

Ilmastomuutoslaskentojen kehitys vesistömallinnuksessa (Ilmakehitys)

Tausta

Ilmastomuutoksen vaikutuksia vesistöihin ja niiden kuormitukseen on tarpeen arvioida ilmastotoimia, ilmastomuutoksen sopeutumista ja maa- ja metsätalouden vesienhallintaa suunniteltaessa. Syken Vesistömallijärjestelmän (WSFS) simuloimia hydrologisia ja kuormitusskenaarioita ilmastomuutoksen vaikutuksesta käytetään mm. arvioitaessa tulvien, kuivuuden ja vedenlaadun tulevia muutoksia ja näiden vaikutuksia ilmastoriskeihin ja sisävesien kuormitukseen ja ekologiin olosuhteisiin sekä hiilen kiertoon. Hydrologiset skenaariot ja kuormitusskenaariot ovat myös oleellisia lähtötietoja ilmastomuutoksen sopeutumisen edistämiseksi ja niitä käytetään mm. maankäytön tehokkaita toimenpiteitä ja maa- ja metsätalouden vesienhallintaa suunniteltaessa ja järvien säännöstelylupien muuttamiseksi ja pidätysalueita suunniteltaessa. Ilmastomuutoksen vaikutukset vesien kuormitukseen ja tulva- ja kuivuusriskeihin ovat keskeisiä kysymyksiä vesien hoidossa, tulvariskien hallinnassa ja maankäytön suunnittelussa ja tarpeen mm. ja vesipuute- ja tulvadirektiivien raportoinnissa.

IPCC:n kuudes arviointiraportti julkaistiin vuonna 2021 (IPCC 2021). Sen jälkeen julkaistiin myös uudet ilmastoskenaariot, jotka hyödyntävät sosio-ekonomisiin oletuksiin pohjautuvia uusia päästöskenaarioita (SSPs=Shared Socio-economic Pathways, Meinshausen et al. 2020) ja uusimpia globaaleja ilmastomalleja. Tätä uutta ilmastoskenaarioryhmää kutsutaan nimellä CMIP 6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6, IPCC 2021, Tebaldi et al. 2021) ja se on nyt korvaamassa aiempia IPCC:n 5 arviointiraportin yhteydessä tehtyjä CMIP5 skenaarioita, jotka ovat tällä hetkellä käytössä mm. Sykessä. Ilmatieteen laitoksen vertailuissa (Ruosteenoja ja Jylhä 2021) uudet CMIP6 ilmastoskenaariot olivat monilta osin samankaltaisia kuin aiemmat skenaariot, mutta sisälsivät eroja erityisesti aiempaa korkeampina kesän lämpötiloina, jolla voi olla vaikutusta erityisesti kuivuuden muutosten arvioinnissa.

Lisäksi uudet paremman mittakaavan ilmastomallit ovat osoittaneet (Utrianen 2023) että erityisesti kesän rankkasateet kasvavat huomattavasti enemmän kuin keskimääräiset sateet. Nykyisin Sykessä yleisemmin käytössä olevilla menetelmillä sateita kuitenkin muutetaan kuukausittain vakioarvolla eikä ääriarvojen suurempaa muutosta näin huomioida. Rankkasateiden muutoksen huomioimista hydrologisissa laskennoissa olisi tarpeen kehittää etenkin pienten valuma-alueiden tulvien muutosten arviointia ajatellen. Ääriarvojen mallintaminen sekä epävarmuuksien huomioiminen ovat tarpeen myös maankäyttösektorin ilmastotoimien suunnittelussa.

Työ tukee tulevia vesienhoidon suunnittelun ja tulvariskien hallinnan prosesseja sekä kansallisen ilmastomuutoksen sopeutumis suunnitelman (KISS2030) toimeenpanoa ja valuma-alue suunnittelun tiekartan toteuttamista. Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman (MISU) toteuttamista hanke hyödyttää tuottamalla tarpeellista tietopohjaa maankäytön tehokkaiden toimenpiteiden suunnittelua ja maa- ja metsätalouden vesien- ja kuormituksen hallintaa varten. Hanke hyödyttää ELY-keskusten ja Syken yhteisiä ilmastomuutokseen varautumiseen ja sopeutumiseen liittyviä ELY-Syke hankkeita, joissa tullaan käyttämään vuodesta 2025 alkaen uusia ilmastoskenaarioita. Hankkeessa hyödynnetään ja kehitetään aikaisempien hankkeiden tuloksia ja arviointimenetelmiä. Lisäksi hanke liittyy meneillään oleviin hankkeisiin kuten FUREG (Present and future hydrological regions, MVT ry), DIWA (Digital Water Flagship, SA) ja ja BlueLakes (järvien hiilensidonta ja CO₂ päästöt, SA).

Tavoite ja toteutus

Hankkeen tavoitteena on kehittää ilmastomuutoslaskentoja Syken Vesistömallijärjestelmässä niin, että taataan ajantasainen ja tarkoituksenmukainen ilmastotieto niin tulva- ja kuivuusriskien kuin kuormituksen muutosten arviointeihin sekä ilmastomuutoksen sopeutumistoimien ja maankäytön toimenpiteiden suunnittelun käyttöön. Myös ääriarvojen huomioimista ilmastomuutoslaskennoissa on tarkoitus kehittää.

Hankkeessa Vesistömallijärjestelmässä (WSFS, ml. WSFS-Vemala vedenlaatumalli) otettiin käyttöön uudet ilmastoskenaariot. IPCC:n kuudennen arviointiraportin ilmastoskenaariot (CMIP6, IPCC 2021, Tebaldi et al. 2021) otetaan käyttöön globaaleille ja/tai alueellisille ilmastomalleille, riippuen skenaarioiden saatavuudesta. Samalla päivitetään käytössä olevat jaksot (2020-49, 2040-69 ja 2070-99) ja referenssijaksot (1981-2010 ja 1991-2020). Tämä vaatii skenaarioiden lataamista, käsittelyä ja testaamista sekä niiden toiminnan vertaamista Vesistömallijärjestelmässä.

Lisäksi tavoitteena oli kehittää ääriarvojen huomioimista vesistömallinnuksessa ja tukea muita ilmastomuutoshankkeita ilmastoskenaarioiden ja ilmastomuutoslaskentojen osalta. Hanke sai rahoitusta Hiilestä kiinni rahoituksesta.

Hankkeen suunnitellut ja toteutuneet tuotokset vuonna 2024

Hankesuunnitelmassa hankkeelle listattiin neljä keskeistä tuotosta vuodelle 2024:

1. Uudet ilmastoskenaariot (CMIP6) ladattu, käsitelty ja otettu Vesistömallijärjestelmän käyttöön
2. Hydrologiset skenaariot uusilla ilmastoskenaarioilla valikoiduille valuma-alueille laskennan testaamiseksi
3. Testataan uutta vesistömallissa käytettävää menetelmää, jolla huomioida entistä paremmin ääriarvojen, erityisesti rankkojen kesäsateiden muutokset, ja otetaan se käyttöön ilmastolaskelmissa soveltuvien osien
4. Laaditaan Syken sisäiseen käyttöön ohjeet ilmastoskenaarioiden käyttöön

Näiden toteutuminen vuonna 2024

1. Uudet skenaariot on saatu Vesistömallijärjestelmän käyttöön
2. Valikoidut valuma-alueet ajettu uusilla skenaarioilla, lisäksi osalle skenaarioista on tehty ajot koko Suomelle. Tuloksia on tarkasteltu ja verrattu aiempiin tuloksiin.
3. Testaus uudelle sateiden jakauman muutosta paremmin huomioivalle menetelmälle on kesken. Ensimmäisiä tuloksia on laskettu pienelle valuma-alueelle, mutta menetelmän laajentaminen koko Suomeen on yhä työn alla. Tulokset testauksesta valmistuvat alkuvuodesta 2025, jolloin myös päätetään sen käyttöönotosta.
4. Ohjeiden laatiminen on kesken ja valmistuu alkuvuodesta 2025

Hankkeen suurimmat ja tärkeimmät osakokonaisuudet olivat kohdat 1 ja 2 ja ne saatiin toteutettua aikataulussa. Syitä hankkeen viivästymiseen olivat viiveet lähtötietoina tarvittavissa CMIP6 skenaarioissa sekä muiden projektien työt ja henkilöstövaihdokset. Alkuperäisessä suunnitelmassa parhaana vaihtoehtona oli käyttää Vesistömallijärjestelmässä alueellisten ilmastomallien (RCM) tuloksia uusilla CMIP6 skenaarioilla. Keväällä Sykestä oltiin yhteydessä SMHI:in, josta kerrottiin kyseisten ajojen SMHI:n alueellisella ilmastomallilla olevan työn alla ja mahdollisesti valmistuvan syksyllä. Syksyllä ajot eivät kuitenkaan olleet valmiina projektin aikatauluun sopivasti, joten vaihtoehtoisena ratkaisuna päätettiin käyttää toisia ilmastoskenaarioita. Valittu data oli Ilmatieteen laitoksen suosituksen mukaisesti NASAn skaalaama ja korjaama globaalien ilmastomallien CMIP6 data. Kyseisen datan resoluutio on hieman pienempi kuin alueellisten ilmastomallien, mutta kuitenkin riittävän tarkka (1280 hilapistettä Suomelle) hydrologisen mallinnuksen lähtötiedoiksi. Lähtötietojen saannin viivästyminen viivästytti koko projektin alkua ja johti siihen, että kohtien 3 ja 4 loppuunsaattaminen ovat vielä hieman kesken. Hankkeen tavoitteiden kannalta tärkeimmät kohdat 1 ja 2 on kuitenkin saatu toteutettua ja myös kohdat 3 ja 4 saadaan tehtyä lähikuukausien aikana muun rahoituksen turvin valmiiksi.

Tulokset

Ilmastoskenaariot ovat osa NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections (NEX-GDDP-CMIP6, Thrasher et al. 2022, <https://doi.org/10.7917/OFSG3345>) aineistoa, joka on vapaasti saatavilla osoitteesta <https://www.nccs.nasa.gov/services/data-collections/land-based-products/nex-gddp-cmip6>. NEX-GDDP-CMIP6-data koostuu globaaleiden ilmastomallien (GCM) pienempään mittakaavaan skaalatuista (downscaled) ilmastoskenaarioista. GCM ajot ovat osa Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) -ajot ja niitä on ajettu neljällä eri kasvihuonekaasupäästöskenaariossa, jotka tunnetaan nimellä Shared Socioeconomic Pathways (SSP:t, Meinshausen et al. 2020). Tämän aineiston tarkoituksena on tarjota joukko globaaleja, korkearesoluutioisia, harhakorjattuja (bias corrected) ilmastomuutoskenaarioita, joita voidaan käyttää arvioimaan ilmastomuutoksen vaikutuksia prosesseihin, jotka ovat herkkiä pienemmän mittakaavan ilmastogradientteille ja paikallisen topografian vaikutuksia ilmastoon. SSP skenaariot vastaavat aiempia RCP (Representative Concentration Pathway) skenaarioita pienin eroin, esim. RCP4.5:ssa kasvihuonepäästöt ovat lähellä SSP24.5 skenaariota.

Laajemmasta skenaariojoukosta valittiin neljä GCM mallia, jotka vastasivat aiemmin Sykessä käytössä olleita malleja. Skenaariot ladattiin Suomen ja ympäröivät alueet sisältävälle alueelle jaksolle 1971–2100. Skenaariot purettiin NetCdf muodosta Ascii muotoon ja käsiteltiin Vesistömallijärjestelmän lähtötiedoiksi sopivaan muotoon.

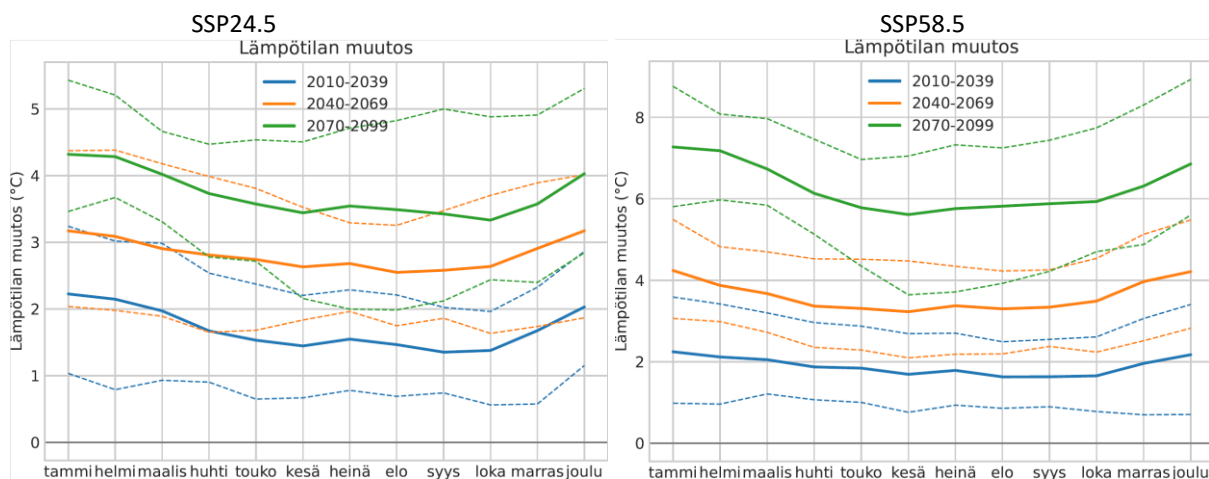
Valitut skenaariot on esitetty taulukossa 1. Kolmelle mallille oli saatavilla kaikki neljä päästöskenaariota, kun taas yhdelle oli saatavilla kolme päästöskenaariota. Skenaarioiden määrä on kaikkiaan 15 (3*4+1*3), mikä mahdollistaa ilmastomuutoksen vaikutusten arvioimisen monipuolisesti. Tarvittaessa skenaariojoukkoa voidaan melko helposti laajentaa uusien skenaarioihin tai ottaa mukaan myös alueellisten ilmastomallien tuloksia. Lämpötilan ja sadannan muutokset skenaarioissa laskettiin yhteensä seitsemälle eri tulevaisuuden jaksolle (2010-39, 2020-49, 2030-59, 2040-69, 2050-79, 2060-89, 2070-99) ja kolmelle eri referenssijaksolle (1981-2010, 1985-2014 ja 1991-2020). Ilmastomalleissa skenaariojakso alkoi vuonna 2015.

Taulukko 1: Valitut skenaariot ja globaalit ilmastomallit (GCM) sekä sosioekonomiset skenaariot (SSP)

GCM	SSP1 2.6	SSP2 4.5	SSP3 7.0	SSP5 8.5
MPI-ESM1-2-LR	x	x	x	x
HadGEM3-GC31-LL	x	x	-	x
EC-Earth3	x	x	x	x
CNRM-CM6-1	x	x	x	x

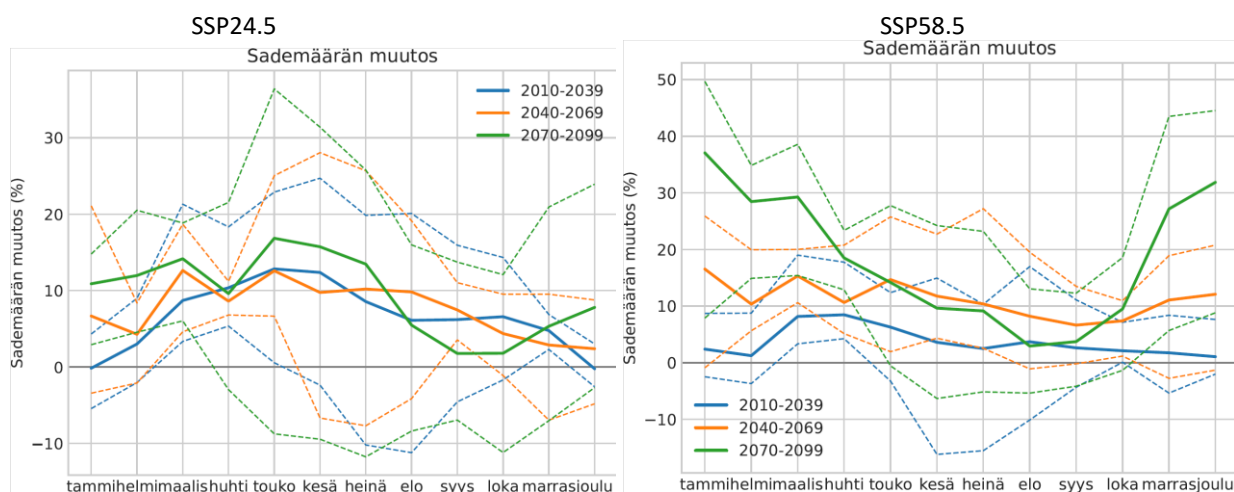
Tuloksia esitellään kahdelle esimerkikohteelle. Vastaavia laskentoja on tehty myös muille kohteille Suomessa. Ensimmäinen esimerkikohde oli Sirppujoki, joka valittiin tarkasteluun, koska se on hyvin pieni vesistö, jonka malliajo on nopea ja joka siten soveltuu hyvin testaukseen ja koska se on kuivuusriskien hallinnan testikohde. Toinen esimerkikohde oli Siikajoki Pohjois-Pohjanmaalla. Siellä sijaitsee tulvariskikohteita ja se on hieman erilainen kohde, jossa lumi tulvien kannalta merkittävässä asemassa.

Lämpötilan osalta tulokset (Kuva 1) vastaavat melko hyvin laajemman 30 mallia sisältävän joukon keskimääräisiä tuloksia skenaariolla SSP24.5, joita Ilmastieteenlaitos on tarkastellut (Ruosteenoja ja Jylhä 2021). Verrattuna aiempiin alueellisten ilmastomallien RCP-skenaarioihin lämpötilat ovat jonkin verran korekeampia, erityisesti skenaariolla SSP58.5 suurimmat lämpötilat nousevat jopa 8 asteen muutokseen vuosisadan lopulla. Lämpötilan nousu on jonkin verran suurempaa pohjoisempana verrattuna Etelä-Suomeen, jossa Sirppujoki sijaitsee.

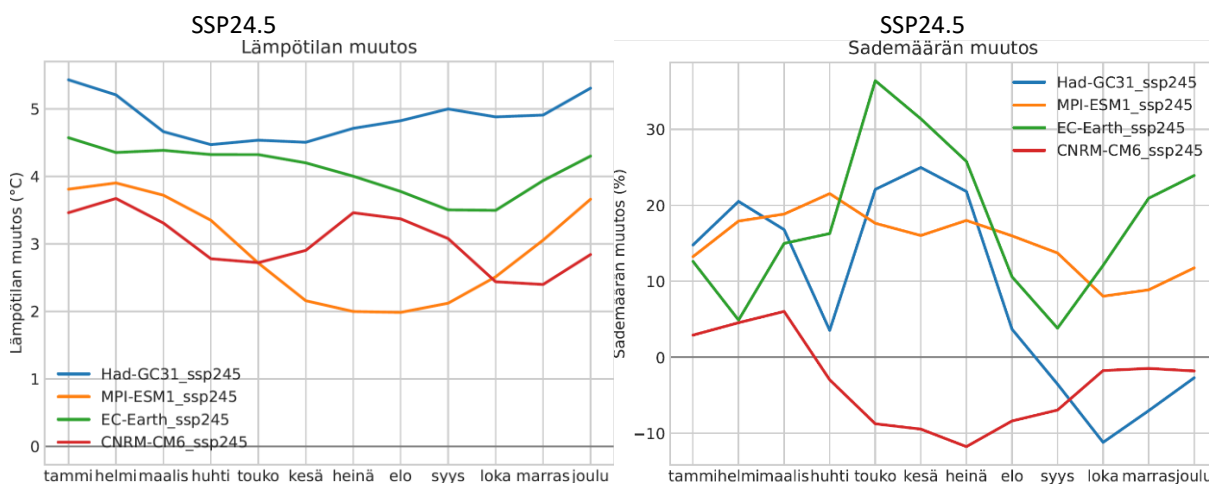


Kuva 1. Lämpötilan muutos Sirppujoen valuma-alueella jaksoilla 2010-39, 2040-69 ja 2070-99 verrattuna referenssijakson 1981-2010 SSP24.5 ja SSP58.5 skenaarioilla.

Sadannan osalta (Kuva 2) tuloksissa on hieman enemmän eroa laajempaan joukkoon SSP24.5 skenaariolla, nyt valituissa malleissa sadanta loppusyksystä ja joulutammikuussa on hieman pienempi kuin Ruosteenoja ja Jylhä 2021 esittämä. Sadannassa on suuri hajonta eri mallien välillä (Kuva 3). Kuivimmissa skenaarioissa sadanta jopa pienenee joillain skenaarioilla, kun taas runsassateisemmissa skenaariossa sadannan kasvu on suurta.

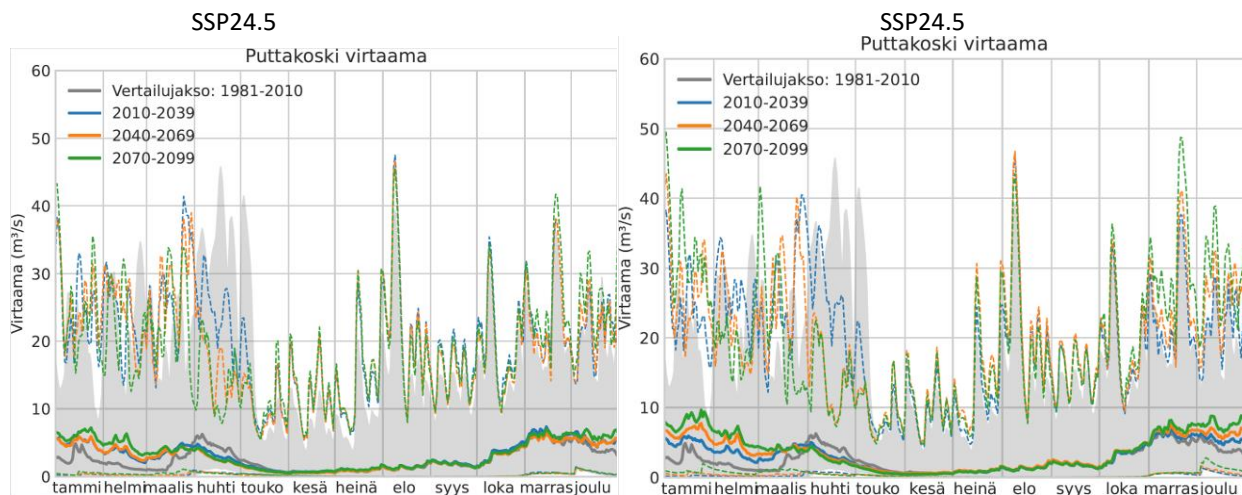


Kuva 2. Sadannan muutos Sirppujoen valuma-alueella jaksoilla 2010-39, 2040-69 ja 2070-99 verrattuna referenssijakson 1981-2010 SSP24.5 ja SSP58.5 skenaarioilla.

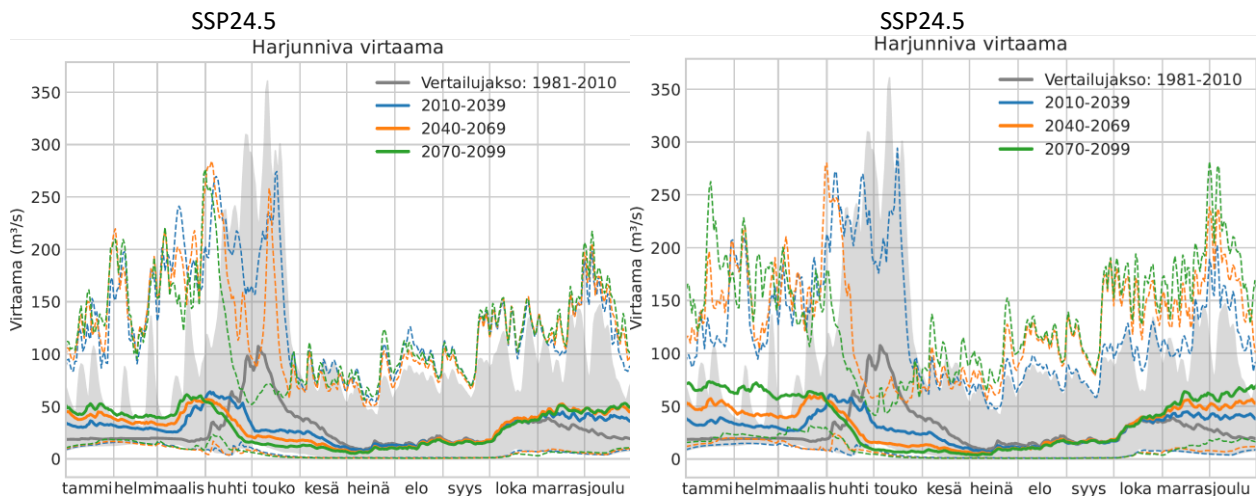


Kuva 3 Lämpötilan ja sadannan muutos jaksolla 2070-99 verrattuna 1981-2010 jaksoon eri ilmastomalleilla SSP24.5 skenaariolla.

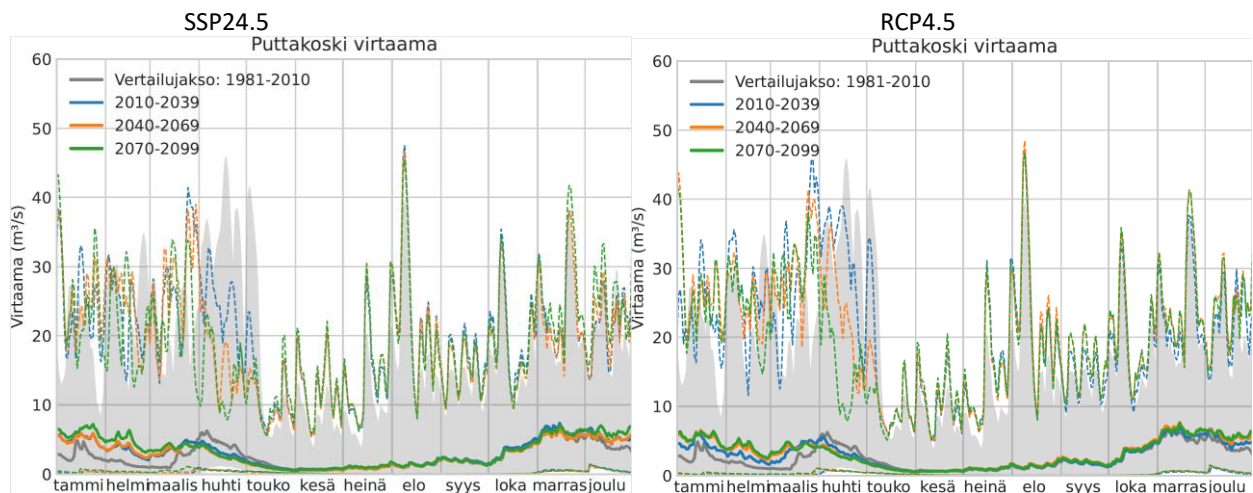
Virtaamien osalta (Kuva 4 ja 5) uudet skenaariot antavat tulokseksi Sirppujoella ja Siikajoella että talven virtaamat kasvavat kun taas kevään lumen sulamisesta aiheutuvat virtaamat pienenevät. Kun tuloksia verrataan aiempiin skenaarioihin (Kuva 6) ovat virtaamat toisiaan vastaavilla SSP24.5 ja RCP4.5 skenaarioilla melko samankaltaisia, mutta erityisesti jaksolla 2010-39 RCP4.5 skenaarion lämpötilan nousu oli pienempää ja siten talven virtaamat olivat pienempiä ja kevään tulvahuiput suurempia. Muilla jaksoilla erot uusien ja vanhojen skenaarioiden välillä olivat pienempiä.



Kuva 4. Sirppujoen Puttakosken päivittäinen simuloitu virtaama (keskiarvo, maksimi, minimi) referenssijaksolla 1981-2010 ja jaksoilla 2010-39, 2040-69 ja 2070-99 kaikilla tarkastelluilla ilmastomalleille SSP24.5 (vas) ja SSP58.5 (oik) skenaarioilla.



Kuva 5. Siikakosken Harjunnivan päivittäinen simuloitu virtaama (keskiarvo, maksimi, minimi) referenssijaksolla 1981-2010 ja jaksoilla 2010-39, 2040-69 ja 2070-99 kaikilla tarkastelluilla ilmastomalleille SSP24.5 (vas) ja SSP58.5 (oik.) skenaarioilla.



Kuva 6. Vertailu uusien ja vanhojen skenaarioiden välillä Sirppujoen Puttakoskella. Vertailussa mukana kaikki simuloidut ilmastomallit päästöskenaariolla SSP24.5 (vas, 4 GCM mallia) ja RCP4.5 (oik, 6 RCM-GCM malli yhdistelmää, joissa 4 GCM mallia, 3 RCM mallia)

Skenaarioiden vertailu ja käyttöönotto laskelmissa jatkuu. Skenaariot on myös tarkoitus ottaa käyttöön Vemala-malliin. Lisäksi parhaillaan kehityksen alla on menetelmä sadantojen muuttamiseen, joka huomioisi paremmin sadantojen jakauman muutokset. Nykyään kaikkia saman kuukauden sateita muutetaan samalla prosenttimuutoksella. Uudessa menetelmässä olisi eri muutosprosentti pienille sateille (noin alle 1-2 mm/d), keskikokoisille sateille ja suurille sateille (yli 95 % prosenttipiste eli 5-10 mm/d). Menetelmän kehitys ja testaus on yhä kesken ja sen toiminta ja mahdolliset hyödyt ja haitat tulee punnita ennen kuin päätetään sen käyttöönotosta. Ohjeistus uusien skenaarioiden käyttöön on myös aloitettu, mutta se saadaan käyttöön vasta ensi vuonna.

Resurssien käyttö

Vuonna 2024: 3.59 htkk

Työsuhdepalkat henkilösivukuluineen (52 %): 27 311,93 €

Yleiskustannukset 30 %: 8193,58 €

Yhteensä: 35 505,52 €

MMM rahoitusosuus: 35 000 €

OKA hinta (yleiskulut 68 %): 45 883,87 €

Syke laskennallinen omarahoitusosuus (OKA hinnasta) 10 883,87 € (23,7 %)

Laskutetaan MMM: 35 000 €

Katso Liite 1: kustannusraportti

Osallistujat:

Johtava hydrologi Noora Veijalainen, ILMAHYD

Hydrologi Juho Jakkila, ILMAHYD

Hydrologi Nasim Fazel, MEVEMA

Hydrologi Meseret Menberu, ILMAHYD

Viitteet:

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.

Meinshausen, M., Nicholls, Z. R. J., Lewis, J., Gidden, M. J., Vogel, E., Freund, M., Beyerle, U., Gessner, C., Nauels, A., Bauer, N., Canadell, J. G., Daniel, J. S., John, A., Krummel, P. B., Luderer, G., Meinshausen, N., Montzka, S. A., Rayner, P. J., Reimann, S., Smith, S. J., van den Berg, M., Velders, G. J. M., Vollmer, M. K., and Wang, R. H. J. 2020. The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500, *Geosci. Model Dev.*, 13, 3571–3605, <https://doi.org/10.5194/gmd-13-3571-2020>.

Ruosteenoja, K., Jylhä, K. 2021. Projected climate change in Finland during the 21st century calculated from CMIP6 model simulations. *Geophysica* 56, 39–69.

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., Olivie, 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., and 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. 2023. Projected changes in precipitation and wind speed over Finland from a convection-permitting regional climate model (Master's thesis). Aalto University. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-202305213279>