

Saimaan ja Vuoksen kuivuussimuloinnit

Noora Veijalainen

Suomen ympäristökeskus

31.10.2019

Johdanto

Tässä raportissa on kuvattu Saimaalle ja Vuokselle tehtyjä tarkasteluja kuivuuden vaikutuksesta virtaamiin ja vedenkorkeuksiin sekä Vuoksen juoksutussäännön ja Pielinen poikkeusjuoksutusten toiminnasta kuivuuden aikana. Lisäksi tarkastellaan ilmastomuutoksen vaikutuksia kuivuuteen. Tarkastelut on tehty vuosina 2017–2019 osan STN:n rahoittamaa From Failand to Winland-projektia sekä osana MMM:n rahoittamaa Kas-ELYn ja SYKEN yhteishanketta.

Kuivuussimuloinnit

Simuloinnit Saimaan ja Vuoksen kuivuudesta on tehty käyttäen Vesistömallijärjestelmää. Tarkasteluissa on mukana kolme eri kuivuutta:

1. Vakava kuivuus, joka vastaa vuosien 1939–1942 sääolosuhteita, mutta nykyisillä säännöstelyillä ja vesistöalueen olosuhteilla.
2. Paha kuivuus, joka on luotu yhdistämällä viimeisen 50 vuoden pahin kuivuus 2002–2003 sekä viime vuosien kuivin kesä 2018.
3. Kuivuus, joka saatiin yhdistämällä vuoden 2018 säähän kuiva talvi ja kevät.

Ilmastomuutos

Ilmastoskenaariot perustuvat päästöskenaarioihin ja globaalien ilmastomallien laskelmiin. Päästöskenaarioita on useita erilaisia ja ne kuvaavat tulevaa kasvihuonekaasujen kehitystä, johon liittyy paljon epävarmuutta. Siten päästöskenaariot vaihtelevat etenkin kauemmas tulevaisuuteen mentäessä ja arvioissa olisi hyvä käyttää useampaa skenaariota. Ilmastomuutoksesta aiheutuva lämpötilan nousu vaihtelee riippuen käytetystä päästöskenaariosta ja ilmastomallista. Näissä laskennoissa on käytetty uudempiin RCP (Representative Concentration Pathway) skenaarioihin. Alla esitetty tulokset on laskettu käyttäen ns. keskiarvoskenaarioita, joka nimensä mukaan antaa melko keskimääräisiä muutoksia sadannalle ja lämpötilalle. Tämä skenaario perustuu IL:n laskemaan 28 globaalien mallien keskiarvoon päästöskenaariolla RCP 4.5, jossa melko keskimääräiset päästöt. Suomessa käytetty aiemmin eniten SRES päästöskenaarioita A1B (keskimääräiset päästöt), joka vastaa jaksolla 2040–69 RCP 4.5, ja jossa on jaksolla 2070–99 hieman sitä suuremmat päästöt.

Saimaalla ilmastomuutos vaikuttaa erityisesti vedenkorkeuksien ja virtaamien vuodenaikaisvaihteluun. Keskimääräisissä virtaamissa muutokset ovat pieniä, keskimäärin virtaama kasvaa muutamia prosentteja. Sen sijaan talven virtaamat ja tulvat kasvavat selvästi. Toisaalta pienempi kevättulva, pidempi kesä ja suurempi haihdunta saavat aikaan loppukesän ja alkusyksyn vedenkorkeuksien laskun.

Saimaan ja Pielisen juoksutus

Laskentoja on tehty erialisilla vaihtoehdoilla Saimaan ja Pielisen juoksutusta. Kallaveden juoksutus on alhaisilla vedenkorkeuksilla yksinomaan luonnonkoskesta, eikä sillä siten voida merkittävästi vaikuttaa Saimaan vedenkorkeuteen. Kallaveden vedenkorkeus ei uuden purkautumiskäyrän

ansioista laske poikkeuksellisen alas kuivuuden aikana, joten siellä ei myöskään ole tarpeen tarkastella muita toimenpiteitä. Sen sijaan Pielinen juoksutuksessa on suuremmat mahdollisuudet juoksutuksen säätöön alhaisilla vedenkorkeuksilla, mikä lisää paitsi mahdollisuutta säännöstellä Pielisen vedenkorkeutta, myös vaikutusta Saimaan vedenkorkeuteen.

Saimaan juoksutussääntö perustuu sopimukseen Suomen ja Neuvostoliiton välillä. Juoksutussäännön mukaan Saimaan juoksutus noudattaa pääasiassa luonnonmukaista purkautumiskäyrää, mutta tästä voidaan poiketa kun vedenkorkeus on poikkeuksellisen korkealla tai matalalla. Alhaisien vedenkorkeuksien osalta siellä kerrotaan seuraavasti:

”Purjehduskautena 1.5. – 15.12. tulee tavoitealarajan NN+ 75.10 ja muuna aikana rajan NN+ 75.00 alittamista samoin pyrkiä mahdollisuuksien mukaan estämään. Juoksutuksena pyritään tällöin kuitenkin pitämään vähintään 300 m³/s, paitsi siinä tapauksessa, että tästä aiheutuisi vedenpinnan laskeminen ajankohdan luonnonmukaista korkeutta alemmas, jonka estämiseksi juoksutuksen on silloin oltava ajankohdan luonnonmukaisen virtaaman suuruinen.”

Vakava kuivuus

Saimaa

Vakava kuivuus mallinnettiin käyttäen hyväksi viime vuosisadan pahinta kuivuustilannetta eli vuosien 1939–42 kuivuutta. Vuosina 1939–kuivuus kesti kolme ja puoli vuotta ja jonka aikana Saimaan pinta oli ennätyksellisen alhaalla vuodesta 1847 alkavalla havaintojaksollaan. Havaittu vedenkorkeus Saimaalla oli tasolla 74,32 m+NN. Tämän kuivuuden toistumisajaksi on arvioitu Saimaan alueella n. 1/250 vuotta.

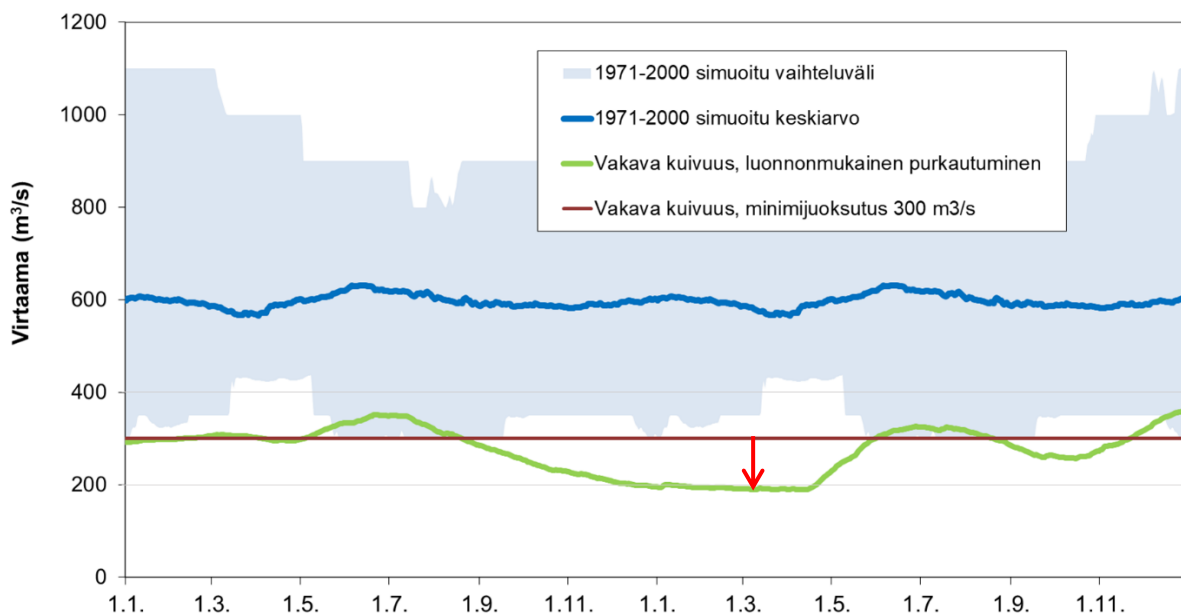
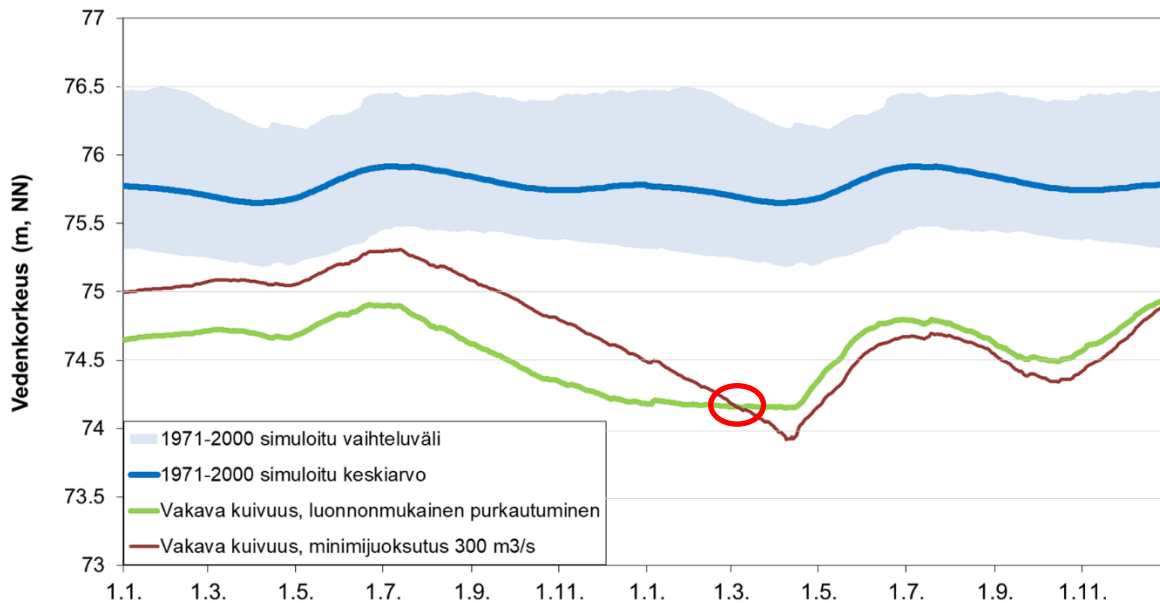
Nyt tehtiin erilaisia laskelmia juoksutusten kehittymisestä vakavan kuivuuden aikana alhaisilla vedenkorkeuksilla. Ensimmäisessä vaihtoehdossa juoksutus on koko ajan luonnonmukainen. Tästä saadaan vertailukohta, jotta nähdään miten vedenkorkeus eroaa eri juoksutusvaihtoehdoissa luonnonmukaisesta.

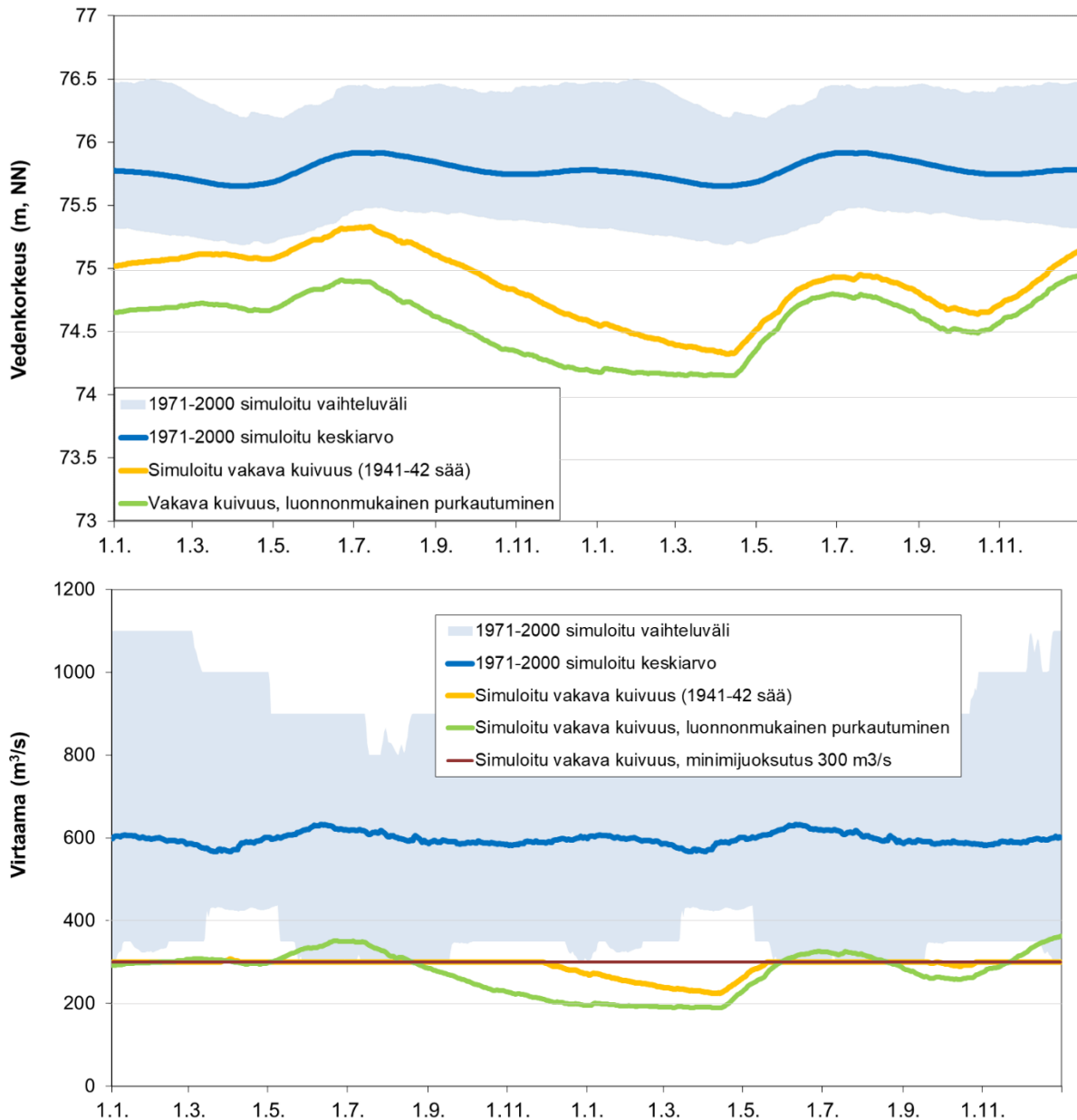
Toisessa laskelmassa juoksutus pudotetaan luonnonmukaisesta tasolle 300 m³/s kun vedenkorkeus uhkaa ennusteen perustella laskea alle normaalivöhykkeen. Tämä tapahtuu laskelmissa noin 15 cm ennen putken alarajaa kun on ennusteessa nähtävillä että rajan ylityksen riski on suuri. Tässä vaihtoehdossa minimijuoksutus on koko ajan 300 m³/s. Vuosien 1939–42 kaltaisessa pitkäkestoisessa kuivuudessa juoksutus on kuivimman kahden vuoden ajan (vastaa 1941–42 tilannetta) jatkuvasti 300 m³/s (Kuva 2), koska vedenkorkeus on koko vuoden ajan alle normaalivöhykkeen (Kuva 1).

Vedenkorkeus on aluksi 30–40 cm korkeammalla kuin luonnonmukainen, koska juoksutusta on pienennetty säännöstellyssä tilanteessa aiemmin kuin se luonnonmukaisesti pienenee (Kuva 1). Kuitenkin ensimmäisen vuoden kesä on hyvin kuiva ja luonnonmukainen virtaama laskee elokuussa alle 300 m³/s. Tällöin ero luonnonmukaisen ja säännöstellyn vedenkorkeuden välillä alkaa pienetä, kunnes seuraavan vuoden maaliskuussa (5.3.) säännöstelty vedenkorkeus minimijuoksutuksella 300 m³/s laskee luonnonmukaista vedenkorkeutta alemmas. Viimeistään tässä vaiheessa saa juoksutussäännön mukaan juoksutuksen pienentää alle 300 m³/s. Jos odotetaan siihen asti kunnes näin tapahtuu, juoksutus tippuu arvosta 300 m³/s luonnonmukaista vastaavalle tasolle eli 191 m³/s. Tällainen tilanne olisi todennäköisesti sekä Saimaan vedenkorkeuden että Vuoksen virtaaman kannalta epäedullinen. Vedenkorkeuden osalta säännöstelyn hyöty menetettäisiin sillä vedenkorkeus laskee yhtä alas kuin luonnonmukaisella purkautumisella. Vedenkorkeuden minimitasolla 74,15 m+NN kuivuusongelmat Saimaalla olisivat hyvin suuria, vedenkorkeus on noin 1,3 m ajankohdan keskivedenkorkeutta alempana. Myös Vuoksen juoksutusten suhteen tilanne olisi hankala. Vaikka Vuoksella tämän vaihtoehdon etuna olisi se, että 300 m³/s juoksutusta olisi pidempään, laskisi juoksutus kuivuuden pitkittyessä ja vedenkorkeuden saavuttaessa luonnonmukaisen vedenkorkeuden nopeasti hyvin alhaiselle tasolle eli luonnonmukaista vastaavaksi, minimissään 191 m³/s. Tällä tasolla juoksutus olisi noin

puolitoista kuukautta maaliskuun alusta huhtikuun loppupuolella ja nousisi tasolle 300 m³/s touko-kesäkuun vaihteessa.

Koska edellä kuvattu tiukasti lupaa noudattava käytäntö on monella tapaa epäedullinen, laskettiin myös toinen vaihtoehtoinen juoksutus. Tässä vaihtoehdossa juoksutus on 300 m³/s siihen asti kunnes säännöstely vedenkorkeus alittaa tason 74,69 m+NN jolla luonnonmukainen virtaama on 300 m³/s. Tämän jälkeen juoksutus noudattaa vedenkorkeutta vastaavaa luonnonmukaista juoksutusta. Tällä tavalla säännöstelyn hyötyä ei kadota vaan vedenkorkeus pysyy vähintään tasolla 73,31 m+NN eli 16 cm luonnonmukaista korkeammalla. Toisaalta juoksusta ei tarvitse äkisti pudottaa vaan juoksutus laskee tasaisesti tason 74,69 m+NN alapuolella ja on pienimmillään 221 m³/s eli 30 m³/s suurempi kuin luonnonmukainen.



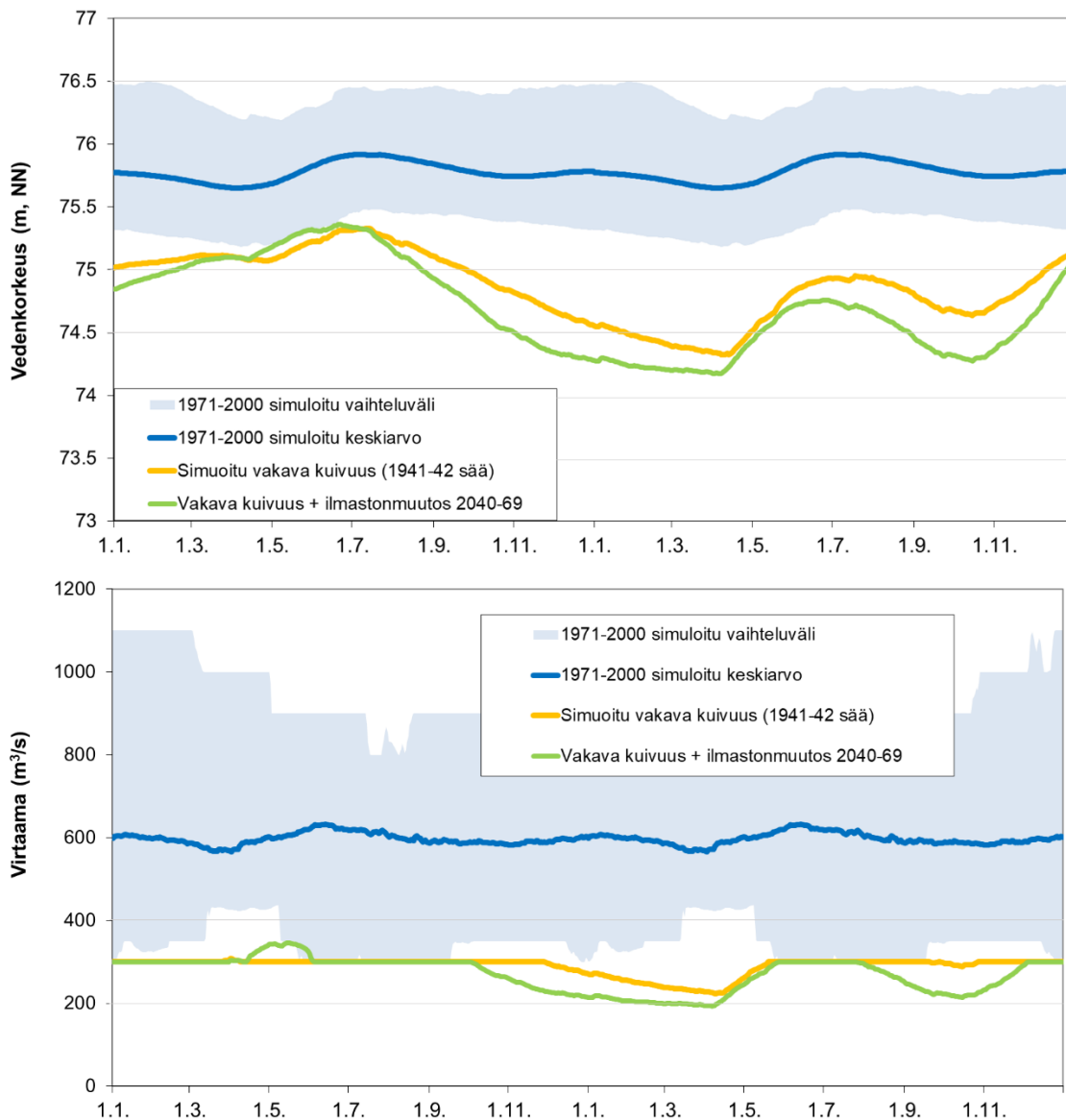


Ilmastomuutos

Laskelmissa arvioitiin myös ilmastomuutoksen vaikutusta vakavaan kuivuuteen. Ilmastomuutos keskimäärin lisää sadantaa Suomessa, mutta samalla myös haihdunta lisääntyy ja vuodenaikojen rytmi muuttuu. Tämän seurauksen talven ja kevään kuivuus yleensä helpottaa, mutta kesän ja syksyn kuivuus pahenee. Laskentoja tehtiin useilla eri ilmastoskenaariolla ja jaksolla. Tässä on esitetty tulokset jaksolla 2040–69 ns. keskiarvoskenaariolla, joka on usean globaalin ilmastomallin keskiarvo melko keskimääräisiä päästöjä vastaavalla RCP 4.5 päästöskenaariolla.

Laskelmat tehtiin edellä esitetyllä kolmannella juoksutusvaihtoehdolla, jossa siirrytään luonnonmukaiselle purkautumiskäyrälle vedenkorkeuden alittaessa tason 74,69. Sen mukaan ensimmäisen vuoden kesän kuivuus on entistä pahempi. Vedenkorkeus on ensimmäisen vuoden toukokuussa ilmastomuutoslaskennoissa hieman referenssijaksoa korkeammalla, mutta laskee loppukesällä nopeammin ja laskee alle referenssijakson vedenkorkeuden heinäkuussa. Minimivirtaamat toisen vuoden huhtikuussa ovat 193 eli 28 m³/s pienempiä kuin ilman ilmastomuutosta. Vedenkorkeuden minimi on tasolla 74,17 m +NN eli 14 cm alempana kuin referenssijaksolla. Nämä tulokset on laskettu käyttäen keskiarvoskenaariota. Runsassateisemmilla

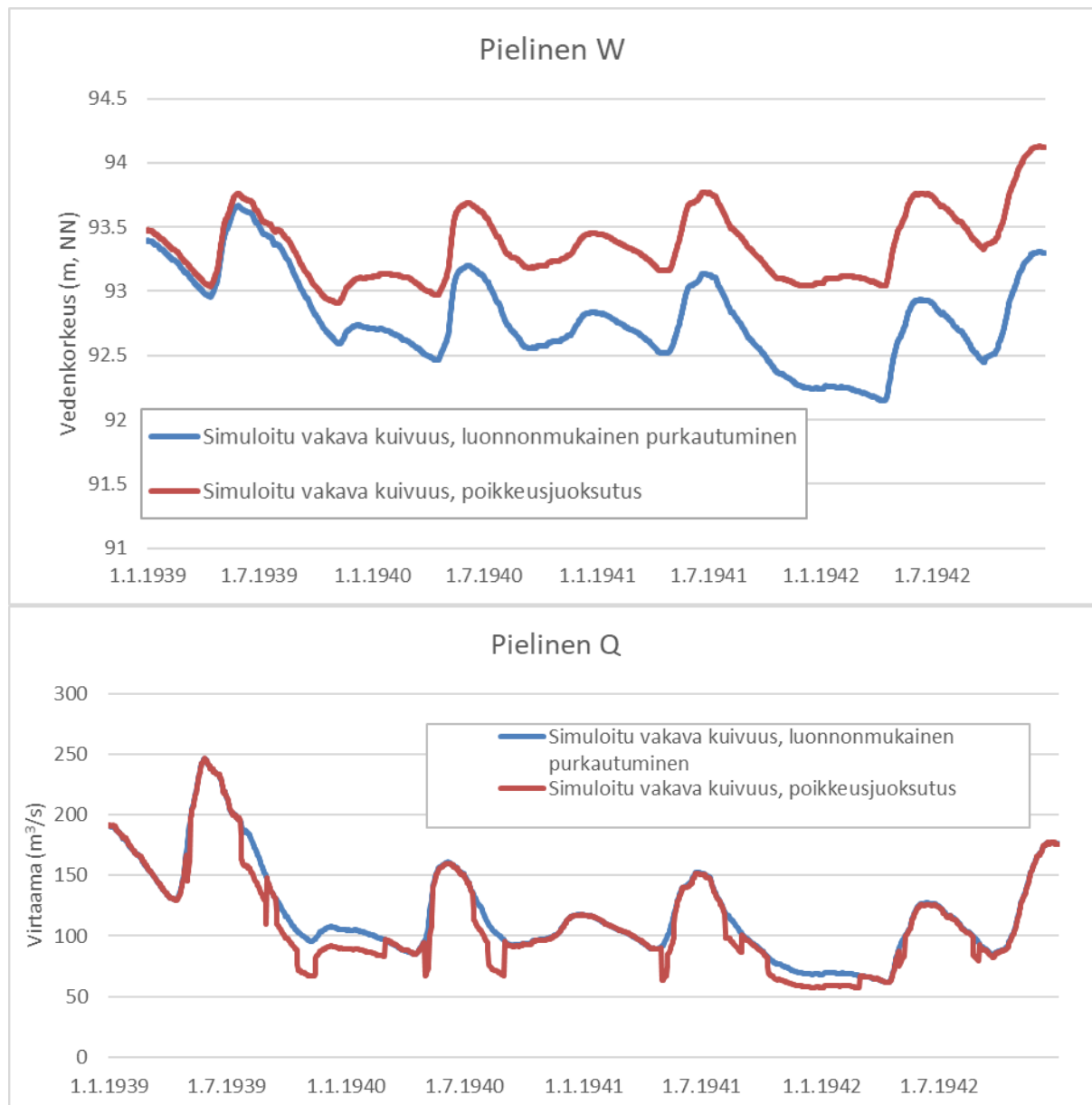
skenaarioilla ilmastonmuutos ei juuri pahenna kuivuutta, kun taas vähäsateisemmilla skenaarioilla vaikutus on vielä hieman keskiarvoskenaarioita suurempi.



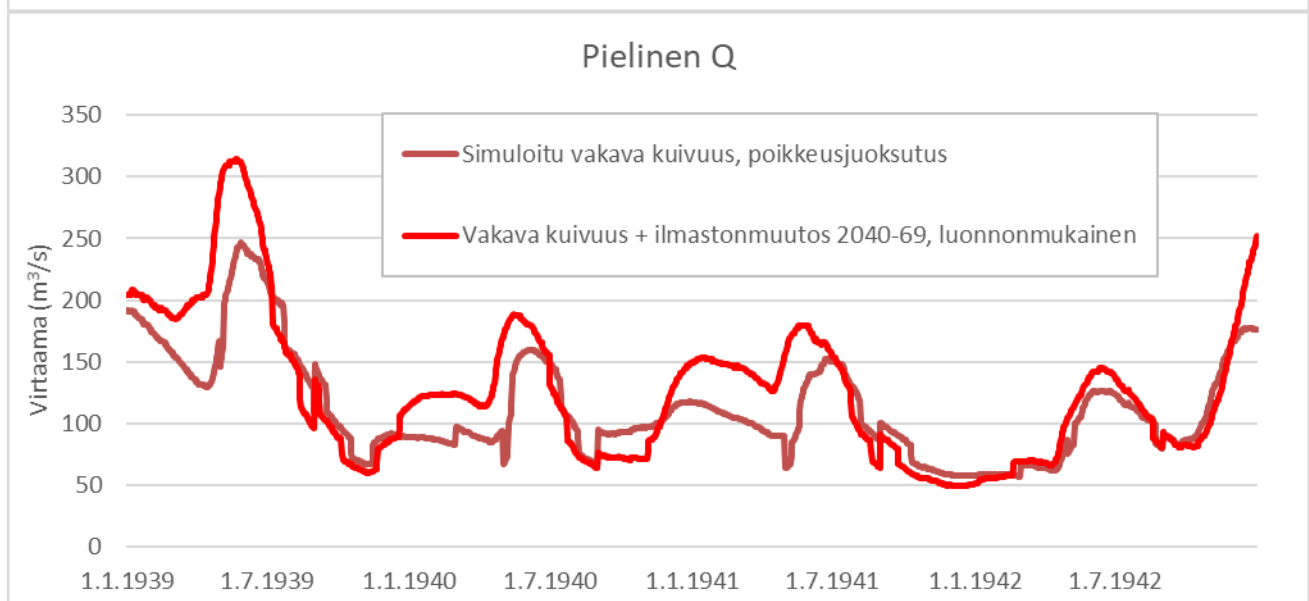
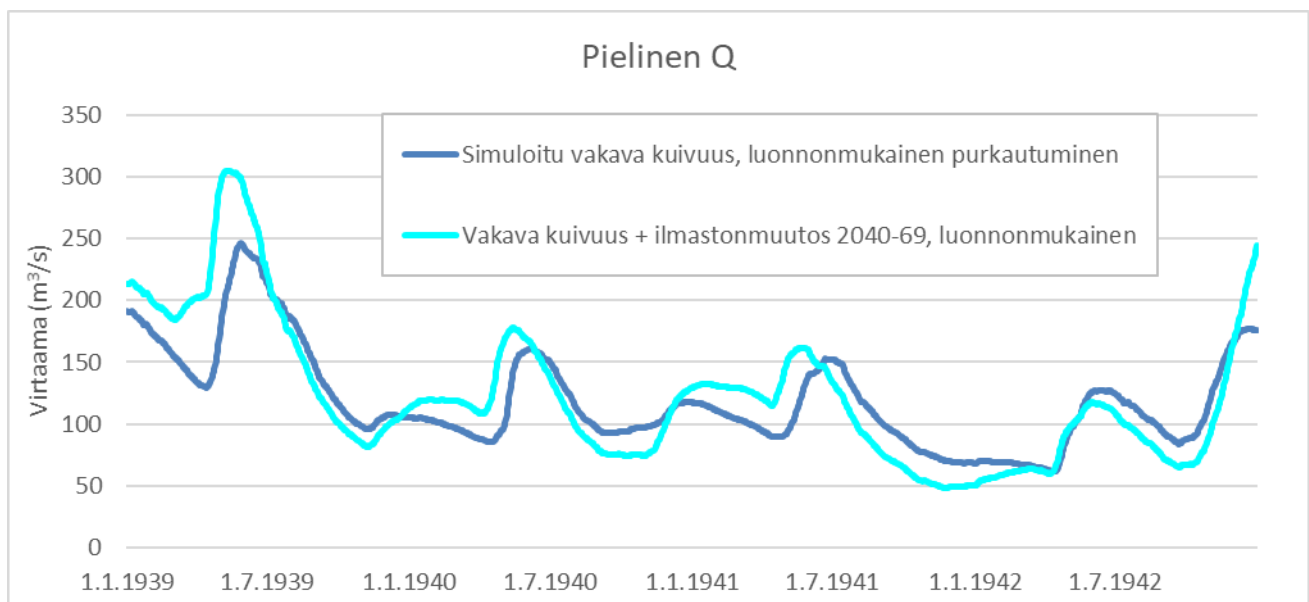
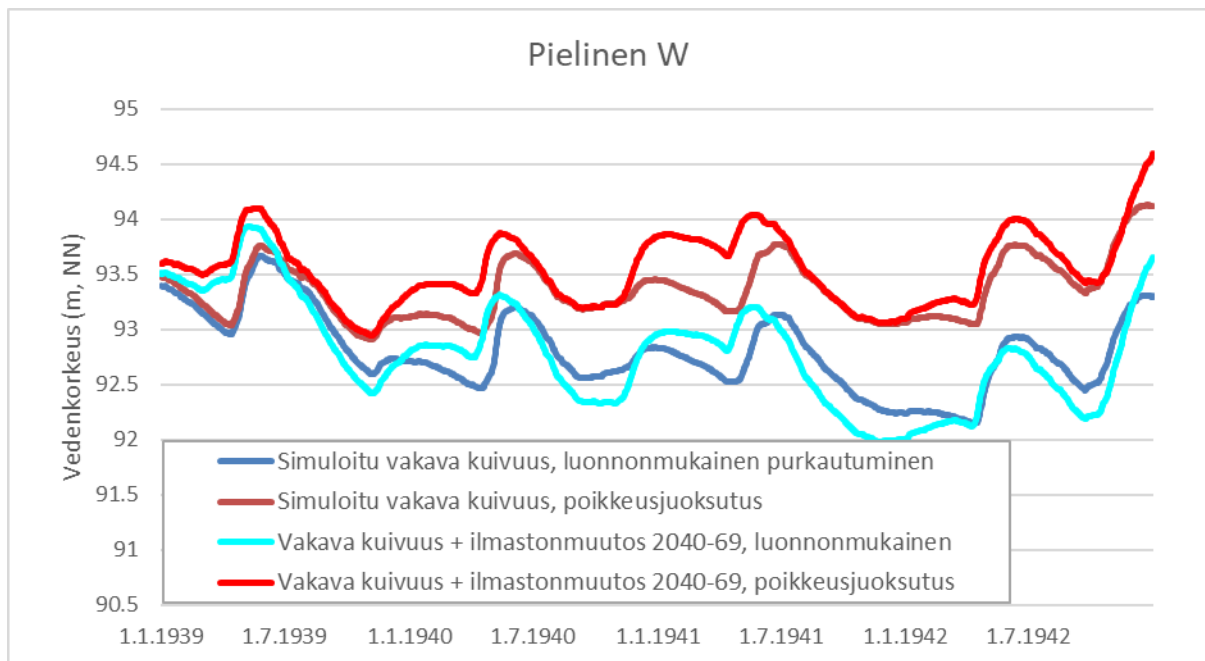
Pielinen

Pielisen vedenkorkeuden lasku vakavan kuivuuden aikana riippuu paljolti siitä, voidaanko siellä käyttää poikkeusjuoksutuksia ja missä määrin. Tämä taas riippuu paljon Saimaan tilanteesta. Kuivuus on myös Pielisellä hyvin pitkä, joten pienikin poikkeusjuoksutus ehtii usean vuoden aikana saada aikaan suuren eron vedenkorkeuksissa. Jos Pielisen purkautuminen noudattaa luonnonmukaista purkautumista laskee vedenkorkeus kuivuuden viimeisenä vuonna hyvin alas, alimmilleen tasolle 92,15 m huhtikuussa. Kuivuuden kannalta pahimpana kesä (viimeisen simulointivuoden kesä, vastaa 1942 vuotta) vedenkorkeus on alle 93,0 m koko kesän ajan luonnonmukaisella juoksutuksella. Jos Pielisellä on mahdollista tehdä lieväkin poikkeusjuoksutus, saadaan vedenkorkeutta nostettua selvästi. Esimerkiksi poikkeusjuoksutuksella, jossa juoksutus on suurimman osan aikaa osaksi 10 % luonnonmukaista pienempi, paikoin 20 %, Pielisen vedenkorkeuden minimi on 92,91 m ja se saavutetaan jo kuivuuden ensimmäisenä vuonna (jolloin

poikkeusjuoksutus ei ole vielä ehtinyt vaikuttaa paljoa). Kuivuuden viimeisenä vuonna vedenkorkeuksien ero luonnonmukaiseen on jo noin 90 cm eikä vedenkorkeus laske alle tason 93,00. Kesällä vedenkorkeus pysyy yli 93,5 m:n. Poikkeusjuoksutus alentaa jonkin verran Saimaan vedenkorkeuksia, riippuen Saimaan juoksutuksista. Jos käytössä on toinen vaihtoehtoinen juoksutus Saimaalle (jossa juoksutus alle 300 m³/s vedenkorkeuden alittaessa m +NN) laskee Saimaan vedenkorkeus Pielisen poikkeusjuoksutuksen kanssa n. 5,5 cm alemmaksi kuin ilman sitä.

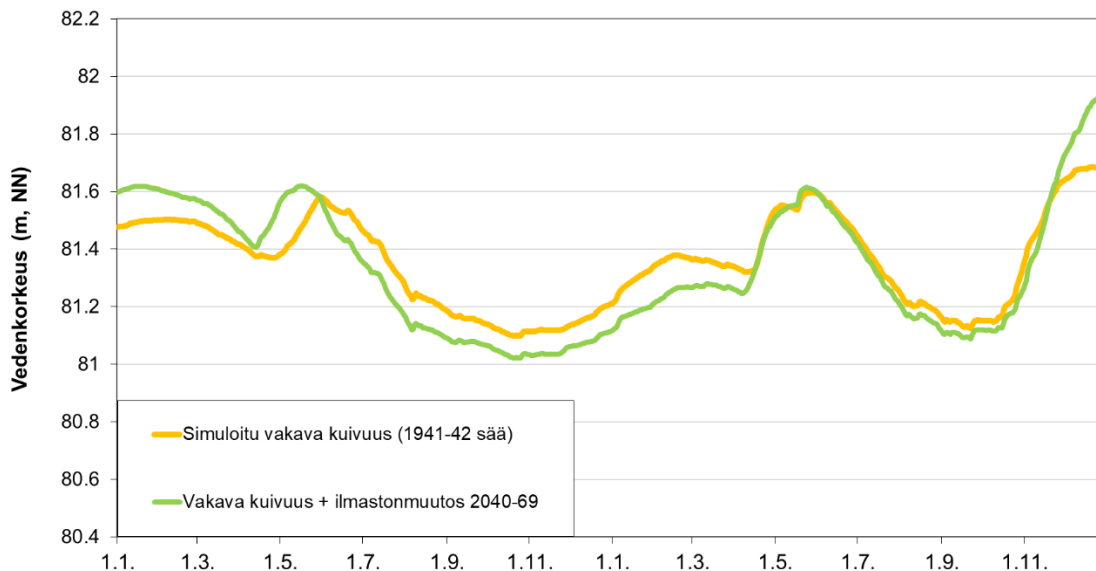


Ilmastonmuutos nostaa vedenkorkeuksia talvella ja laskee kesällä. Luonnonmukaisella purkautumisella vedenkorkeudet laskevat ilmastonmuutostilanteessa (2040-69 keskiarvoskenaariolla) hieman referenssiä alemmas. Poikkeusjuoksutusta käyttäen vedenkorkeus pysyy samalla tasolla tai korkeammalla kuin referenssijaksolla. Tämä johtuu osittain poikkeusjuoksutuksen määrittäytavasta, se lasketaan luonnonmukaista vedenkorkeutta vastaavasta virtaamasta. Kun luonnonmukainen vedenkorkeus on alempana, on poikkeusjuoksutus voimakkaampi. Vaikka Pielisen vedenkorkeus siis pysyy poikkeusjuoksutustilanteessa samalla tasolla tai korkeammalla kuin referenssijaksolla, on juoksutus Pielisestä usein alempana kuin referenssijaksolla. Ilmastonmuutos ei keskiarvoskenaariolla kuitenkaan vaikuta kuivuuteen kovin voimakkaasti.



Kallavesi

Kallavedellä vedenkorkeudet ovat alhaisemmillaan ensimmäisen vuoden syksyllä ja uudestaan toisen vuoden syksyllä. Ilmastonmuutos pahentaa kuivuutta erityisesti ensimmäisen vuoden syksyn aikana. Vedenkorkeudet eivät kuitenkaan laske Saimaan tilanteeseen verrattuna kovin alas. Tulosten perusteella luonnonkosken uusi purkautumiskäyrä estää tehokkaasti kovin alhaisia vedenkorkeuksia.

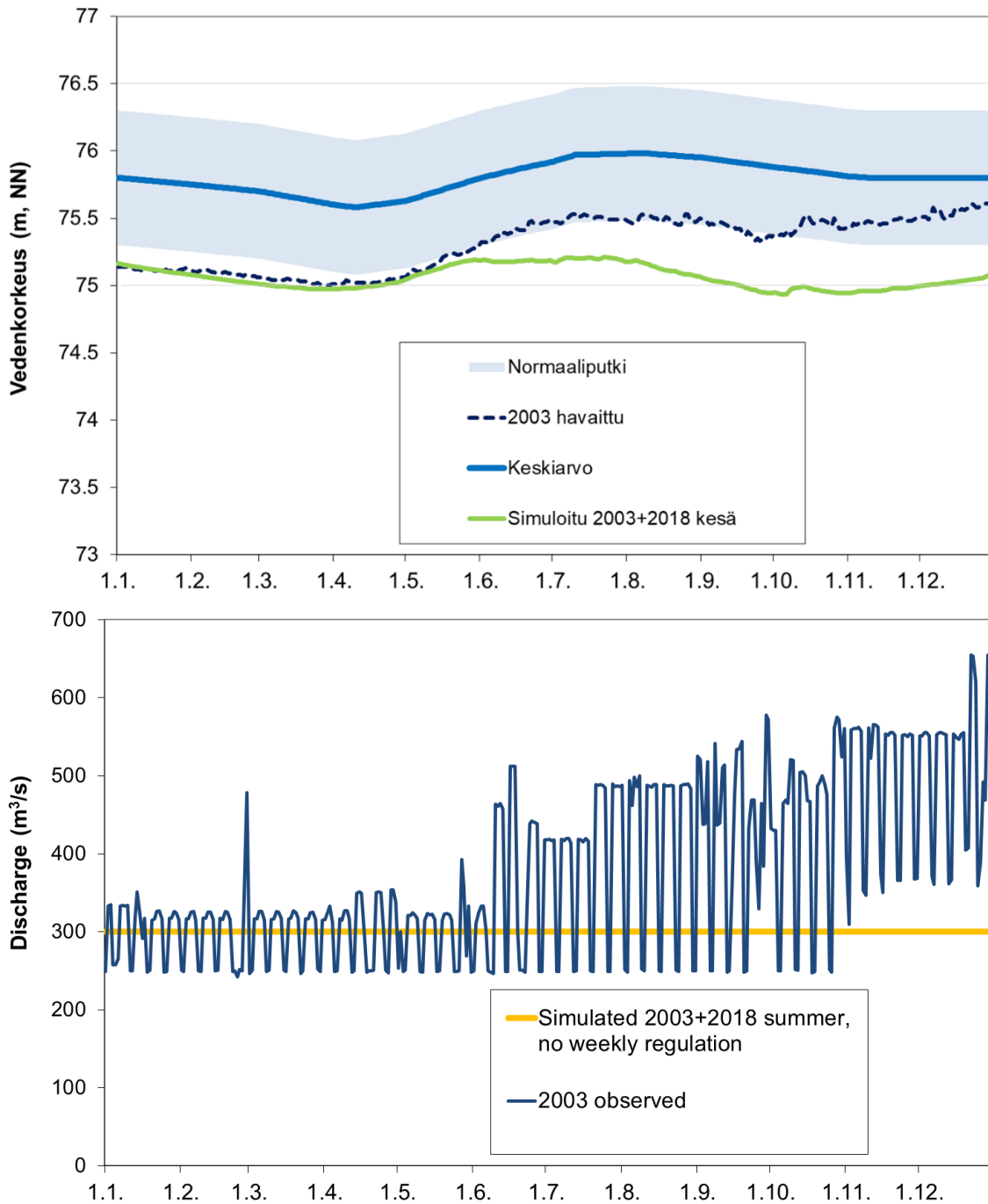


Keskivakava kuivuus

Tämä kuivuustilanne on luotu yhdistämällä viime vuosikymmenten vakavin kuivuus eli vuosien 2002–2003 kuivuus ja viime vuosikymmenten kuivin kesä vuodelta 2018 yhteen. Sää vastaa simuloinnin alusta vuoden 2003 huhtikuuhun asti 2002–2003 tilannetta ja toukokuusta lähtien vuoden 2018 tilannetta. Tämän kuivuustilanteen toistumisaika on arviolta n. kerran 70-120 vuodessa.

Saimaa

Saimaan vedenkorkeus on simuloinneissa alkuvuoden 2003 havaintoja lähellä, kuten tuleekin olla kun käytössä ovat 2002–2003 säähavainnot. Toukokuusta lähtien siirrytään käyttämään vuoden 2018 havaintoja ja ero havaittuun vedenkorkeuteen kasvaa. Vedenkorkeuden nousu pysähtyy jo kesäkuussa ja kääntyy laskuun elokuussa. Kesä-heinäkuun aikana vedenkorkeus on tason 75,20 m +NN tuntumassa ja ero keskitasoon kasvaa kesäkuun 60 cm:stä elokuun 90 cm:iin. Alimmillaan vedenkorkeus on 6.10. tasolla 74,93 m +NN. Juoksutus on koko vuoden ajan 300 m³/s eikä sitä ole juoksutussäännön nykytulkinnan mukaan mahdollista näillä vedenkorkeuksilla pienentää, joten erilaisia juoksutusvaihtoehtoja ei ole tarkasteltu. Simuloinneissa ei ole mukana viikkojuoksutusta, toisin kuin vuoden 2003 havainnoissa.

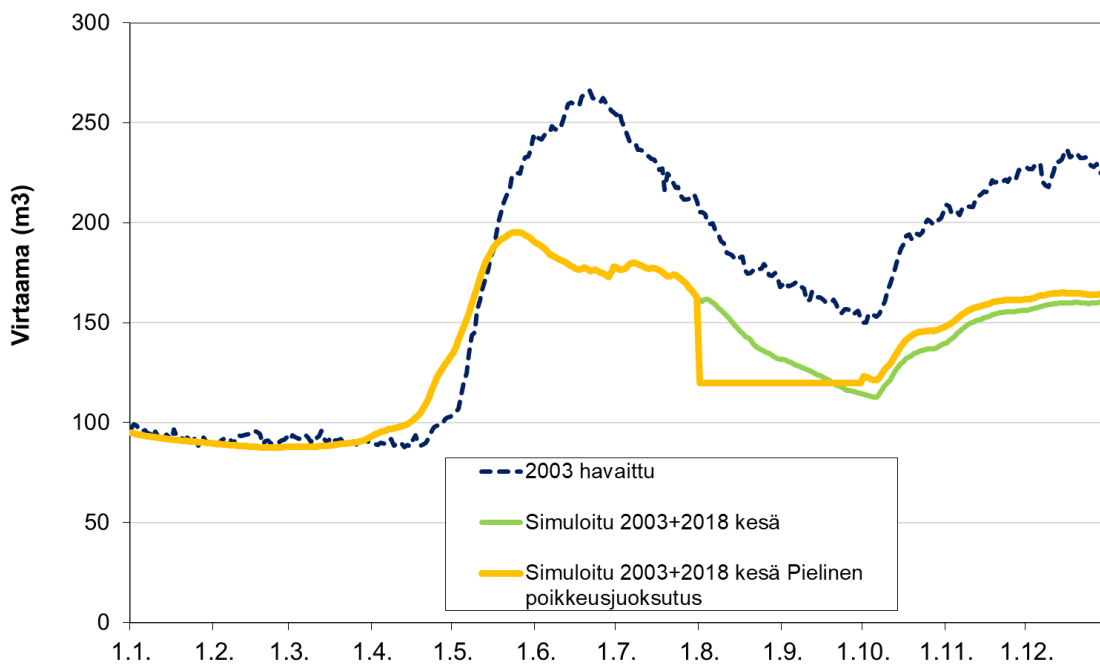
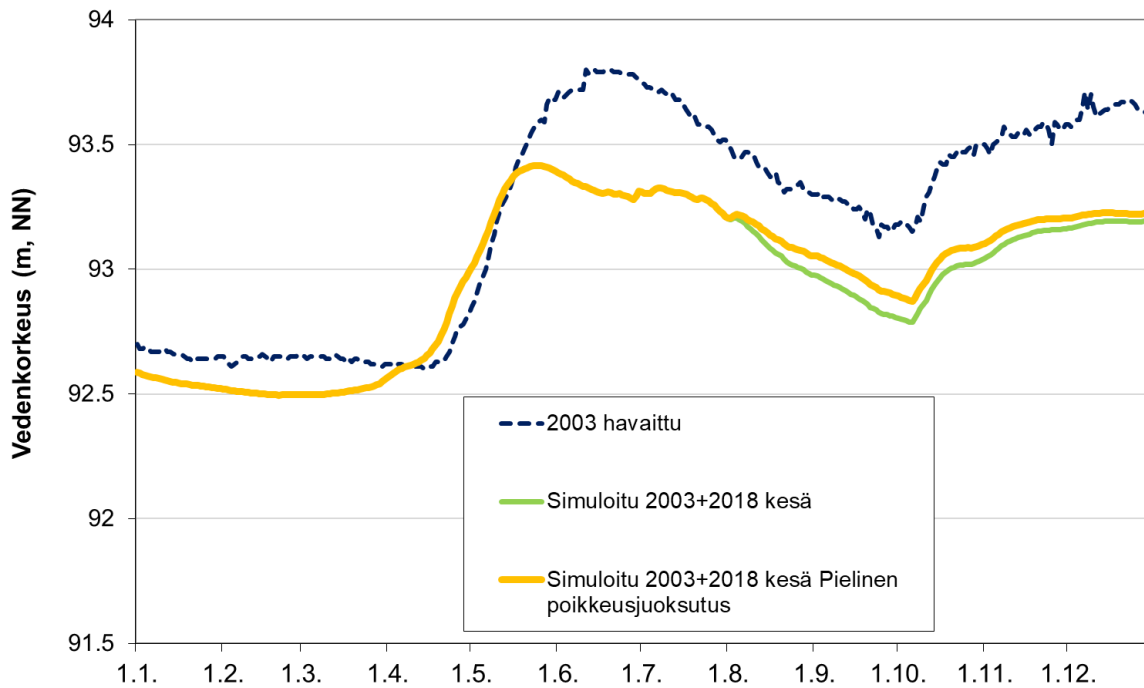


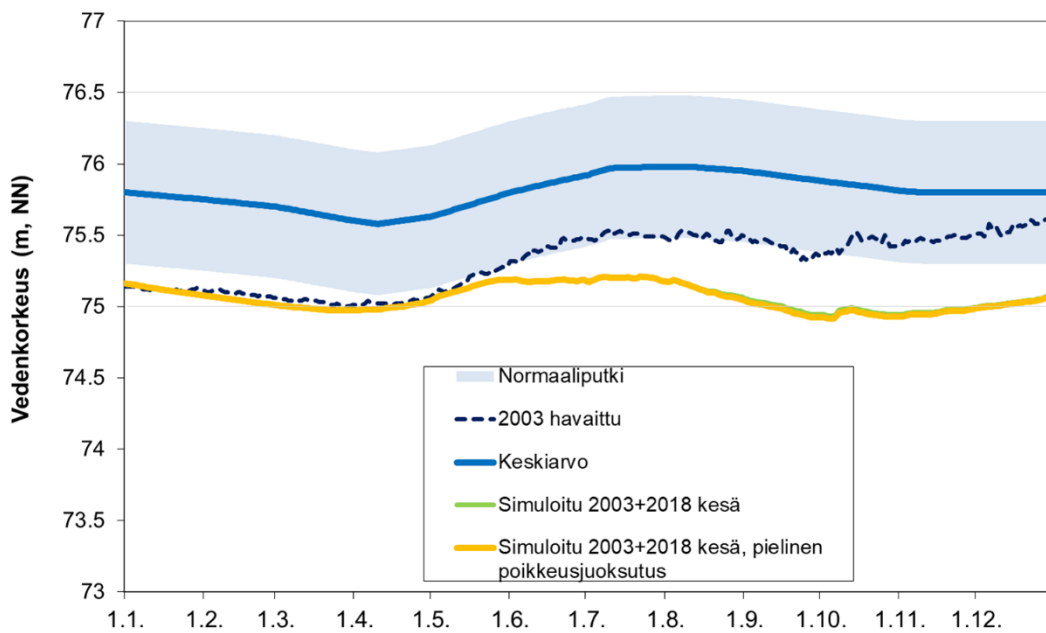
Pielinen

Pieliselle on laskettu tässä 2002-2003+2018 tilanteessa kaksi juoksutusvaihtoehtoa; Pielinen luonnonmukaisena ja Pielisen poikkeusjuoksutus. Lisäksi on laskettu poikkeusjuoksutuksen vaikutus Saimaan vedenkorkeuteen, kun Saimaan juoksutus on vakio 300 m³/s.

Pielisellä luotu kuivuustilanne ei ole yhtä vakava kuin Saimaalla. Toisin kuin Saimaalla poikkeusjuoksutuksilla pystytään myös tehokkaasti rajoittamaan lähtövirtaamaa ja nostamaan vedenkorkeuksia. Koska Saimaan tilanne on vakavampi, joudutaan Pielisen poikkeusjuoksutuksissa huomioimaan Saimaan tilanne ja juoksutuksen pienennykset ovat pienempiä kuin jos kuivuus koskisi pelkästään Pielistä. Tämä on usein tilanne alueella, joten tämä toimintatapa vastaa siten todellisuutta.

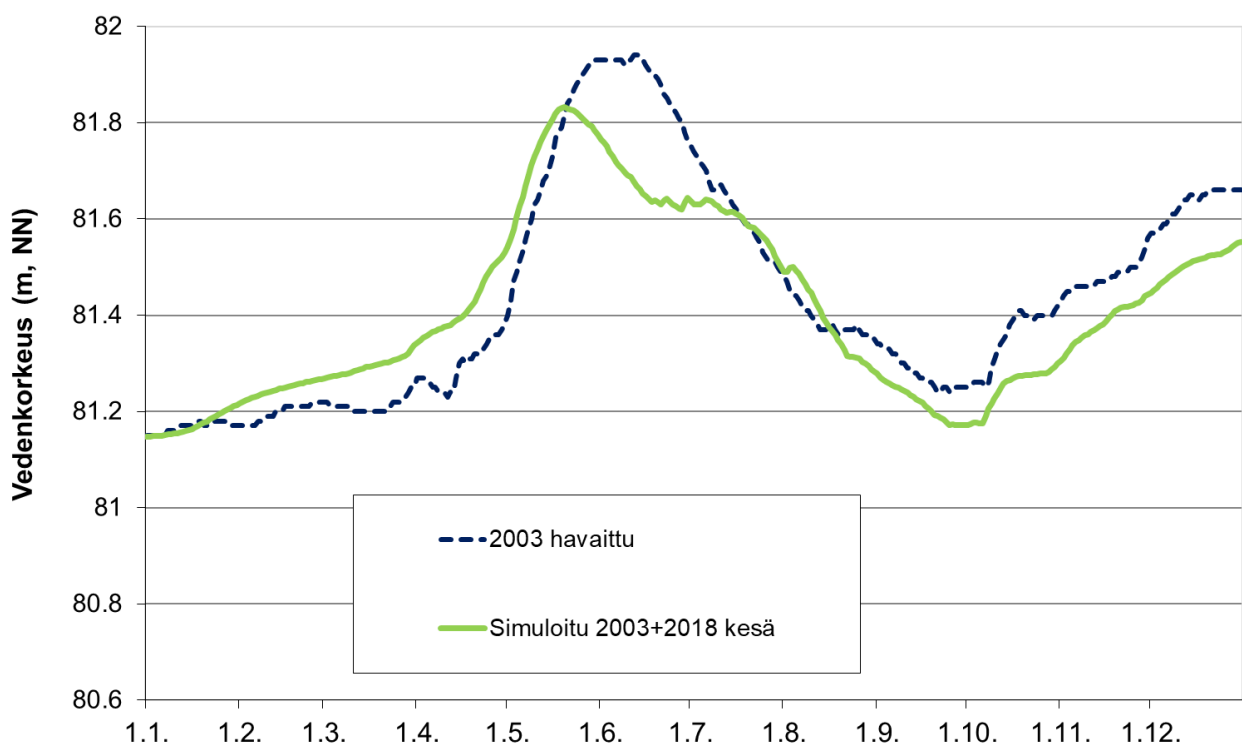
Pielisellä nyt lasketulla poikkeusjuoksutuksella nostetaan vedenkorkeuden minimiä noin 10 cm. Paljon tehokkaampikin poikkeusjuoksutus olisi Pielisellä teoriassa mahdollista, mutta koska se alentaisi pahemmin kuivuudesta kärsivän Saimaan tilannetta, se ei käytännössä olisi kovin realistinen vaihtoehto. Nyt laskettu poikkeusjuoksutus laskee Saimaan vedenpintaa suurimmillaan vain 2 cm ja poikkeusjuoksutuksen vaikutus alkaa vasta elokuusta alusta lähtien ollen suurimmillaan syyskuun puolivälin tienoilla.

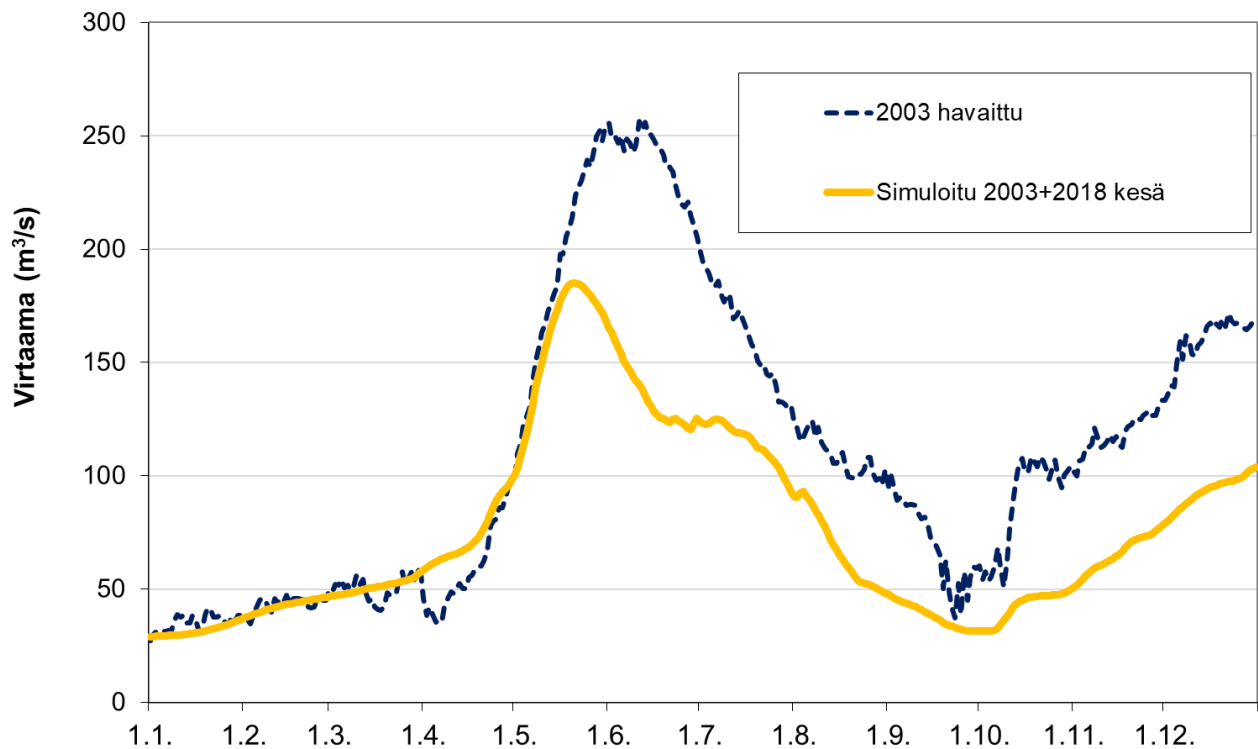




Kallavesi:

Kallaveden laskennoissa on käytetty sen teoreettisia uusia purkautumiskäyriä. Selvästi havaittua vuoden 2003 kesää kuivemmasta kesästä huolimatta vedenkorkeus ei laske kovin paljoa vuoden 2003 havaintoa alemmas. Uusi purkautumiskäyrä vaikuttaisi siis toimivan hyvin.





Kuivuus 2018 pidennettynä

Kolmannessa laskennassa tarkasteltiin tilannetta, jossa 2018 kuivuus olisi jatkunut vuonna 2019. Tässä laskennassa yhdistettiin 2018 sää melko kuivaan talveen (2016–2017 sää) ja erittäin kuivaan kevääseen ja kesään (2018 toiseen kertaan toukokuun alusta lähtien). Kuivuus ei kuitenkaan muodostunut erityisen vakavasti ja Saimaan vedenkorkeus pysyi simuloinneissa juuri ja juuri normaalivyöhykkeen sisällä. Tällä tarkastelulla haarukoitiin syksyllä 2018 riskiä seuraavan kesän kuivuudelle. Koska tämän kaltaisen kuivuuden synnyttämiseen olisi tarvittu hyvin kuiva vuosi 2019, niin riski normaalivyöhykkeen alittumisele arvioitiin varsin pieneksi. Todellisuudessa vuosi 2019 oli alkuvuodesta runsassateisempi, mutta kesä oli kuiva. Saimaan havaittu vedenkorkeus oli lokakuussa noin 10 cm korkeammalla kuin tässä simuloinnissa (ilman poikkeusjuoksutusta, simuloinneissa taas poikkeusjuoksutus kesäkuusta lähtien).

