikkeen merkittävä heikkeneminen voisi vaikuttaa Pohjolan ilmastoon voimakkaasti. Nykykäsityksen mukaan tällainen kehitys on kuitenkin tällä vuosisadalla epätodennäköinen, mutta aiheeseen liittyen tehdään parhailaan jatkuvasti lisää tutkimusta.

Yllä kuvatuista epävarmuuksista huolimatta keskeinen viesti on selvä: ilmasto lämpenee ja hydrologinen kierto voimistuu kaikissa tarkastelluissa skenaarioissa. Epävarmuudet koskevat ennen kaikkea muutosten suuruutta, eivät niiden suuntaa.

Rankkasateiden osalta tämän raportin tulokset perustuvat vain yhteen ilmastomalliin, mikä lisää epävarmuutta. Kesäiset rankkasateet ovat usein pienialaisia ja lyhytkestoisia, ja niiden osuminen tietylle tarkastelualueelle on melko sattumanvaraista. Vaikka runsaimmat sateet ovat keskimäärin voimakkaimpia keskikesän kuukausina ja niiden esiintymistodennäköisyys suurempi Suomen eteläisellä kuin pohjoisella puoliskolla, voi yksittäisiä voimakkaita rankkasadetapauksia kuitenkin esiintyä yhtä hyvin myös Suomen pohjoisosissa ja alku- ja loppukesällä, esiintymistodennäköisyys on vain pienempi.

Aluekeskiarvot soveltuvat siis yleisten ilmastomuutossignaalien arvioimiseen, mutta yksittäisessä pisteessä muutoksen suuruus tai suunta voi olla erilainen.

Vesistömallinnuksessa epävarmuustekijöitä ovat lähtötietoina käytetyt ilmastoskenaariot (ilmastomallit, kasvihuonekaasuskenaariot, luontainen vaihtelu), vesistömallinnus (mallin yhtälöt, oletukset ja parametrit) ja käytettävät menetelmät ilmastomuutoksen mallintamisessa.

Tuloksiin virtaamien muutoksesta vaikuttaa ilmastoskenaarioiden lisäksi käytetty menetelmä ilmastosignaalin siirtämiseen ilmastomalleista hydrologiseen malliin. Käytetty delta change-menetelmä on varsin yksinkertainen ja sen tuloksiin vaikuttaa valittu vertailujakso, joka oli nyt 1991–2020. Simuloinneissa ilmastomuutoksen vaikutuksia tarkastellaan muuttamalla tämän jakson sademäärää ja lämpötilaa, joten vertailujakson olosuhteet vaikuttavat saatuihin tuloksiin. Erityisesti ääriolosuhteet kuten tulvat ja kuivuudet ovat herkkiä sille, miten niitä on vertailujaksolla esiintynyt.

Tarkastelussa käytettiin myös ns. lämpötilasta riippuvaa lämpötilan muutosta, joka muuttaa lämpötilan jakaumaa. Nyt tehdyissä simuloinneissa ilmastomallien perusteella arvioitu jakauman muutos ei kuitenkaan suurimmassa osassa skenaarioita ollut talvella yhtä voimakas kuin aiemmin, mikä osaltaan vaikutti lumen määrän voimakkaaseen vähenemiseen. Lumen sulanta on erityisen herkkää lämpötilojen muutoksille nollan asteen tienoilla. Lisätutkimusta tarvitaan siitä, onko muutos lämpötilojen jakauksessa realistinen vai tuleeko se muuttumaan esim. uusien alueellisten ilmastomallien tulosten myötä. On mahdollista, että mallinnus voi olla liian herkkä ja siten yliarvioi lumen sulamista talvikaudella.

Hydrologinen malli sisältää myös merkittäviä epävarmuuksia liittyen käytettyihin prosessikuvauksiin, yhtälöihin ja parametreihin. Uusi entistä fysikaalisempi WSFS-P malli eroaa jonkin verran aiemmissa simuloinneissa käytetystä WSFS-O mallista, tosin ero malliversioiden välillä oli pienempi kuin erot eri ilmastoskenaarioiden välillä. Erityisesti haihdunnan muuttuminen ilmastomuutoksen vaikutuksesta ja lumen vähenemisen herkkyyks ovat asioita, jotka vaikuttavat sekä kokonaisvirtaamiin että virtaamien vuodenaikaisiin jakaumiin. Haihdunnan laskenta perustuu nyt Penman-Monteith yhtälöön ja vaihtelee maalajeista ja maankäytöstä riippuen. Aiemmasta poiketen haihdunnan laskennassa huomioidaan myös tuulen nopeuden ja ilmankosteuden muuttuminen. Mallissa on oletettu maankäytön ja kasvillisuuden pysyvät nykyisen kaltaisena myös tulevilla jaksoilla.

Ääriarvot ovat erityisen herkkiä käytetyille lähtötiedoille ja tehdyille oletuksille. Tulvien muuttumisesta tulokset antavatkin lähinnä yleiskuvan pienten ja keskisuurten tulvien keskimääräisistä muutoksista. Esimerkiksi patojen mitoituksessa käytettävät erittäin harvinaiset mitoitustulvat voivat muuttua erilailla kuin yleisemmät tulvat ja niiden muutoksia tulisi tarkastella erikseen.

5 Johtopäätökset

Ilmastomuutoksen vaikutukset näkyvät Suomen ilmastossa ja vesistöissä entistä selkeämmin. Monet aiemmissa tutkimuksissa ja julkaisuissa keskustellut tulevaisuuden kehityskulut kuten vähälumiset talvet, aikaiset keväät ja jääpeitteen muuttuminen epävakaisemmaksi ovat jo viime vuosina tapahtuneet joissain osissa Suomea. Ilmastomuutoksen vaikutusten arvioidaan entisestään lisääntyvän lähivuosikymmeninä. Epävarmuudet liittyen päästöjen kehitykseen, muutosten suuruuteen, erilaisiin takaisinkytkentöihin ja keikahduspisteisiin ja erityisesti ääriarvojen muuttumiseen ovat kuitenkin yhä merkittäviä.

Ilmastomuutoksen seurauksena lämpötilat nousevat ja sadannat keskimäärin kasvavat tarkastelluilla alueilla. Ennakoidut lämpötilan ja sadannan keskimääräiset kasvut ovat pääosin varsin samanlaisia kuin aiemmissa arvioinneissa. HCLIM-ilmastomallin tulosten perusteella ilmaston lämmetessä Lieksanjoen, Kymijoen ja Kemijoen ympäristössä runsaimmat sateet yleisesti voimistuisivat jonkin verran vuosisadan keskiosiin ja loppuosiin mentäessä.

Simuloidut keskivirtaamien tulevat muutokset ovat maltillisia, keskivirtaamat pääosin kasvavat. Kasvu on suurempaa Pohjois-Suomessa Kemijoen vesistössä kuin etelämpänä Lieksan- ja Kymijoen vesistöissä. Erityisesti Kymijoen vesistössä keskivirtaamien kasvu on pientä ja joillain skenaarioilla ja jaksoilla keskivirtaama jopa hieman pienenee. Muutokset eri vuodenaikojen virtaamissa ovat suuria. Erityisesti vuosisadan lopulla ja korkeimpien päästöjen SSP-skenaarioissa muutokset talven olosuhteissa ja lumen määrässä ovat valtavia ja johtaisivat todennäköisesti myös laajempiin muutoksiin yhteiskunnassa, ekosysteemeissä ja vesistöissä. Myös mahdolliset muut heijastevaikutukset ja keikahduspisteet ilmastossa käyvät entistä todennäköisemmäksi korkeilla päästöillä ja siten tulosten epävarmuudet kasvavat.

Aiempaan 2018 tehtyyn raporttiin (Veijalainen ym. 2018) nähden yleiskuva ilmastomuutoksen vaikutuksista on säilynyt ennallaan. Joitain erojakin löytyy, esimerkiksi Kymijoen kokonaisvirtaamat eivät nyt tehdyissä laskelmissa kasva yhtä paljon kuin aiemmin ja talven virtaamien kasvu on hieman suurempaa kuin aiemmin. Osa erosta voi myös johtua hydrologisiin laskentoihin valituista yhdeksästä ilmastomallista, joiden keskimääräinen lämpötila oli hieman korkeampi kuin meteorologisissa arvioissa käytettyjen 28 mallin keskiarvo.

Ilmastomuutoksen vaikutukset virtaamiin ja siten myös vesivoiman tuotantoon lisääntyvät tulevaisuudessa. Aikaiset keväät, vähälumiset vuodet ja kesän kuivuus tulevat lisääntymään. Myös lauhat ja runsassateiset talvet tulevat lisääntymään ja voivat aiheuttaa tulvariskejä etenkin Etelä-Suomessa. Hyydetulvien riskin on arvioitu lähitulevaisuudessa kasvavan talven virtaamien kasvaessa ja jääolojen muuttuessa epävakaisemmiksi.

Ilmastoskenaarioiden tarkastelussa on kuitenkin hyvä muistaa, että vuosien välinen vaihtelu säilyy jatkossakin ja voi myös entisestään lisääntyä. Myös runsaslumisia talvia esiintyy vielä tulevaisuudessa-kin ja etenkin Lapissa vielä pitkälle tulevaisuuteen asti. Vuosien välisen vaihtelun lisääntyminen tuo haasteita vesitilanteen pitkän aikavälin ennustamiseen ja suunnitteluun.

Virtaamien ajoituksen muutos ja vuosien välinen vaihtelu haastavat myös järvien säännöstelyjä, joissa voi olla tarvetta entistä suuremmalle joustavuudelle eri vuosien välillä. Joissain tapauksessa sopeutuminen voi vaatia menneeseen hydrologiaan sidottujen säännöstelylupien muuttamista, mutta tämä riippuu paljon nykyisten säännöstelylupien määrittelystä ja sen joustavuudesta (Dubrovin 2015). Etelä-Suomessa muutostarpeet ovat yleensä ajankohtaisia aiemmin kuin Pohjois-Suomessa. Entistä joustavammat säännöstelyluvut ovat sopeutumisen kannalta tarpeen, mutta vaativat myös säännöstelijältä osaamista vesitilanteen ja vesistöennusteiden tulkinnassa ja varautumisessa. Vesivoiman varautuminen ja resilienssi muuttuvissa olosuhteissa korostuvatkin tulevaisuudessa entisestään.

Lähteet

- Aalto, J., Pirinen, P. & Jylhä, K. 2016. New gridded daily climatology of Finland: Permutation-based uncertainty estimates and temporal trends in climate. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(8), 3807–3823.
- Andréasson, J., Bergström, S., Carlsson, B., Graham, L. & Lindström, G. 2004. Hydrological change – climate change impact simulations for Sweden. *Ambio* 33(4): 228–234.
- Arnell, N.W. 1999. The effect of climate change on hydrological regimes in Europe: a continental perspective. *Global and Environmental Change* 9(1): 5–23.
- C3S/ECMWF & WMO, 2026: C3S-WMO European State of the Climate 2025, climate.copernicus.eu/ESOTC/2025, doi.org/10.24381/zy93-sb27
- Dubrovin, T. 2015. Sopeutumistarve ilmastonmuutokseen vesistöjen säännöstelyssä. Suomen ympäristökeskus. 14s. <https://vesi.fi/aineistopankki/wp-content/uploads/2022/02/Sopeutuminen-ilmastonmuutokseen-saannostelyssa-2015.pdf>
- EEA. 2024. European climate risk assessment. EEA Report 01/2024. Aafb392e03f04e99b0faac275b4498f5
- IPCC, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jakkila, J., Kumpumäki, M., Veijalainen, N., Sippel, K. & Myllyniemi, H. 2025. Vesistöpatojen mitoitustulvat muuttuvassa ilmastossa: Tarkastelut valikoiduilla padoilla Kymijoen, Kokemäenjoen sekä Pohjanmaan maakuntien vesistöissä. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 29/2025. <http://hdl.handle.net/10138/630058>
- Kolhinen, V., Huttunen, M., Jakkila, J., Havu, P., Menberu, M., Kumpumäki, M., Fazel, N., Koistinen, A., Vehviläinen, B. & Veijalainen, N. 2026. The development and validation of a national-scale process-based hydrological model for Finland. *Journal of Hydrology* 665, 134650. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.134650>
- Korhonen 2019. Long-term changes and variability of the winter and spring season hydrological regime in Finland. Doctoral thesis. University of Helsinki. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/298308>
- Lind, P., Belušić, D., Médus, E., Dobler, A., Pedersen, R. A., Wang, F., Matte, D., Kjellström, E., Landgren, O., Lindstedt, D., Christensen, O. B. & Christensen, J. H. 2023. Climate change information over Fenno-Scandinavia produced with a convection-permitting climate model. *Climate Dynamics*, 61(1): 519–541. doi: <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06589-3>
- Luomaranta, A., Virman, M., Rantanen, M., Hautala, J., Ruosteenoja, K. & Mäkelä, A. 2025. Sateisuuden havaittuja ja ennakoituja muutoksia Suomen maakunnissa. Ilmatieteen laitoksen Raportteja, 2025:2. <https://doi.org/10.35614/isbn.9789523362055>
- Médus, E., Thomassen, E. D., Belušić, D., Lind, P., Berg, P., Christensen, J. H., Christensen, O. B., Dobler, A., Kjellström, E., Olsson, J. & Yang, W. 2022. Characteristics of precipitation extremes over the Nordic region: added value of convection-permitting modeling, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 22: 693–711, doi: <https://doi.org/10.5194/nhess-22-693-2022>, 2022.
- Nasa, 2025. NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections (NEX-GDDP-CMIP6). <https://doi.org/10.7917/OFSG3345>
- Parjanne, A., Rytönen, A.-M. & Veijalainen, N., 2021. Framework for climate proofing of flood risk management strategies in Finland. *Water Security* 14, 100096. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2021.100096>
- 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. 2021. Projected climate change in Finland during the 21st century calculated from CMIP6 model simulations. *Geophysica* 56, 39–69.
- Ruosteenoja, K. 2021. Applicability of CMIP6 models for building climate projections for northern Europe. Finnish Meteorological Institute Reports 2021:7, Finnish Meteorological Institute, Helsinki. <https://doi.org/10.35614/isbn.9789523361416>

- Ruuhela, R., Pirinen, P., Lehtonen, I., Lakkala, K., Räisänen, P., Rantanen, M., Virman, M., Aalto, J., Luhtala, S., Kivi, R., Karppinen, T., Tuomenvirta, H. & Gregow, H. 2025. Ilmastomuutos Lapissa – tietoja Lapin ilmasto- ja energiastrategiaan. Ilmatieteen laitoksen Raportteja 2025:3. <https://doi.org/10.35614/isbn.9789523362062>
- Tebaldi, C., Debeire, K., Eyring, V., Fischer, E., Fyfe, J., Friedlingstein, P., Knutti, R., Lowe, J., O'Neill, B., Sanderson, B., van Vuuren, D., Riahi, K., Meinshausen, M., Nicholls, Z., Tokarska, K. B., Hurtt, G., Kriegler, E., Lamarque, J.-F., Meehl, G., Moss, R., Bauer, S. E., Boucher, O., Brovkin, V., Byun, Y.-H., Dix, M., Gualdi, S., Guo, H., John, J. G., Kharin, S., Kim, Y., Koshiro, T., Ma, L., Olivié, D., Panickal, S., Qiao, F., Rong, X., Rosenbloom, N., Schupfner, M., Séférián, R., Sellar, A., Semmler, T., Shi, X., Song, Z., Steger, C., Stouffer, R., Swart, N., Tachiiri, K., Tang, Q., Tatebe, H., Voldoire, A., Volodin, E., Wyser, K., Xin, X., Yang, S., Yu, Y. & Ziehn, T. 2021. Climate model projections from the Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) of CMIP6, *Earth Syst. Dynam.*, 12, 253–293.
- Thrasher, B., Wang, W., Michaelis, A., Melton, F., Lee, T. & Nemani, R. 2022. NASA Global Daily Downscaled Projections, CMIP6. *Nature Scientific Data*, 9 (254), <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01393-4>.
- Utriainen, L., Virman, M., Laakso, A., Ritvanen, J., Jylhä, K. & Merikanto, J. 2025. Less frequent but more intense summertime precipitation in Finland: results from a convection-permitting climate model. *Boreal Environment Research*, 30, 93–109.
- Uusikivi, J. & Vehviläinen, B. 2017 Kemijärven säännöstelyn kehittäminen muuttuvissa ilmasto-oloissa. Suomen ympäristökeskus. Julkaisematon raportti Lapin ELY-keskukselle.
- Veijalainen, N. 2012. Estimation of climate change impacts on hydrology and floods in Finland. Aalto University publication series. Doctoral dissertations 55/2012. ISBN 978-952-60-4613-6. <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/6319>
- Veijalainen, N., Ruosteenoja, K., Uusikivi, J., Mäkelä, A. & Vehviläinen, B. 2018. Ilmastomuutos ja virtaamien muuttuminen Kemi-, Kymi- ja Lieksanjoen alueilla. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 27/2018. Suomen ympäristökeskus. 44 s. ISBN 978-952-11-4972-6 (PDF) <http://hdl.handle.net/10138/255640>
- Veijalainen, N., Jakkila, J., Nurmi, T., Vehviläinen, B., Marttunen, M. & Aaltonen, J. 2012. Suomen vesivarat ja ilmastomuutos- vaikutukset ja sopeutuminen, WaterAdapt-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 16/2012. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=413480&lan=fi>

**Ilmastonmuutos ja virtaamien muuttuminen
Kemi-, Kymi- ja Lieksanjoen alueilla**
Vuoden 2026 arvio



Suomen ympäristökeskus
Finlands miljöcentral
Finnish Environment Institute

Teemme tiedolla toivoa.

ISBN 978-952-11-5874-2 (PDF)
ISSN 1796-1726 (verkkokj.)