

Ailangan pumppuvoimalan vaikutus Kemijärven veden-
korkeuksiin ja virtaamiin järvimallin avulla arvioituna

28.4.2025, v2

Asiakas: Kemijoki Oy

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	3
2	Lähtötiedot.....	3
2.1	Kohdealue.....	3
2.1.1	Tulevat ja lähtevät virtaamat.....	3
2.1.2	Vedenkorkeusvaihtelu	4
2.1.3	Mitattu lämpötilakerrostuminen Kemijärvellä.....	5
2.2	Laskentajakson valinta.....	6
2.3	Säätiedot.....	8
2.4	Virtaamat	8
3	Laskentamalli ja laskenta-asetukset	9
3.1	Laskentamalli	9
3.2	Laskennan periaate	9
3.3	Mallihilat.....	9
3.4	Reunaehdot.....	12
4	Pumppuvoimala	13
4.1	Sijainti ja käyttö	13
4.2	Pumppuvoimalan vaikutus Kemijärven läpivirtaamiin	14
5	Pumppuvoimalan vaikutukset kesällä 2021	17
5.1	Laskentaskenaariot	17
5.2	Vedenkorkeusvaihtelu ja virtaus nykytilanteessa (K0)	18
5.3	Muutokset vedenkorkeusvaihteluun ilman jokivirtaamia (K1).....	19
5.4	Muutokset vedenkorkeusvaihteluun, skenaario K2	22
5.5	Vaikutukset virtaamiin ja virtausnopeuksiin, skenaario K2 ..	24
6	Pumppuvoimalan vaikutukset talvella 2020–2021	30
6.1	Laskentaskenaariot	30
6.2	Vaikutukset vedenkorkeuden vaihteluun	31
6.3	Vaikutukset virtausnopeuksiin	33
6.4	Virtausnopeuksien muutos karttapohjalla	37
6.5	Jääpeitteen muutos	40
7	Eroosiopotentiaali.....	43

7.1	Leikkausjännitys pohjalla.....	44
8	Vaikutus syvyysuuntaiseen sekoittumiseen	50
9	Laskennan epävarmuuksista	52
10	Yhteenveto.....	54
11	Lähdeluettelo.....	56

28.4.2025

AFRY Finland Oy,
Vesistöselvitykset
Elektroniikkatie 13
90590 OULU

Copyright © AFRY Finland Oy

Kaikki oikeudet pidätetään Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman AFRY Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

1 Johdanto

Tässä raportissa on arvioitu Kemijärven Ailangantunturiin suunnitellun pumppuvoimalan vaikutuksia Kemijärven Kauhaselän alueen vedenkorkeuksiin, virtausnopeuksiin, läheisten salmien läpivirtaamiin ja jäätilanteeseen. Lisäksi on arvioitu mahdollista virtausmuutoksista aiheutuvaa pohjasedimentin eroosiota sekä lämpötilakerrostumisen muuttumista.

Arviointi on tehty laatimalla Kemijärvelle 3d-virtausmalli, ja laskemalla mallilla vuoden 2020–2021 talvi ja vuoden 2021 kesäjakso sekä nykytilanteelle että suunnitellun pumppuvoimalan kanssa. Laskentamallina käytettiin Delft3D FM -ohjelmistoa. Malli on Delftin yliopiston kehittämä, ja sitä ja sen aikaisempaa versiota Delft3d-mallia on aloitettu kehittämään jo 1980-luvulla. Malli on kattavasti dokumentoitu ja sitä on käytetty monen tyyppisiin mallinnuksiin eri puolilla maailmaa.

Tässä raportissa esitetyt korkeudet ovat N43-tasossa.

2 Lähtötiedot

2.1 Kohdealue

Kemijärvi sijaitsee Lapissa pääosin Kemijärven kaupungin alueella. Järvi on voimakkaasti säännöstelty, kesällä järven pinta pyritään pitämään lähellä 149 m tasoa, mutta talvella pintaa lasketaan siten, että toukokuun alun tienoilla järven alaosan pinta on lyhytaikaisesti lähellä säännöstelyn alarajaa (142,14 m). Järven puolivälissä Kalkonniemen kohdalla on pohjapato, joka rajoittaa järven yläosan pinnan laskua niin, että järven yläosan pinta pysyy vähintään tasolla 146 m. Järven pinta-ala vaihtelee kesän noin 240 km² alasta lopputalven noin 120 km² pinta-alaan.

Järvi jäätyy säännöllisesti talvisin muutamia virtapaikkoja lukuun ottamatta. Jääpeitteinen aika kestää tyypillisesti marraskuusta toukokuun alkuun.

2.1.1 Tulevat ja lähtevät virtaamat

Pääosa Kemijärveen tulevista vesistä tulee ja lähtee Kemijokea pitkin. Jakson 2010–2023 keskimääräinen Ylä-Kemijoesta Kemijärveen tuleva virtaama oli 281 m³/s (sisältäen Kitisen virtaaman). Järvestä lähtevää virtaamaa säännöstellään Seitakorvan voimalaitoksella. Järvestä Kemijokeen Seitakorvasta lähtevä virtaama oli samalta jaksolta 327 m³/s, eli Kemijoen osuus tulevista vesistä on 86 %. Suurimmat järveen laskevat muut joet ovat Käsmänjoki (keskivirtaama 13,5 m³/s) ja Jumisko (keskivirtaama 15,4 m³/s, säännöstelty). Näiden lisäksi järveen laskee vielä useita pienempiä jokia, joiden keskivirtaaman yhteismääräksi jää 17 m³/s. Virtaamat on laskettu SYKE:n Vemala- ja Herttatietojärjestelmistä poimituista tiedoista (SYKE Hertta 2024, SYKE Vemala 2024).

Järveen pohjoisesta tulevan Kemijoen virtaama on myös osin säännöstely. Noin 40 % Kemijokea pitkin Kemijärveen tulevista vesistä on peräisin Kitisestä, jota säätelee Kokkosnivan voimalaitos. Laitos sijaitsee Kemijärven kaupungista noin 65 km jokea pitkin pohjoiseen, ja sen keskivirtaama jaksolla 2010–2023 oli 115 m³/s. Kokkosnivan voimalan alapuolelta Kemijärvelle vedenpinnan keskimääräinen putouskorkeus on 1 m (Marttunen et al. 2004).

Yleisesti avovesiaikana järvillä virtauksia ja vedenkorkeuden vaihteluita määrittää tuuli. Tuuli saa aikaan järvillä tyypillisesti noin 1–2 % tuulen nopeudesta tuulen suuntaan kulkevan pintavirtauksen, ts. tuulen nopeuden ollessa 5 m/s olisi pinta-virtauksen suuruus noin 5–10 cm/s (Henderson-Sellers, 1988). Kemijärvellä läpivirtaama on keskimäärin noin 300 m³/s. Tämä virtaama sijoitettuna esim. 400 m levyiseen ja 10 m syvään poikkileikkaukseen (~Luuksinsalmi) saa aikaan virtausnopeuden 7,5 cm/s. Kemijärvellä siis avoimilla selkäalueilla, missä poikkileikkaus on suuri, virtauksia määrittää pääasiassa tuuli, kun taas läpivirtaamareitin kapeikoissa (esim. Kalkonniemi, Luuksinsalmi) virtauksia määrittää tuulen lisäksi myös läpivirtaama.

2.1.2 Vedenkorkeusvaihtelu

Kemijärvellä pidempiaikainen vedenkorkeusvaihtelu aiheutuu järveen tulevien vesimäärien vaihtelusta ja säännöstelyn vuosi- ja kuukausivaihtelusta. Vuorokauden sisäistä vedenkorkeusvaihtelua aiheutuu puolestaan sääolosuhteista, tulevien virtaamien vaihtelusta ja Seitakorvan vuorokauden sisäisestä säännöstelystä.

Seitakorvan vuorokauden sisäisen säännöstelyn aiheuttama vedenkorkeuden muutos näkyy käytännössä koko Kemijärvellä, kauempana voimalaitoksesta tosin vaimentuneena ja viivästyneenä. Vedenkorkeusmuutoksen viivettä voi arvioida virtausmekaniikan kaavoilla seuraavasti: vedenkorkeuden äkillinen muutos aiheuttaa järveen matalan aallon, jonka etenemisnopeus riippuu matalissa vesissä syvyydestä kaavan (1) mukaisesti.

$$(1) \quad u = \sqrt{gh}$$

Kaavassa u on aallon nopeus (m/s), g on painovoiman kiihtyvyys 9,81 m²/s, ja h vesialueen syvyys (m). Kaava on voimassa, kun aallonpituus on suuri veden syvyyteen verrattuna. Jos oletetaan Kemijärven läpivirtausreitin syvyydeksi 10 m, etenee vedenkorkeusmuutoksen aiheuttama aalto Kemijärvellä noin 10 m/s. Seitakorvalta on Kemijärven kaupungin kohdalle noin 42 km, jolloin matkaan kuluu 4200 s, eli em. oletuksilla Seitakorvalla tapahtuva vedenkorkeusmuutos näkyy Kemijärven kaupungin rannalla noin reilun tunnin kuluttua siitä, kun se on Seitakorvalla tapahtunut. Aalto joutuu tosin etenemään vastavirtaan, jolloin sen vauhti hidastuu virtausnopeuden verran.

2.1.3 Mitattu lämpötilakerrostuminen Kemijärvellä

Kemijärven lämpötilakerrostumista tarkasteltiin SYKE:n Hertta-tietokannasta löytyvien mittaustietojen perusteella. Mittauksia on tehty Kemijärveltä vuoden 2010 jälkeiseltä ajalta Tossanselältä pisteestä Kemijärvi 147 ja Jumiskonselältä pisteestä Jumiskonselkä 106. Lisäksi mittauksia on tehty pohjapadon yläpuolelta pisteestä Kemijärvi 148 ja Lehtosalmosta pisteestä Lehtosalmi 58.

Pohjapadon yläpuolen pisteen (Kemijärvi 147, syvyys 13,8 m) kesämittauksissa näkyi lämpötilakerrostumista. Pinnan ja pohjan välinen lämpötilaero vaihteli 0–10 °C välillä. Suurempia arvoja (>5 °C) oli yksi. Talviaikaisia mittauksia oli kolme, näissä yhdessä näkyi yhden asteen ero pinnan ja pohjan lämpötilassa, muissa mittauksissa pohjan lämpötila vastasi pintakerroksen lämpötilaa.

Lehtosalmen pisteessä (syvyys 10,5 m) lämpötilakerrostuminen oli vähäistä tai sitä ei ollut. Pisteestä oli pohjakerroksen mittauksia vain avovesiajalta.

Selkäalueiden pisteistä Jumiskonselän pisteessä (syvyys 15 m) oli ajoittain lämpötilakerrostumista. Kesämittauksissa pinnan ja pohjan lämpötilaero vaihteli välillä 0–8 °C, talvella 1–3 °C. Talviajalta oli kolme mittausta, kesäajalta yksitoista.

Tossanselän pisteestä (syvyys 21,1 m) näkyi myös lämpötilakerrostumista. Avovesiajan mittauksissa lämpötilaero pinnan ja pohjan välillä vaihteli 0–12 °C välillä, joskin suurempia arvoja (ero >5 °C) oli vain muutama, talvella pohjan ja pinnan lämpötilaero oli 2–3 °C. Talviajan mittauksia oli kolme, avovesiajan mittauksia 20.

Ennen vuotta 2010 tehtyjä mittauksia löytyy yksittäisistä pisteistä. Kauhaselältä pisteestä Kemijärvi K16 (syvyys 16,1 m) löytyy muutamia mittauksia: 1982 mittauksessa elokuussa ei lämpötilakerrostumista näkynyt, tammikuussa 1983 pohjan lämpötila oli 1,7 °C ja pinnan lämpötila 0,2 °C. Samassa pisteessä vuoden 2004 elokuussa alussa pinnan ja pohjan lämpötilaero oli 6,1 °C. Kauhaselän pisteestä Kallioranta 105 oli myös muutamia mittauksia: Elokuussa 1982 pohjan ja pinnan lämpötilaero oli 5,5 °C, talviajalta löytyy kaksi mittausta, näissä pinnan ja pohjan välinen lämpötilaero vaihtelee välillä 2–3 °C.

Mittausten perusteella Kemijärven vesi kerrostuu kesällä järven selkäalueilla. Päävirtausreitillä ja kapeikoissa (esim. Lehtosalmi) lämpötilakerrostuminen voi jäädä vähäiseksi tai olemattomaksi. Talvella päävirtausreitillä ja kapeikoissa kerrostuminen on vähäistä. Selkäalueilla pohjakerroksen veden lämpötila oli useammissa mittauksissa 2–3 °C välillä, kun pintakerroksen (1 m syvyys) veden lämpötila vaihtelee 0–0,2 °C asteen tietämissä. Virtausreitillä (esim. Tossanselkä) voi talvisaikainen lämpötilakerrostuminen myös puuttua kokonaan.

2.2 Laskentajakson valinta

Pumppuvoimalan aiheuttamia vaikutuksia haluttiin tarkastella kaikkina vuoden aikoina, sekä yhtäjaksoisesti yli kesän lämpötilakerrostuneen jakson ja talven jääpeitteisen ajan. Mallilaskentaan tarvittiin siten noin vuoden mittainen laskentajakso.

Laskentajakson valintakriteereiksi asetettiin a) mahdollisimman läheltä nykyhetkeä oleva vuosi, jolloin b) olosuhteet, kuten virtaama olisivat lähellä keskimääristä ja c) järven säännöstely ja pumppuvoimalan käyttö olisivat lähellä oletettavaa normaalia käyttöä.

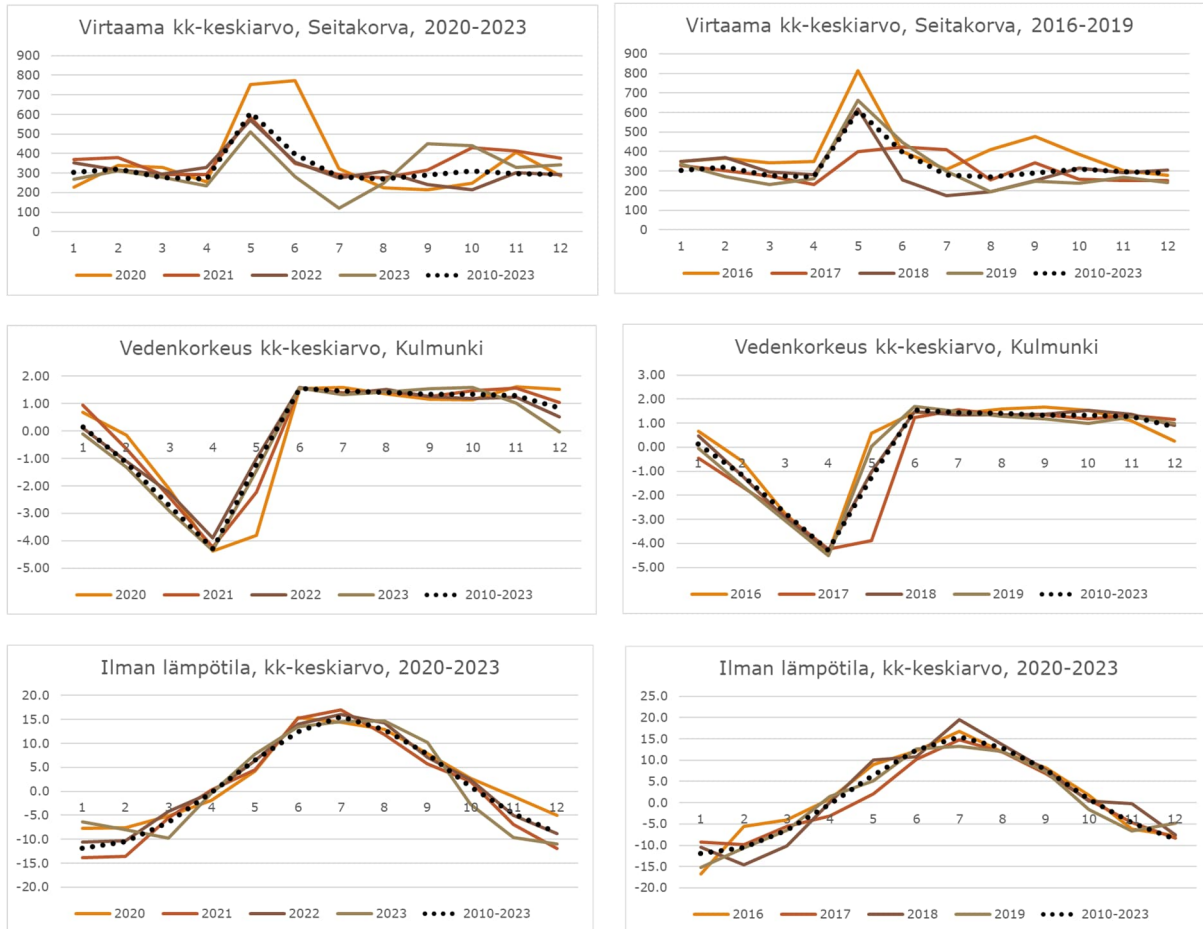
Kriteerin a) perusteella tarkasteltavat vuoden rajattiin välille 2015–2023. Kuvassa 2-1 on esitetty vuosien 2016–2023 olosuhdetietoja Kemijärveltä: Seitakorvan virtaama, vedenkorkeus Kulmungissa sekä ilman lämpötila Kemijärven lentokentältä. Virtaaman perusteella huonosti keskiarvoa edustavat vuodet 2016, 2017, 2020, 2023; muiden vuosien katsottiin tässä olevan riittävän lähellä keskiarvoa. Vedenkorkeuden ja ilman lämpötilan perusteella em. vuosien lisäksi ei ole tarpeen karsia muita vuosia. Kriteerin c) eli säännöstelytarpeen osalta vuosi 2022 oli selvästi muista poikkeava (syynä vuoden 2022 energiakriisi), joten se edusti huonosti keskiarvoa. Vuosi 2020 oli myös poikkeava. Säännöstelytarpeen perusteella lähinnä nykytilaa olevaksi vuodeksi jäi vuosi 2021.

Asetettujen kriteerien a) - c) perusteella laskentavuodeksi valittiin 2021. Vuoden virtaaman, vedenkorkeuden ja ilman lämpötilan kuukausikeskiarvot on esitetty taulukossa 2-1. Taulukossa on esitetty myös jakson 2010–2023 kuukausikeskiarvot.

Vuonna 2021 virtaama oli talvella, keväällä ja kesällä lähellä 2021–2023 keskiarvoa. Loppusyksyllä ja alkutalvesta virtaamat olivat keskimääräistä suurempia. (Kuva 2-1)

Lämpötilan osalta vuoden 2020 loppusyksy (loka-marraskuu) oli keskimääräistä lämpimämpi, joten jääpeitteinen aika on alkanut keskimääräistä myöhemmin. Keskitalvi (tammi-helmikuu) ja toukokuu ovat puolestaan olleet keskimääräistä kylmempiä. Kesä- ja heinäkuut olivat keskimääräistä lämpimämpiä, mutta loppuvuosi taas lokakuuta lukuun ottamatta keskiarvoa kylmempi. (Kuva 2-1)

Vedenkorkeuden osalta tammi-helmikuussa ja marras- joulukuussa vesi oli keskimääräistä korkeammalla ja toukokuussa keskimääräistä alempana. Muina kuukausina vedenkorkeus pysyi lähellä keskiarvoa (ts. keskiarvoon oli 0,5 m tai vähemmän). (Kuva 2-1)



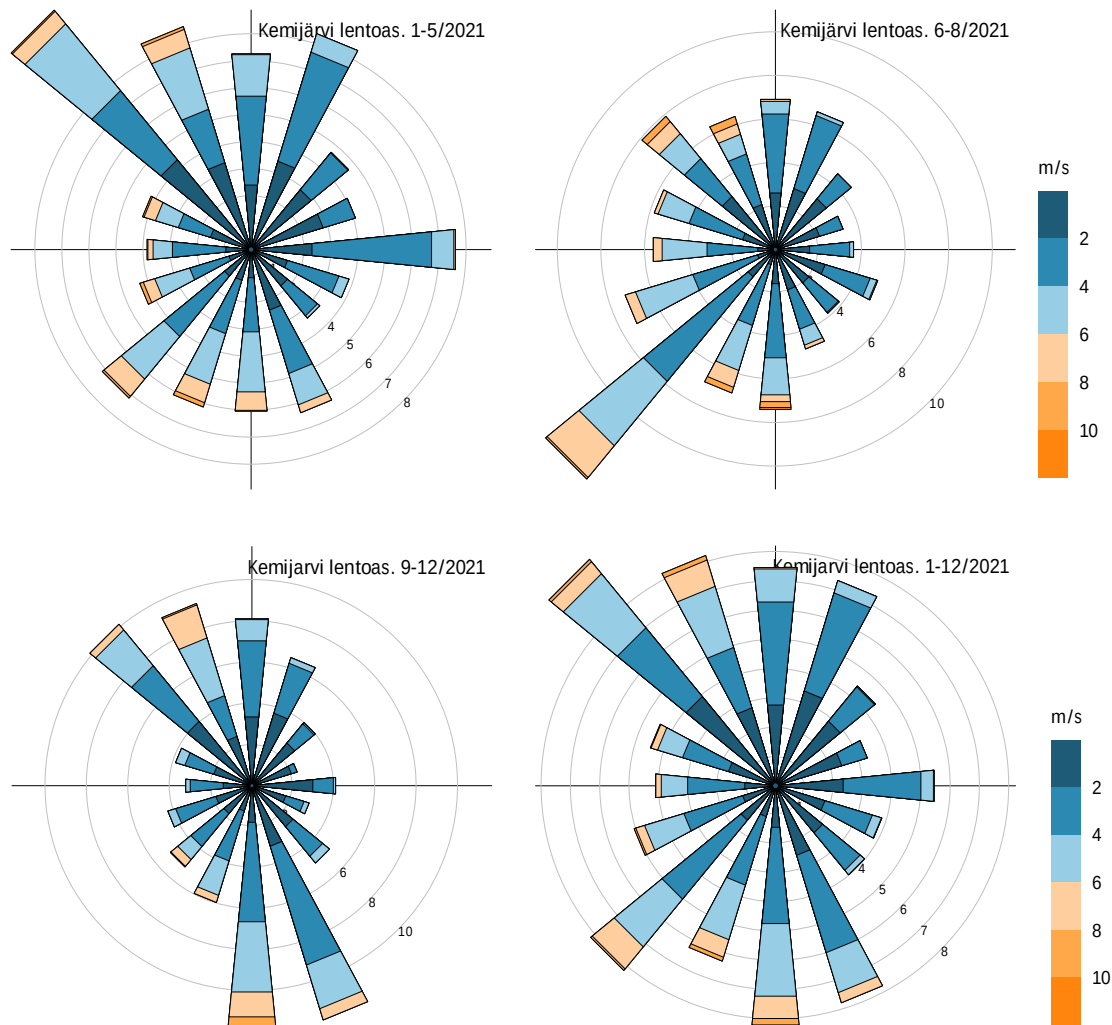
Kuva 2-1. Olosuhdetietoja Kemijärveltä vuosilta 2016-2023 ja keskiarvo jaksolta 2010-2023. Lähteet SYKE (SYKE Hertta 2024) ja Ilmatieteenlaitos (Ilmatieteenlaitos 2024).

Taulukko 2-1. Vuoden 2021 virtaaman, vedenkorkeuden ja ilman lämpötilan kuukausikeskiarvot verrattuna jakson 2010-2024 vastaaviin arvoihin.

	Ilman lämpötila		Virtaama		Vedenkorkeus	
	Kemijärvi		Seitakorva		Kulmunki	
	°C	°C	m ³ /s	m ³ /s	m	m
kk	2021	2010-2023	2021	2010-2023	2021	2010-2023
1	-13.9	-11.9	367.7	304.9	148.1	147.1
2	-13.6	-10.5	379.6	321.2	146.5	145.8
3	-5.6	-6.5	290.3	276.2	144.8	144.2
4	0.3	-0.2	293.7	271.7	142.9	142.8
5	4.4	6.4	585.5	611.2	144.9	145.7
6	15.2	12.4	350.7	397.0	148.7	148.7
7	17.0	15.5	293.5	279.0	148.6	148.5
8	11.9	12.9	276.1	269.6	148.6	148.6
9	5.7	7.9	317.0	290.6	148.4	148.7
10	2.0	0.8	429.4	311.5	148.6	148.8
11	-6.9	-4.7	414.5	296.5	148.7	148.2
12	-11.9	-8.6	376.1	292.2	148.2	147.1
k.a.	0.4	1.1	364.5	326.8	147.3	147.0

2.3 Säätiiedot

Vuonna 2021 tuuli vaihteli välillä 0–10,9 m/s (Kemijärven lentoaseman tiedot). Keskimääräinen tuulen nopeus oli 2,8 m/s ja tyypillisin tuulen suunta luode. Kesä-Elokuussa tuuli vaihteli välillä 0–10,9 m/s ja keskimääräinen tuulen nopeus oli 3,0 m/s. Tuulien suuntajakaumia eri kuukausilta on esitetty kuvassa 2-2.



Kuva 2-2. Tuuliruusut 1-5/2021, 6-8/2021, 9-12/2021 ja 1-12/2021 Kemijärven lentokentän havainnoista (data Ilmatieteenlaitos 2024).

2.4 Virtaamat

Vuonna 2021 Seitakorvan vuorokauden keskivirtaama vaihteli välillä 63–1 117 m³/s keskiarvon ollessa 364 m³/s. Vuoden 2021 kesän laskentajaksolla 1.6.–31.8.2021 Seitakorvan keskimääräinen vuorokauden alin virtaama oli 104 m³/s, ja keskimääräinen vuorokauden suurin virtaama 494 m³/s koko jakson keskivirtaaman ollessa 306 m³/s.

3 Laskentamalli ja laskenta-asetukset

3.1 Laskentamalli

Laskentamallina käytettiin pääasiassa Delft3D FM -ohjelmistoa (Deltares, 2025). Malli on Deltares-yhtiön kehittämä ja käytössä ympäri maailmaa. Malli käyttää epäsäännölliseen hilarakennetta, ts. kolmiohilaa. Syvyysuunnassa voidaan käyttää pohjaa myötäilevää sigma-hilaa, vakiosyvyystasoihin perustuvaa z-hilaa tai näiden kombinaatiota. Tässä käytettiin sigma-hilaa, johtuen siitä, että mallin z-hila ei sovellu tapauksiin, joissa vedenkorkeus vaihtelee vastaavassa määrin kuin Kemijärvellä.

Jäälaskentaa varten järvelle laadittiin myös EIA3d-virtausmalli 60 m hilaresoluutiolla. Kyseinen malli käyttää tasavälistä neliöhilaa ja z-syvyyskoordinaattia. Kyseistä mallia on sovellettu useaan kohteeseen Suomen järvillä ja rannikkoalueilla. Mallia on käytetty useissa eri kohteissa Suomessa, ja sen toiminta on varmistettu kattavasti mittausvertailujen avulla.

3.2 Laskennan periaate

Pumppuvoimalan vaikutusten laskenta tehdään ns. jälkikäteisennuste-menetelmällä (englanniksi 'hindcast'), ts. käyttämällä jotakin jo tapahtunutta aikajaksoa. Menetelmässä lasketaan valitulle aikajaksolle kaksi skenaariota, ensin nykytilanne ja sitten nykytilanne pumppuvoimalan kanssa. Pumppuvoimalan vaikutus saadaan selville laskemalla näiden kahden laskentaskenaario ero. Menetelmän avulla voidaan erottaa pumppuvoimalan aiheuttama vaikutus alueelle tyypillisestä olosuhteiden vaihtelusta valitulla aikajaksolla. Laskentajaksoksi on tässä valittu jakso 11/2020–11/2021 (ks. kappale 0 Laskentajakson valinta).

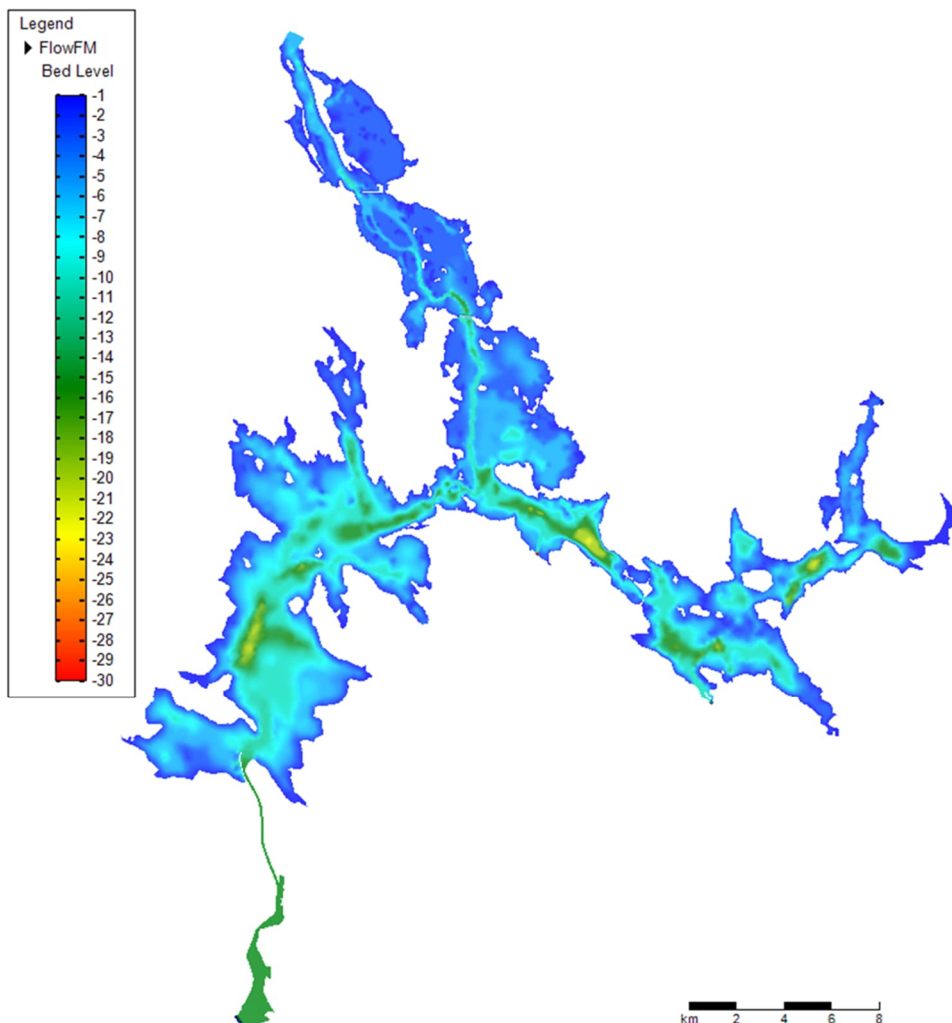
Laskenta ja tulosten tarkastelu on jaettu tässä kahteen osaan: kesäjakso 1.6.2021–1.9.2021 ja talvijakso 1.11.2020–1.6.2021.

3.3 Mallihilat

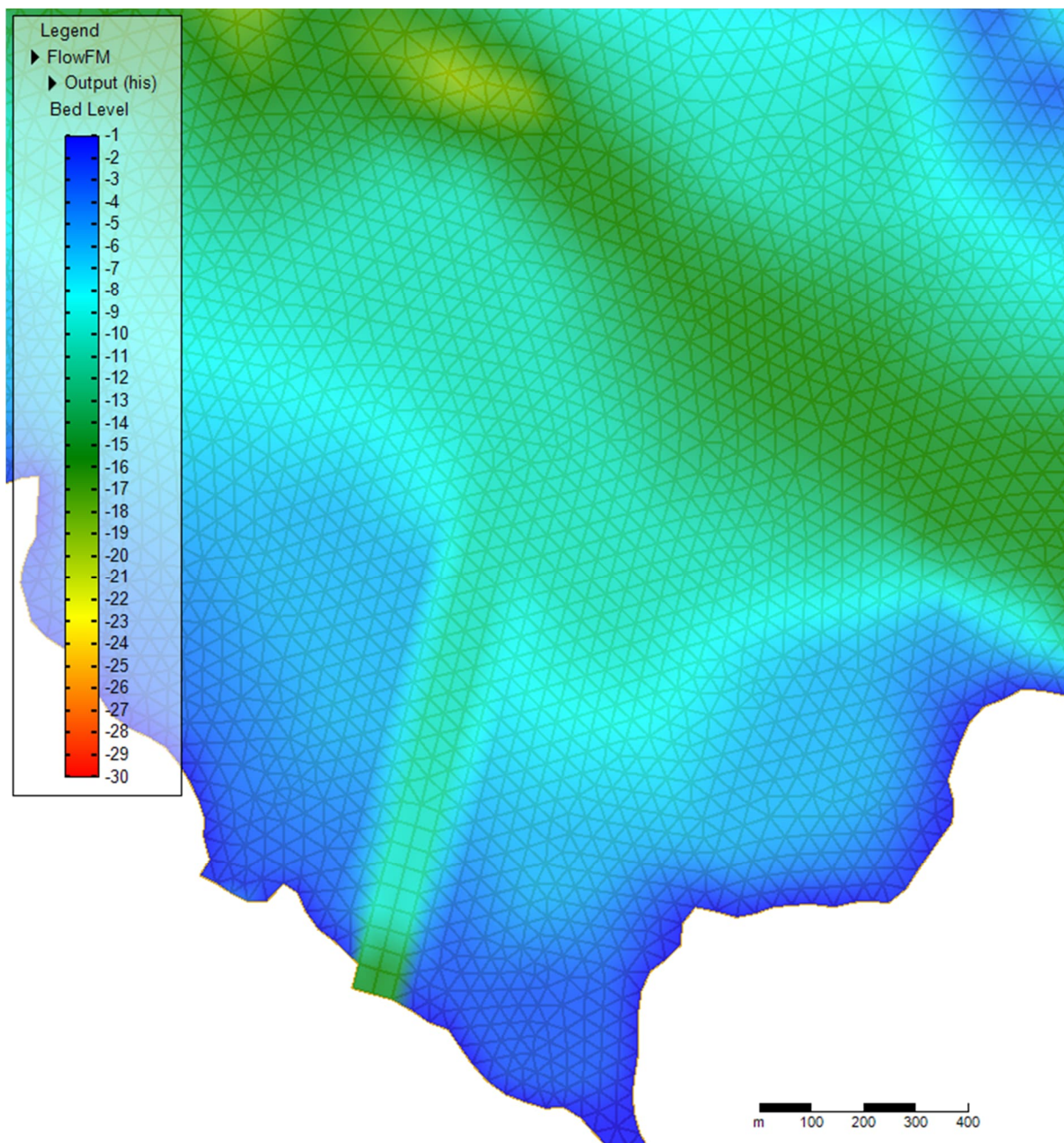
Mallinnettava alue jaetaan laskentaa varten soluihin. Mallin solut yhdessä muodostavat mallihilan, joka kattaa koko laskettavan vesialueen. Tässä käytetyssä mallissa hilan solut ovat enimmäkseen kolmioita, joiden koko vaihtelee. Laskentasolujen koko rajoittaa sitä, minkä mittakaavan asioita mallilla voidaan arvioida. Esimerkiksi jos halutaan mallintaa 100 m leveän kanavan virtauksia, on mallin vaakataarkkuuden oltava vähintään 100 m, jotta kanava voidaan yleensä mallissa esittää. Laskentasolujen koko voi mallihilassa vaihdella paljonkin sen mukaan, mitä missäkin kohtaa mallialuetta on tarpeen laskea.

Kemijärven laskentaan käytettiin useampaa mallia ja mallihilaa. Kesä- ja talvijakson vedenkorkeuksia, virtaamia ja lämpötilakerrostumista laskettiin DelftFM-

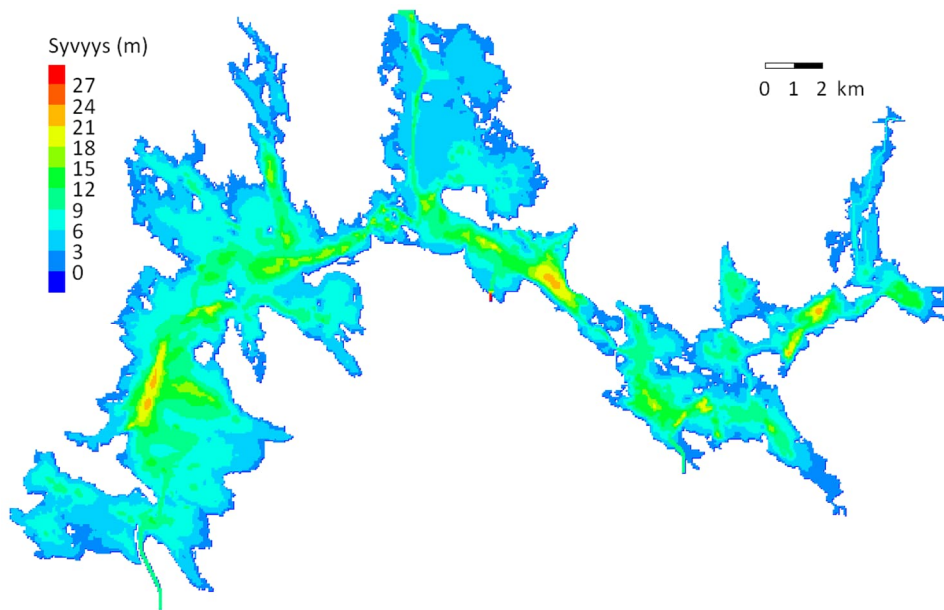
Molemmissa mallihiloissa on jätetty järven alueesta pois seuraavat penkereillä Kemijärven pääaltaasta erotetut lahdet: Kotajärvi, Kaisanlahti, Latunginperä, Ryttilahti ja Kiviperä. Pois jätettyjen alueiden vaikutus vedenkorkeuksiin ja virtauksiin Kauhaselän kohdalla arvioitiin vähäiseksi.



Kuva 3-1. Mallihilan A kattama alue, yläreuna Karhunniemen kohdalla Kemijärven kaupungista pohjoiseen. Osa Kemijärven osin penkereellä rajoitetuista lahdista jätetty pois mallista (Kotajärvi, Kaisanlahti, Latunginperä ja Kiviperä)



Kuva 3-2. Osa mallihilasta A Kauhaselällä Ailangan pumppuvoimalan suunnitellun kanavan kohdalta, laskentahilan kolmioiden sivun pituus noin 40 m.



Kuva 3-3. Mallihilan B kattama alue, Kemijärvi Kalkonniemestä etelään.

3.4 Reunaehdot

Virtauslaskennan reunaehdoilla määritellään alueelle tulevien ja sieltä lähtevien vesien määrä, lämpötila ja laatu. Mikäli mahdollista, reunaehtoina on hyvä käyttää mitattuja tietoja, esim. mitattuja virtaamia ja vedenkorkeuksia. Mikäli mittauksia ei ole saatavilla riittävästi, reunaehtoina voidaan käyttää myös muiden mallien tuottamia tuloksia.

Kemijärven mallissa keskeiset reunaehdot ovat alueelle tulevien jokien virtaamat ja järvestä Seitakorvan voimalaitoksen kautta poistuva virtaama.

Mallin reunaehtoina käytettiin mallissa A yläreunalla vedenkorkeutta. Vedenkorkeusarvona käytettiin Kemijoen kaupungin kohdalta mitattua vuorokauden tarkkuuden vedenkorkeustietoa (Syke Hertta 2024).

Mallin eteläreunalla käytettiin mitattuja Seitakorvan tuntivirtaamia (Kemijoki Oy 2024). Jumiskon virtaamina käytettiin Oiva-tietokannan dataa (SYKE Hertta 2024) ja Käsmäjoen virtaamat poimittiin Vemala-järjestelmästä (SYKE Vemala 2024). Pienten jokien virtaamia ei malliin tuotu, minkä takia malliin pohjoisesta tuleva Kemijoen virtaama on jonkin verran liian suuri. Asia ei vaikuta merkittävästi Kauhaselän alueen käyttäytymiseen.

Jäätilanteen laskennassa mallihilassa B yläreunaehdona käytettiin lähtevien virtaamien ja mitatun vedenkorkeuden perusteella laskettua pohjapadon ylittävää virtaamaa. Yläreunan virtaama asetettiin reunalle vuorokauden tarkkuudella, ts. vuorokauden sisäistä vaihtelua ei otettu yläreunalla huomioon. Muuten reunaehdot olivat hilassa B samat kuin mallihilassa A.

4 Pumppuvoimala

4.1 Sijainti ja käyttö

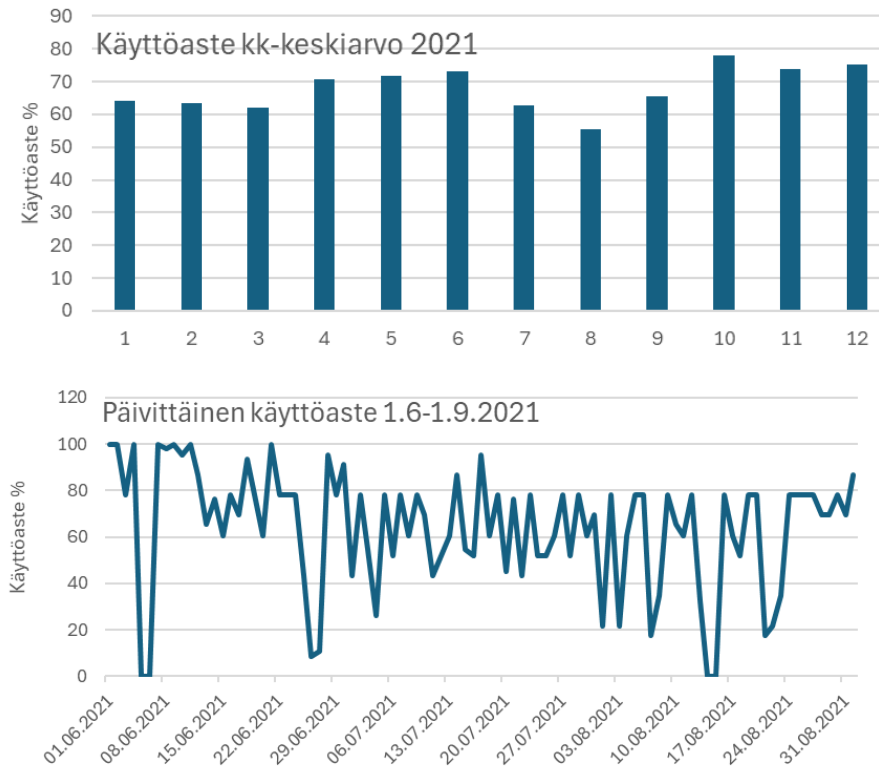
Pumppuvoimala on suunniteltu sijoitettavaksi Ailangantunturiin. Voimalaitoksen vedenotto- ja purku tapahtuu samasta pisteestä, joka on suunniteltu Kauhaselän etelärannalle. Ranta on matala, joten otto/purkupaikalta pohjois-koilliseen on suunniteltu kanava, jonka syvyys on 10 m, ja 10 m syvän osan leveys on 80 m. Kanavan reunat luiskataan suhteessa 1:2. Kanavan poikkipinta-ala ylävedenkorkeudella on 1 000 m², kun lasketaan kanavan pinta-ala vedenpintaan asti. Jos vesi laskee talvella 7 m alle ylävesipinnan, on kanavan syvyys 3 m ja poikkipinta-alaksi jää 258 m². Pumppuvoimalan otto/purkutunnelin suuaukon kohdalle rakennetaan syvennys, jolloin tunnelin yläreuna pysyy veden pinnan alapuolella kaikilla järven vedenkorkeuksilla.

Pumppuvoimalan toimintajakso (ts. täyttö ja tyhjennys) voi vaihdella alle vuorokaudesta useampaan viikkoon. Voimalan käyttöä rajoittavat voimalaitoksen teho, joka määrittää suurimman mahdollisen virtaaman, ja yläaltaan tilavuus (10,6 milj.m³), joka taas määrää miten kauan voimalan täyttö- ja tyhjennys voivat enintään kestää. Voimalaa voidaan käyttää myös osateholla ja osakapasiteetilla.

Pumppuvoimalan käyttötiedot saatiin Kemijoki Oy:ltä. Pumpptausten päivittäinen käyttö on laskettu vuoden 2021 sähkömarkkinatiedoista, ts. voimalan käyttö on laskettu siten, miten voimalaa olisi kannattanut käyttää vuonna 2021. Tässä laitoksen yläaltaan täyttö tapahtuu virtaamalla 255 m³/s, ja altaan purku virtaamalla 320 m³/s. Sekä täyttö- että purkuvirtaaman suuruutta rajoittaa laitoksen koneiston teho. Täyttövirtaama on pienempi kuin purkuvirtaama, sillä laitoksen hyötysuhde on pienempi kuin yksi.

Ylävedenkorkeudella pumppuvoimalalle ruopattavan kanavan poikkipinta-ala on 1000 m² ja virtausmäärä 320 m³/s. Jos virtaus jakautuu tasan koko poikkipinta-alaan, on virtausnopeus kanavassa 0,32 m/s. Tyypillisesti kanavan keskiosassa virtausnopeus on kuitenkin reunoja suurempi, sillä kitka hidastaa virtausta kanavan reunojen lähellä. Pienimmällä vedenkorkeudella virtausnopeus nousee 1,25 m/s tasolle (kun virtaus jaetaan koko poikkipinta-alalle).

Kuvassa 4-1 on esitetty laitoksen käyttöaste kuukausitasolla vuodelle 2021, ja erikseen vielä kesän 2021 käyttöasteet siltä jaksolta, jolta mallilaskelmia on tehty. 100 % käyttöaste tarkoittaa tässä sitä, että vuorokauden aikana voimalan käytövirtaama vastaa yläaltaan käyttötilavuutta. Laitoksen keskimääräinen käyttöaste koko vuoden ajalta oli noin 68 %. Kesäkuussa käyttöaste oli hieman keskimääräistä suurempi, ja heinä- ja elokuussa keskimääräistä pienempi.



Kuva 4-1. Pumppuvoimalan käyttöasteen, ts. päivittäisen ulosvirtaaman osuus yläaltaan tilavuudesta (%), kuukausikeskiarvot vuonna 2021 ja päiväärvot kesälle 2021.

4.2 Pumppuvoimalan vaikutus Kemijärven läpivirtaamiin

Kesällä 2021 järven keskimääräinen tulovirtaama Kemijoesta oli $210 \text{ m}^3/\text{s}$. Tulovirtaama on osin säännöstellty, eli Kitisestä tulevaa virtaaman määrää Kokkosnivan voimalaitos. Arvioidaan tässä, että Kokkosnivan voimalaitoksen säännöstellystä on päivävaihtelua, ja sen perusteella järveen Kemijoesta tuleva virtaama vaihtelee välillä $210\text{--}350 \text{ m}^3/\text{s}$. Järvestä lähtevä virtaama Seitakorvassa vaihteli vuorokauden sisällä keskimäärin $100\text{--}500 \text{ m}^3/\text{s}$ välillä (mitatun virtaamadataan perusteella).

Kun tähän nykytilan keskimääräiseen vaihteluun lisätään pumppuvoimala, muuttuvat tyypilliset päivä- ja yövirtaamat suunnilleen kuvien 4-2 ja 4-3 esittämällä tavalla.

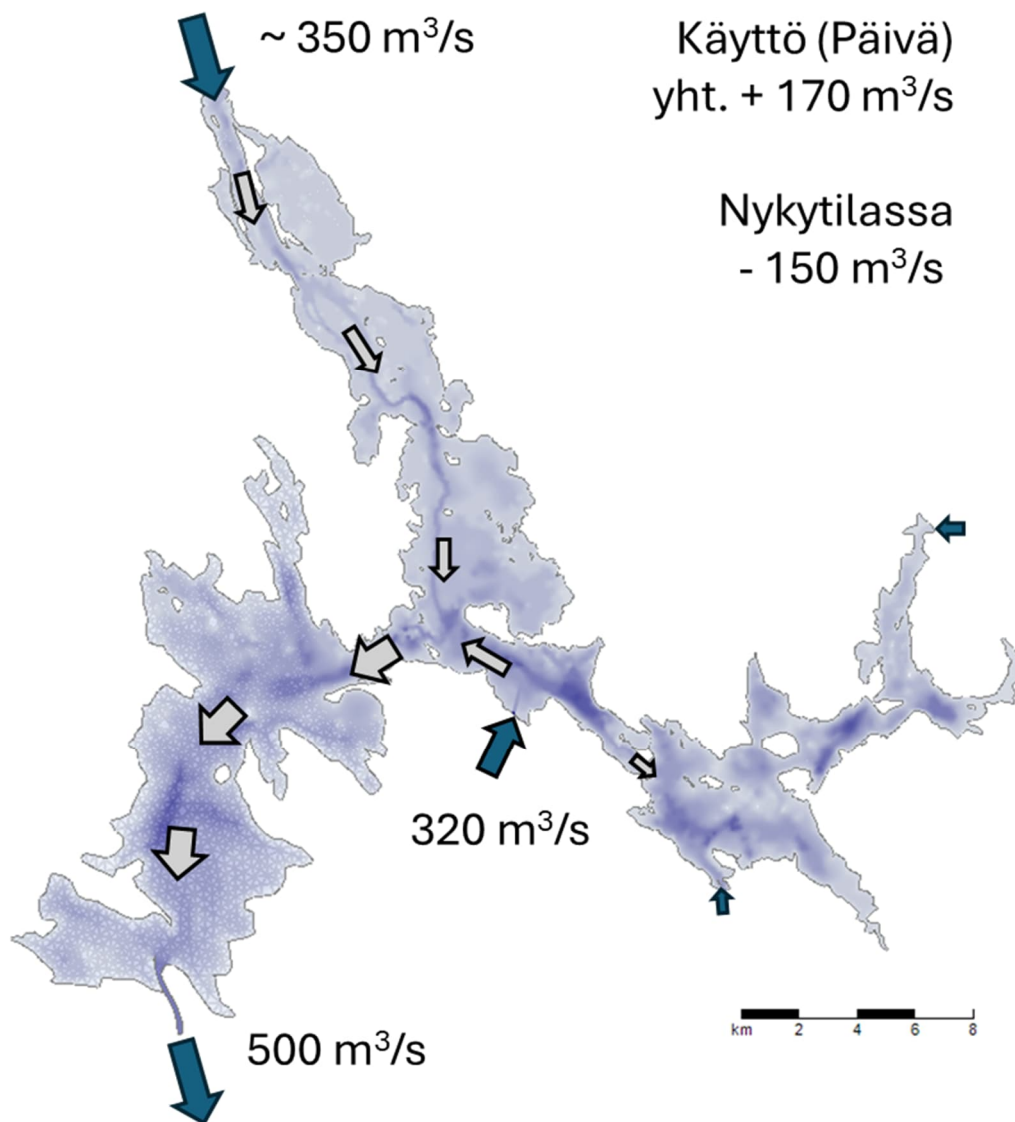
Kuvassa 4-2 on esitetty päivätilanne. Nykytilanteessa järvi tyhjenee päivällä noin $150 \text{ m}^3/\text{s}$ nopeudella, johtuen siitä, että lähtövirtaama on tulovirtaamaa suurempi. Pumppuvoimalan ollessa käytössä tilanne muuttuu, ja tyhjenemisen sijaan järvi täyttyy (olettaen että Seitakorvan käyttö ei muutu nykytilanteesta).

Kuvassa 4-3 on esitetty pumppuvoimalan täyttötilanne. Nykytilanteessa järvi täyttyy yöllä keskimäärin noin $110 \text{ m}^3/\text{s}$ virtausmäärällä, kun tulovirtaama on lähtövirtaamaa suurempi. Pumppuvoimalan ollessa käytössä tilanne muuttuu, ja

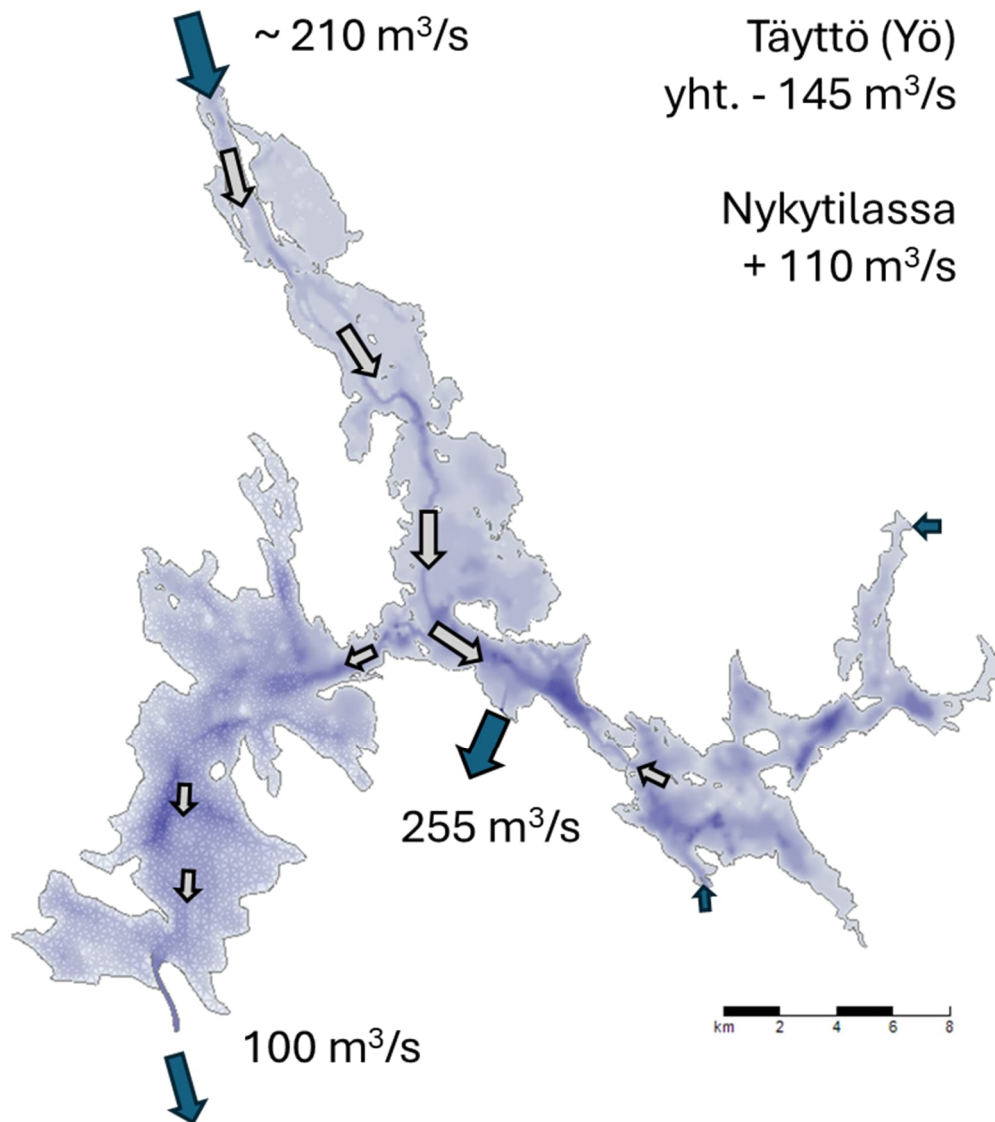
täyttymisen sijaan järvi tyhjenee noin $145 \text{ m}^3/\text{s}$ vauhdilla (olettaen taas, että Seitakorvan käyttö ei muutu nykytilanteesta).

Pumppuvoimalan käyttö voi siis ainakin ajoittain kääntää järven tyhjenemis- ja täyttymisvaiheet päinvastaiseksi nykytilaan verrattuna. Edellä kuvattu käyttäytyminen perustuu keskimääräisiin virtaamiin, tarkempi vedenkorkeuden käyttäytyminen riippuu Kokkosnivan ja Seitakorvan voimaloiden sekä pumppuvoimalan käyttöjen ajoittumisesta, eikä välttämättä toteudu em. esityksen mukaisesti.

Kuvista 4-2 ja 4-3 huomataan myös, että virtausnopeuksien osalta suurimmat muutokset nykytilaan verrattuna tapahtuvat Kemijärven keskellä, eli Ämmänselän, Kauhaselän ja Luuksinsalmen risteyksessä. Nykytilanteessa virtaus Kauhaselälle ja Kauhaselältä länteen on selvästi pienempi kuin mitä se pumppuvoimana käytön aikana tulisi olemaan.



Kuva 4-2. Kemijärven tulo-, lähtö- ja pumppuvoimalan virtaama päivällä, kun järven tulo- ja lähtövirtaamat ovat keskimääräisellä tasolla ja pumppuvoimala on käytössä.



Kuva 4-3. Kemijärven tulo-, lähtö- ja pumppuvoimalan virtaama yöllä, kun järven tulo- ja lähtövirtaamat ovat keskimääräisellä tasolla ja pumppuvoimalaa täytetään.

5 Pumppuvoimalan vaikutukset kesällä 2021

5.1 Laskentaskenaariot

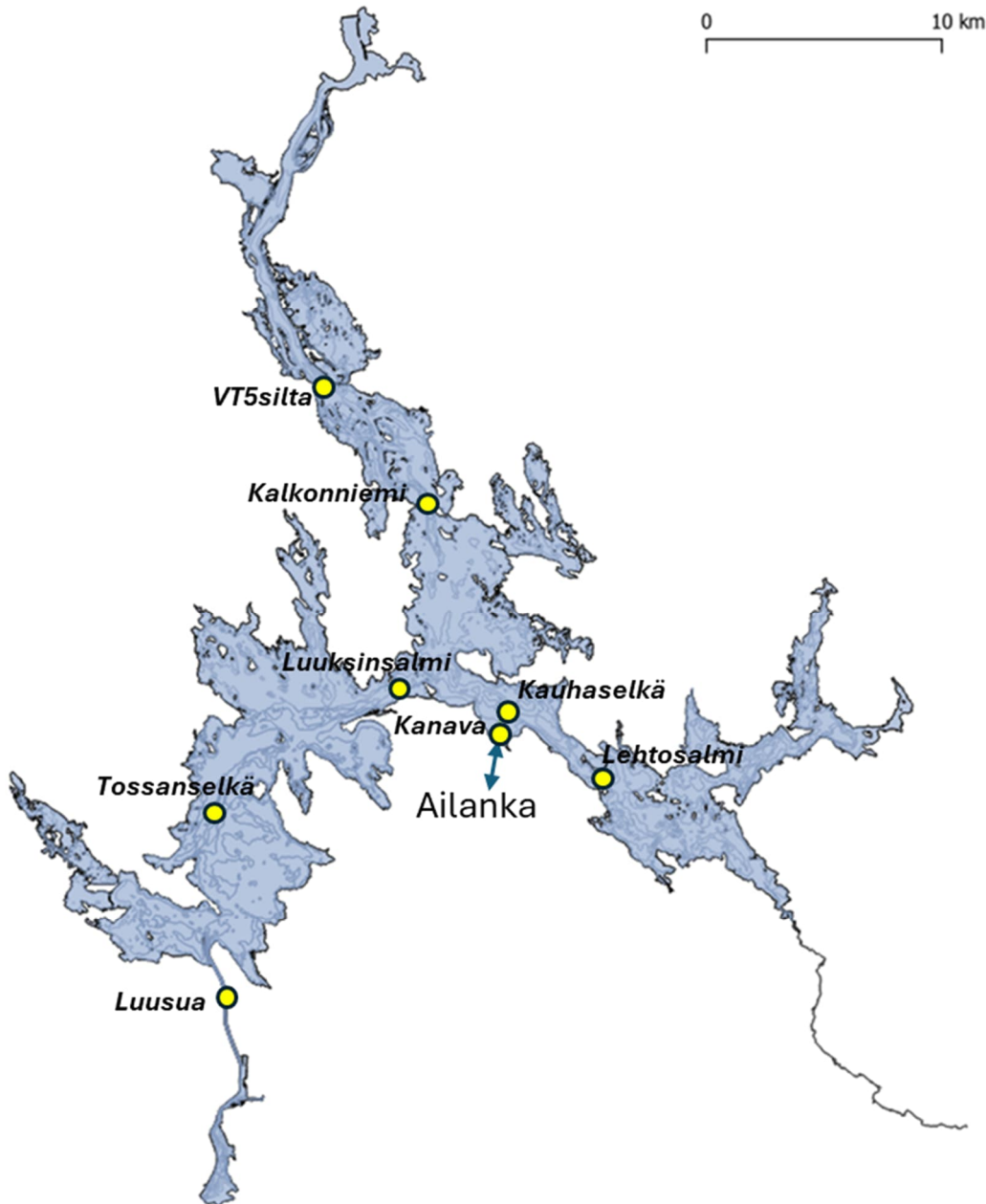
Pumppuvoimalan toimintajakso (ts. täyttö ja tyhjennys) voi vaihdella vuorokaudesta useampaan viikkoon, mutta on Ailangan tapauksessa tyypillisesti noin vuorokauden luokkaa. Voimalan käyttöä rajoittavat voimalaitoksen teho, joka määrittää suurimman mahdollisen virtaaman, ja yläaltaan tilavuus, joka taas määrää miten kauan voimalan täyttö- ja tyhjennys voivat enintään kestää. Voimalaa voidaan käyttää myös osateholla ja osakapasiteetilla.

Pumppuvoimalan toiminnan luonteen takia voimalan aiheuttamien tyypillisten vedenkorkeus- ja virtaamamuutosten tarkasteluun riittää hyvin kohtuullisen lyhyt aikajakso, ts. muutama viikko, jolloin pumppuvoimalan käyttöaste on keskimääräinen tai keskimääräistä suurempi. Lämpötilakerrostumisen ja jäätilanteen muuttumisen arviointiin on sen sijaan laskettava pidempi jakso eli avovesijakso kevät- kierrosta syyskiertoon ja talvijakso syyskierrosta jään lähtöön.

Pumppuvoimalan vaikutuksia kesäjaksolla arvioitiin mallin avulla kolmella laskennalla:

- 1) Skenaario K0: järven nykytila, jossa mukana järveen tulevat ja sieltä lähtevät virtaama. Yläreunalla käytettiin mitattua vedenkorkeutta. Skenaarioita käytettiin vertailukohtana (ks. hindcast-menetelmä, luku 3.2). Laskentajaksona oli 1.6.2021 – 1.9.2021.
- 2) Skenaario K1: laskennassa oli pelkkä pumppuvoimala, ts. järven tulo- ja lähtövirtaamat asetettiin nollassi. Laskentajaksona käytettiin aikaväliä 6.6 - 13.6.2021, jolloin pumppuvoimalan käyttö oli keskimääräistä suurempi. Skenaarion tarkoituksena oli selvittää, miten suuria vedenkorkeus- ja virtaamamuutoksia pumppuvoimalasta aiheutuu ilman muita tekijöitä, kuten järven läpivirtaamia ja säätilannetta.
- 3) Skenaario K2: järven nykytila, ts. mukana järveen tulevat ja lähtevät virtaamat ja mallin yläreunalla mitattu vedenkorkeus, johon lisättiin pumppuvoimala. Laskentajaksona oli 1.6.2021 – 1.9.2021.

Em. Skenaarioiden laskentatuloksia on piirretty aikasarjana eri pisteistä. Käytettyjen pisteiden paikat on esitetty kuvassa 5-1.



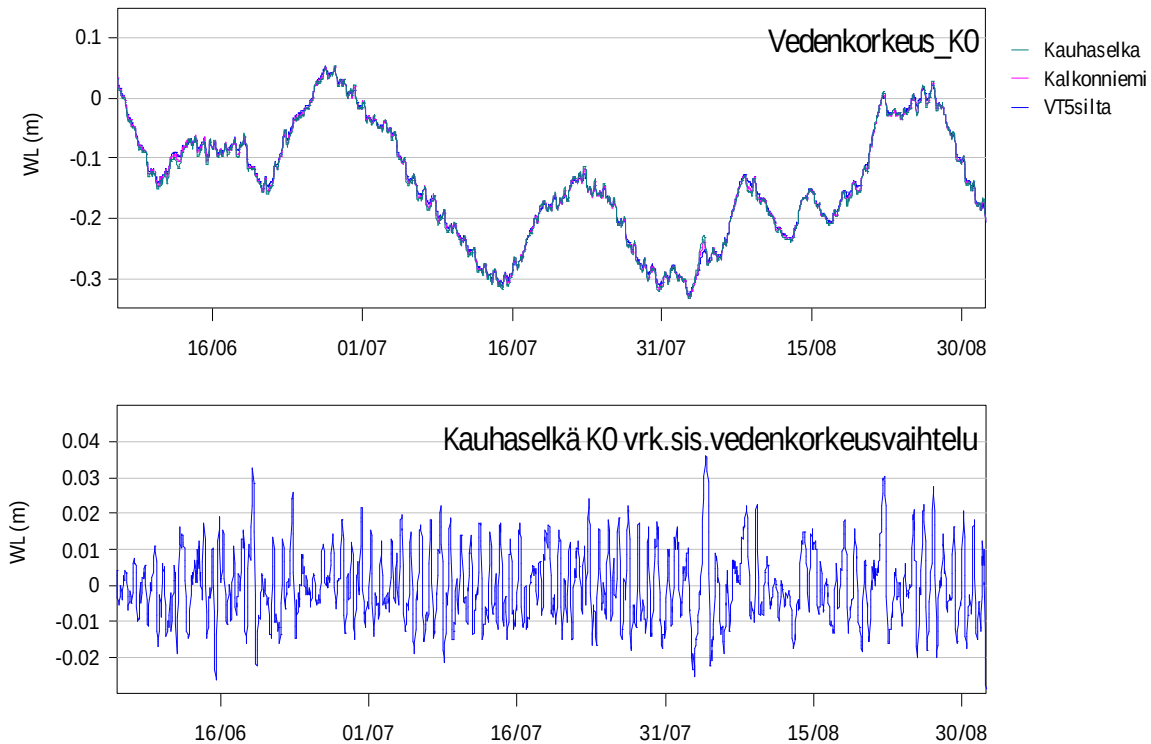
Kuva 5-1. Aikasarjapisteiden sijainti

5.2 Vedenkorkeusvaihtelu ja virtaus nykytilanteessa (K0)

Mallilla lasketut vedenkorkeuden muutokset muutamissa järven pisteissä on esitetty alla kuvassa 5-2, johon piirrettynä nykytilan tiedoilla lasketut vedenkorkeudet jaksoilta 2.6.–15.8.2021 ja tarkennettuna 12.6–20.6.2021. Vedenkorkeudessa näkyy pidempiaikaista vaihtelua välillä -30 – +10 cm, joka aiheutuu järveen tulevien vesimäärien ja säännöstelyn pidempiaikaisesta vaihtelusta. Lisäksi vedenkorkeuksissa näkyy vuorokauden sisäistä vaihtelua, joka aiheutuu pääosin vuorokauden sisäisestä säännöstelystä, mutta osin myös tuulen vaikutuksesta.

Vuorokauden sisäisen vaihtelun amplitudi on laskentajaksolla nykytilassa Kauhaselän pisteessä keskimäärin noin 3 cm. Amplitudi on tässä laskettu niin, että

vedenkorkeuden tunti-arvoista on ensin vähennetty keskimääräinen vedenkorkeus, minkä jälkeen jokaiselle vuorokaudelle on laskettu suurimman ja pienimmän vedenkorkeusarvon erotus. Keskimääräinen vedenkorkeus on puolestaan laskettu interpoloimalla vuorokauden keskivedenkorkeudet lineaarisesti tunti-arvoiksi.



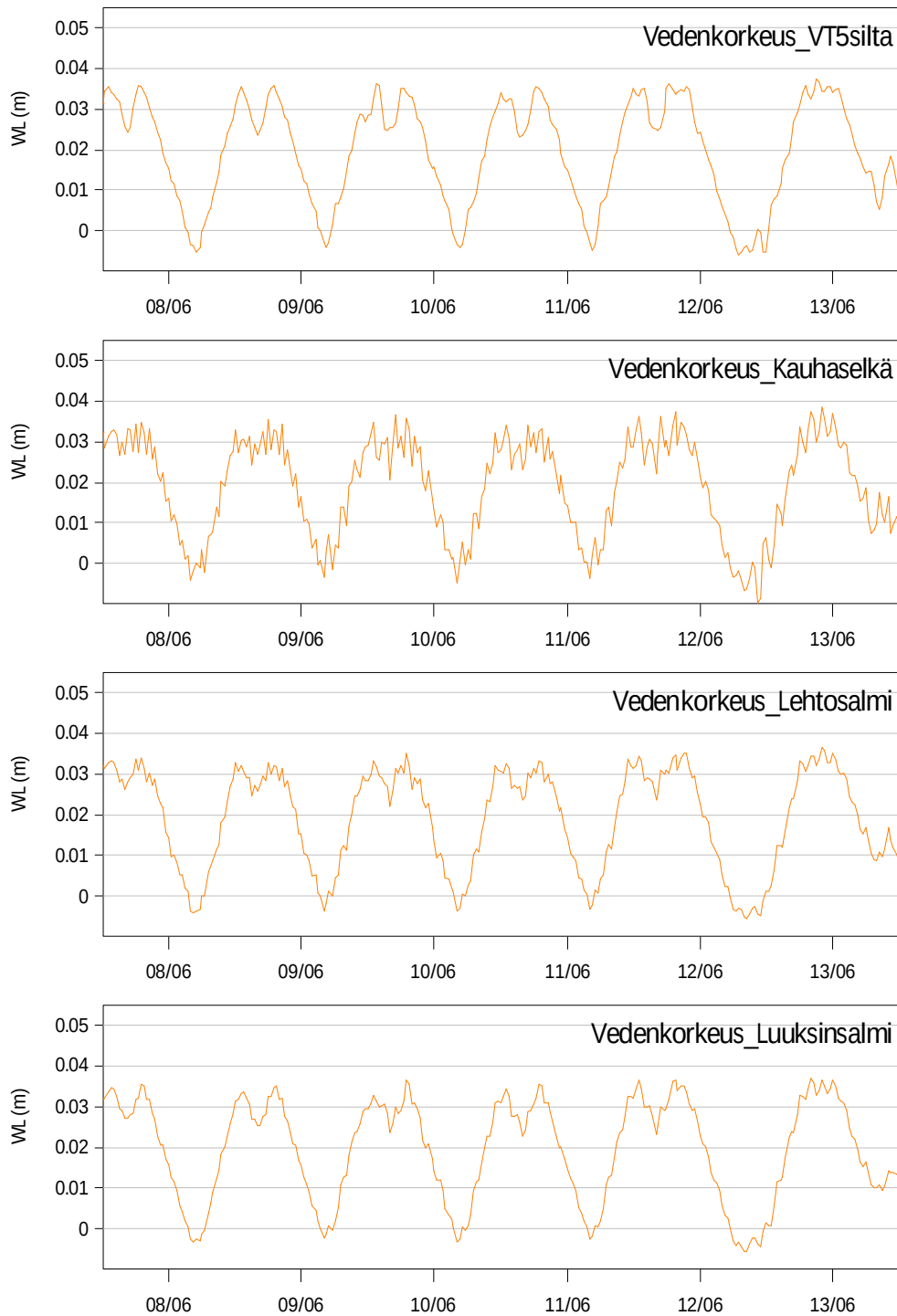
Kuva 5-2. Vedenkorkeus nykytilanteessa skenaariolla K0 jaksolla 5.6.2021–1.9.2021 pisteissä VT5silta, Kalkonniemi, Kauhaselkä ja Luuksinsalmi, sekä vuorokauden sisäinen vedenkorkeusvaihtelu Kauhaselän pisteessä. Pisteiden paikat kuvassa 5-1.

5.3 Muutokset vedenkorkeusvaihteluun ilman jokivirtaamia (K1)

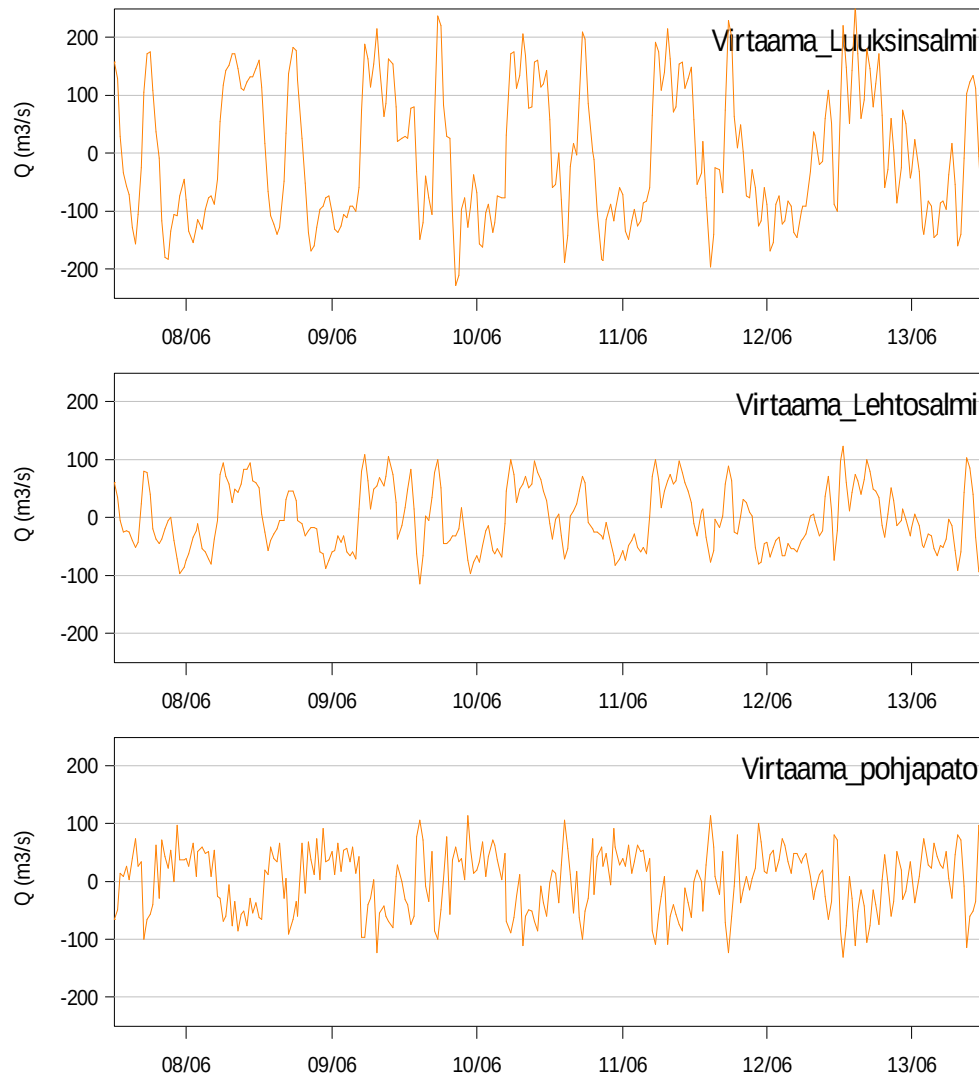
Pumppuvoimalan aiheuttaman vedenkorkeusvaihtelun suuruutta voi arvioida pumppuvoimalan yläaltaan tilavuuden perusteella. Jos käytetään Kemijärven pinta-alana arvoa 285 km^2 (jarviwiki.fi), saadaan veden pinnan muutokselle karkea arvio, kun jaetaan pumppuvoimalan säännöstelytilavuus $10,6 \text{ milj.m}^3$ järven pinta-alalla. Laskennan tuloksena saatu järven pinnankorkeuden muutos on $10,6/285 = 3,7 \text{ cm}$. Pinnankorkeuden muutoksessa viivettä, ja siihen vaikuttavat myös tulo- ja lähtövirtaamat ja vesialueen pohjan kitkakerroin.

Pumppuvoimalan vaikutusten havainnollistamiseksi voimalan aiheuttama vedenkorkeusvaihtelu ja Kauhaselän lähimpien salmien läpivirtaamat laskettiin mallilla, josta oli jätetty pois kaikki muut virtaamat paitsi pumppuvoimala (skenaario K1). Voimalan käyttö oli lasketulla jaksolla lähellä keskimääräistä. Laskettu vedenkorkeusvaihtelu valituissa pisteissä on esitetty kuvassa 5-3 ja lasketut salmien läpivirtaamat kuvassa 5-4.

Kauhaselällä vedenkorkeusvaihtelun suuruus skenaariossa K1 oli noin 4 cm tasoa. Vedenkorkeudessa näkyvä pieni alle 1 cm vaihtelu aiheutuu altaan vedenpinnan heilahtelusta. Luuksinsalmessa ja Lehtosalmessa vedenkorkeuden vaihtelu seuraa Kauhaselän käyttäytymistä. Kemijärven kohdalla vedenkorkeusvaihtelu on suuruudeltaan Kauhaselän tasolla, mutta lyhytaikaiset järivialtaan heilahtelut ovat Kemijärven kohdalla tasoittuneet.



Kuva 5-3. Vedenkorkeuden vaihtelu valituissa pisteissä 7.6.2021-14.6.2021, kun laskennassa on mukana vain pumppuvoimala ilman muita virtaamia (skenaario K1).



Kuva 5-4. Pumppuvoimalan aiheuttama virtaaman vaihtelu Kauhaselkää lähellä olevissa salmissa ja Kalkonniemen pohjapadolla viikon mittaisella jaksolla 7.6.2021-14.6.2021, kun laskennassa on mukana vain pumppuvoimala ilman muita virtaamia (skenaario K1).

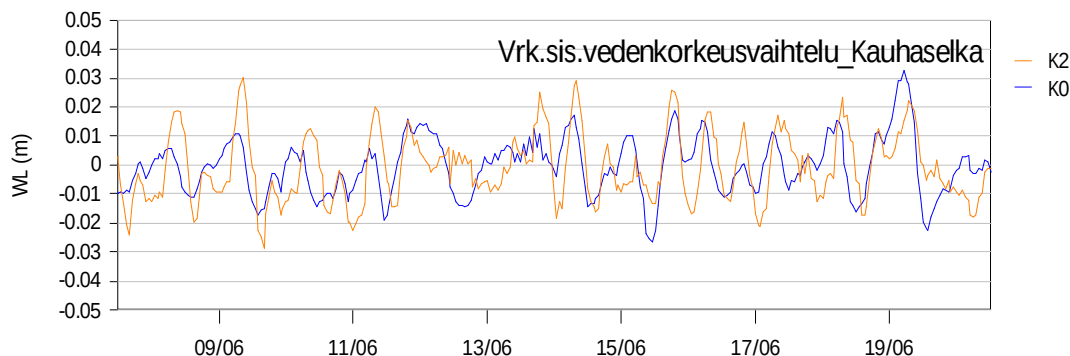
Skenaariossa K1 pumppuvoimalan aiheuttama vedenkorkeuden laskua ja nousua Kauhaselän alueella, ja edelleen veden virtausta alueen salmien kautta järven muille alueille. Salmien läpivirtaama jakautuu periaatteessa siten, että siitä salmesta, jossa on suurin poikkileikkaus, virtaa eniten vettä. Kuvan 5-4 virtaamista nähdään, että pumppuvoimala aiheuttaa suurimman virtaaman Luuksinsalmeen, ja suunnilleen samantasoiset virtaamat sekä Lehtosalmeen että pohjapadolle. Keskimäärin pumppuvoimalan aiheuttama läpivirtaama on Luuksinsalmessa keskimäärin luokkaa $100 \text{ m}^3/\text{s}$, ja pohjapadolla ja Lehtosalmissa luokkaa $45 \text{ m}^3/\text{s}$. Läpivirtaama on laskettu tässä virtaaman itseisarvon keskiarvona kuvassa 5-4 esitetyllä aikajaksolla.

5.4 Muutokset vedenkorkeusvaihteluun, skenaario K2

Tässä luvussa tarkasteltu tuloksia mallilaskennasta, jossa oli mukana sekä pumpuvoimala, järven tulo- ja lähtövirtaamat ja säätilanne (skenaario K2). Tuloksia on verrattu nykytilan laskentaan ilman pumppuvoimalaa (skenaario K0).

Kuvassa 5-5 on esitetty vuorokauden sisäinen vedenkorkeuden vaihtelu Kauhaselällä pisteessä lyhyellä jaksolla 9.6–20.6.2021 nykytilanteessa (K0) ja pumppuvoimalan kanssa (K2). Vuorokauden sisäinen vedenkorkeusvaihtelu on laskettu vastaavasti kuin kuvassa 5-2, eli vedenkorkeudesta on vähennetty päivän keskimääräinen vedenkorkeus. Jaksolla pumppuvoimalan käyttö on lähellä keskimääristä.

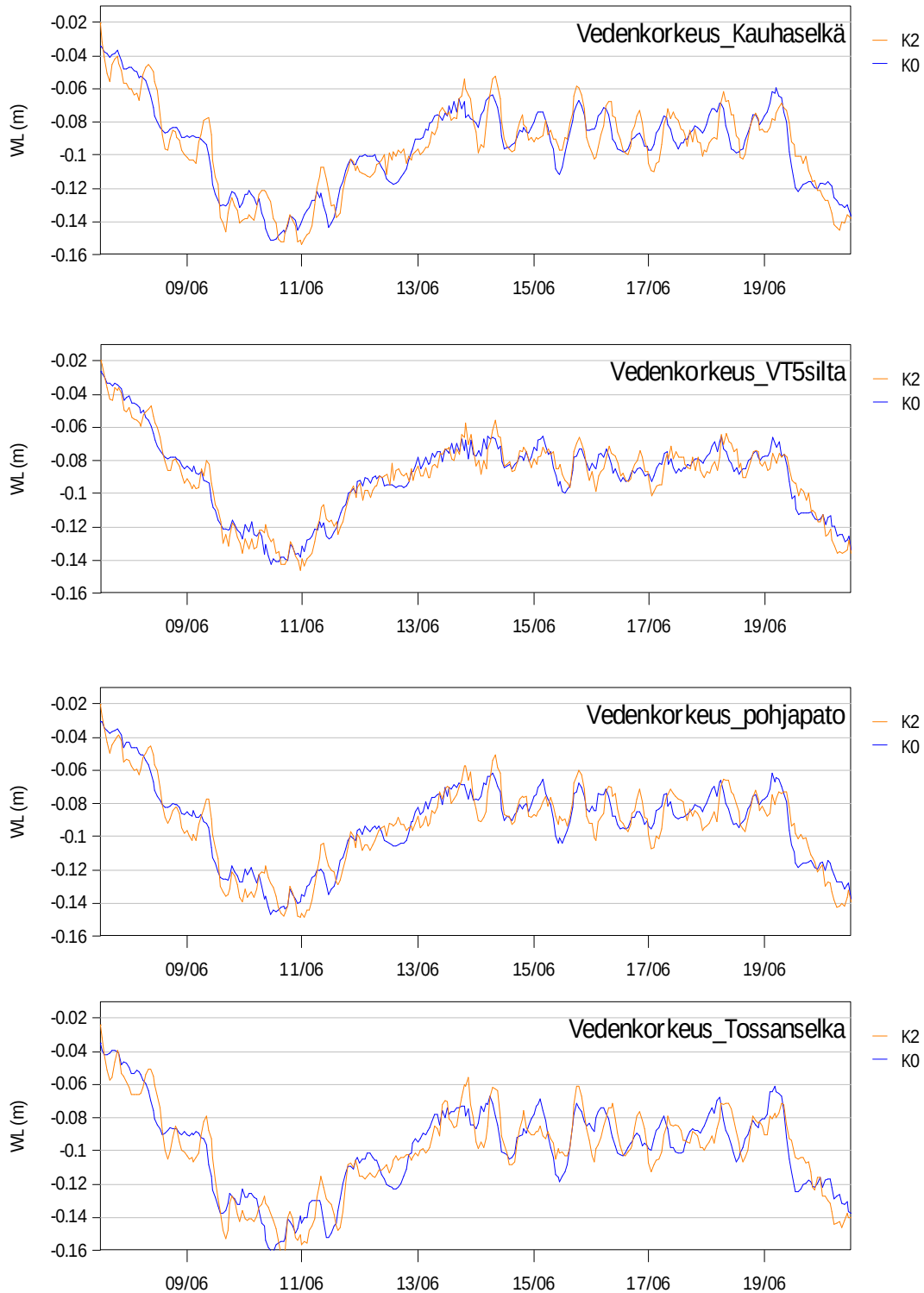
Ilman pumppuvoimalaa vuorokauden sisäinen vedenkorkeusvaihtelu oli Kauhaselällä keskimäärin 3 cm (ks. myös Kuva 5-2). Vuorokauden sisäinen vedenkorkeusvaihtelu johtuu enimmäkseen Seitakorvan virtaaman säännöstelystä. Pumpuvoimalan ollessa käytössä vuorokauden sisäinen vedenkorkeusvaihtelun amplitudi oli noin 4 cm tasolla (jakso 5.6.2021-1.9.2021). Selvästikin järven tulo- ja lähtövirtaamat ja säännöstelyn jaksotus tasaavat tässä pumppuvoimalan aiheuttamaa vedenkorkeusvaihtelua, sillä skenaariossa K1 Kauhaselän vedenkorkeusvaihtelu oli noin 3–4 cm tasolla.



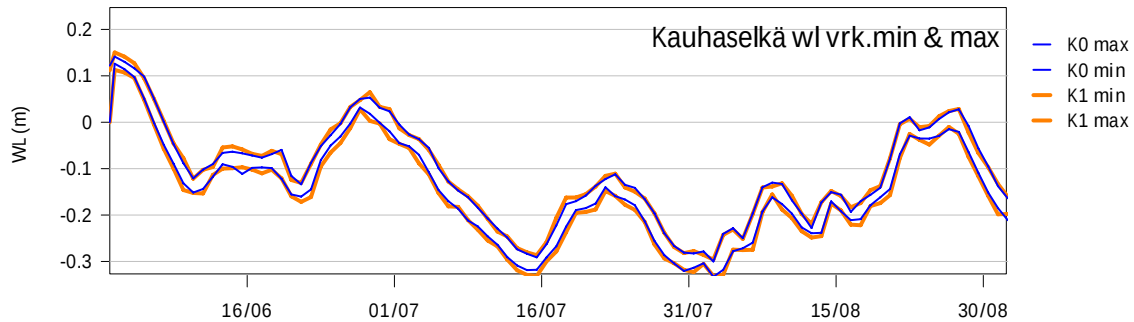
Kuva 5-5. Vedenkorkeuden vaihtelu 7.6–20.6.2021 Kauhaselällä ilman pumppuvoimalaa (K0) ja pumppuvoimalan kanssa (K2)

Kuvassa 5-6 on esitetty laskettu vedenkorkeusarvot Kauhaselällä ja muutamissa päävirtausreitien pisteissä skenaariolle K0 ja K2. Luuksinsalmen ja Kalkonniemen pisteissä vedenkorkeusvaihtelu vastaa pitkälti Kauhaselän pistettä. VT5 sillan pisteessä pumppuvoimalan aiheuttama muutos on kuitenkin selvästi pienempi kuin Kauhaselällä.

Kuvassa 5-7 on esitetty jakson 5.6.2021 – 1.9.2021 vedenkorkeuden vuorokauden minimi- ja maksimiarvot Kauhaselän pisteessä nykytilanteessa (K0) ja pumppuvoimalan kanssa (K2). Kuvasta näkyy, että pumppuvoimalan vaikutus vaihtelee jonkin verran olosuhteitten mukaan, mutta pysyy kuitenkin varsin saman tyyppisenä koko laskentajakson ajan.



Kuva 5-6. Laskettu vedenkorkeus 7.6 – 20.6.2021 Kauhaselällä, VT5 sillan kohdalla, Kalkonniemessä ja Tossanselällä skenaariolla ilman pumppuvoimalaa (K0) ja pumppuvoimalan kanssa (K2).



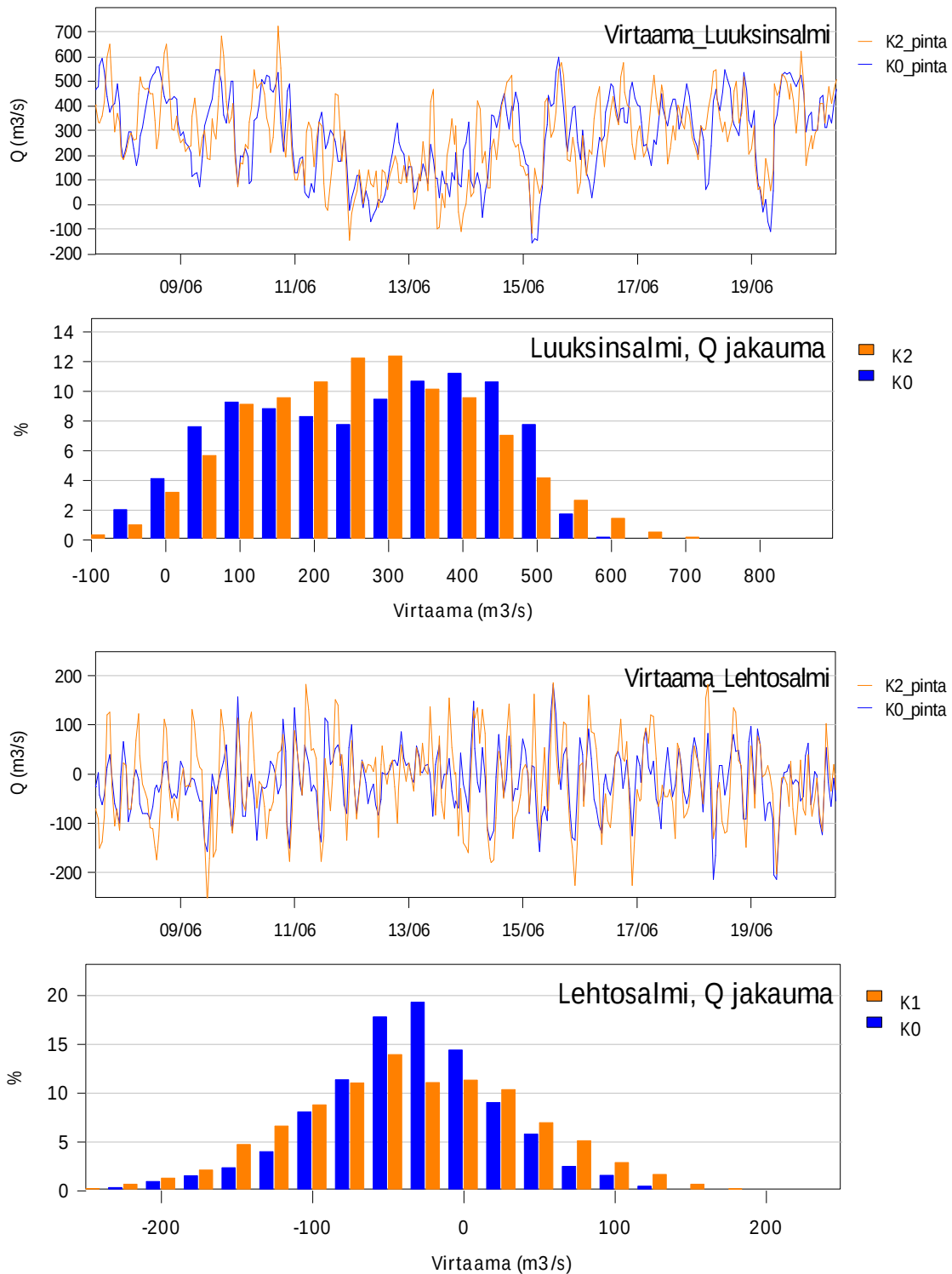
Kuva 5-7. Vedenkorkeuden vaihtelu 7.6 – 1.9.2021 skenaariolla K0 ja K2 Kauhaselän pisteessä. Kuvaan piirretty vuorokauden minimi- ja maksimi-arvot skenaarioista K0 (nykytila) ja K2 (pumppuvoimala mukana).

5.5 Vaikutukset virtaamiin ja virtausnopeuksiin, skenaario K2

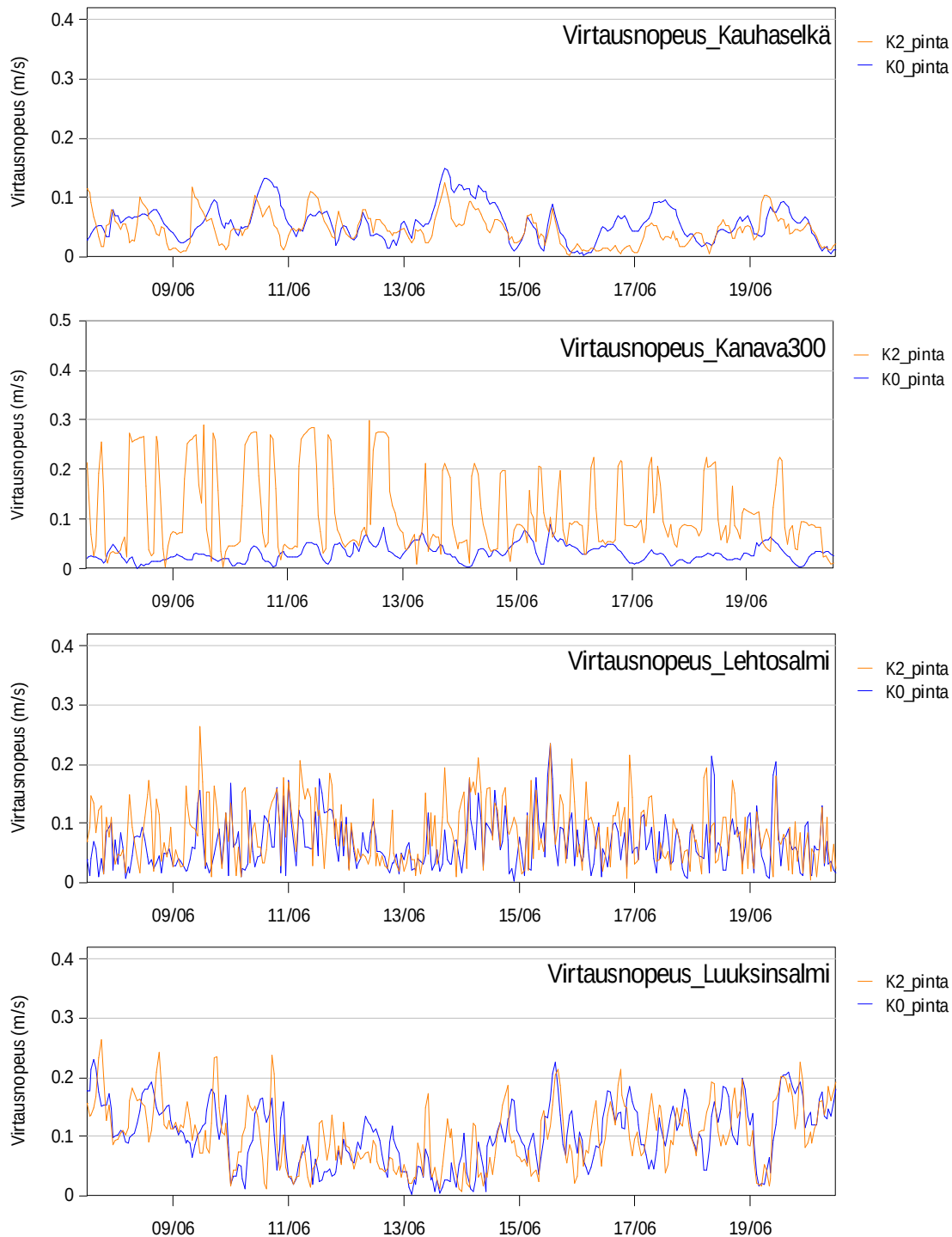
Kuvassa 5-8 on esitetty Luuksinsalmen ja Lehtosalmen läpivirtaamat ja virtaamien suuruksien jakauma nykytilanteessa (K0) ja tilanteessa, jossa pumppuvoimala on käytössä (K2). Positiivinen virtaama Luuksinsalmessa on Tossanselälle päin, negatiivinen arvo tarkoittaa virtausta Kauhaselän suuntaan. Lehtosalmessa positiivinen arvo on virtaus Kauhaselältä poispäin, ja negatiivinen arvo Kauhaselälle päin.

Luuksinsalmessa pumppuvoimalan käyttö aiheuttaa lisää vuorokauden sisäistä virtaamavaihtelua. Selvin ero näkyy vuorokauden maksimivirtaamissa, joiden keskiarvo nousee skenaarion K0 arvosta $480 \text{ m}^3/\text{s}$ skenaarion K2 arvoon $580 \text{ m}^3/\text{s}$. Myös vuorokauden pienimpien virtaamien keskiarvo nousee hieman (K0 $58 \text{ m}^3/\text{s}$, K1 $68 \text{ m}^3/\text{s}$). Muutokset näkyvät myös virtausten jakaumassa, missä yli $500 \text{ m}^3/\text{s}$ virtaamien osuus nousee, ja alle $100 \text{ m}^3/\text{s}$ virtaamien osuus laskee skenaariossa K2 skenaarioon K0 verrattuna.

Lehtosalmessa virtausten keskiarvo on negatiivinen, ts. virtausten suunta on enimmäkseen Kauhaselälle päin. Pumppuvoimala nostaa suurimpien virtaamien arvoja molempiin virtaussuuntiin. Virtaamien maksimit keskiarvot muuttuvat seuraavasti, Kauhaselälle päin, K0: $140 \text{ m}^3/\text{s}$, K1 $164 \text{ m}^3/\text{s}$, Kauhaselältä pois, K0: $89 \text{ m}^3/\text{s}$, K1: $112 \text{ m}^3/\text{s}$. Virtausten jakaumasta nähdään, että itseisarvoltaan suurimpien virtaamien osuus nousee skenaariolla K1 molempiin suuntiin, ja jakauman keskiosissa olevien virtaamien osuus laskee.



Kuva 5-8. Virtaamat Luuksinsalmessa ja Lehtosalmissa 7.6–20.6.2021 skenaariolla K0 ja K2, sekä virtaamien jakaumat jaksolta 7.6-1.9.2021. Sekä Luuksinsalmessa että Lehtosalmissa positiivinen virtaussuunta on Kauhaselältä pois päin.



Kuva 5-9. Veden pintakerroksen virtausnopeuden vaihtelu Kauhaselällä, Luuksinsalmessa ja Lehtosalmessa 7.6 – 20.6.2021 skenaarioilla A0 ja A2.

Kuvassa 5-9 on esitetty pintakerroksen virtausnopeudet Kauhaselällä, pumppuvoimalan kanavassa 300 m etäisyydellä rannasta, Luuksinsalmessa ja Lehtosalmessa. Kauhaselällä pintakerroksessa virtausnopeuksien enimmäisarvot eivät juuri poikkea nykytilasta, joskin virtaama vaihtelee nykyistä enemmän. ylitä nykytilan arvoja. Pumppuvoimalan kanavan pintakerroksessa näkyy selvä muutos nykytilaan, pintakerroksen virtausnopeuden suurimmat arvot nousevat noin

10 cm/s tasosta 20–30 cm/s tasolle. Lisäksi em. aikaista korkeammat virtausnopeudet nopeudet toistuvat päivittäin. Pumppuvoimalan vaikutus virtausnopeuksiin rajoittuu kuitenkin pitkälti voimalan kanavaan ja otto/purkupaikan lähialueelle, sillä esim. Kauhaselän pisteessä (etäisyys otto/purkupaikasta noin 1,5 km) vaikutus jää vähäiseksi.

Lehtosalmessa ja Luuksinsalmessa virtausnopeudet nousevat, johtuen läpivirtaamien kasvusta. Suurimmat nopeudet ovat skenaariossa K2 edelleen samaa suuruusluokkaa kuin nykytilan skenaariossa K0, joskin suurempia arvoja esiintyy skenaariossa K2 skenaariota K0 useammin.

Taulukossa 5-1 on esitetty laskettujen vedenkorkeuksien vuorokausivaihtelun, virtausnopeuksien ja virtaamien keskiarvot, keskihajonnat sekä näiden arvojen vuorokauden maksimien ja minimien keskiarvot eri seurantapisteissä jaksolta 7.6.2021–1.9.2021.

Vedenkorkeusvaihtelun muutokset ovat tarkastelluissa pisteissä samaa luokkaa, toisin sanoen vuorokauden maksimi- ja minimiarvojen erotus on suunnilleen samaa tasoa kaikissa pisteissä pois lukien Luusuan piste, missä vaihtelu jäi muita pisteitä pienemmäksi. Vuorokauden sisäinen vedenkorkeusvaihtelu kasvaa noin 30 %, arvosta 3 cm/d arvoon 4 cm/d.

Virtausnopeudet nousevat selvästi pumppuvoimalan otto/purkukanavassa. Muissa pisteissä virtausnopeuksien muutos jää alle 20 % nykytilanteesta. Toiseksi suurin virtausnopeuksien muutos on Lehtosalmessa, missä keskimääräinen virtausnopeus nousee noin 1,4 cm/s, ja päivittäisen maksimien keskiarvo nousee noin 2,4 cm/s.

Läpivirtaamia tarkasteltiin salmissa. Näistä suurin ero nykytilanteeseen oli pohjapadolla ja Lehtosalmessa, missä molemmissa edestakaisen virtaaman ääriarvot nousivat noin 20 % nykytilanteeseen verrattuna. Myös Luuksinsalmessa virtaaman ääriarvot nousivat, mutta vähemmän eli noin 10 % nykytilanteeseen verrattuna.

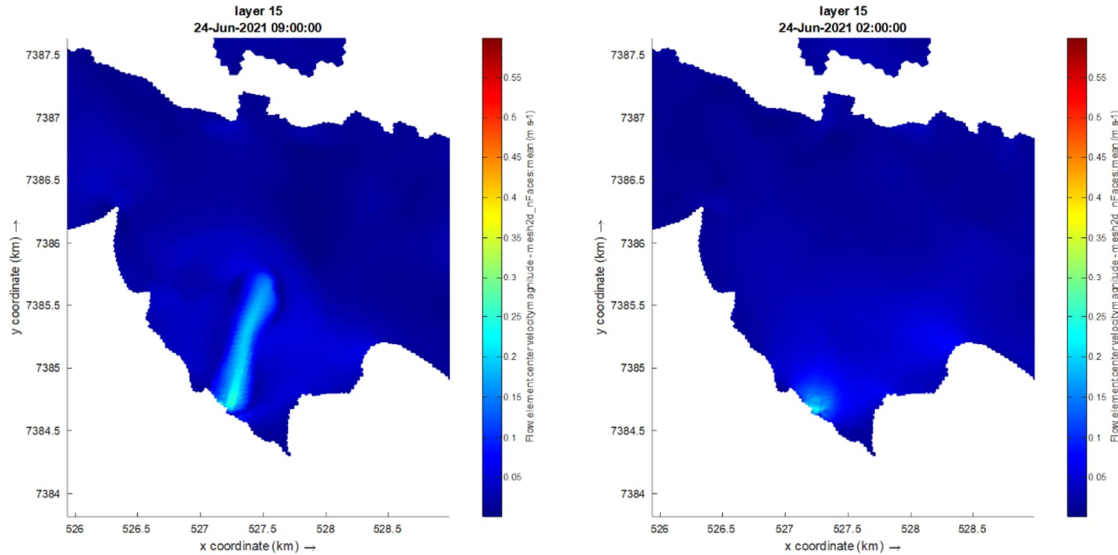
Taulukko 5-1. Keskiarvo ja keskihajonta lasketuille vedenkorkeuksille, virtausnopeuksille ja virtaamille jaksolta 7.6.2021–1.9.2021.

	K2				K0			
Suure/Paikka	k.a.	std	k.a. max	k.a. min	k.a.	std	k.a. max	k.a. min
Vrk. sis. vedenkorkeusvaihtelu	m	m	m	m	m	m	m	m
VT5 Silta	0.000	0.008	0.014	-0.014	0.000	0.007	0.011	-0.010
pohjapato	0.000	0.011	0.017	-0.018	0.000	0.009	0.014	-0.012
Kauhaselkä	0.000	0.012	0.020	-0.019	0.000	0.010	0.015	-0.013
Kanava300	0.000	0.012	0.019	-0.019	0.000	0.010	0.015	-0.014
Lehtosalmi	0.000	0.013	0.021	-0.020	0.000	0.011	0.016	-0.015
Luuksinsalmi	0.000	0.012	0.019	-0.018	0.000	0.011	0.016	-0.014
Tossanselkä	0.000	0.012	0.019	-0.019	0.000	0.011	0.016	-0.015
Luusua	0.000	0.013	0.022	-0.022	0.000	0.015	0.024	-0.022
Virtausnopeus	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
VT5 Silta	0.150	0.076	0.260	0.034	0.146	0.076	0.246	0.042
pohjapato	0.070	0.033	0.117	0.024	0.069	0.034	0.113	0.024
Kauhaselkä	0.032	0.020	0.060	0.009	0.031	0.023	0.054	0.010
Kanava300	0.087	0.067	0.211	0.019	0.026	0.016	0.043	0.009
Lehtosalmi	0.076	0.048	0.178	0.013	0.063	0.041	0.154	0.012
Luuksinsalmi	0.113	0.055	0.203	0.040	0.114	0.057	0.186	0.039
Tossanselkä	0.036	0.024	0.060	0.015	0.035	0.024	0.059	0.015
Luusua	0.233	0.131	0.390	0.064	0.233	0.132	0.390	0.064
Virtaama	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
pohjapato	269	187	513	-40	269	174	467	12
Lehtosalmi	-22	76	112	-164	-22	60	89	-140
Luuksinsalmi	293	152	539	68	293	160	488	58
Luusua	295	172	504	53	295	173	504	54

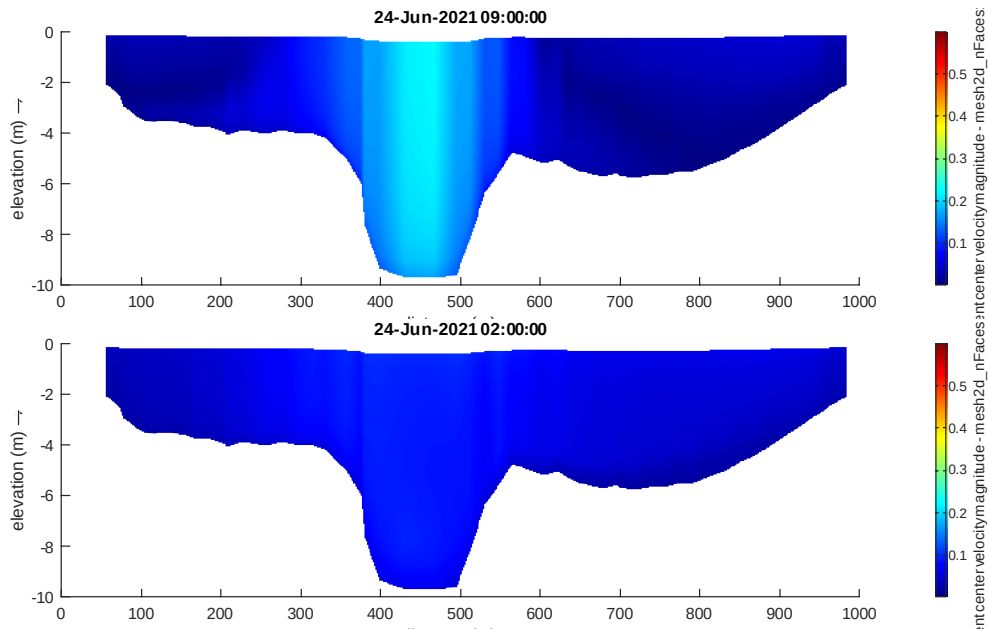
Kuvassa 5-10 on karttakuva Kauhaselän virtausnopeuksista pumppuvoimalan eri käyttövaiheissa. Kuvassa vasemmalla näkyy käyttövaihe, jolloin yläallasta tyhjenetään Kauhaselälle. Voimalaitoksen purkukohdan lähialueella virtausnopeudet ovat noin 0,2–0,3 m/s välillä. Suurempien yli 0,2 m/s nopeusmuutosten alue ulottuu vähän yli kilometrin päähän voimalan purkupaikalta. Voimalan täyttövaiheessa pintakerroksen virtausnopeudet eivät nouse yhtä paljon kuin käyttövaiheessa.

Kuvassa 5-11 on poikkileikkaus noin 300 m etäisyydellä rannasta kohtisuoraan pumppuvoimalan kanavan suuntaa vasten. Kuvan tapauksessa purkuvirtaus pysyy pitkälti kanavassa, ja ulottuu koko kanavan syvyyteen. Täyttövaiheessa

virtaus jakautuu suuremmalle poikkipinta-alalle ja virtausnopeudet jäävät purkuvaihetta pienemmiksi. Mallin hilatarkkuus ei tässä riitä kanavan tarkkaan kuvaamiseen, joten kanavan osalta esim. virtausnopeuksissa voi olla jonkin verran epätarkkuutta. Olosuhteet vaikuttavat siihen, miten etenkin purkuvirtaama käyttäytyy. Kuvat 5-10 ja 5-11 on pyritty valitsemaan siten, että ne kuvaisivat virtauksen tyypillistä käyttäytymistä.



Kuva 5-10. Pumppuvoimalan käyttövaihe (vasemmalla) ja täyttövaihe (oikealla), virtausnopeus (m/s) Kauhaselällä pintakerroksessa.

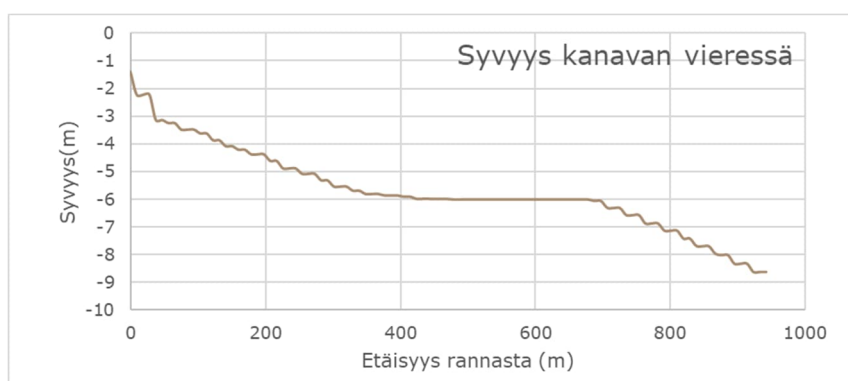


Kuva 5-11. Pumppuvoimalan käyttövaihe (ylempi) ja täyttövaihe (alempi), virtausnopeus (m/s) Kauhaselällä poikkileikkauksessa noin 300 m voimalan otto/purkupisteestä pohjoiseen.

6 Pumppuvoimalan vaikutukset talvella 2020–2021

Talven tilanne poikkeaa Kemijärvellä kesätilanteesta kahdella keskeisellä tavalla: 1) järven vedenkorkeus laskee talven kuluessa tyypillisesti lähelle säännöstelyn alarajaa niin, että alimmillaan pinta on vähän ennen kevättulvaa huhti-toukokuun vaihteessa, ja 2) talvella järvessä on jääpeite.

Järven pinnan laskeminen aiheuttaa pumppuvoimalan kohdalla kanavan madaltumista sitä mukaa kun veden pinta laskee. Järven ranta-alueiden syvyys kanavan lähellä vaihtelee rannalta kanavan suuntaan Kauhaselällä päin rannan noin 3 m syvyydestä kanavan pohjoispään yli 10 m tasolle. Kuvassa 6-1 on esitetty pohjan syvyys kanavan vieressä suhteessa etäisyyteen rannasta (syvyysprofiili piirretty mallihilasta).



Kuva 6-1. Pohjan syvyys pumppuvoimalan kanavan vieressä kanavan suuntaisesti rannalta selälle päin kesävedenkorkeudella.

Järven pinnan laskusta johtuva kanavan syvyyden madaltuminen aiheuttaa kanavan poikkipinta-alan pienentymistä, jolloin kanavaa pitkin menevän veden virtausnopeus nousee. Alimmillaan kanavan poikkipinta-ala on noin 258 m², jolloin virtausnopeudeksi vesimäärällä 320 m³/s tulee 1,24 m/s, kun virtaama jaetaan tasan koko poikkipinta-alalle. Tätä voi verrata kesätilanteeseen, jolloin kanavan poikkipinta-ala on noin 1000 m² (+ viereiset järven alueet), ja virtausnopeus 1000 m² poikkipinta-alaa käyttäen 0,32 m/s (jaettuna koko poikkipinta-alalle).

6.1 Laskentaskenaariot

Pumppuvoimalan vaikutuksia talvella arvioitiin tässä mallintamalla talvijakso, ja tarkastelemalla tulosten perusteella vedenkorkeuden ja virtausnopeuksien muutoksia. Lisäksi laskettiin jääpeitteen muutos.

Vaikutuksien arviointia varten mallinnettiin kaksi skenaariota:

- 1) Skenaario T0: järven nykytila, jossa on mukana järveen tulevat ja sieltä lähtevät virtaamat. Yläreunalla käytettiin mitattua vedenkorkeutta. Skenaarioita käytettiin vertailukohtana (ks. hindcast-menetelmä, luku 3.2). Laskentajaksona oli 1.10.2020–1.6.2021.

- 2) Skenaario T2: järven nykytila, ts. mukana järveen tulevat ja lähtevät virtaamat ja mallin yläreunalla mitattu vedenkorkeus, johon lisättiin pumppuvoimala. Laskentajaksona oli 1.10.2020–1.6.2021.

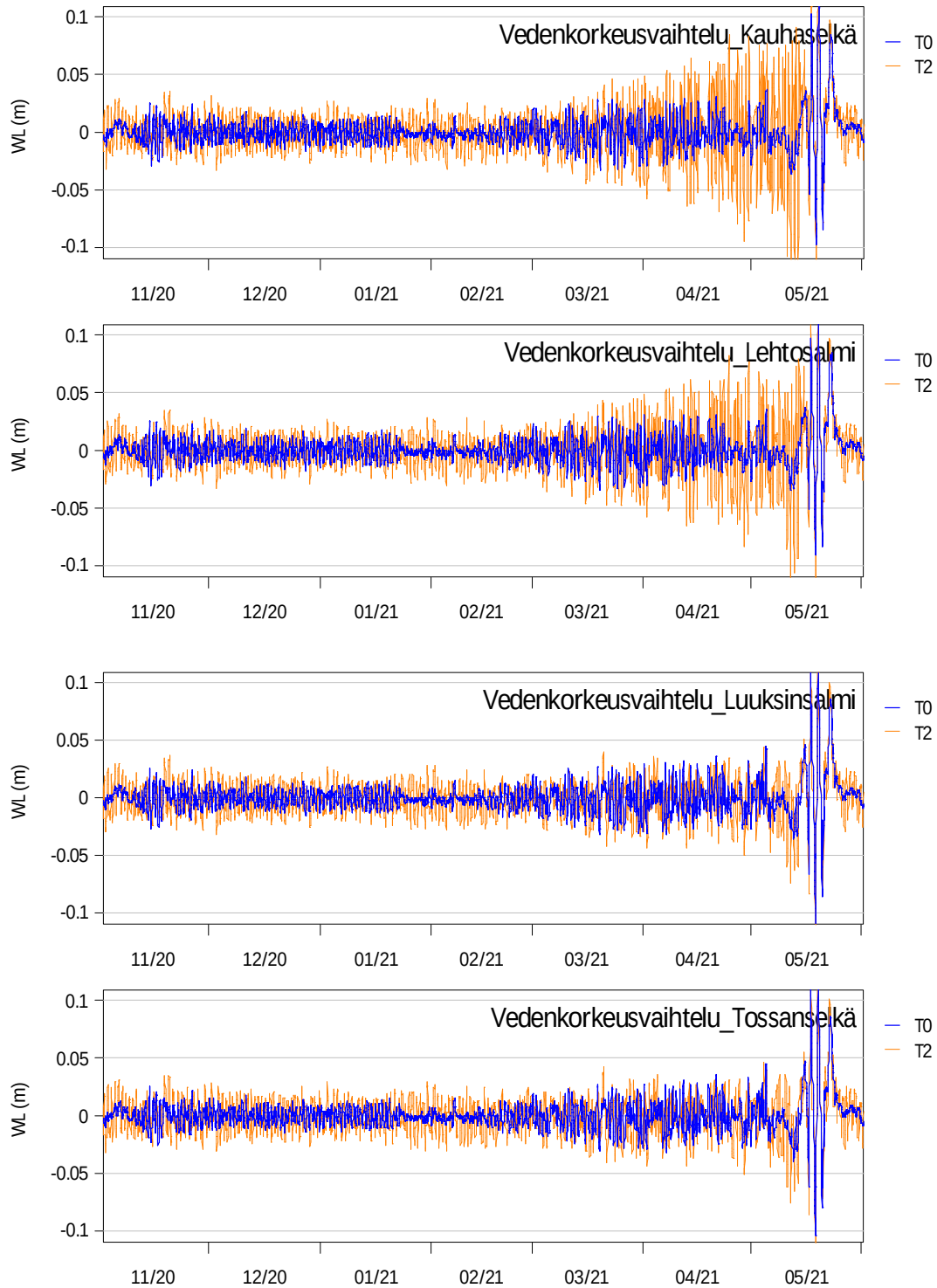
Skenaarioiden laskentatuloksia on piirretty aikasarjana eri pisteistä. Käytettyjen pisteiden paikat löytyvät kuvasta 5-1.

6.2 Vaikutukset vedenkorkeuden vaihteluun

Kuvassa 6-2 on esitetty talvelle 2020–2021 laskettu vuorokauden sisäinen vedenkorkeusvaihtelu Kauhaselällä, Luuksinsalmessa ja Lehtosalmessa. Vaihtelu on laskettu vähentämällä vedenkorkeuden tuntiarvosta kunkin vuorokauden keskimääräinen vedenkorkeus. Keskimääräinen vedenkorkeus on puolestaan laskettu interpoloimalla vuorokauden keskivedenkorkeudet lineaarisesti tuntiarvoiksi. Menetelmä ei sovellu tulvahuipun ajankohtaan, jolloin vuorokausivaihtelu peittyy tulvan aiheuttamaan vedenpinnan nousuun.

Vaihtelussa näkyy selvästi järven vedenpinnan tason vaikutus vuorokauden sisäisen vaihtelun suuruuteen. Mitä alempana vesipinta on, sitä pienemmälle vesipinta-alalle säännöstelyn aiheuttama vesimäärän vaihtelu kohdistuu, ja sitä suuremmaksi vuorokauden sisäinen vedenkorkeuden vaihteluväli kasvaa.

Kauhaselällä vedenkorkeuden vuorokauden sisäinen vaihtelu nykytilanteessa pysyy suunnilleen ± 3 cm rajojen sisäpuolella. Pumppuvoimalan ollessa käytössä vuorokauden sisäinen vaihtelu nousee toukokuussa alavedenkorkeudella noin ± 10 cm tasolle, eli lyhyeksi jaksoksi yli kolminkertaistuu nykytilanteeseen verrattuna. Vaihtelu näkyy etenkin Kauhaselällä ja Lehtosalmessa, Luuksinsalmessa virtaama tasoittaa vedenkorkeusvaihtelua, ja Luuksinsalmen alapuolella Tossanseudella vedenkorkeusvaihtelu jää selvästi pienemmäksi kuin Kauhaselällä.



Kuva 6-2. Vuorokauden sisäinen vedenkorkeusvaihtelu nykytilanteella (A0) ja pumppuvoimalan kanssa (A2) Kauhaselällä, Lehtosalmessa, Luuksinsalmessa ja Tossanselällä talvella 2020-2021.

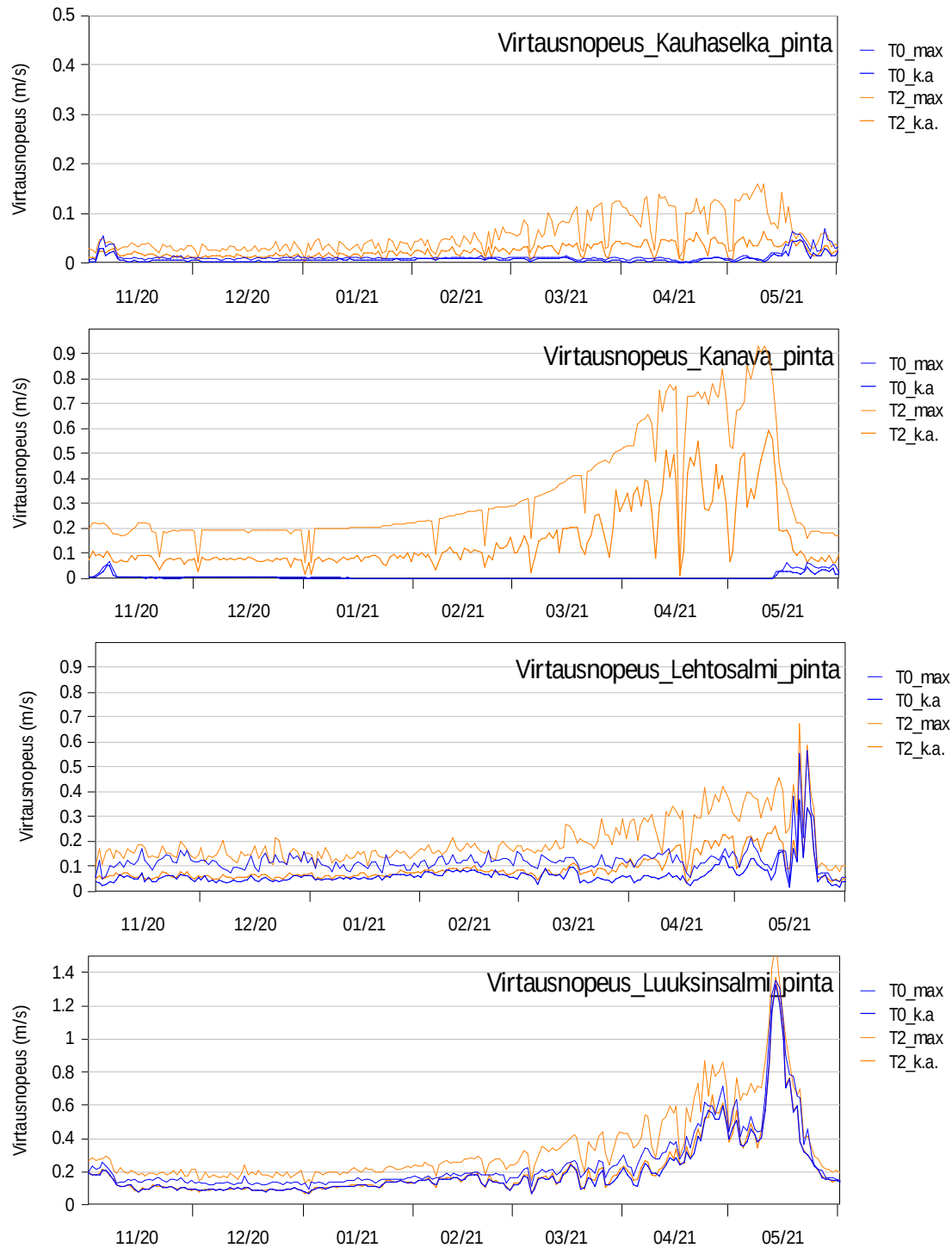
Taulukossa 6-1 on esitetty vedenkorkeusvaihtelun vuorokauden maksimi- ja minimiarvojen erotuksen keskiarvot eri kuukausina. Vaihtelu on selvästi suurempi huhtikuussa kuin joulukuussa sekä nykytilassa, että pumppuvoimalan kanssa. Toukokuun alussa vaihtelu on huhtikuuta suurempi. Vuorokausivaihtelun kuukausikeskiarvot jäävät taulukon pisteissä 0,1 m tasolle tai sen alle myös pumppuvoimalan ollessa käytössä. Huhtikuun lopussa ja toukokuun alussa vuorokausivaihtelu kuitenkin ylittää 0,1 m tason Kauhaselällä ja Lehtosalmessa.

Taulukko 6-1. Vedenkorkeuden vuorokauden sisäisen vaihteluvälin keskiarvo jaksolle 11/2020-04/2021, joulukuulle 2020 ja huhtikuulle 2021 nykytilanteelle (A0) ja pumppuvoimalan kanssa (A2) valituissa pisteissä.

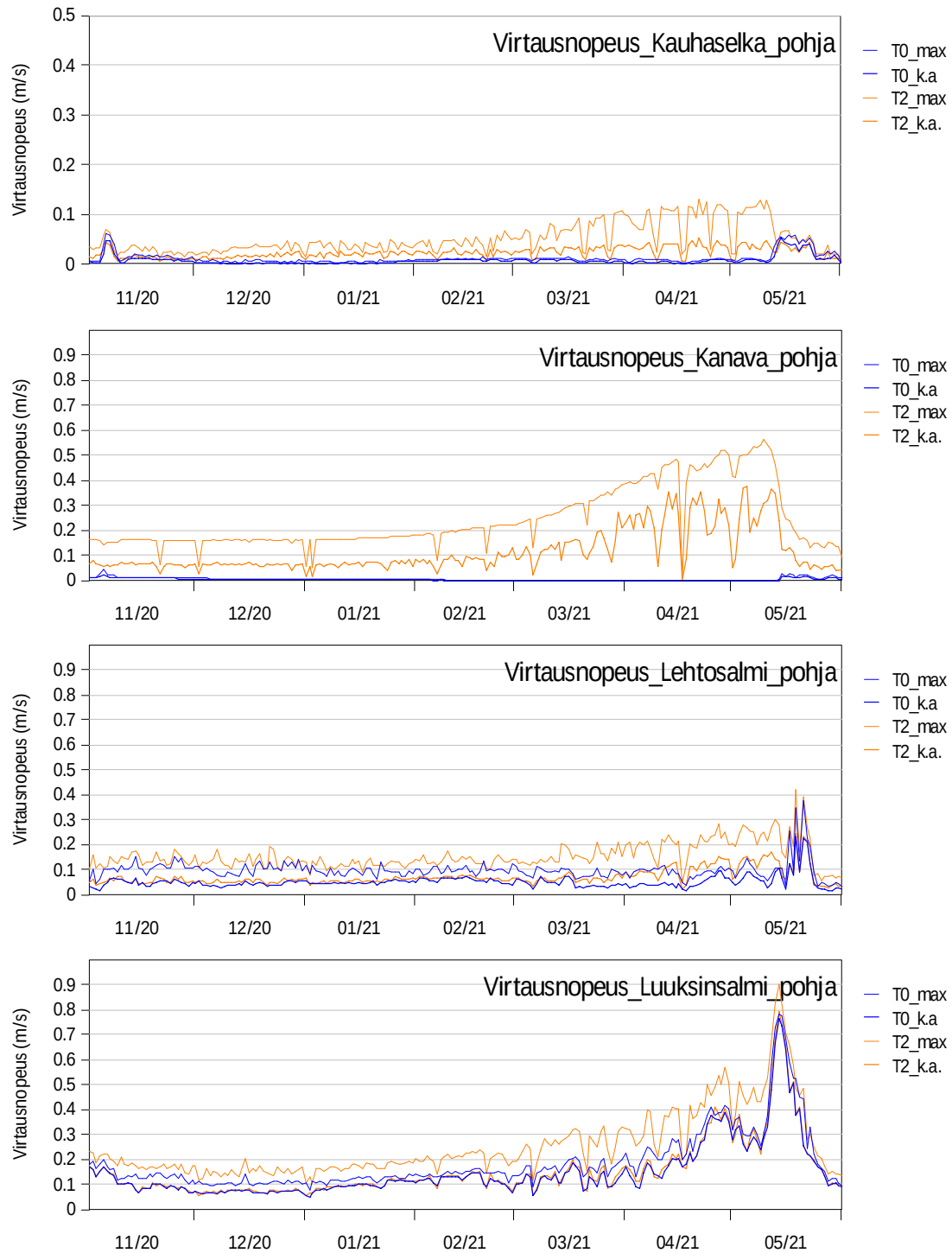
	T0	T2	T0	T2	T0	T2
	k.a.	k.a.	k.a.	k.a.	k.a.	k.a.
Vedenkorkeus	11/2020-04/2021		12/2020		04/2021	
vaihteluväli	m	m	m	m	m	m
Kauhaselkä	0.028	0.060	0.021	0.038	0.035	0.099
Lehtosalmi	0.029	0.057	0.022	0.036	0.036	0.094
Luuksinsalmi	0.029	0.045	0.020	0.036	0.038	0.051
Tossanselkä	0.028	0.047	0.020	0.037	0.037	0.050

6.3 Vaikutukset virtausnopeuksiin

Kuvassa 6-3 on esitetty pintakerroksen ja kuvassa 6-4 pohjakerroksen virtausnopeudet nykytilanteessa ja pumppuvoimalan kanssa Kauhaselällä, Lehtosalmessa ja Luuksinsalmessa. Kuvassa on esitetty sekä vuorokauden keskiarvo että vuorokauden suurin hetkellinen arvo. Taulukoissa 6-2 ja 6-3 on lisäksi esitetty em. tietojen keskiarvot jaksolle 11/2020–04/2021, joulukuulle 2020 ja huhtikuulle 2021. Virtausnopeus riippuu vedenkorkeudesta, mitä alempi vedenkorkeus, sitä pienempään poikkileikkaukseen virtaaman pitää sopia. Kuvissa näkyynkin selvästi, miten virtausnopeudet nousevat vedenpinnan laskiessa.



Kuva 6-3. Virtausnopeus pintakerroksessa nykytilanteella (T0) ja pumppuvoimalan kanssa (T2) Kauhaselällä, pumppuvoimalan kanavassa, Lehtosalmessa, ja Luuksinsalmessa talvella 2020-2021. Kuvassa on esitetty virtausnopeuden vuorokauden keskiarvo k.a) ja maksimiarvo (max).



Kuva 6-4. Virtausnopeus pohjakerroksessa nykytilanteella (T0) ja pumppuvoimalan kanssa (T2) Kauhaselällä, pumppuvoimalan kanavassa, Lehtosalmessa ja Luuksinsalmessa talvella 2020-2021. Kuvassa on esitetty virtausnopeuden vuorokauden keskiarvo (k.a) ja maksimiarvo (max).

Taulukko 6-2. Pintakerroksen virtausnopeuden päiväkohtaisten maksimiarvojen keskiarvo ja keskiarvo jaksolle 11/2020-04/2021, joulukuulle 2020 ja huhtikuulle 2021 nykytilanteelle (A0) ja pumppuvoimalan kanssa (A2) valituissa pisteissä.

Virtausnopeus pintakerroksessa				
	m/s	m/s	m/s	m/s
Koko jakso	T0/max	T0/k.a.	T2/max	T2/k.a.
Kauhaselkä	0.014	0.009	0.058	0.025
Kanava	0.007	0.004	0.333	0.153
Lehtosalmi	0.124	0.066	0.202	0.095
Luuksinsalmi	0.257	0.206	0.343	0.212
12/2020	T0/max	T0/k.a.	T2/max	T2/k.a.
Kauhaselkä	0.010	0.005	0.030	0.015
Kanava	0.004	0.003	0.188	0.074
Lehtosalmi	0.115	0.047	0.151	0.060
Luuksinsalmi	0.131	0.093	0.182	0.092
04/2021	T0/max	T0/k.a.	T2/max	T2/k.a.
Kauhaselkä	0.009	0.006	0.101	0.038
Kanava	0.000	0.000	0.654	0.343
Lehtosalmi	0.129	0.068	0.296	0.150
Luuksinsalmi	0.392	0.309	0.550	0.332

Taulukko 6-3. Pohjakerroksen virtausnopeuden päiväkohtaisten maksimiarvojen keskiarvo ja keskiarvo 11/2020-04/2021, joulukuulle 2020 ja huhtikuulle 2021 nykytilanteelle (A0) ja pumppuvoimalan kanssa (A2) valituissa pisteissä.

Virtausnopeus pohjakerroksessa				
	m/s	m/s	m/s	m/s
Koko jakso	T0/max	T0/k.a.	T2/max	T2/k.a.
Kauhaselkä	0.013	0.008	0.053	0.024
Kanava	0.006	0.004	0.244	0.115
Lehtosalmi	0.099	0.053	0.155	0.073
Luuksinsalmi	0.188	0.150	0.254	0.155
12/2020	T0/max	T0/k.a.	T2/max	T2/k.a.
Kauhaselkä	0.007	0.003	0.032	0.017
Kanava	0.007	0.006	0.158	0.063
Lehtosalmi	0.103	0.044	0.136	0.055
Luuksinsalmi	0.106	0.072	0.153	0.074
04/2021	T0/max	T0/k.a.	T2/max	T2/k.a.
Kauhaselkä	0.008	0.005	0.093	0.034
Kanava	0.000	0.000	0.431	0.245
Lehtosalmi	0.091	0.048	0.199	0.102
Luuksinsalmi	0.272	0.218	0.376	0.228

Kauhaselän pisteen pintakerroksessa koko laskentajakson virtausnopeuden keskiarvo nousee noin nelinkertaiseksi nykytilanteeseen nähden, mutta pysyy kuitenkin alle 0,1 m/s tason myös huhtikuussa. Pumppuvoimalan kanavassa virtausnopeudet nousevat yli 0,5 m/s tason. Lehtosalmessa virtausnopeuden keskiarvo ja maksiminopeus nousee huhtikuussa noin kaksinkertaiseksi nykytilanteeseen verrattuna. Luuksinsalmen pisteessä pumppuvoimala ei juuri nosta keskimääräisiä

virtausnopeuksia, mutta vuorokauden maksimiarvo kasvaa nykytilaan verrattuna noin 1,4-kertaiseksi.

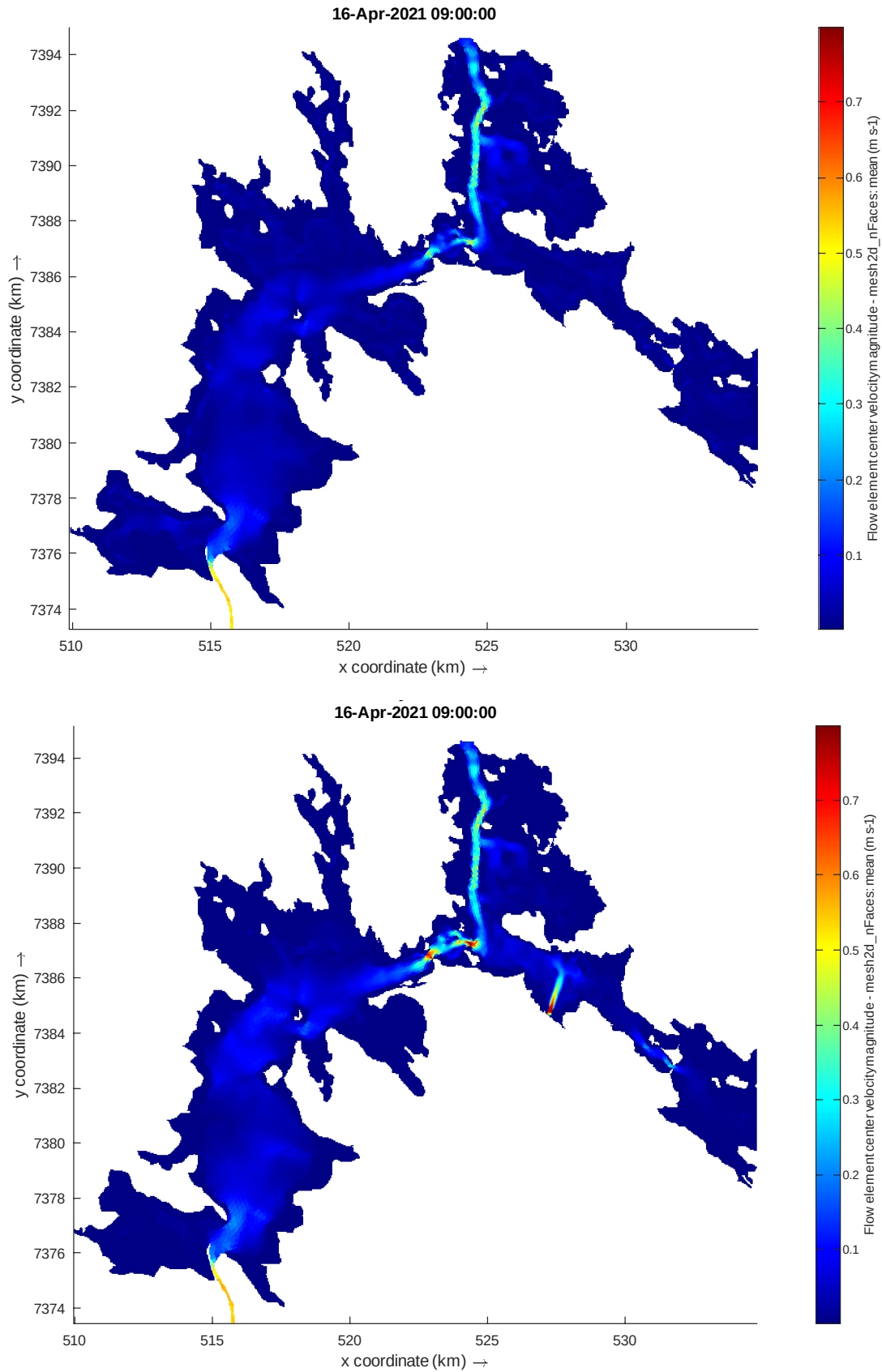
Kauhaselän pisteen pohjakerroksessa koko laskentajakson virtausnopeuden keskiarvo nousee noin kolminkertaiseksi nykytilanteeseen nähden, mutta pysyy kuitenkin alle 0,1 m/s tason myös huhtikuussa. Pumppuvoimalan kanavassa pohjan virtausnopeus yltää 0,5 m/s tasolle. Lehtosalmen pisteen pohjakerroksessa keskimäärinen ja maksiminopeus nousee huhtikuussa noin kaksinkertaiseksi nykytilaan verrattuna. Luuksinsalmen pohjakerroksessa pumppuvoimala ei juuri vaikuta keskimääräisiin virtausnopeuksiin, mutta vuorokauden maksimiarvo kasvaa nykytilaan verrattuna noin 1,4-kertaiseksi kuten pintakerroksessakin.

6.4 Virtausnopeuksien muutos karttapohjalla

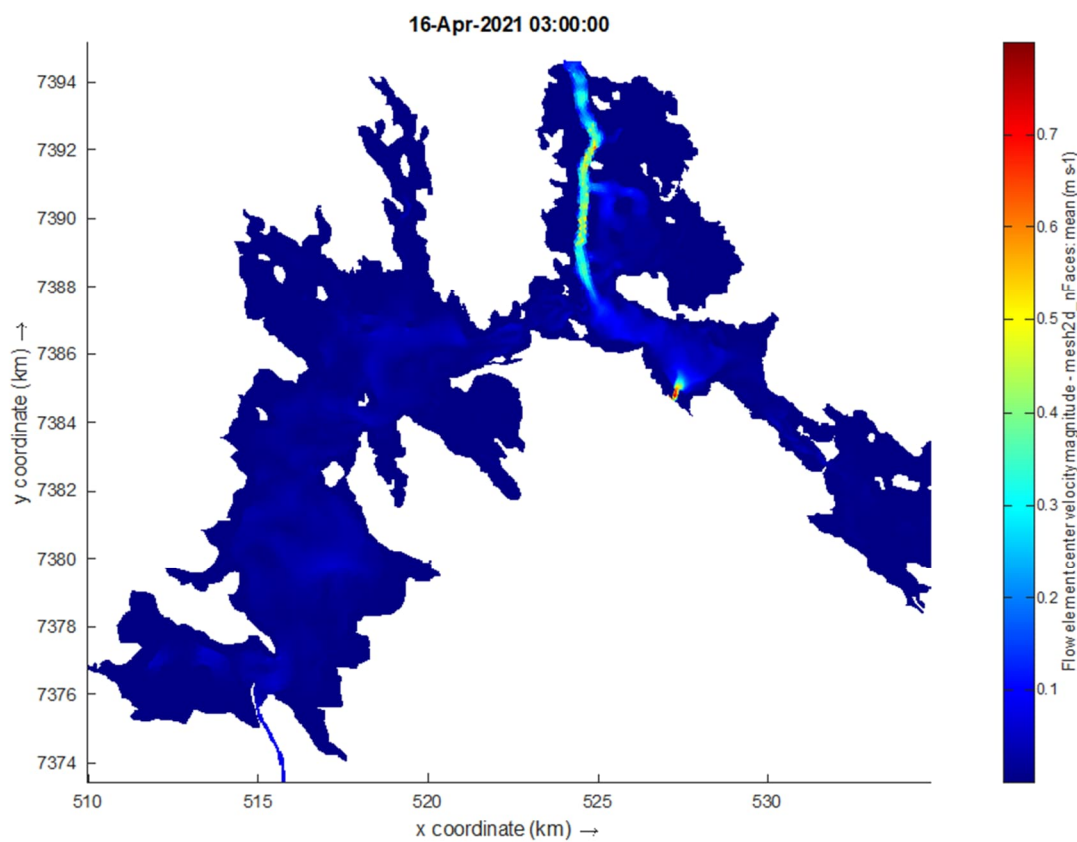
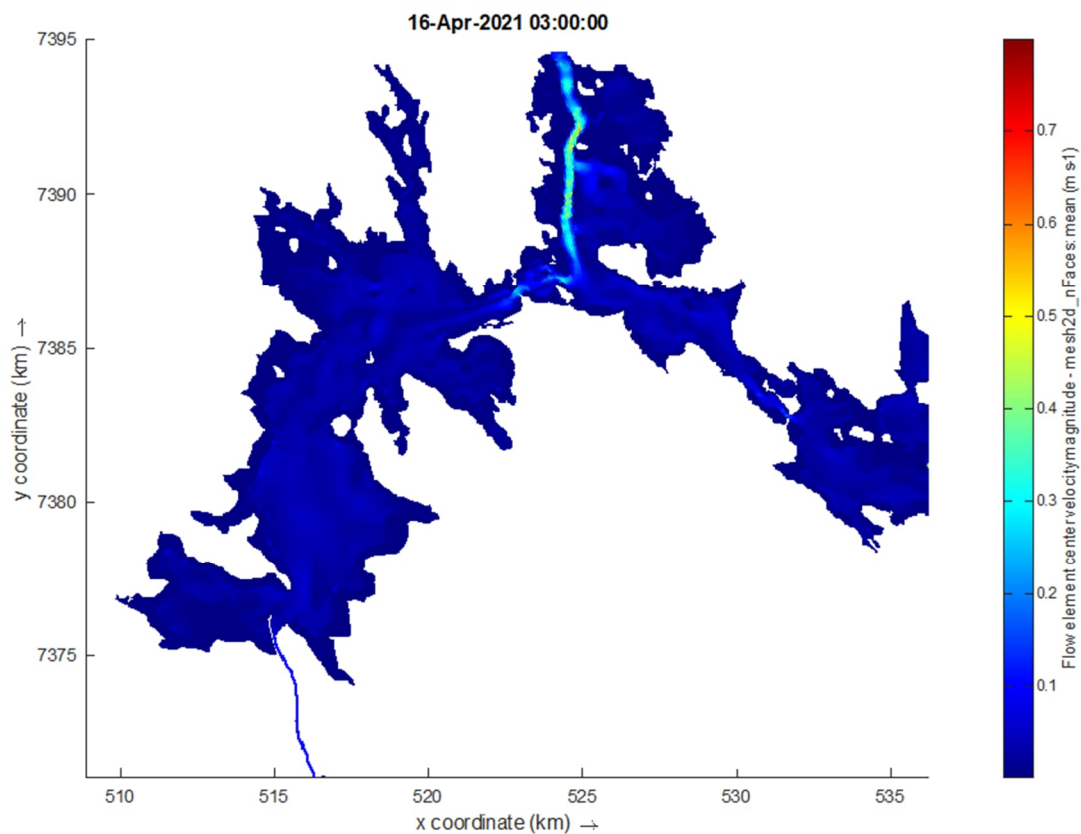
Kuvissa 6-5 ja 6-6 on esitetty esimerkkinä pumppuvoimalan vaikutuksesta virtausnopeuksiin lasketut virtausnopeudet keväällä 16.4.2021 sekä nykytilanteessa että pumppuvoimalan kanssa. Kemijärven alaosan vedenpinta oli kyseisenä ajan-kohta noin 5,5 m alle kesäajan keskivedenkorkeuden.

Kuvassa 6-5 on esitetty pintakerroksen virtausnopeudet nykytilanteessa ja pumppuvoimalan kanssa, kun pumppuvoimalan yläallasta tyhjennetään. Nykytilanteessa virtausnopeudet nousevat tason 0,1 m/s yli lähinnä päävirtausreitillä pohjapadolta Luuksinsalmen kautta Seitakorvaan. Pumppuvoimalan ollessa käytössä virtausnopeudet ovat selvästi nykytasoa suurempia Luuksinsalmessa, Kauhaselällä pumppuvoimalan kanavan lähialueella ja Lehtosalmessa.

Kuvassa 6-6 on esitetty tilanne, jossa pumppuvoimalan yläallasta täytetään. Nykytilaan (ylempi kuva) verrattuna pumppuvoimalan täyttö aiheuttaa Ämmänselältä tulevan virtauksen ohjautumisen pumppuvoimalan ottoon, jolloin virtaus Luuksinsalmeen Kauhaselän suuntaan kasvaa. Kauhaselällä virtausnopeuksien muutos jää pumppuvoimalan käyttövaihetta pienemmäksi.



Kuva 6-5. Virtausnopeus pintakerroksessa 16.4.2021 klo 09 nykytilanteessa (ylempi kuva) ja kun pumppuvoimala käyttövaiheessa (alempi kuva, purku 320 m³/s). Vedenkorkeus kuvan ajankohtana oli noin 5,5 m alle kesäajan keskivedenpinnan.



Kuva 6-6. Virtausnopeus pintakerroksessa 16.4.2021 klo 03 nykytilanteessa (ylempi kuva) ja kun pumppuvoimala täyttövaiheessa (alempi kuva, täyttö 255 m³/s). Vedenkorkeus kuvan ajankohtana oli noin 5,5 m alle kesäajan keskivedenpinnan.

6.5 Jääpeitteen muutos

Pumppuvoimalan vaikutusta jäätilanteeseen arvioitiin koko talven mittaisella laskentajaksolla. Laskenta tehtiin EIA3d mallilla, sillä DelftFM mallin jäälaskenta ei toiminut erityisen hyvin Kemijärven tapauksessa.

Kuvissa 6-7 ja 6-8 on esitetty laskettu jäätilanne skenaariolla T0, jossa ei ole pumppuvoimalaa, ja skenaariolla T2 jossa pumppuvoimala on käytössä. Voimalan käyttö on sähkömarkkinoiden mukainen (ks. kpl 0).

Alkutilvella joulukuun alussa jäätilanne muuttuu pumppuvoimalan veden purkupaikan lähialueella noin kilometrin etäisyydelle purkupaikasta. Ts. jään muodostuminen tapahtuu myöhemmin, ja jääpeite jää nykytilaa ohuemmaksi. Myös Luuksinsalmessa ja Lehtosalmessa jääpeite ohenee nykytilanteeseen verrattuna. Pumppuvoimalan purkupaikan lähialue pysyy jäättömänä tai hyvin ohuessa jäässä.

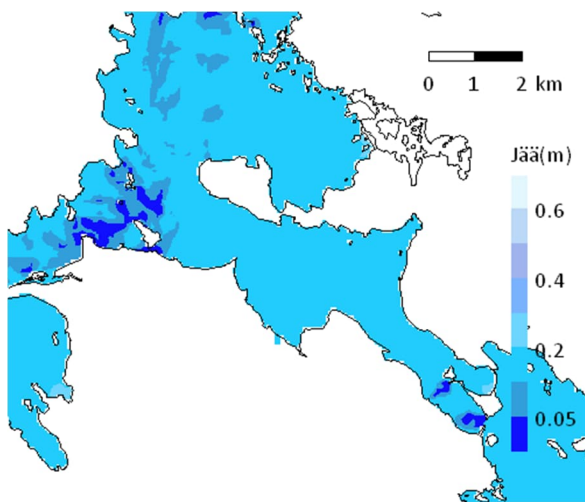
Keskitalvella tammi-helmikuussa Kauhaselän jääpeite vahvistuu, ja myös Kuusilahti on enimmäkseen jäässä. Pumppuvoimalan purkukohdan lähellä vesialue pysyy avoimena tai ohuessa jäässä myös keskitalvella.

Keskitalvella helmikuun loppuun mennessä vedenpinta on laskenut noin 3 m tasolle kesäajan vedenpinnasta lukien. Tämä vastaa Kalkonniemen pohjapadon pinnan korkeutta, ja padon yläpuolisella osalla vesi ei laske enää tätä alemmas. Kemijärven alapuolisella osalla vesi laskee edelleen maaliskuun loppuun mennessä tasolle -5 m ja edelleen huhtikuun loppuun mennessä noin -6,5 m tasolle.

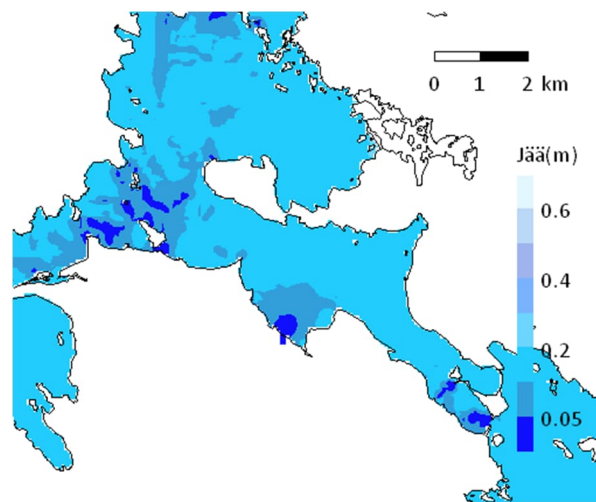
Maaliskuussa pumppuvoimalan vaikutus ulottuu vedenkorkeuden laskemisen takia kauemmas kuin keskitalvella. Keskitalvella vahvistunut jääpeite ei kuitenkaan sulaa pois, vaan ohentunutkin jää on laskentojen mukaan yli 20 cm paksua. Pumppuvoimalan purkupaikan lähialue pysyy jäättömänä, ja jäättömän alueen koko suurenee hieman kevättalvella keskitalveen verrattuna.

Lehtosalmen ja Luuksinsalmen jääpeitteeseen pumppuvoimala vaikuttaa vain vähän aikajaksolla keskitalvesta eteenpäin.

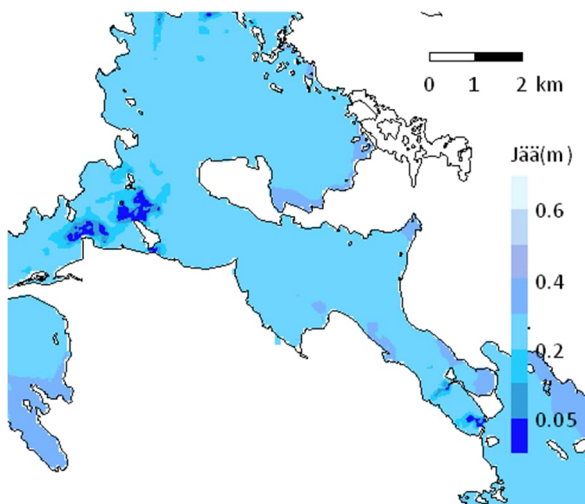
Jäälaskennassa käytetty malli todennäköisesti levittää purkuvesiä liikaa vaakasuunnassa, joten jään sulaminen kohdistuu todennäköisesti mallin antamia tuloksia enemmän purkukanavaan. Tämän takia jään ohentuminen ja sulaminen voi ulottua pidemmälle purkukanavan suuntaan kuin mitä mallilaskennat osoittavat.



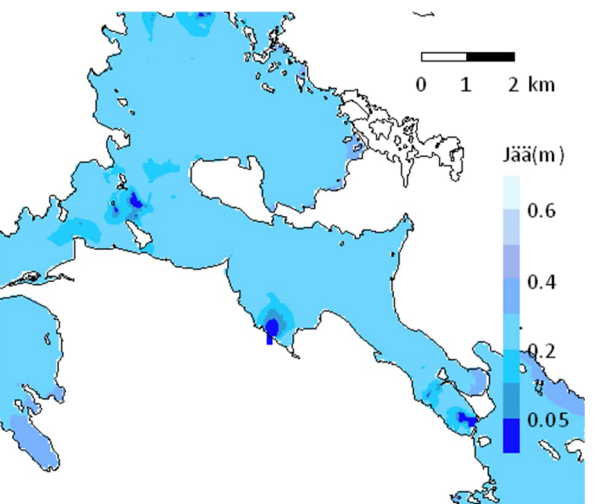
T0 1.12.2020



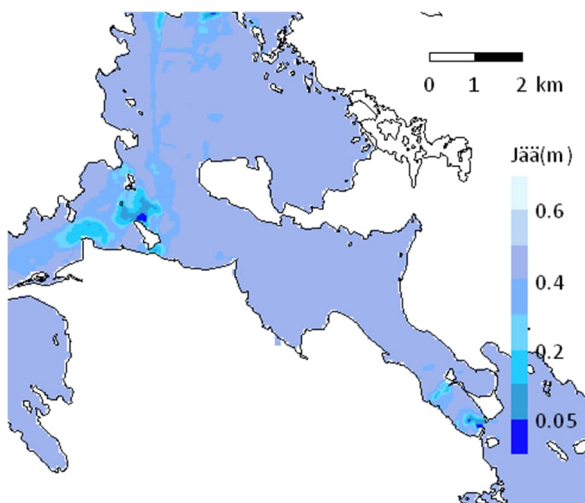
T2 1.12.2020



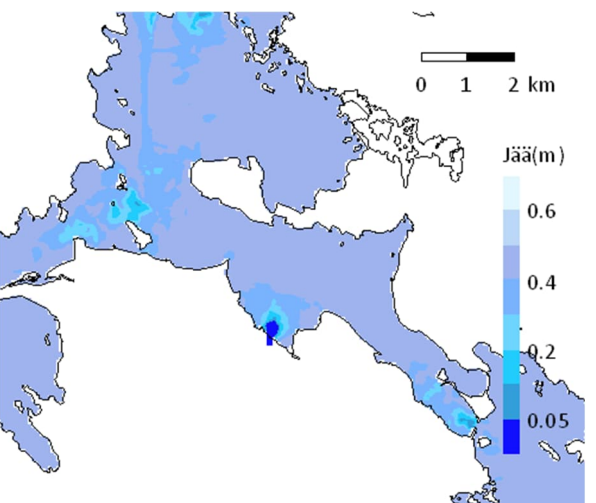
T0 1.1.2021



T2 1.1.2021

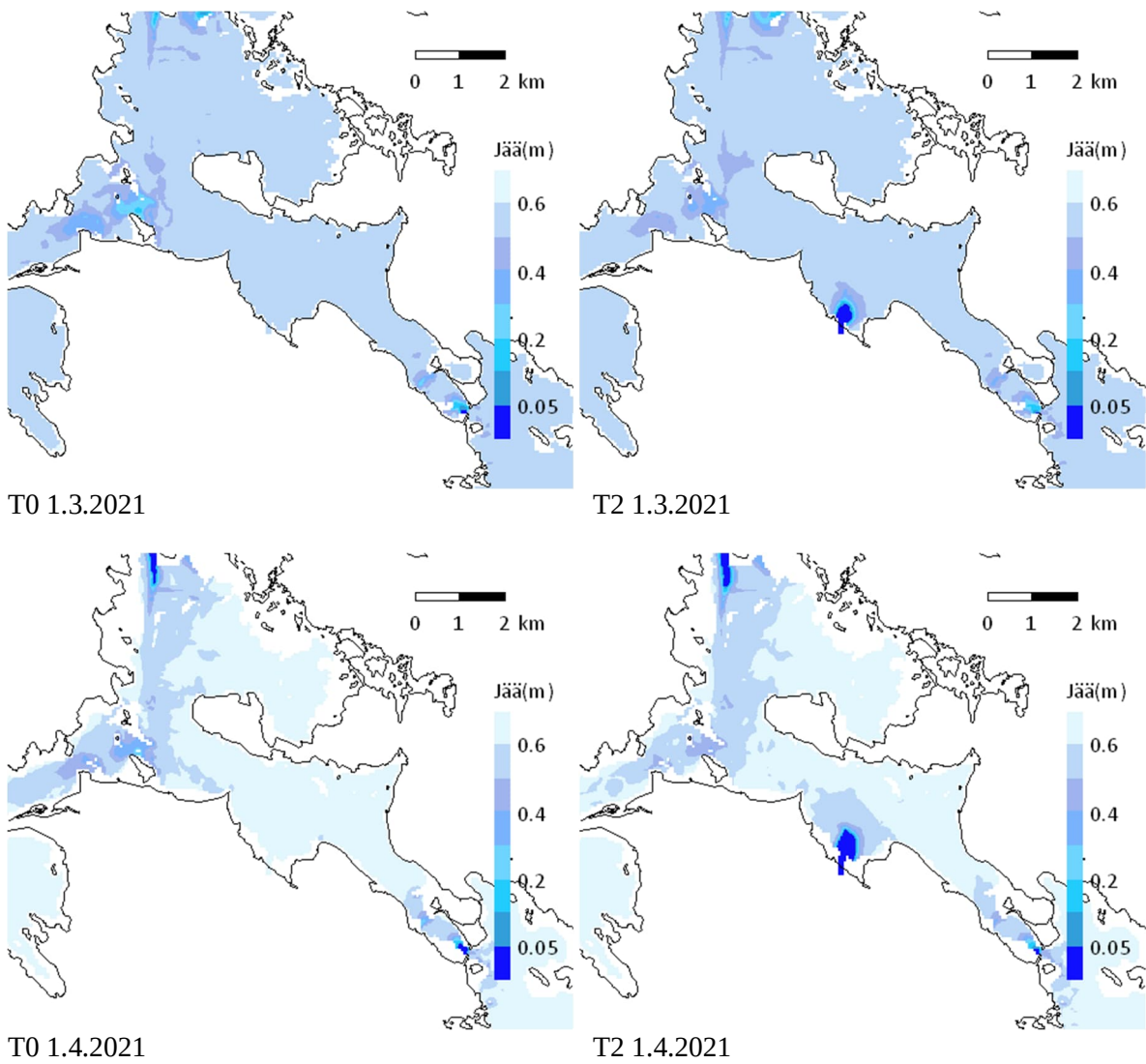


T0 1.2.2021



T2 1.2.2021

Kuva 6-7: Jäälaskenta talvelle 2020–2021, jään paksuus 1.2.2020, 1.1.2021 ja 1.2.2021 nykytilanteessa (T0) ja pumppuvoimalan kanssa (T2)



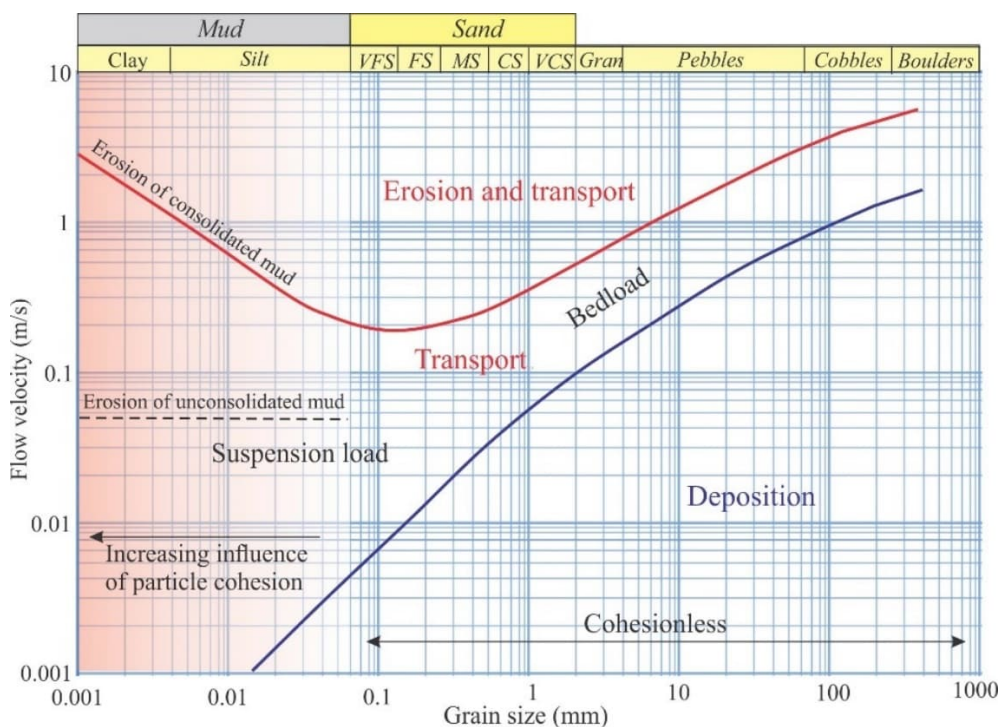
Kuva 6-8: Jäälaskenta talvelle 2020-2021, jään paksuus 1.3.2021 ja 1.4.2021 nykytilanteessa (T0) ja pumppuvoimalan kanssa (T2)

7 Eroosiopotentiaali

Pumppuvoimalan käyttö voi nostaa veden virtausnopeuksia, ja sitä kautta lisätä eroosiota paikassa, jossa virtausnopeudet nousevat nykytasoa suuremmiksi. Rantaeroosion lisääntymistä voisi aiheutua tapauksessa, jossa vedenkorkeusmuutokset järvellä olisivat selvästi nykytilannetta suurempia. Ailangantunturin pumppuvoimalan tapauksessa avovesiaikana pumppuvoimalan aiheuttama vedenkorkeusvaihtelun muuttuminen nykytilanteeseen verrattuna on kuitenkin varsin maltillista, eikä rantaeroosion merkittävä lisääntyminen ole tämän takia todennäköistä.

Pohjasedimentin mahdollinen erodoituminen riippuu siitä, miten usein pohjan läheinen virtausnopeus kasvaa yli paikalla olevalle pohjamateriaalille ominaisen kriittisen virtausnopeuden. Kun kriittinen virtausnopeus ylittyy, alkaa pohja erodoitumaan. Eroosio jatkuu niin pitkään, kun virtausnopeus pysyy kriittistä virtausnopeutta suurempana ja erodoituvaa ainesta riittää. Esim. jos pohjalla on ohut kerros helposti erodoituvaa materiaalia kovan pohjan päällä, voi pintamateriaali lähteä liikkeelle, mutta kovan pohjan tullessa vastaa eroosio loppuu.

Kriittisen virtausnopeutta eri virtausnopeuksilla ja sedimentin raekoolla kuvaavat mm. Hjulströmin ja Shieldsin käyrät, joista alla kuvassa 7-1 Hjulströmin diagrammi (Geological digressions 2025). X-akselilla on sedimenttihiukkasten partikkelikoko ja y-akselilla virtausnopeus; punainen käyrä kuvaa rajaa, jonka yläpuolella eroosio on todennäköistä. Käyrän perusteella alle 0,1 m/s nopeuksilla eroosio on epätodennäköistä ja alle 0,2 m/s nopeuksilla erodoituu vain hieno hiekka.



Kuva 7-1. Hjulströmin diagrammi (Geological digressions 2025). Eroosion kriittinen virtausnopeus suhteessa pohja-aineksen hiukkaskokoon, aineksena paikoilleen asettunut (consolidated) sedimentti.

Eri maa-aineksista hiekka erodoituu helpoiten. Savi on ns. koheesiomaalaji, jossa hiukkaset kiinnittyvät toisiinsa, minkä takia se erodoituu hienoa hiekkaa vähemmän. Vastaavasti hienoa hiekkaa suuremmat hiukkaset painavat enemmän suhteessa pinta-alaansa, eivätkä siten lähde yhtä herkästi liikkeelle kuin hiekka.

Eroosiopotentiaalin arvioimiseksi mallinnuksessa on paras virtausnopeuden sijasta käyttää leikkausjännitystä, joka voidaan tulostaa suoraan mallista pohjakerrokselle. Kriittistä virtausnopeutta vastaa kriittinen leikkausjännitys, joka voidaan laskea kriittisestä virtausnopeudesta kaavalla 2.

$$(2) \quad t_c = \rho_w * C_d * u_c^2.$$

Tässä t_c = kriittinen leikkausjännitys, ρ_w = veden tiheys (1000 kg/m^3), C_d = pohjakitka (0.003) ja u_c = kriittinen virtausnopeus (esim. $0,2 \text{ m/s}$). Kriittiselle nopeudelle u_c $0,15 \text{ m/s}$ $t_c = 0,07$, nopeudelle $u_c = 0,2 \text{ m/s}$ $t_c = 0,12$, ja nopeudelle $u_c = 0,3 \text{ m/s}$ $t_c = 0,27$.

7.1 Leikkausjännitys pohjalla

Eroosion mahdollisuutta arviotiin tässä laskemalla talvijakson 10/2020–05/2021 pohjan leikkausjännityksen keski- ja maksimiarvo sekä nykytilanteelle että pumppuvoimala-skenaariolle. Suurimmat virtaamat ja matalin vedenkorkeus osuvat Kemijärvellä tyypillisesti toukokuulle. Muulloin kuin tulva-aikana virtausnopeudet ja siten myös pohjaan kohdistuva leikkausjännitys ovat huomattavasti pienempiä kuin tulva-aikaiset arvot.

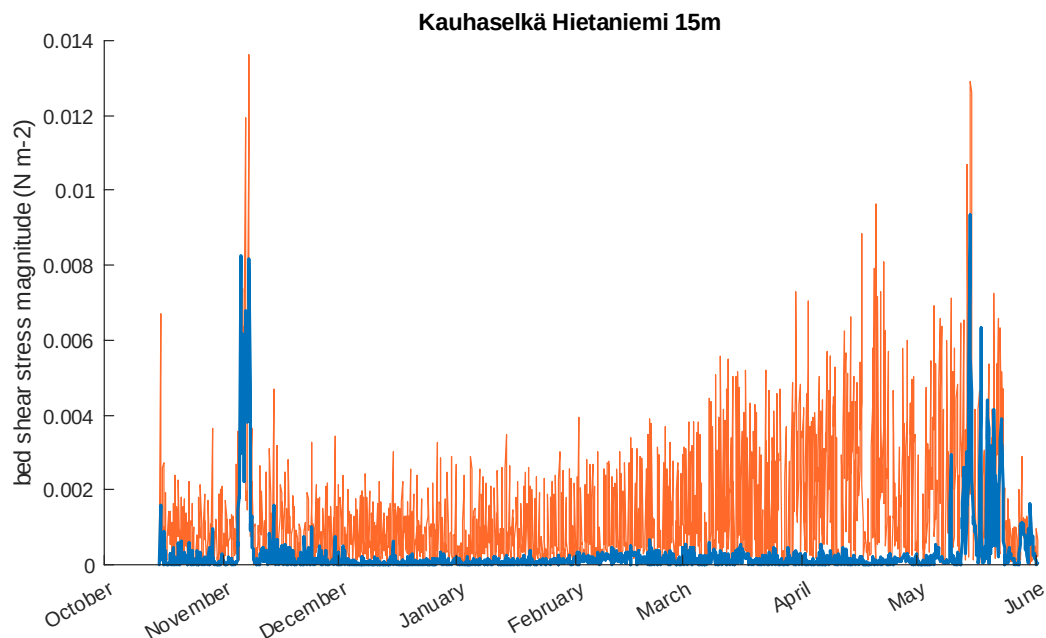
Kuvassa 7-2 on esitetty Kauhaselälle Hietaniemen kärjestä noin 500 m pohjoiseen olevalle 15 m syvyyiselle pisteelle laskettu pohjan leikkausjännityksen aikasarja nykytilassa ja pumppuvoimalan kanssa. Nykytilassa piste on selvästi sedimentoitumisaluetta, ts. leikkausjännitys pohjalla on pieni, ja kaukana eroosioon vaadittavasta tasosta. Pumppuvoimala lisää selvästi leikkausjännitystä nykytilaan verrattuna, mutta leikkausjännitys pysyy kyseissä pisteessä alle $0,015 \text{ N/m}^2$ tason. Hiekan erodoitumiseen tarvittava kriittinen leikkausjännitys on yli $0,05 \text{ N/m}^2$, eli laskettu arvo pysyy pisteessä selvästi alle erodoitumiseen tarvittavan kriittisen arvon.

Kuvassa 7-3 on piirretty aikasarjakuva leikkausjännityksen arvosta päävirtausreitiltä Luuksinsalmen keskikohdasta ja Lehtosalmen sillan kohdalta. Suurimmat leikkausjännityksen arvot osuvat huhti-toukokuulle, kun vesi on alhaalla. Luuksinsalmen leikkausjännityksessä on tulva-aikaan erittäin selvä piikki, jolloin leikkausjännitys nousee yli 3 Nm/m^2 tason. Piikin kohdalla virtausnopeus on noin 1 m/s , ja kuvan 7-1 diagrammin perustella virtaus siirtelee jo noin sentin läpimittaa olevia kiviä. Pumppuvoimalan aiheuttama virtaamavaihtelu lisää eroosion mahdollisuutta salmessa, mutta tulvan aiheuttaman eroosiopiikin takia ei nykytilanteessaakaan alueelle pääse sedimenttiä kertymään. Lehtosalmessa tulvan vaikutus jää pienemmäksi, mutta matalan veden aikaan leikkausjännitys nousee nykytilaan

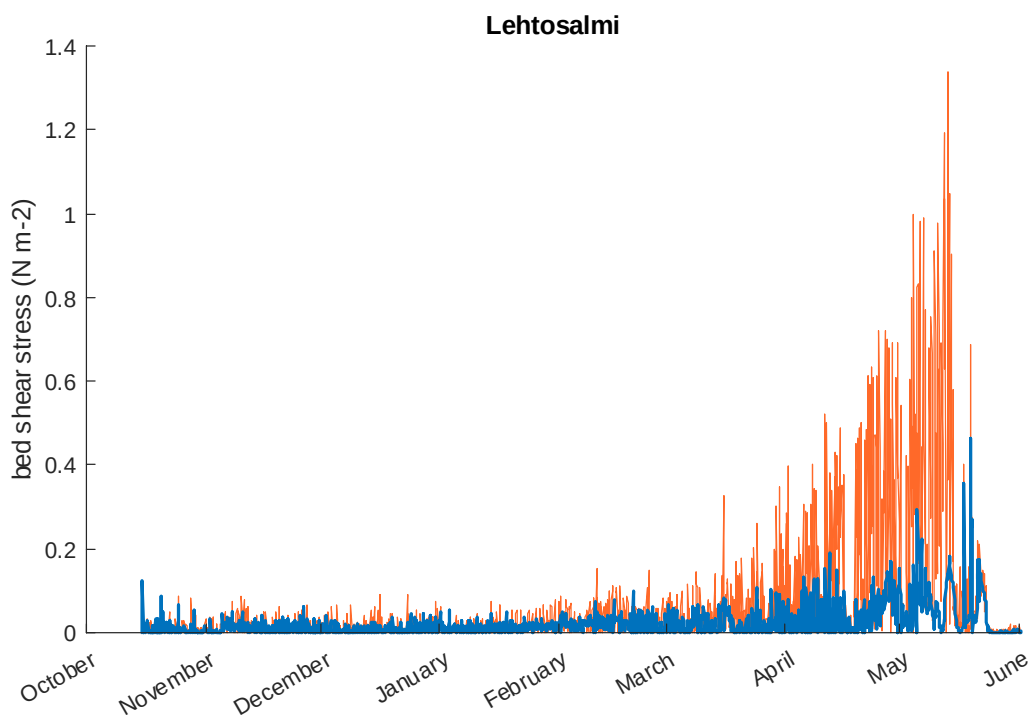
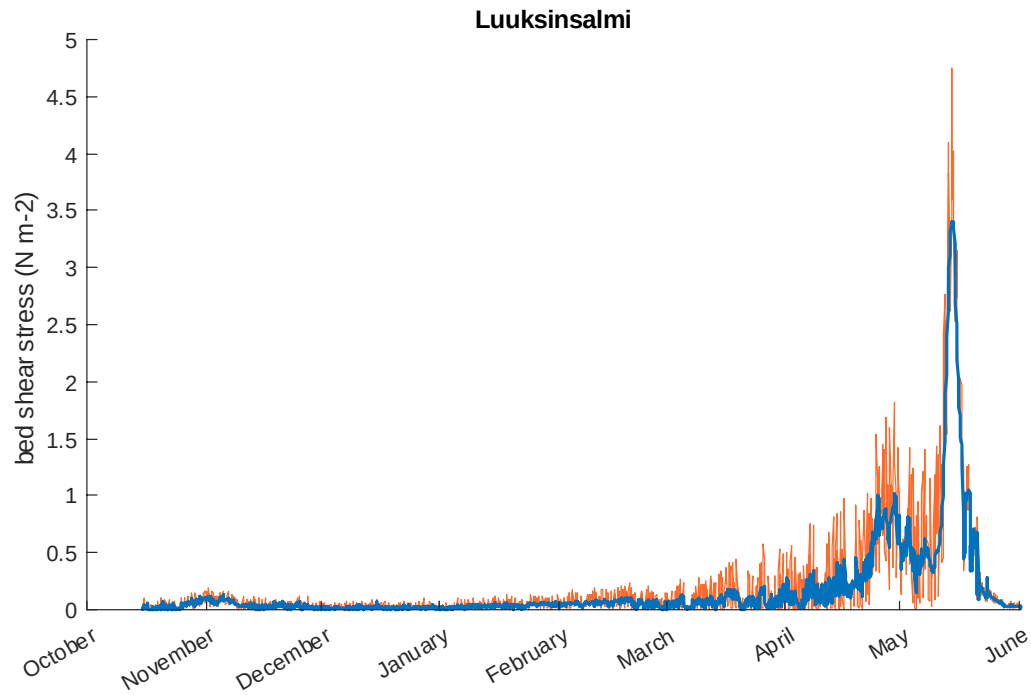
verrattuna pumppuvoimalan aiheuttaman virtausvaihtelun takia. Lehtosalmi ei nykytilassakaan kerää sedimenttiä, mutta eroosion mahdollisuus alueella lisääntyy pumppuvoimalan aiheuttaman virtausvaihtelun takia.

Pohjan leikkausjännityksestä talvijaksolla laskettiin tunnit, jolloin hienon hiekan ja karkean hiekan eroosiokynnys ylittyy. Tulokset on esitetty karttapohjalla hienon hiekan osalta nykytilanteelle kuvassa 7-4 ja pumppuvoimalan kanssa kuvassa Kuva 7-5, sekä karkean hiekan osalta kuvissa 7-6 ja 7-7. Nykytilanteessa leikkausjännitys ylittää hiekan eroosiota aiheuttavan arvon lähinnä päävirtausreitillä. Pumppuvoimalan nostaa eroosiokynnyksen ylittäviä tuntimääriä pääasiassa pumppuvoimalan kanavan kohdalla, mutta jonkin verran myös Lehtosalmessa.

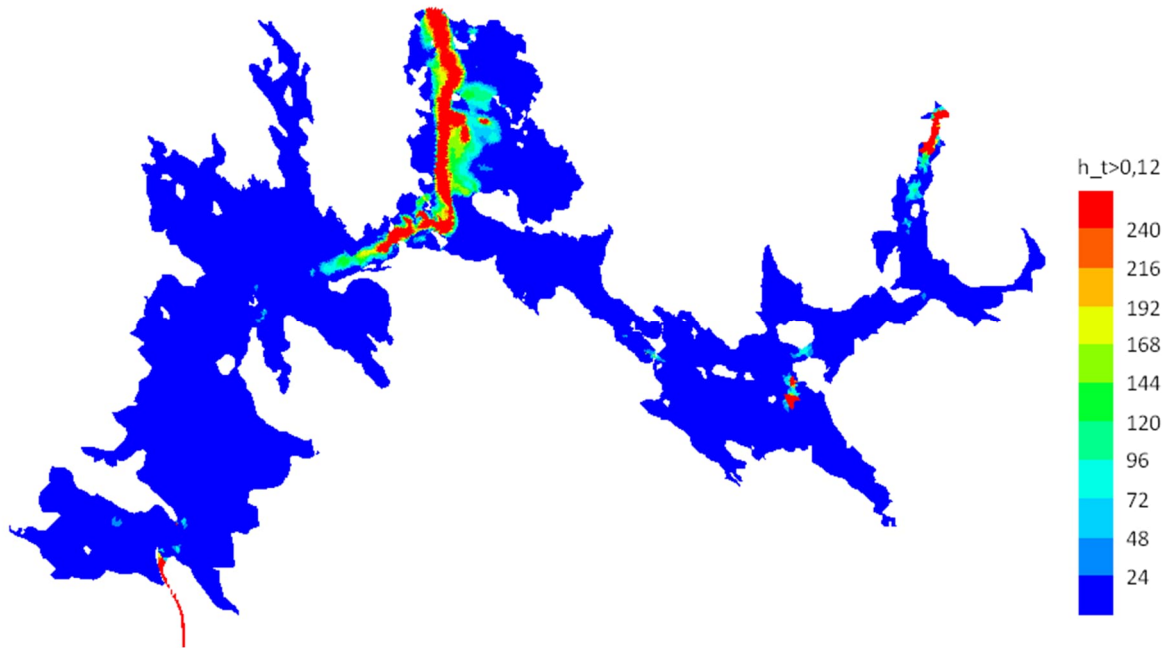
Pohjan leikkausjännityksen maksimiarvot on esitetty nykytilanteelle Kuvassa 7-8 ja pumppuvoimalan kanssa kuvassa 7-9. Maksimiarvo on hetkellinen suurin arvo, ja sen kesto voi olla hyvinkin lyhytaikainen. Maksimiarvoissa näkyy muutoksia selvimmin Kauhaselän alueella. Yli $0,1 \text{ N/m}^2$ ylittäviä arvoja näkyy Kauhaselällä kuitenkin pääasiassa pumppuvoimalan kanavan kohdalla ja sen lähialueella, sekä Lehtosalmessa. Pumppuvoimala nostaa myös hieman leikkausjännityksen maksimiarvoa Ämmänselällä. Tässä on kyse todennäköisesti tilanteesta, jossa pumppuvoimalan täyttö tulvavirtaamalla nostaa hieman virtausnopeuksia Ämmänselällä, jolloin myös pohjalle kohdistuva leikkausjännitys nousee.



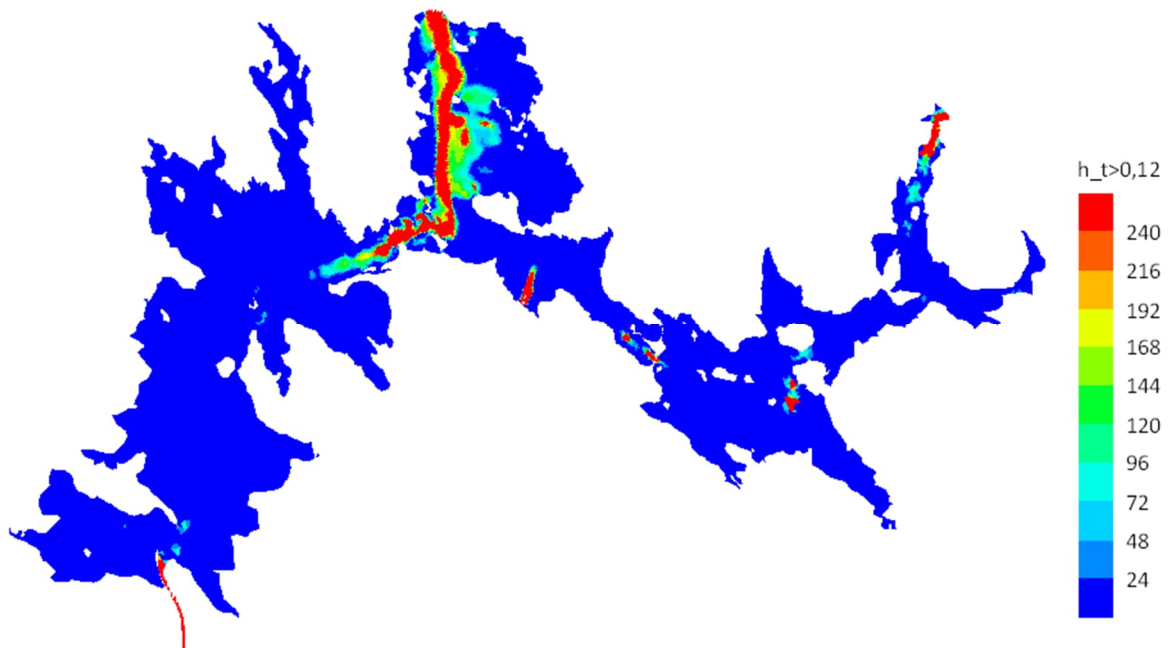
Kuva 7-2. Pohjaan kohdistuvan leikkausjännityksen aikasarja Kauhaselällä Hietaniemestä pohjoiseen olevassa syvänteessä 15m syvyydellä nykytilanteessa (sininen) ja pumppuvoimalan kanssa (oranssi).



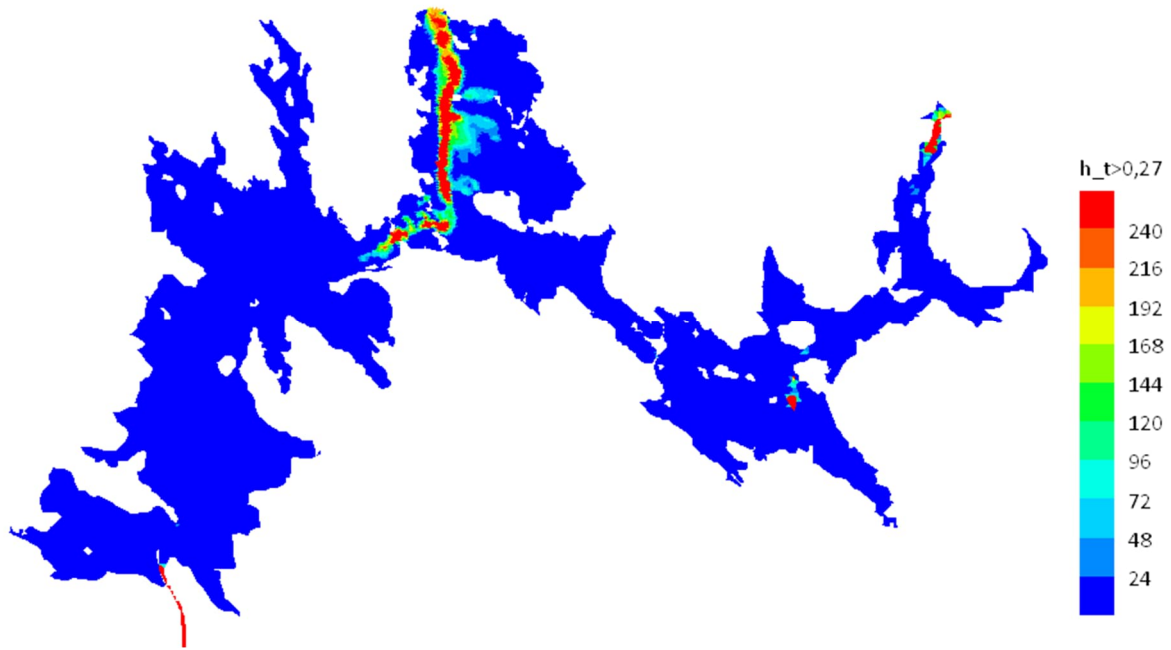
Kuva 7-3. Pohjaan kohdistuvan leikkausjännityksen aikasarja Luuksinsalmessa (ylempi kuva) ja Lehtosalmessa (alempi kuva) nykytilanteessa (sininen) ja pumppuvoimalan kanssa (oranssi).



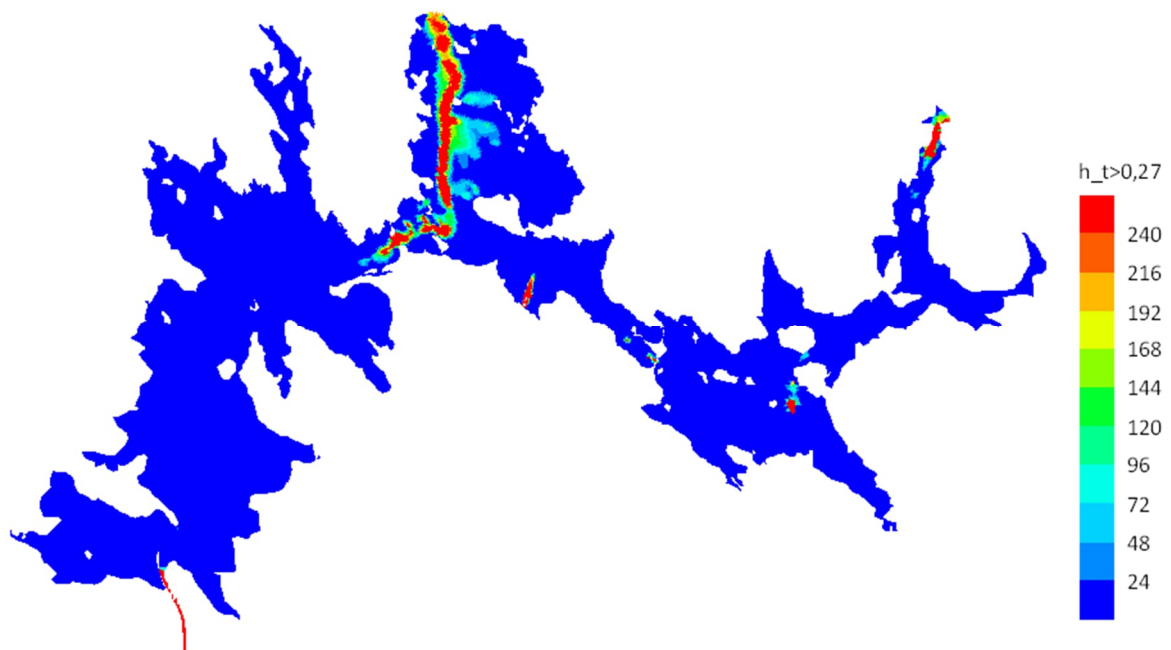
Kuva 7-4. Tuntimäärä, jolloin pohjaan kohdistuva leikkausjännitys ylittää arvon 0,12 N/m², ts. hienon hiekan eroosiokynnyksen. Laskentajakso 11/2020-05/2021, skenaario T0, nykytila.



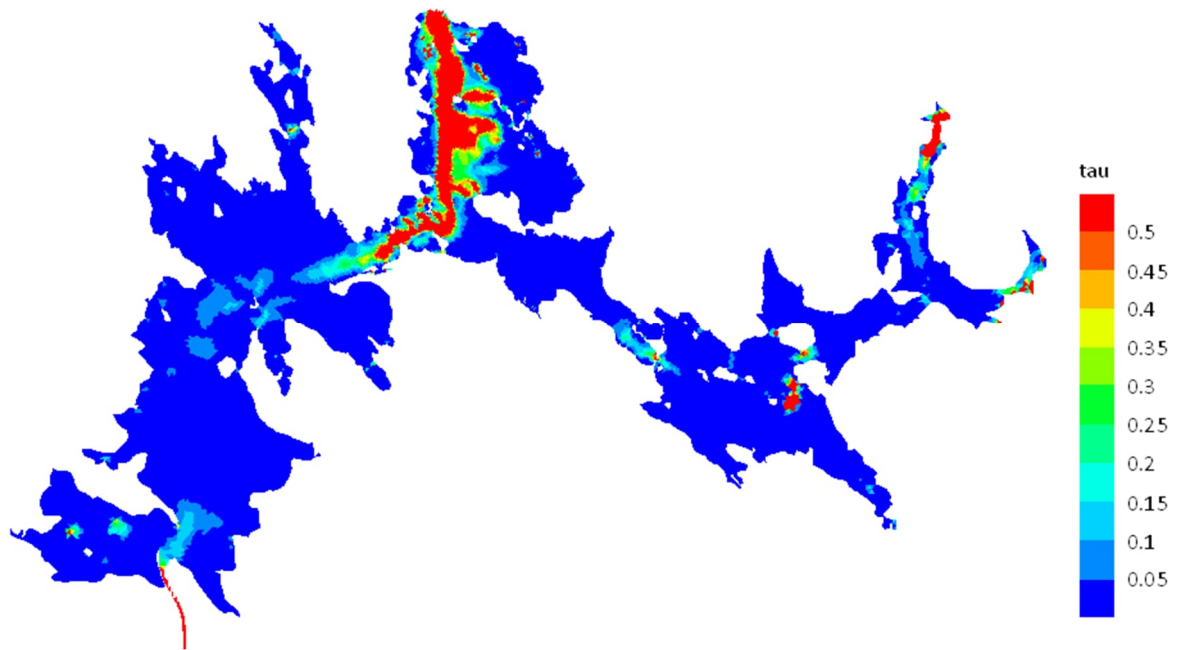
Kuva 7-5. Tuntimäärä, jolloin pohjaan kohdistuva leikkausjännitys ylittää arvon 0,12 N/m², ts. hienon hiekan eroosiokynnyksen. Laskentajakso 11/2020-05/2021, skenaario T2, jossa pumppuvoimala mukana.



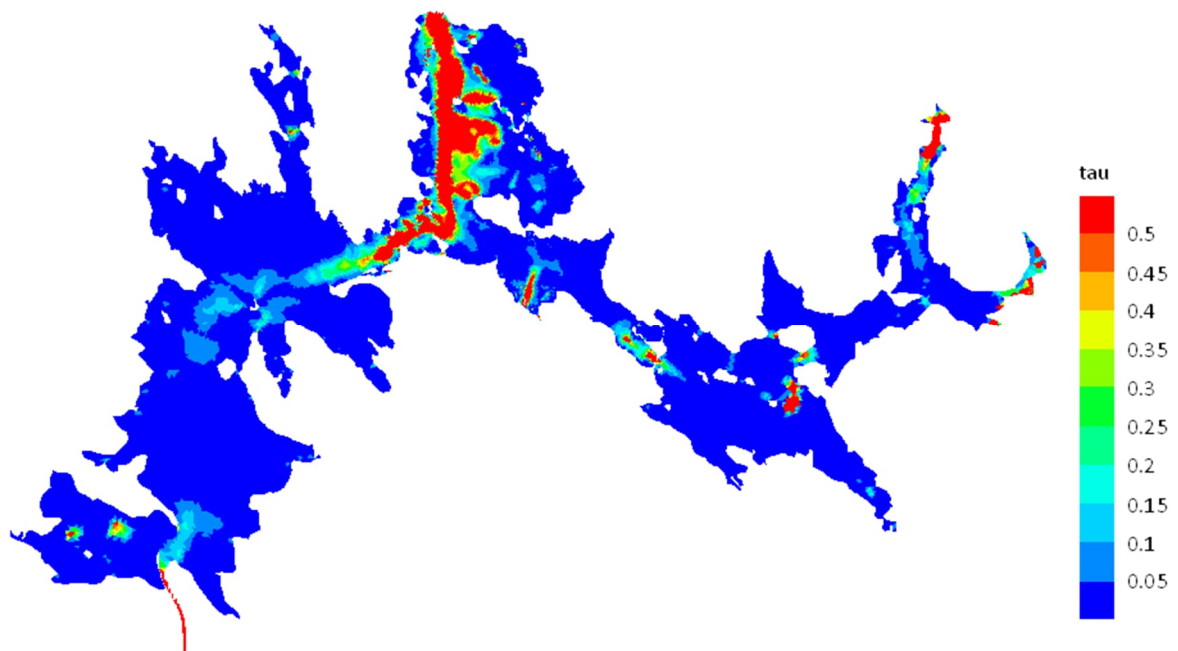
Kuva 7-6. Tuntimäärä, jolloin pohjaan kohdistuva leikkausjännitys ylittää arvon 0,27 N/m², ts. karkean hiekan eroosiokynnyksen. Laskentajakso 11/2020-05/2021, skenaario T0, nykytila.



Kuva 7-7. Tuntimäärä, jolloin pohjaan kohdistuva leikkausjännitys ylittää arvon 0,27 N/m², ts. karkean hiekan eroosiokynnyksen. Laskentajakso 11/2020-05/2021, skenaario T2, jossa pumppuvoimala mukana.



Kuva 7-8. Pohjaan kohdistuvan leikkausjännityksen maksimiarvo laskentajaksolla 11/2020-05/2021, nykytilanne.

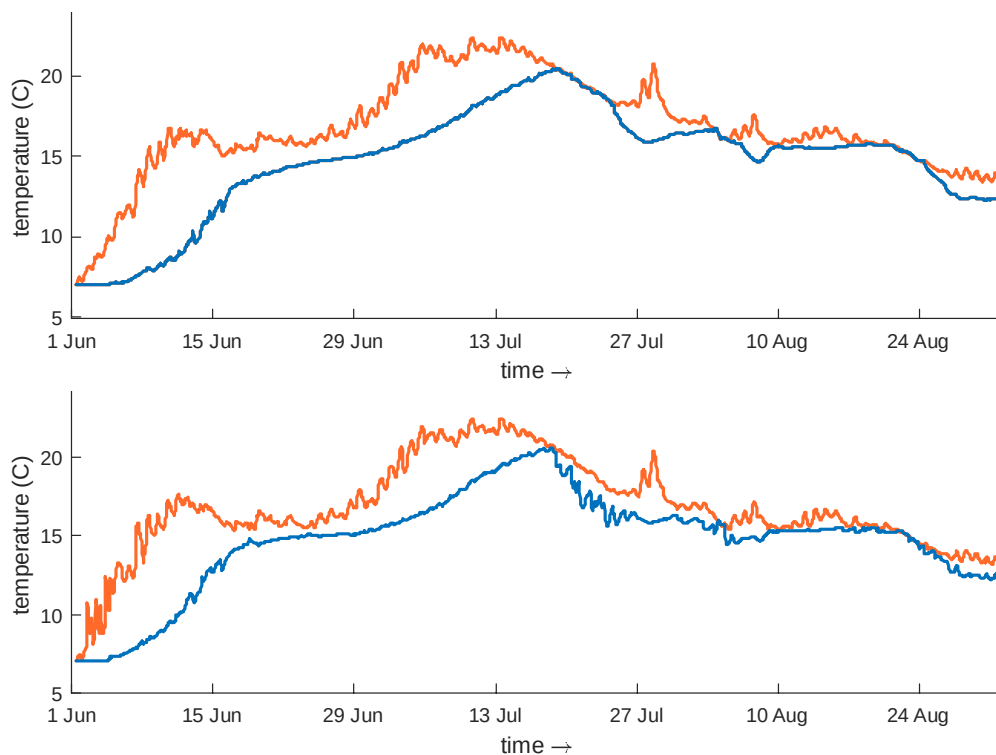


Kuva 7-9. Pohjaan kohdistuvan leikkausjännityksen maksimiarvo laskentajaksolla 11/2020-05/2021 pumppuvoiman kanssa.

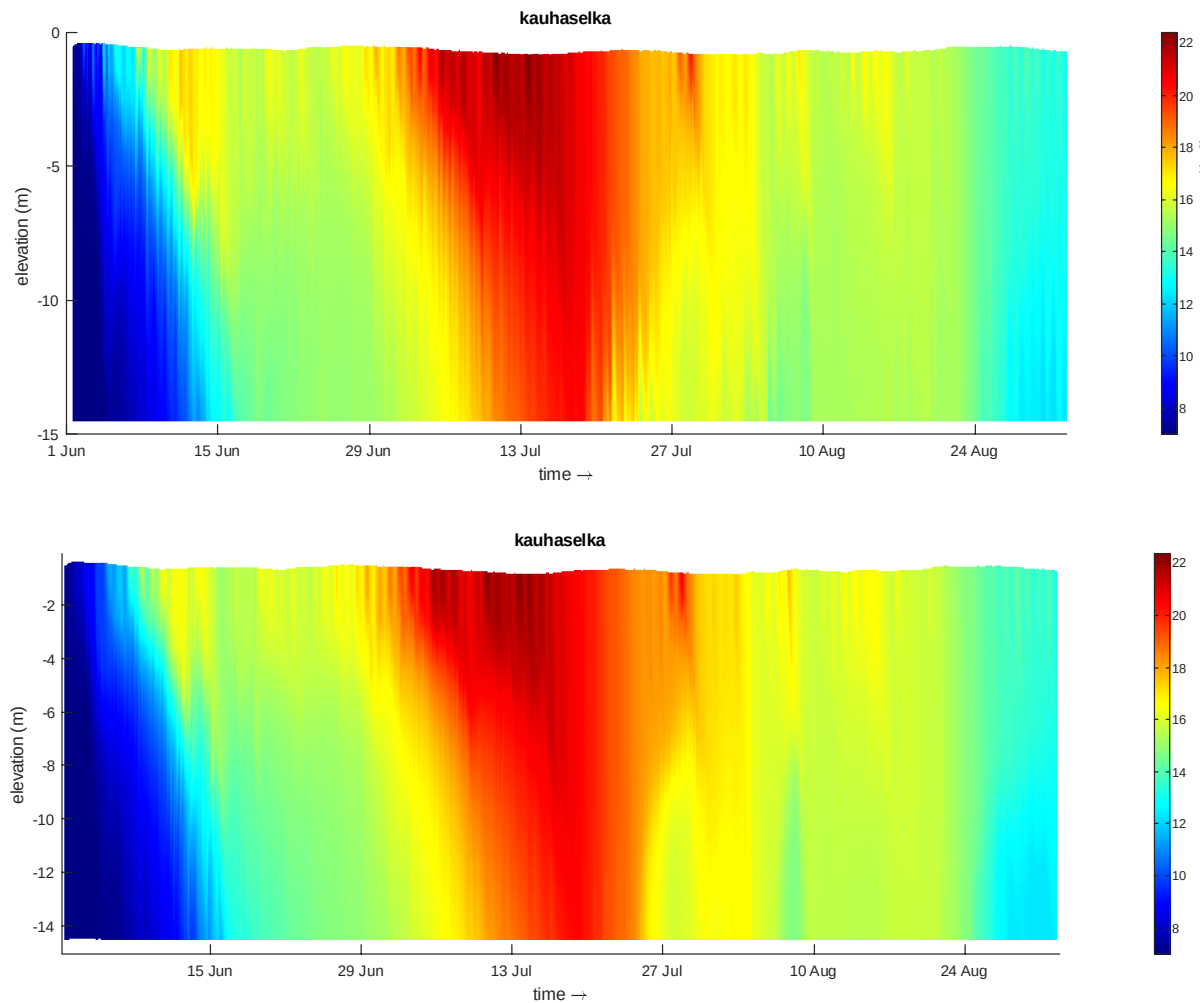
8 Vaikutus syvyysuuntaiseen sekoittumiseen

Pumppuvoimalan virtaama lisää veden sekoittumista syvyys- ja vaakasuunnassa. Sekoittuminen aiheutuu veden virtaamasta ja virtausnopeuden eroista, jotka tuottavat vesimassaan sekoittumista aiheuttavaa turbulenssia. Normaali tuulen aiheuttama virtaama kesällä ylittää pintakerroksessa noin 10–20 cm/s nopeuksiin paikan mukaan, esim. matalikoilla ja kapeikoissa pintavirtauksen nopeus voi olla ympäröivää aluetta suurempi. Kemijärvellä myös suuri läpivirtaama, jonka nopeus vaihtelee paikasta ja virtauksen poikkileikkauksesta riippuen 1–40 cm/s välillä.

Syvyysuuntainen sekoittuminen vaikuttaa selvimmin lämpötilakerrostumiseen. Kuvassa 8-1 on esitetty pinta- ja pohjakerroksen lämpötila aikasarjana Kauhaselän pisteessä (sijainti Kuva 5-1) ja nykytilanteessa ja pumppuvoimalan kanssa kesän 2021 laskentajaksolta.



Kuva 8-1. Pinta- ja pohjakerroksen lämpötilan aikasarja Kauhaselän pisteessä, nykytila ylemmässä kuvassa, pumppuvoimalan kanssa alemmassa kuvassa. Piste syvyys noin 15 m. Oranssi käyrä pintakerros, sininen käyrä pohjakerros.



Kuva 8-2. Koko syvyyskerroksen lämpötila Kauhaselän pisteessä kesän laskentajaksolta, nykytila ylemmässä kuvassa, pumppuvoimalan kanssa alemmassa kuvassa. Pisteiden syvyys noin 15 m.

Kuvassa 8-2 on esitetty lisäksi koko vesikerroksen lämpötila kesän laskentajakson ajalta Kauhaselän pisteessä sekä nykytilanteessa, että Pumppuvoimalan kanssa.

Kuvassa 8-1 näkyy lämpötilakerrostumisen heikkenemistä kesäkuun loppupuolella ja heinäkuun alkupuolella. Tällä jaksolla nykytilassa pinnan ja pohjan välinen lämpötilaero on jonkin verran suurempi kuin pumppuvoimalan skenaariossa. Lämpötilakerrostuminen ei kuitenkaan esitetyssä pisteessä häviä, vaan heikkenee hieman. Syksyllä nykytilanne ja pumppuvoimalaskenaario vastaavat toisiaan.

Kuvassa 8-2 nykytilanne ja pumppuvoimalan skenaario vastaavat yleiseltä käyttäytymiseltä toisiaan. Toisin sanoen esitetyssä pisteessä vesi sekoittuu syvyys-suunnassa kohtuullisen nopeasti sekä nykytilanteessa että pumppuvoimalan kanssa.

9 Laskennan epävarmuuksista

Mallilaskennassa keskeisiä epävarmuuden lähteitä ovat puutteelliset olosuhdetiedot, mallisovelluksen parametrien puutteellisesta tarkkuudesta aiheutuvat virheet ja itse mallissa tehdyistä oletuksista ja yksinkertaistuksista johtuvat virheet. On hyvä huomata, että mallissa vesimäärän säilyminen ja myös muut fysiikan lait kuten liikemäärän ja energian säilyminen ovat mallin laskentayhtälöiden perustana ja siten mallin laskennassa lähtökohtaisesti aina mukana.

Vedenkorkeuksien laskentaan vaikuttavat mallissa pohjakitka, jääkitka ja mallin syvyystiedot ja mallin reunaehdot. Näistä voi aiheutua laskentatuloksiin virhettä. Esimerkiksi jos pohjakitka on liian pieni, ei vedenkorkeusmuutos vaimene mallissa yhtä paljon kuin todellisuudessa. Mallissa on käytetty pikemminkin liian pieniä kuin liian suuria kitka-arvoja, eli malli voi liioitella jonkin verran vedenkorkeusmuutoksia. Mallin yläreunalla käytettiin reunaehtona kesällä vedenkorkeutta ja talvella virtaama. Molemmissa käytettiin vuorokauden tarkkuutta, sillä tuntiarvoja ei ollut käytettävissä. Tämän takia mallin yläreunan kohdalla vuorokauden sisäinen vedenkorkeusvaihtelu tasoittuu. Kesäjakson laskennassa mallin yläreuna sijoitettiin Karhuniemeen, joka sijaitsee 20 km päässä Kauhaselästä ylävirtaan. Tällä pyrittiin minimoimaan yläreunaehdon vaikutusta Kauhaselän kohdalla. Talvijakson laskennassa yläreuna asetettiin pohjapadon kohdalle ja reunaehtona käytettiin pohjapadolle laskettua virtaaman vuorokausiarvoa, mistä voi aiheuta jonkin verran virhettä vedenkorkeusvaihteluun ja virtaamiin.

Laskennassa Jumiskon voimalaitoksen virtaamille käytettiin vuorokausitarkkuutta (tuntivirtaamia ei ollut käytössä). Tämän takia Lehtosalmen vuorokausivaihtelu ei välttämättä ole mallissa oikein, mikäli Jumiskon voimalaitoksen virtaama vaihtelee vuorokauden sisällä merkittävästi. Jumiskon voimalan rakennusvirtaama on $35 \text{ m}^3/\text{s}$ ja keskivirtaama noin $15,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Vuonna 2021 huhtikuusta elokuun puoliväliin Jumiskon virtaama oli nolla, joten kevään ja kesän laskentaan Jumiskon säännöstelyllä ei ollut vaikutusta.

Lämpötilakerrostumisen laskennan osalta mallia ei voitu Kauhaselän, sillä alueelta ei ollut käytettävissä mittausaineistoja laskentajaksojen ajalta. Aikaisempien mitausten mukaan pinta- ja pohjakerroksen lämpötilaero olisi kuitenkin elokuussa suurempi kuin mallin nykytilalaskennassa saatu lämpötilaero. Vuosien väliset erot kerrostumisen suuruudessa ja ajoittumisessa voivat tosin olla suuria. Tyypillisesti mallien ongelma on liiallinen sekoittuminen syvyyssuunnassa, ts. pohjalla oleva vesi lämpenee liikaa, eli on mahdollista, että malli laskee lämpötilakerrostumisen liian pieneksi.

Laskennasta puuttuu arvio pumppuvoimalan veden lämpötilamuutoksille, silloin kun vesi on ylävarastossa. Voimalan hyötysuhde on myös noin 80 %, ts. 20 % veden energiamäärästä katoaa jonnekin. Oletusarvoisesti katoava teho siirtyy lämmöksi voimalan läpi menevään veteen. Jos 10 % tehosta muuttuu lämmöksi

voimalan purkuvaiheessa, lämmittää se vettä noin 5,5 MW teholla. Tällä teholla purkuvesi ($320 \text{ m}^3/\text{s}$) lämpenee $0,004 \text{ }^\circ\text{C}$, eli voimalaitoksen tehohäviön aiheuttama lämmitysvaikutus on pieni.

Jäälaskennassa käytettiin EIA3d-mallia, jota on sovellettu aikaisemmin Suomen sääolosuhteisiin järvien ja rannikkoalueiden jään laskennassa. Tyypillisesti joki-alueille ja järville käytetään erilaisia jäämalleja, ja EIA3d:n laskenta on tyyppiä järvimalli. Kemijärven vesialue on etenkin talvella jotakin järven ja joen väliltä, ja pumppuvoimalan edestakainen virtaama on ilmiö, jota ei yleensä jäämalleja rakennettaessa ole tarpeen ottaa huomioon. Jäämallin laskenta perustuu veden pintakerroksen ja mahdollisen jääkerroksen energiatasapainoon, missä lämmön kertyminen ja poistuminen säteilyn kautta ja lämmön siirtyminen ilmakehän ja järven veden välillä määrää sen, miten jäätä muodostuu tai sulaa. Kaavat sinänsä pätevät sinänsä kaikissa olosuhteissa, mutta malli on kuitenkin yksinkertaistus siitä mitä järvellä talvella tapahtuu - esim. järvijäämalleissa ei yleensä huomioida veden pintakerrokseen muodostuvan jäähileen kulkeutumista ja sen vaikutusta jääkerroksen muodostumiseen.

10 Yhteenveto

Kemijoki Oy suunnittelee Kemijärven Ailangantunturiin pumppuvoimalaa. Pumpuvoimalan suunniteltu purkuvirtaama on $320 \text{ m}^3/\text{s}$ ja täyttövirtaama $255 \text{ m}^3/\text{s}$. Voimalan yläaltaan käyttötilavuus on suunniteltu niin, että pisin mahdollinen yhtäjaksoinen purku aika on noin 9 h. Voimalaa käytetään oletusarvoisesti vuorokauden jaksotuksella niin, että voimalan käyttövaihe on päivällä ja täyttövaihe yöllä. Jaksotukseen vaikuttaa keskeisesti sähköjärjestelmän tarve (sähkön hintavaihtelu), joten voimalan käyttöjaksotus voi olla myös toisenlainen kuin edellä kuvattu tyypillinen tilanne.

Tässä raportissa on arvioitu suunnitellun pumppuvoimalaitoksen vaikutuksia Kemijärven virtauksiin ja vedenkorkeuksiin, ja tätä kautta myös veden lämpötilakerrostumiseen ja pohjan eroosiopotentiaaliin.

Vaikutusten arviointi tehtiin laatimalla Kemijärvelle virtausmalli Delft3D FM -ohjelmistolla (versio 2025.01). Delft3D on yleisesti käytössä oleva joki-, järvi- ja rannikkoalueiden simulointiin tarkoitettu CFD-laskentamalli. Mallisovellus, käytetyt lähtötiedot ja malliasetuksen on kuvattu raportin luvussa 3. Arviointiin käytettiin ns. hindcast-menetelmää, missä mallilla laskettiin ensin järven nykytila, minkä jälkeen malliin sijoitettiin suunniteltu pumppuvoimalaitos, ja malli laskettiin uudestaan. Voimalan vaikutukset saatiin näiden kahden laskennan erotuksena.

Nykytilan laskennassa, jossa huomiottiin Kemijärven nykyinen säännöstely ja tulevat virtaamat, oli Kauhaselän keskellä olevassa pisteessä vuorokauden sisäisestä säännöstelystä aiheutuva vedenkorkeusvaihtelu kesäolosuhteissa noin 2-3 cm tasoa. Kun laskentaan lisättiin pumppuvoimala, oli säännöstelystä ja pumppuvoimalan käytöstä aiheutuva vuorokauden sisäinen vedenkorkeusvaihtelu noin 3-5 cm tasoa. Ts. pumppuvoimala nostaa vuorokauden sisäistä vedenkorkeusvaihtelua muutamalla sentillä. Nousu oli noin puolet siitä vaihtelusta, mitä pumppuvoimala enimmillään voisi aiheuttaa, mikä johtuu siitä, että Seitakorvan voimalaitos ja suunniteltu pumppuvoimala toimivat osittain samassa rytmissä, ts. kun pumppuvoimalaa tyhjenetään, myös Seitakorvan virtaama on suurimmillaan. Tällöin Seitakorvan ja pumppuvoimalan aiheuttamat vedenkorkeusmuutokset ovat vastakkaissuuntaisia ja siten osittain kumoavat toisensa.

Pumppuvoimala muuttaa myös esim. pinta- ja pohjakerroksen virtausnopeuksia ja salmien läpivirtaamia. Suurin muutos virtauksissa on pumppuvoimalan kanavan kohdalla ja sen lähialueella. Avovesiaikana 150 m etäisyydellä rannasta kanavan virtausnopeus nousee nykyisestä järven selkäalueille tyypillisestä 1-6 cm/s virtausnopeudesta, virtausnopeus nousee purkuvaiheessa noin 30-40 cm/s tasolle ja täyttövaiheessa noin 20 cm/s tasolle. Virtausnopeuksien muutos on sitä pienempi, mitä kauempana pumppuvoimalan otto/purkupaikasta tarkastelupiste sijaitsee. Esimerkiksi keskellä Kauhaselkää, noin 1,5 km päässä voimalan

otto/purkupaikasta, virtausnopeudet ovat avovesiaikana lähellä nykytilannetta (ts. keskimääräisen virtausnopeuden nousu on alle 5 %).

Pumppuvoimalan vaikutus näkyy myös Lehtosalmessa, missä pumppuvoimalan aiheuttama vedenkorkeusvaihtelu lisää salmen kautta tapahtuvaa edestakaista virtaamaa. Kesän laskentajaksolla keskimääräisen virtausnopeuden itseisarvo (ts. virtaaman suunnalla ei ole väliä) salmen läpi oli kesällä 2021 nykytilanteessa 49 m³/s, kun pumppuvoimalan kanssa virtausnopeus nousi arvoon 64 m³/s. Läpivirtaaman nousu Lehtosalmessa oli näin laskettuna noin 30 %. Vuorokauden suurimman virtausnopeuden keskiarvo kesäjaksolta nykytilanteen ja pumppuvoimalan skenaarioiden välillä nousu puolestaan arvosta 145 m/s arvoon 169 m³/s, eli 17 %.

Luuksinsalmessa virtaama pysyi nykytilanteessa ja myös pumppuvoimalan kanssa käytännössä jatkuvasti saman suuntaisena, joten keskimääräisen virtausnopeuden itseisarvo oli sama nykytilanteella ja pumppuvoimalaskenaariolla. Luuksinsalmessa virtausvaihtelu kuitenkin lisääntyi, jolloin laskentajakson ajalta vuorokauden suurimman virtausnopeuden keskiarvo nousi nykytilanteen arvosta 486 m³/s arvoon 537 m³/s, eli nousua oli 10 % nykytilaan verrattuna.

Talvijaksolla pumppuvoimalan vaikutus vedenkorkeuksiin ja virtaamiin korostuu, sillä veden pinnan laskiessa virtauksille käytettävissä oleva poikkipinta-ala pienenee, ja tästä johtuen virtausnopeudet kasvavat kesätilanteeseen verrattuna jos virtausmäärät pysyvät samoina. Talven lopulla virtausnopeus pumppuvoimalaitoksen kanavassa nousee yli 1 m/s tason. Myös Lehtosalmessa virtausnopeudet nousevat selvästi nykytilaan verrattuna. Luuksinsalmessa ja Luuksinsalmen alapuolisessa Kemijärvessä vaikutukset jäävät suhteellisten pieneksi.

Jäälaskennan perusteella pumppuvoimala vaikuttaa jäätalanteeseen lähinnä pumppuvoimalan kanavan kohdalla ja sen lähialueella. Jäämallinnus ei kuitenkaan välttämättä laske jään käyttäytymistä tarkasti jäämallin käytetyn jäämallin ominaisuuksista johtuen.

Virtausnopeuksien nousu lisää eroosion mahdollisuutta niillä alueilla joilla virtausnopeus ylittää pohja-aineksen eroosiokynnyksen. Laskentojen perusteella eroosiokynnyks yliytyy selvästi talvella pumppuvoimalan kanavan kohdalla. Eroosio lisääntyy myös Lehtosalmessa, missä hiekan eroosiokynnyksen ylittävien virtausnopeuksien määrä nousee. Tulva-aikaiset virtaamat ylittävät kuitenkin Lehto- ja Luuksinsalmissa hiekan eroosiokynnyksen jo nykytilaneessakin, joten kyse on enemmänkin siitä, että nykyisin tulva-aikaiselle eroosiolla altistuvilla alueilla eroosiokynnyksen ylittävien virtausnopeuksien ajallinen kesto kasvaa. Kauhaselän selkäalueilla ja muilla selkäalueilla virtausnopeudet jäivät pohjalla alle eroosiota aiheuttavien virtausnopeuksien.

Virtaaman lisääntyminen vaikuttaa myös lämpötilakerrostumiseen. Kesällä pumppuvoimalan virtaama aiheutti vain pieniä muutoksia lämpötilakerrostumiseen

Kauhaselän keskellä. Tästä voi arvioida, että pumppuvoimalan virtaama sekoittaa lämpötilakerrostumista kesällä vain rajoitetusti. Talviajan kerrostuminen on selvästi kesäkerrostumista heikompi, ja on odotettavissa että talven lämpötilakerrostuminen häiriintyy koko Kauhaselän alueella viimeistä huhtikuussa veden las-
kiessa lähelle säännöstelyn alarajaa.

11 Lähdeluettelo

Deltares, 2025, D-Flow Flexible Mesh, User manual, versión 2025, revisión 80093.
https://content.oss.deltares.nl/delft3d/D-Flow_FM_User_Manual.pdf, viitattu 02/2025.

Dey S., 2014, Fluvial Hydrodynamics, Springer 2014.

Geological Digressions, 2025, Fluid Flow: Shields and Hjulström diagrams, web site: <https://www.geological-digressions.com/fluid-flow-shields-and-hjulstrom-diagrams>, viitattu 02/2025.

Henderson-Sellers B., 1988, The Dependence of surface velocity in water bodies on wind velocity and latitude, App.Math.Modelling, 1988, Vol 12, April

Ilmatieteenlaitos 2024, Ilmatieteenlaitoksen avoin data, säähavainnot, havaintojen latauspalvelu <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>. Tiedot haettu 08/2024.

Kemijoki Oy, 2024, Seitakorvan tuntivirtaamat, mittaustieto, Kemijoki Oy toimitanut taulukkolaskimen tiedostona 17.12.2024.

Marttunen M., Hellsten S., Kerätär K., Tarvainen A., Visuri M., Ahola M., Huttunen M., Suomalainen M., Ulvi T., Vehviläinen B., Vántänen A., Päiväniemi J., Kurkela R., 2004, Kemijärven säännöstelyn kehittäminen- yhteenveto ja suositukset, Suomen Ympäristö 718

Syke Hertta, 2024, Suomen ympäristökeskuksen Hertta-tietojärjestelmä, tiedot haettu 12/2024, <https://www.syke.fi/fi/ymparistotieto/kartta-ja-tietopalvelut/avoimet-ymparistotietojarjestelmat>

Syke Vemala 2024, Suomen ympäristökeskuksen Vemala-järjestelmä, tiedot haettu 12/2024, <https://www.syke.fi/fi/palvelut/mallinnus-ja-laskenta/vesi-ja-merimallinnus/vesistomallijarjestelma>