

Palokin voimalaitoksen padon purkamisen vaikutukset vedenkorkeuksiin ja virtaamiin

Raportti 22.2.2023

Suomen ympäristökeskus

Ilmastoratkaisut/Hydrologiset ennusteet

Juho Jakkila

Noora Veijalainen

Ari Koistinen

Sisällys

Johdanto.....	3
Menetelmät.....	4
Hydrologinen malli.....	4
Ilmastonmuutoksen vaikutukset	5
Tulokset.....	7
Vertailujakso	7
Ilmastonmuutoksen vaikutukset	9
Epävarmuudet.....	11
Loppupäätelmät	13
Viitteet.....	14

Johdanto

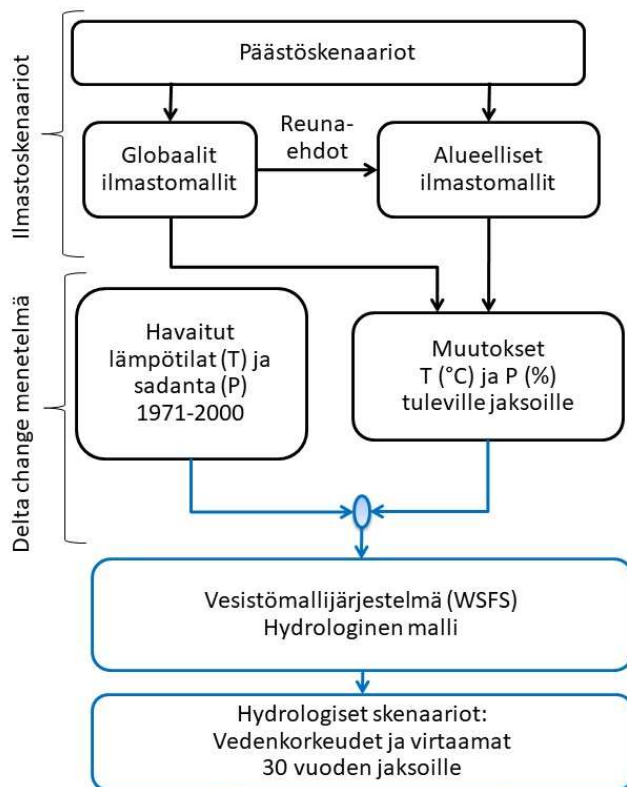
Tässä raportissa tarkastellaan Palokin voimalaitoksen purkamisen vaikutuksia Juojärven vedenkorkeuksiin ja lähtövirtaamiin. Selvityksessä tarkastellaan vaihtoehtoa, jossa nykyinen säännöstelypato korvattaisiin pohjapadolla. Säännöstelypadon purkamisen vaikutuksia tarkastellaan historiajaksolla 1981–2010 sekä ilmastonmuutoksen vaikutuksia jaksoilla 2010–39, 2040–69 ja 2070–99.

Raportti liittyy Maa- ja metsätalousministeriön Pohjois-Savon ja Pohjois-Karjalan ELY-keskuksille antamaan toimeksiantoon Palokin koskireitin ja vesivoimalaitoksen kalatalousratkaisuihin kytkeytyviin tulevaisuuden kehittämismahdollisuuksiin.

Menetelmät

Padon purkamisen vaikutusten tarkastelussa on käytetty kolmea eri purkautumiskäyrää Juojärven lähtövirtaaman laskemiseen vertailujaksolle 1981–2010. Ensin simuloinnit on tehty vanhalla, jaksolla 1931–59 käytössä olleella purkautumiskäyrällä ja sitten kahden eri pituisen pohjapadon purkautumiskäyrällä. Tulovirtaamat Juojärven, Rikkaveden ja Kaavinjärven järviryhmälle on laskettu Suomen ympäristökeskuksen (Syke) Vesistömallijärjestelmällä.

Ilmastonmuutoksen hydrologisten vaikutusten tarkastelussa on käytetty niin sanottua delta-change menetelmää (Kuva 1). Ilmastoskenaarioista lasketut keskimääräiset lämpötilan ja sademäärän muutokset on laskettu vertailujaksolta kolmelle tulevaisuuden jaksolle (30 vuotta) erikseen kullekin skenaariorille. Kuukausittaiset lämpötilan ja sadannan muutokset on lisätty historiajakson lämpötila- ja sadehavaintoihin, joita käytetään hydrologisen mallin lähtötietoina.



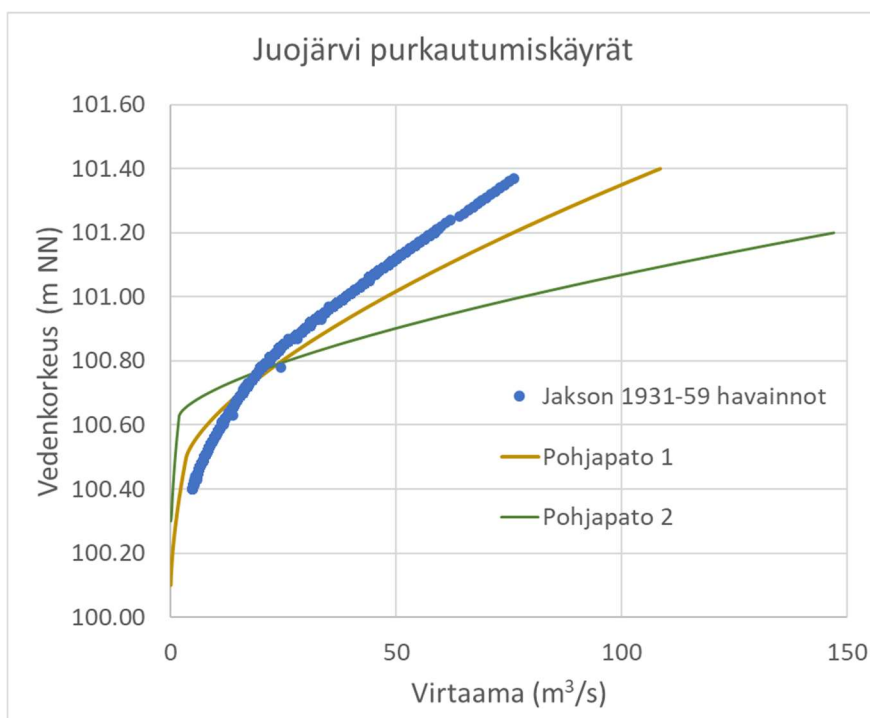
Kuva 1. Kaaviokuva ilmastoskenaarioiden käytöstä hydrologisessa mallinnuksessa (Veijalainen ym. 2012).

Hydrologinen malli

Syken Vesistömallijärjestelmä (WSFS) on konseptuaalinen hydrologinen malli, jota käytetään Suomessa operatiiviseen tulvaennustamiseen sekä ilmastonmuutosten hydrologisten vaikutusten selvittämiseen (esim. Veijalainen ym. 2012). Mallin lähtötietoina käytetään meteorologisia havaintoja (lämpötila, sade, tuuli ja ilmankosteus). Malli toimii yhden vuorokauden aika-askeleella ja simuloi hydrologista kiertoa 3. jakovaiheen osa-alueilla, joiden pinta-ala on keskimäärin noin 60 km².

Järvien vesitase koostuu mallissa tulovirtaamasta, lähtövirtaamasta ja vedenkorkeuden vaihtelusta. Tulovirtaama lasketaan maa-alueelta tulevasta valunnasta, järveen laskevien jokien virtaamista sekä järveen satavasta ja siitä haihtuvasta vedestä. Lähtövirtaama lasketaan järven luusuan purkautumiskäyrästä tai säännöstellyn järven tapauksessa säännöstelyohjeen avulla.

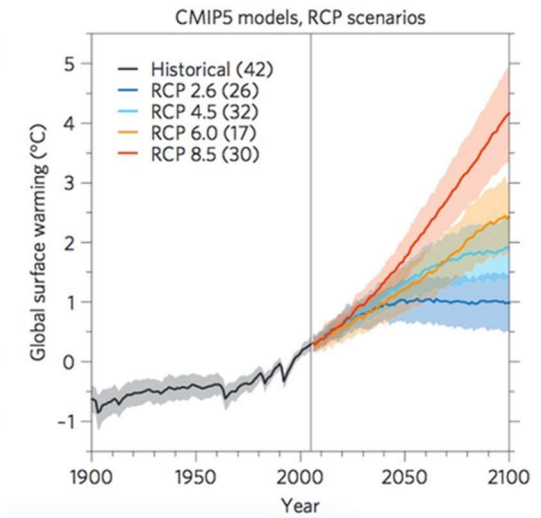
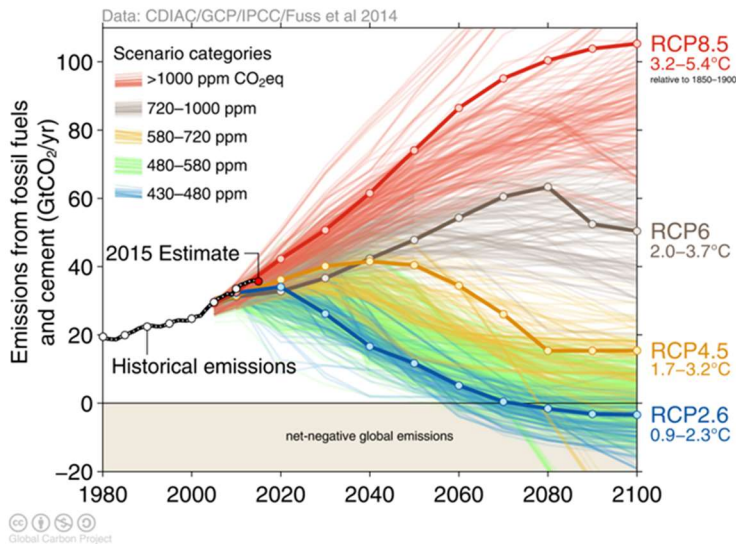
Juojärven purkautumiskäyrä ennen voimalaitoksen valmistumista jaksolla 1931-59 on esitetty Kuvassa 2 sinisillä merkeillä. Mikäli padon purkamisen jälkeen purkautuminen Juojärven luusuasta palautettaisiin ennalleen, vedenkorkeuden vuotuinen vaihtelu lisääntyisi ja tulva- ja kuivuusriskit kasvaisivat. Tämän vuoksi Juojärven luusuaan on suunniteltu säännöstelypadon korvaamista pohjapadolla. Kuvassa 2 on esitetty kaksi eri vaihtoehtoista pohjapatoa: lyhyemmän pohjapadon (Pohjapato 1) purkautumiskäyrä keltaisella viivalla ja pidemmän (Pohjapato 2) purkautumiskäyrä vihreällä viivalla.



Kuva 2. Juojärven pohjapatojen purkautumiskäyrät (keltainen viiva = lyhyempi pato, vihreä viiva = pitkä pato) ja jakson 1931-59 mukaisten havaintojen purkautumiskäyrä (siniset merkit).

Ilmastonmuutoksen vaikutukset

Tässä selvityksessä ilmastonmuutoksen vaikutusten tarkastelu perustuu IPCC:n (the Intergovernmental Panel on Climate Change) viidenteen arviointiraporttiin (IPCC 2013). Skenaariot pohjautuvat kolmeen kasvihuonekaasupäästöjen kehityspolkuun (RCP = representative concentration pathways). Näille RCP-poluille käytetään lyhenteitä RCP2.6, RCP4.5 ja RCP8.5. Lyhenteiden numero-osat viittaavat kasvihuonekaasujen aiheuttamaan säteilypakotteen suuruuteen (W/m^2) tämän vuosisadan loppuun mennessä. Kuvassa 3 on esimerkki eri RCP-polkujen kasvihuonekaasupäästöjen kehittymisestä sekä niiden vaikutuksesta maapallon keskilämpötilaan tämän vuosisadan aikana.



Kuva 3. Globaalit kasvihuonekaasupäästöt (Fuss et al. 2014) ja vaikutukset maapallon keskilämpötilaan (Knutti and Sedláček 2013) eri RCP-poluilla.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia on tarkasteltu kolmella jaksolla 2010–39, 2040–69 ja 2070–99 ja tuloksia on vertailtu jaksolle 1981–2010 simuloituihin vedenkorkeuksiin ja virtaamiin. Tarkastelussa käytetään kuuden eri alueellisen ilmastomallikombinaation tuloksia. Nämä koostuvat neljän globaalin ja kolmen alueellisen ilmastomallin yhdistelmästä. Yhdessä kolmen RCP-polun kanssa ne muodostavat yhteensä 18 eri ilmastoskenaariota kullekin kolmelle jaksolle (Taulukko 1).

Taulukko 1. Globaalien ja alueellisten ilmastomallien nimet ja mallien kehittäjät sekä malleista käytetyt lyhenteet.

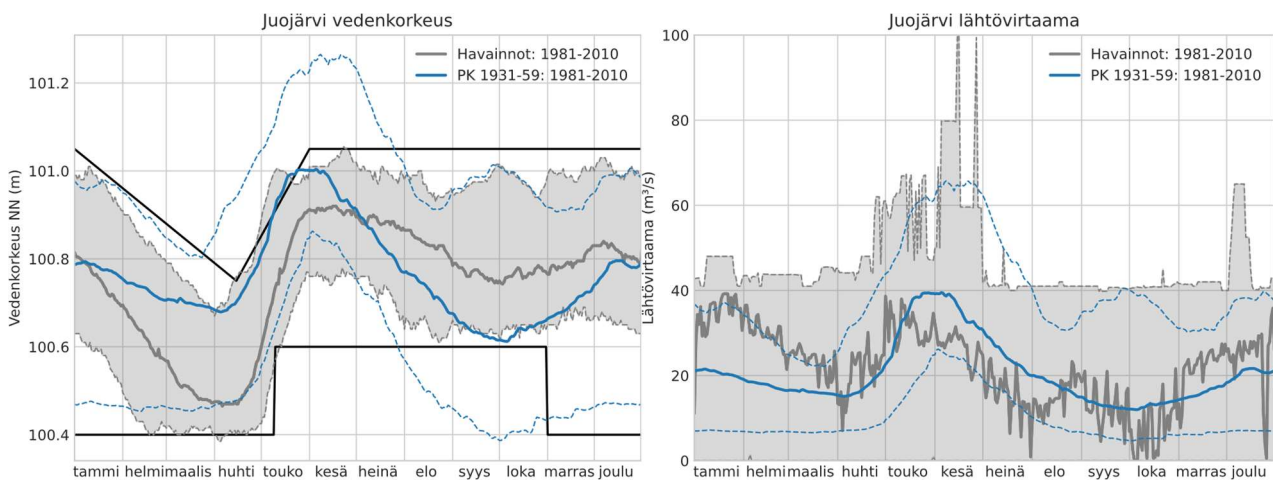
Globaali ilmastomalli		Alueellinen ilmastomalli		Malli-kombinaation
Mallin kehittäjä	Mallin nimi	Mallin kehittäjä	Mallin nimi	Lyhenne
Hadley centre	HadGEM2-ES	Swedish Meteorological and Hydrological Institute	SMHI-RCA4	Had-SMHI
Hadley centre	HadGEM2-ES	The Royal Netherlands Meteorological Institute	KNMI-RACMO22E	Had-KNMI
European Centre	EC-EARTH	Swedish Meteorological and Hydrological Institute	SMHI-RCA4	EC-SMHI
European Centre	EC-EARTH	The Royal Netherlands Meteorological Institute	KNMI-RACMO22E	EC-KNMI
Max-Planck Institute	MPI-ESM-LR	Swedish Meteorological and Hydrological Institute	SMHI-RCA4	MPI-SMHI
National Centre for Meteorological Research	CNRM-CERFACS	National Centre for Meteorological Research	CNRM-ALADIN63	CNRM

Tulokset

Vertailujakso

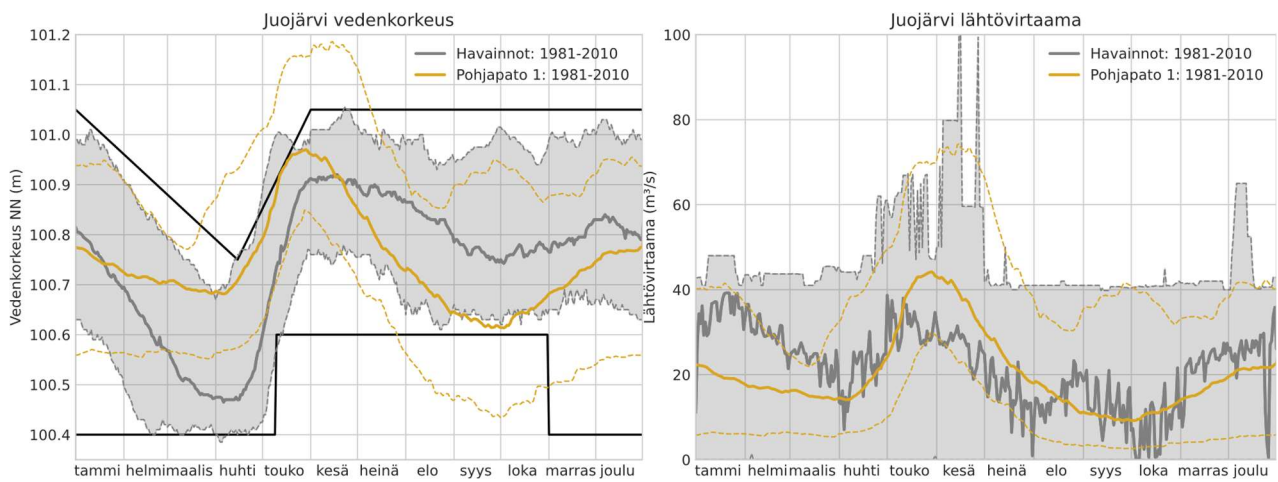
Vesistömallilla tehdyissä simuloinneissa käytettiin vertailujaksoa 1981–2010. Simuloinnit tehtiin kolmella purkautumiskäyrällä: jakson 1931–59 havaintoihin perustuvalla purkautumiskäyrällä sekä lyhyemmälle ja pidemmälle pohjapadolle lasketulla purkautumiskäyrällä. Tuloksia on verrattu havaintoihin jaksolta 1981–2010, jolloin järvi on ollut säännöstelty.

Kuvissa 4–6 on vertailtu jaksolle 1981–2010 simuloituja keskimääräisiä, minimi- ja maksimiarvoja vastaaviin havainnoista laskettuihin arvoihin. Jakson 1931–59 purkautumiskäyrään perustuvassa simuloinnissa kevättulvat nousevat havaintoja korkeammiksi. Suurimmat kevättulvahuiput nousevat yli 20 cm korkeammalle kuin säännöstellyssä järvestä. Vastaavasti syksyn alimmat vedenkorkeudet laskevat huomattavasti alemmas kuin havainnoissa. Keskimääräisenä vuotena alimmat vedenkorkeudet vastaavat koko säännöstelyjakson syksyn alimpia vedenkorkeuksia ja alimmat vedenkorkeudet laskevat yli 20 cm säännöstelyä alemmaksi. Talvella järven vedenkorkeuden alenema olisi vähäisempää ja kesällä suurempaa. Lähtövirtaamien osalta suurimmat muutokset olisivat talviviltaamien pieneneminen ja lyhytaikaisäännöstelyn aiheuttamien nollavirtaamien poistuminen.



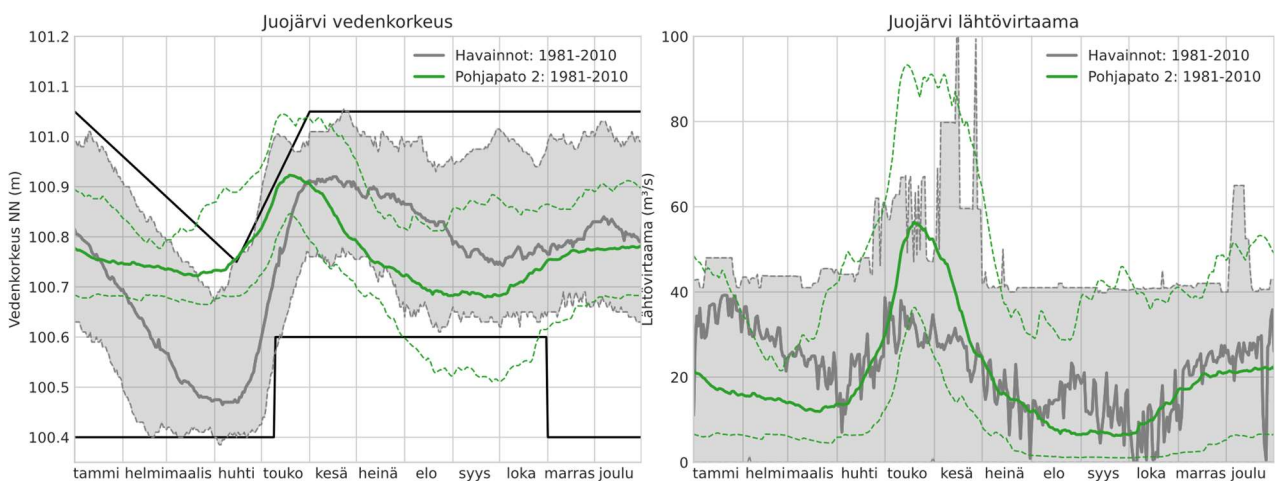
Kuva 4. Juojärven vedenkorkeuden ja lähtövirtaaman havaintojen (harmaalla) ja jakson 1931–59 purkautumiskäyrällä simuloitujen arvojen (sinisellä) päivittäiset mediaanit, minimi- ja maksimit jaksolla 1981–2010.

Pohjapadon vaikutuksesta tulvahuiput pienenisivät ja alimmat vedenkorkeudet nousivat vanhaan purkautumiskäyrään verrattuna. Lyhyemmällä pohjapadolla (Kuva 5) suurimmat tulvahuiput olisivat noin 15 cm säännösteltyä järveä korkeammat. Keskimääräiset syksyn alimmat vedenkorkeudet vastaisivat säännöstelyjakson alimpia vedenkorkeuksia ja alimmat vedenkorkeudet laskisivat noin 15 cm alemmas. Lähtövirtaaman osalta kevään tulvavirtaamat olisivat jakson 1931–59 purkautumiskäyrään verrattuna suurempia ja syksyn minimivirtaamat pienempiä.



Kuva 5. Juojärven vedenkorkeuden ja lähtövirtaaman havaintojen (harmaalla) ja lyhyen pohjapadon purkautumiskäyrällä simuloitujen arvojen (keltaisella) päivittäiset mediaanit, minimit ja maksimit jaksolla 1981-2010.

Pidemmällä pohjapadolla (Kuva 6) kevään tulvahuippujen suuruus vastaisi säännöstelyn järven tulvahuippuja. Tulvat ajoittuisivat kuitenkin pari viikkoa aikaisemmaksi ja vedenkorkeudet lähtevät alkukesästä nopeammin laskuun. Syksyn alimmat vedenkorkeudet olisivat keskimäärin 5-10 cm säännöstelyä alempana ja jakson alimmat syysvedenkorkeudet noin 10 cm säännöstelyä järveä alempana. Lyhyempään pohjapadon verrattuna kevään lähtövirtaamat kasvaisivat huomattavasti suuremmiksi ja syksyn minimivirtaamat jäisivät pienemmiksi. Kuivimpina vuosina syksyn minimivirtaamat laskisivat lähelle 1 m³/s, kun lyhyemmällä pohjapadolla minimivirtaamat olisivat yli 2,5 m³/s.

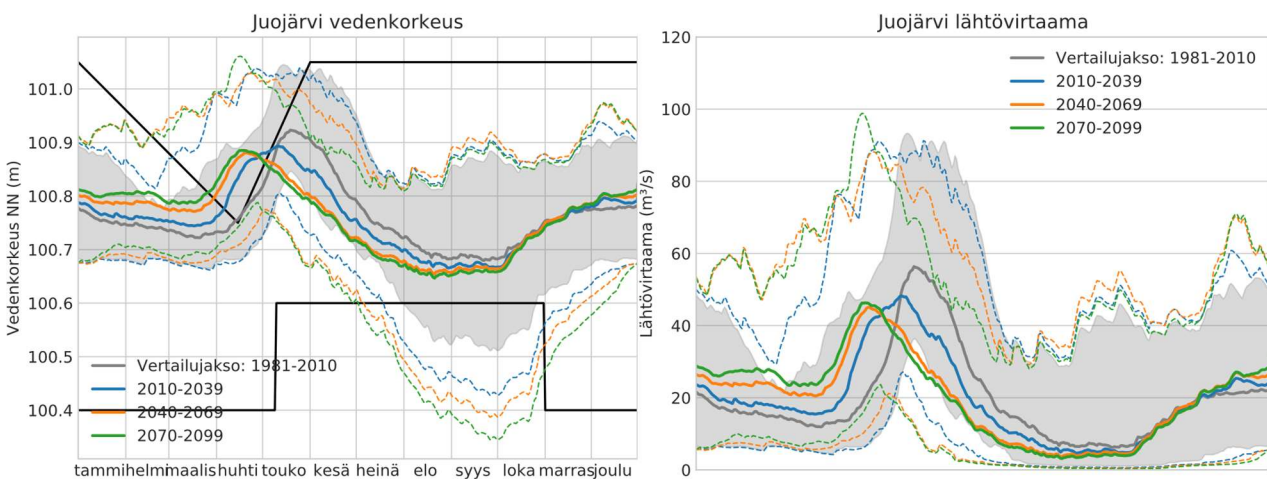


Kuva 6. Juojärven vedenkorkeuden ja lähtövirtaaman havaintojen (harmaalla) ja pitkän pohjapadon purkautumiskäyrällä simuloitujen arvojen (vihreällä) päivittäiset mediaanit, minimit ja maksimit jaksolla 1981-2010.

Ilmastomuutoksen vaikutukset

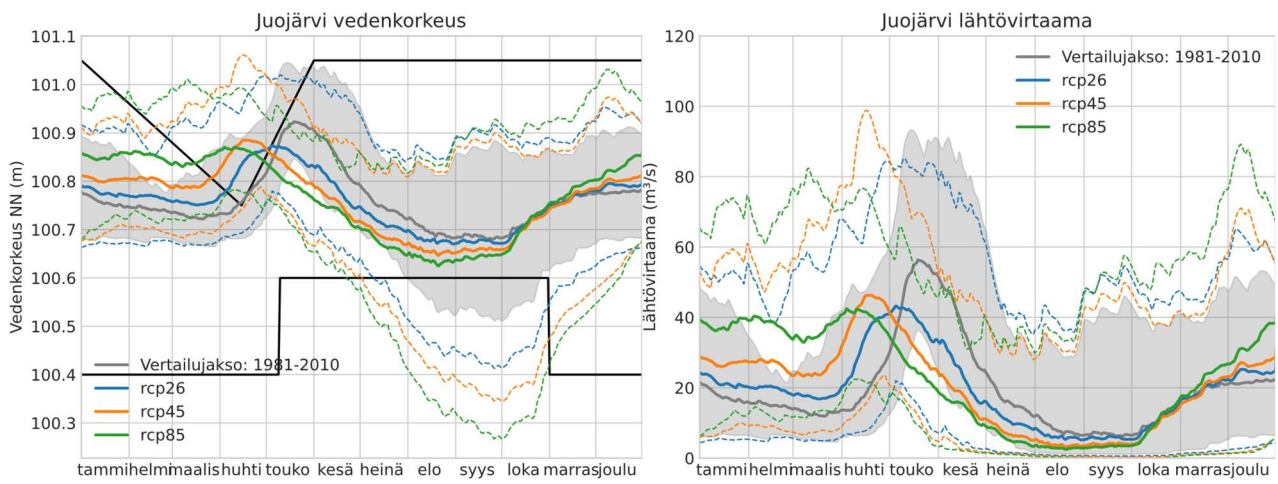
Ilmastomuutoksen vaikutuksia tarkastellaan käyttämällä Juojärven lähtövirtaaman laskennassa pidempää pohjapatoa. Laskennat on tehty kuudella eri ilmastomallilla ja tuloksissa on yhdistetty kaikkien näiden ilmastomallien tulokset.

Ilmastomuutos kasvattaa Juojärven tulovirtaamia talvella, aikaistaa kevättulvia ja pienentää kesän minimivirtaamia. Vedenkorkeudessa tulokset näkyvät vastaavasti korkeampina talvivedenkorkeuksina, aikaisempina kevättulvina ja alhaisina vedenkorkeuksina kesällä ja syksyllä. Syksyn alimmat vedenkorkeudet laskevat vertailujaksolta 1981-2010 jaksolle 2010-39 3-8 cm, jaksolle 2040-69 5-12 cm ja jaksolle 2070-99 6-17 cm keskimääräisellä kasvihuonekaasupitoisuuksien kehityspolulla RCP4.5. Lähtövirtaamissa selvin muutos näkyy talven ja alkukevään suurenevissa virtaamissa sekä kesän ja syksyn minimivirtaamien pienenemisessä.



Kuva 7. Juojärven vedenkorkeuden ja lähtövirtaaman päivittäiset simuloidut mediaanit, minimi ja maksimit jaksoilla 1981-2010 sekä jaksoille 2010-39, 2040-69 ja 2070-99 perustuen RCP4.5 skenaarion päästöjen kehitykseen. Lähtövirtaama on laskettu pitkän pohjapadon purkautumiskäyrällä.

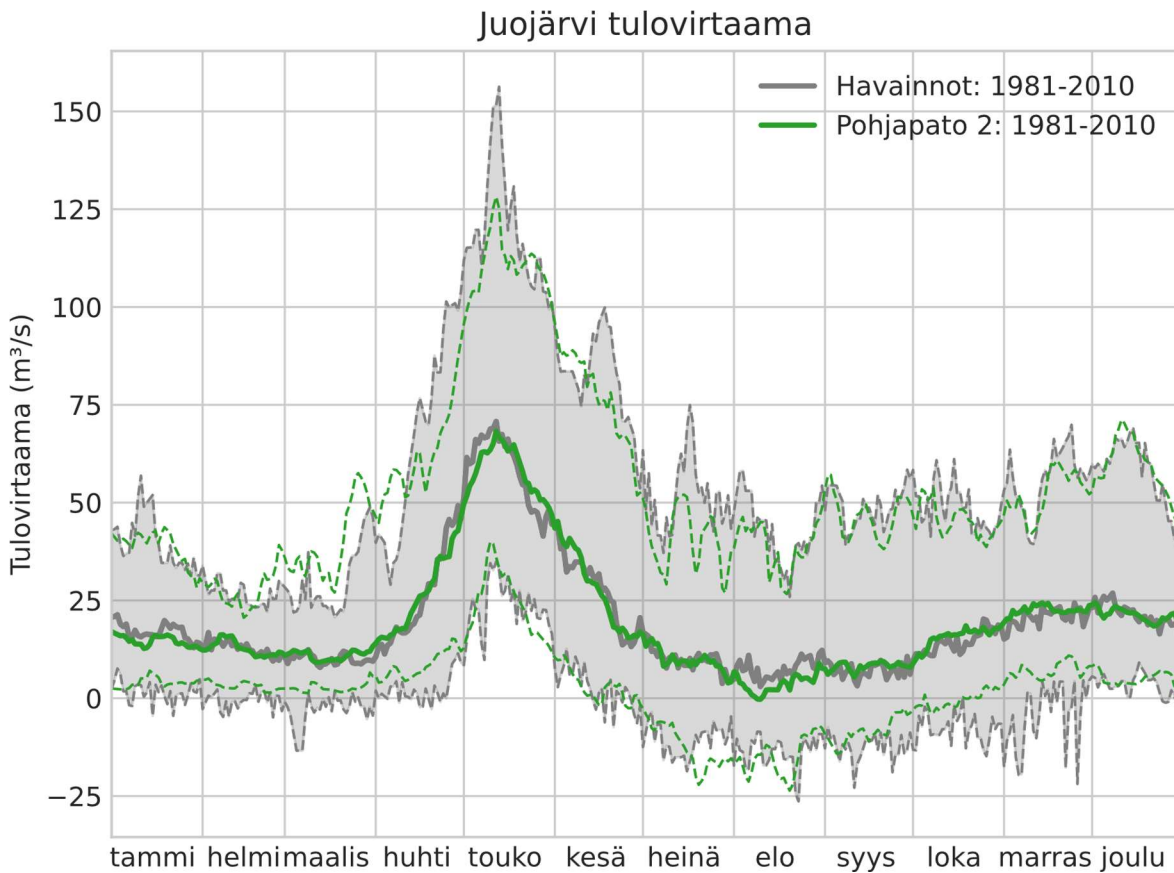
Ilmastomuutoksen vaikutuksen suuruus riippuu pitkälti kasvihuonekaasupitoisuuksien kehityksestä (Kuva 8). Optimistisimmassa skenaariossa rcp2.6 kasvihuonekaasupitoisuudet kasvavat vielä vuosisadan alkupuolella, mutta eivät lisäänty merkittävästi enää vuosisadan lopulla. Niinpä näkyvät muutokset Juojärven vedenkorkeudessa vastaavat vuosisadan lopulla pitkälti jo jaksolla 2010-39 havaittuja muutoksia. Keskimääräisellä kehityspolulla rcp4.5 ilmastomuutoksen vaikutukset voimistuvat vuosisadan loppua kohden, kuten on esitetty Kuvassa 7. Pahimmassa skenaariossa rcp8.5 kasvihuonekaasupäästöt kasvavat vuosisadan loppua kohden, mikä näkyy myös alimpien vedenkorkeuksien laskuna peräti 20 sentillä jaksolle 2070-99 mennessä.



Kuva 8. Juojärven vedenkorkeuden ja lähtövirtaaman päivittäiset simuloitut mediaanit, minimit ja maksimit jaksoilla 1981-2010 sekä jaksolle 2070-99 perustuen eri RCP-polkuihin. Lähtövirtaama on laskettu pitkän pohjapadon purkautumiskäyrällä.

Epävarmuudet

Tässä selvityksessä suurimmat epävarmuudet liittyvät hydrologisen mallin laskentaan sekä ilmastonmuutoksen vaikutusten arviointiin. Hydrologisessa mallissa suurin virhe tulee tulovirtaaman laskennasta. Kuvassa 9 on verrattu vedenkorkeus- ja lähtövirtaamahavainnoista laskettua ns. tulovirtaamahavaintoa mallin simuloimiin tulovirtaamiin jaksolla 1981–2010. Malli laskee tulovirtaaman keskimäärin hyvin, mutta jotkin tulovirtaamahuiput keväällä ja kesällä jäävät liian pieniksi. Lisäksi mallin laskennassa on epävarmuutta Juojärven, Rikkaveden ja Kaavinjärven yhteisen tilavuuden suhteen, koska tarkkaa tietoa näiden järvien tilavuuden muutoksesta järven säännöstelyväylillä ei ole saatavilla.

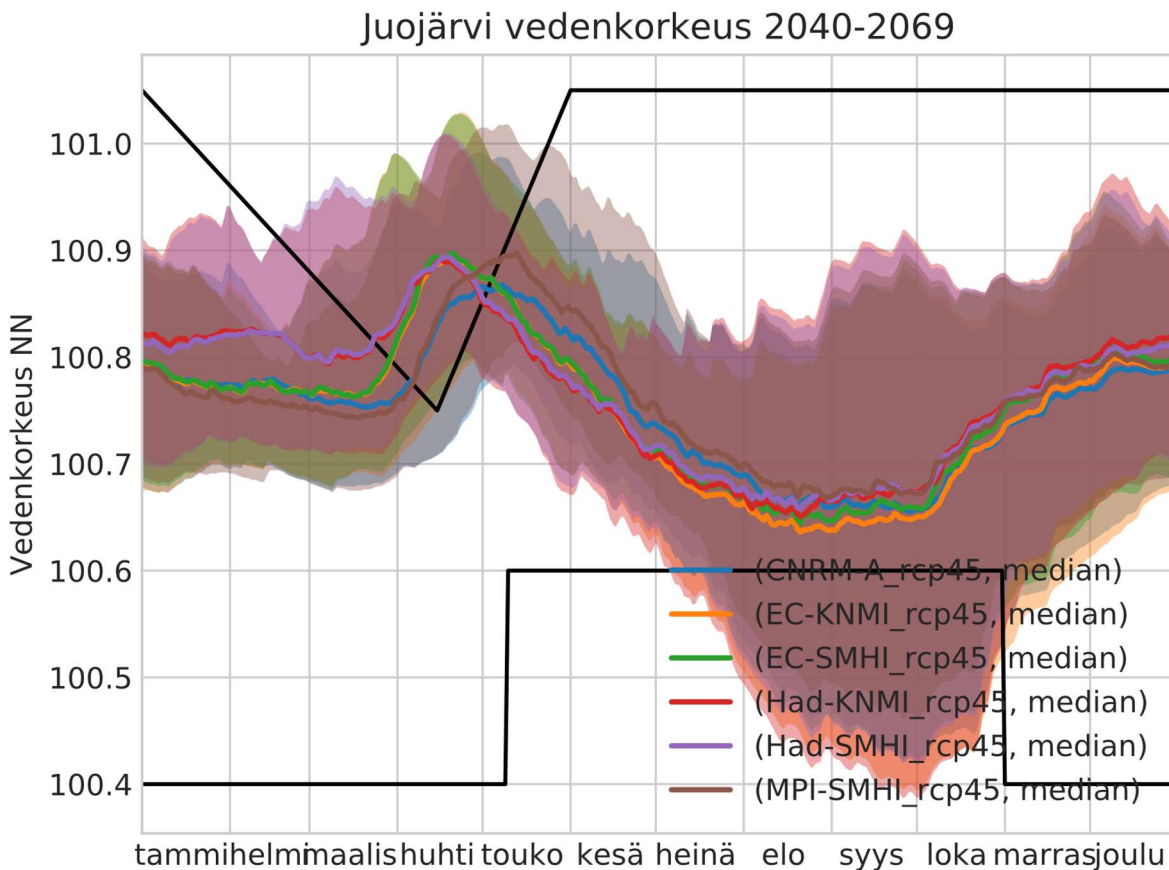


Kuva 9. Havaitun (harmaa) ja lasketun (vihreä) tulovirtaaman päivittäiset mediaani-, minimi- ja maksimiarvot jaksolla 1981–2010.

Ilmastonmuutoksen vaikutusten tarkastelussa suurimmat epävarmuudet liittyvät ilmastomalleihin, kasvihuonekaasupäästöjen kehitykseen sekä luonnolliseen vaihteluun ja siinä mahdollisesti tapahtuviin muutoksiin. Tässä tarkastelussa luonnollinen vaihtelu pohjautuu pääasiassa jakson 1981–2010 säätietoihin. Ilmastonmuutoksen vaikutusten tarkastelussa on huomioitu, miten ilmastonmuutos vaikuttaa lämpötilan jakaumaan käyttämällä niin sanottua lämpötilasta riippuvaa lämpötilan muutosta (Andréasson ym. 2004). Sademäärien osalta on käytetty keskimääräisiä kuukausittaisia prosentuaalisia muutoksia eikä mahdollisia muutoksia sadepäivien määrässä tai sademäärän jakaumassa ole huomioitu.

Kasvihuonekaasupitoisuuksien kehitykseen liittyvää epävarmuutta on tarkasteltu käyttämällä eri RCP-polkuja. Kasvihuonekaasupitoisuuksien kehitys RCP2.6 ja RCP8.5-polkujen välillä on niin suuri, että mitä todennäköisemmin kehitys päättyy johonkin näiden skenaarioiden välille.

Ilmastomalleihin liittyvää epävarmuutta on tarkasteltu käyttämällä kuutta eri alueellista ilmastomallia, joiden tuloksia jaksolle 2040-69 on esitetty Kuvassa 10. Vaikka kaikkien ilmastomallien mukaan lämpötilat nousevat ja sademäärät kasvavat on mallien tulosten välillä selviä eroja esimerkiksi muutosten suuruudessa koko jakson aikana sekä eri vuodenaikoina. Esimerkiksi kuvassa 10 esitetyssä kuvassa kahdessa mallissa (Had-KNMI ja Had-SMHI) talvilämpötilojen muutokset ovat muita skenaarioita suuremmat ja kahdessa mallissa (CNRM-A ja MPI-SMHI) on myös kevätlämpötilojen muutokset muita skenaarioita pienemmät. Tämä näkyy lämpimämpien skenaarioiden suurempina vedenkorkeuksina talvella ja aikaisempana kevättulvana. Aikaisemman kevättulvan johdosta myös kesävedenkorkeudet laskevat näissä skenaarioissa viileämpiä skenaarioita aiemmin.



Kuva 10. Juojärven vedenkorkeuden päivittäiset mediaanit, minimi ja maksimi kuudella eri ilmastomallilla RCP4.5-polulla jaksolla 2040-69.

Loppupäätelmät

Tässä selvityksessä tarkasteltiin Palokin voimalaitoksen padon purkamisen vaikutuksia Juojärven vedenkorkeuteen ja lähtövirtaamiin. Vertailujaksolle 1981–2010 tehtiin kolme simulointia, joissa käytettiin vanhaa, jaksolla 1931–59 käytössä ollutta purkautumiskäyrää sekä kahteen vaihtoehtoiseen pohjapatoon perustuvaa purkautumiskäyrää. Tuloksia vertailtiin jakson 1981–2010 havaintoihin. Lisäksi tarkasteltiin ilmastonmuutoksen vaikutuksia Juojärven vedenkorkeuksiin ja virtaamiin jaksoilla 2010–39, 2040–69 ja 2070–99.

Padon purkaminen lisäisi Juojärven vedenkorkeuden vuosien välistä vaihtelua. Vaikutuksen suuruus riippuu käytetystä purkautumiskäyrästä. Tulvahuiput nousisivat vanhalla purkautumiskäyrällä yli 20 cm korkeammalle kuin nykyisellä säännöstelykäytännöllä. Myös syksyn alimmat vedenkorkeudet laskisivat noin 20 cm alemmas kuin säännöstelyssä järvessä. Pohjapadon avulla tulvahuippuja voidaan pienentää ja syksyn alimpia vedenkorkeuksia nostaa. Toisessa, pidemmän pohjapadon vaihtoehdossa tulvahuiput eivät nousisi nykyistä säännöstelykäytäntöä korkeammalle, mutta syksyn alimmat vedenkorkeudet laskisivat noin 10 cm alemmas kuin säännöstelyssä järvessä. Pitkällä pohjapadolla Juojärven tulva ja kuivuustilanteita voitaisiin lieventää lyhyempään pohjapatoon verrattuna. Toisaalta pitkällä pohjapadolla lähtövirtaamahuiput kasvavat lyhyttä patoa suuremmiksi ja minimivirtaamat pienenevät.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksesta kevään tulvahuiput aikaistuvat ja siirtyvät osittain talvelle vuosisadan loppupuolella. Tulvahuippujen suuruudessa ei sen sijaan tapahdu merkittävää muutosta. Ilmastonmuutos sen sijaan pahentaa kesän ja syksyn kuivuustilanteita ja laskee Juojärven alimpia vedenkorkeuksia. Ilmastonmuutoksen vaikutusten suuruus riippuu kasvihuonekaasupitoisuuksien kehityksestä tämän vuosisadan aikana. Mitä paremmin ilmastonmuutoksen hillinnässä onnistutaan, sitä pienemmät haitalliset vaikutukset olisivat Juojärven vedenkorkeuksien kehitykselle.

Padon purkaminen voisi tuoda hyötyjä vesiluonnolle, erityisesti mahdollistaen vaelluskalojen nousun Juojärveen ja yläpuoliseen vesistön osaan. Toisaalta purkamisesta voisi koitua myös haittaa Juojärven, Rikkaveden ja Kaavinjärven virkistyskäytölle alhaisten kesä- ja syysvedenkorkeuksien johdosta. Energiantuotannon osalta Palokin voimalaitoksen tuotanto ei koko Suomen mittakaavassa ole merkittävä, mutta säätövoimana padolla voi kuitenkin olla huomattava taloudellinen merkitys.

Viitteet

Andréasson, J., Bergström, S., Carlsson, B., Graham, L. & Lindström, G. 2004. Hydrological change – climate change impact simulations for Sweden. *Ambio* 33(4): 228–234

Fuss, S., Canadell, J. G., Peters, G. P., Tavoni, M., Andrew, R. M., Ciais, P., Jackson, R.B., Jones, C.D., Kraxner, F., Nakicenovic, N., Le Quéré, C., Raupach, M. R., Sharifi, A., Smith, P. & Yamagata, Y. 2014. Betting on negative emissions. *Nature Climate Change* 4(10), 850.

Keto, A., Lähteenmäki, H., Tammisto, P., Hammar, T., Tarvainen, A., & Miettinen, T. (2008). Selvitys Pohjois-Savon säännöstellyistä järivistä.

Knutti, R., & Sedláček, J. 2013. Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections. *Nature Climate Change*, 3(4), 369.

Veijalainen, N., Jakkila, J., Nurmi, T., Vehviläinen, B., Marttunen, M., & Aaltonen, J. (2012). Suomen vesivarat ja ilmastonmuutos–vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen. WaterAdapt-projektin loppuraportti.