

Terrafamen kaivosalueen läheisten järvien sulfaattikerrostumisen tarkastelu, kohteina Kolmisoppi, Kivijärvi ja Jormasjärvi, päivitys jaksolle 01/2017 – 06/2019, sekä asiantuntija-arvio pitoisuuksien kehittymisestä tulevaisuudessa

Terrafame Oy

Sisältö

1	JOHDANTO	1
2	JÄRVIEEN SEKOITTUMINEN JOHTAVUUDEN PERUSTEELLA	1
2.1	Järvien tiedot	1
2.2	Kerrostuminen mittauksissa	2
2.3	Kolmisoppi	2
2.4	Kalliojärvi	3
2.5	Kivijärvi	4
2.6	Jormasjärvi	6
3	JÄRVIEEN SULFAATTIVARASTOJEN LASKENTA	7
3.1	Laskentamenetelmä	7
3.2	Lähtötiedot	7
3.3	Kolmisopen laskentatulokset	8
3.4	Kivijärven laskentatulokset	9
3.5	Jormasjärven laskentatulokset	11
3.6	Kalliojärven laskentatulokset	13
3.7	Sulfaattikuormitukset	15
4	ASiantuntija-arvio happi- ja metallipitoisuuksien kehittämisestä	16
4.1	Kalliojärvi	16
4.2	Kolmisoppi	17
4.3	Kivijärvi	17
4.4	Jormasjärvi	18
5	LÄHDELUETTELO	18

Copyright © Pöyry Finland Oy

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

1 JOHDANTO

Terrafame'n kaivoksen sulfaattipitoisia vesistöpäästöjä on valunut vuodesta 2010 sekä Vuoksen vesistön suunnassa olevaan Kivijärveen, että Oulujoen vesistön suuntaan Kalliojärveen, Kolmisoppeen ja Kolmisopen kautta Jormasjärveen. Vuoden 2015 lopulla käyttöön otettu purkuputki on vähentänyt tai kokonaan lopettanut kaivosalueelta lähijärviin päätyvät sulfaattikuormitukset. Aikaisemmat kuormitukset ovat kuitenkin aiheuttaneet pienissä lähijärvissä suolaisuuskerrostumista, jotka voivat säilyä järvissä pitkään vaikka järviin tuleva kuormitus olisikin vähentynyt tai loppunut.

Veteen liuenneena sulfaatti ja metalli-ionit aiheuttavat veden tiheyden nousua. Sulfaattipitoinen vesi on siten järviin normaalisti niiden valuma-alueelta valuvaa vettä tiheämpää ja pyrkii kerrostumaan järvien syvänteisiin. Mikäli sulfaattipitoisuus on riittävän suuri, estää tämä tiheyskerrostuminen tyypillisen boreaalisen järven käyttäytymiseen kuuluvat kevät- ja syystäyskierröt, joissa järven vesi sekoittuu järven koko syvyydeltä.

Alla on tarkastelu edellä mainittuja nykyisen Terrafame'n kaivoksen lähialueen järviä kaivoksen purkuvesien aiheuttaman kerrostumisen osalta, sekä arvioitu järviin varastoituneen sulfaatin määrää ja sen purkautumista alavirtaan. Menetelminä on käytetty järvistä tehtyjen johtavuusmittausten analysointia ja yksinkertaista dynaamista varastomallia. Tarkastelu perustuu aikaisempaan vuonna 2017 laadittuun raporttiin (Pöyry Finland 2017), jota on tässä päivitetty käyttämällä vuosien 2017 - 2019 aikana tehtyjä mittauksia. 2019 mittauksia oli saatavilla kesäkuulle asti.

2 JÄRVIEN SEKOITTUMINEN JOHTAVUUDEN PERUSTEELLA

2.1 Järvien tiedot

Tässä tarkasteltavat kaivosvesien vaikutusalueella olevat järvet ovat Kivijärvi, Kolmisoppi, Jormasjärvi ja Kalliojärvi. Järvien olennaiset tiedot on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1: Kivijärven, Kolmisopen, Jormasjärven ja Kalliojärven keskeiset tiedot

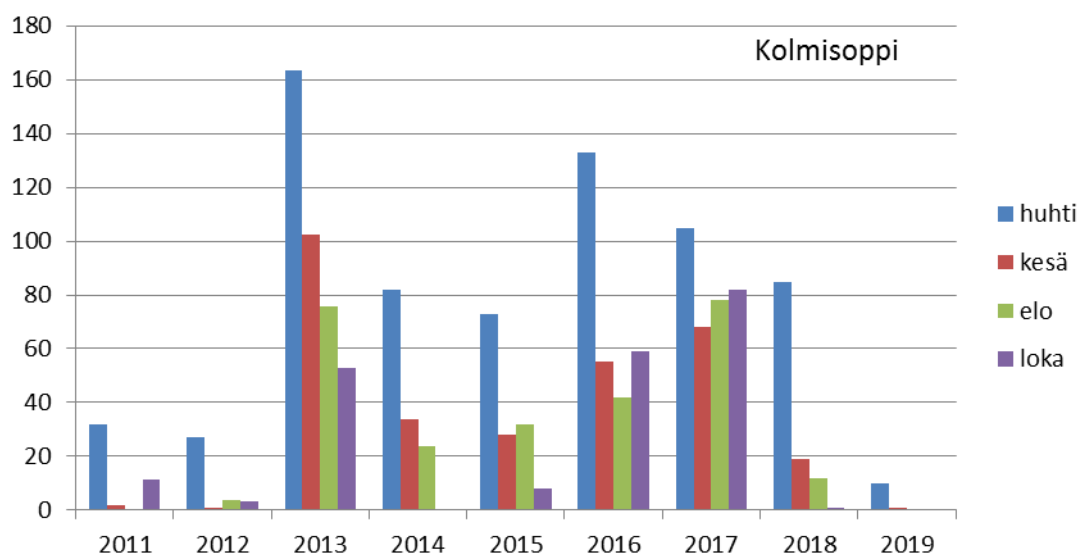
	Kivijärvi	Kolmisoppi	Jormasjärvi	Kalliojärvi
Pinta-ala, km ²	1.89	2.15	20.65	0.273
keskisyvyys, m	3.17	5.55	5.8	2.7
Suurin syvyys, m	10.4	14.1	28	~ 6 m
Ala >6 m syvää, km ²	0.21			
Tilavuus, 10 ⁶ m ³	5.9	11.2	119	0.737
Pyyhkäisymatka, km	1.37	1.47	4.54	0.4
järven yläpuolinen valuma-alue (sis. järven), km ²	53.92	111.0	299.69	18.09
Tulovirtaama m ³ /s	0.69	1.69	3.90	0.28
Näkysyvyys (2010-2016)	1.02	0.77	1.5	
Viipymä, d	98	76	353	33
valuma-alueen koodi	04.645	59.885	59.882	59.885
järven koodi	04.645.01.001	59.885.01.002	59.882.01.001	59.885.01.016

2.2 Kerrostuminen mittauksissa

Järven pysyvän kerrostuneisuuden voi havaita mittauksista useammasta mittaussuureesta, esimerkiksi happipitoisuudesta, lämpötilasta ja johtavuudesta. Johtavuus riippuu puolestaan melko lineaarisesti suolapitoisuudesta, joten mitä suolaisempaa ja tiheämpää vesi on, sitä suurempi on johtavuuden arvo. Mikäli vesi sekoittuu koko syvyydeltä, pitäisi myös johtavuuden olla samansuuruinen koko vesisyvyydellä. Tässä järvien kerrostumista on arvioitu johtavuuden perustella. Johtavuusmittaukset on poimittu SYKE:n HERTTA-tietokannasta vuoden 2018 syyskuulle (SYKE 2019a), loput on poimittu asiakkaan tietokannasta, sillä tiedot eivät olleet ehtineet vielä julkiseen jakeluun.

2.3 Kolmisoppi

Oulujoen vesistön virtaussuunnassa sijaitsevilla Kolmisopelle johtavuusero (pohja-kerros – pintakerros) on esitetty kuvassa 1. Kolmisoppi sijaitsee kaivospiirin sisäpuolella, ja vastaanottaa purkuputken kautta meneviä vesiä lukuun ottamatta käytännössä kaikki kaivosalueen Oulujoen suuntaan menevät vedet. Kuormitus tulee Kolmisoppeen Kalliojoen kautta, jonka suulla on vedenlaadun seurantapistete.



Kuva 1: Johtavuusero (mS/m) pohjan ja pinnan välillä (pohja-pinta) Kolmisopen mittauspisteessä, pohjakerroksen mittaussyvyys 12 m.

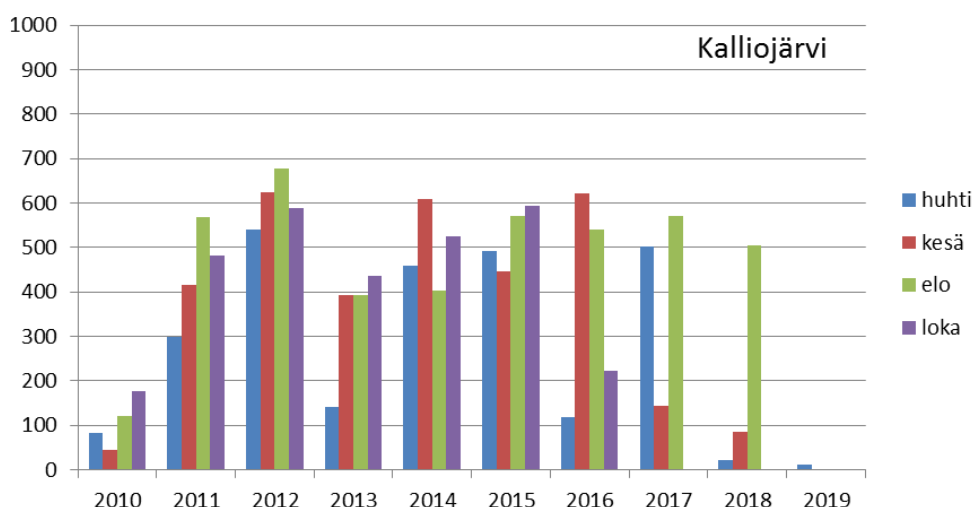
Aikaisemman arvion perusteella Kolmisopessa kevätkierto estyy, kun johtavuusero pinnan ja pohjan välillä ylittää 60 mS/m. Syyskierto on tapahtunut, kun huhtikuun johtavuusero on ollut noin 60-80 mS/m välillä, mutta on jäänyt väliin, jos huhtikuun johtavuusero on ollut 130 mS/m tai suurempi.

Vuonna 2017 johtavuusero on mittauksissa ollut koko vuoden yli 60 mS/m, eikä kerrostuminen ole purkautunut täysin koko vuonna. Vuonna 2018 loppupalven mittauksessa kerrostuminen on ollut selvää, mutta kesän mittauksissa johtavuusero on pienentynyt alle 20 mS/m, eli suolaisuudesta aiheutuva kerrostuminen on purkautunut. Myöskään 2019 kevättalven ja kesän mittauksissa kerrostumista ei näy.

2.4

Kalliojärvi

Kalliojärvi sijaitsee Oulujoen vesistön virtaussuunnassa tarkastelluista järvistä lähinnä kaivosta ja sijoittuu kokonaan nykyisen kaivospiirin sisäpuolelle. Järvi sijaitsee virtaussuunnassa Kolmisopen yläpuolella, jonne sen vedet laskevat Kalliojokea pitkin. Kuormitus tulee Kalliojärveen Salmisen ja mahdollisesti myös järveen laskevien ojien kautta. Järven mittauspiste on altaan pohjoisosassa. Järvessä on syvyyskartan perusteella kaksi syvännettä, joiden välillä on 3 - 4 m tasolla oleva kynnyks. Mittauspiste edustaa pohjoisen syvänteiden reunaa, mittaussyvyys pisteessä on 4 m (= 1 m pohjasta ylöspäin). Pohjoispään syvänte on 5 – 6 m syvä ja eteläpään syvänte yli 6 m syvä. Johtavuusero mittauspisteessä (pohjakerros – pintakerros) on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2: Johtavuusero (mS/m) pohjan ja pinnan välillä (pohja-pinta) Kalliojärven mittauspisteessä, pohjakerroksen mittaussyvyys 4 m.

Kalliojärvi on varsin matala, mutta tästä huolimatta johtavuuseron perusteella kerrostuminen on ollut jatkuvaa vuoden 2010 lopusta 2017 syksyyn asti, kun kerrostumisen kriteeriksi valitaan yli 100 mS/m johtavuusero pinnan ja pohjan välillä.

Vuonna 2017 lokakuun mittauksessa johtavuusero nollautunut, eli järvi on sekoittunut syvyysuunnassa. Tämän jälkeen kerrostumista on vielä näkyvissä kesällä 2018. Syyskuusta 2018 alkaen järven pinnan ja pohjan välinen johtavuusero on pysynyt pienenä, eikä mittauspisteiden edustama järven pohjoispää ole tämän perusteella enää kerrostunut. Eteläpään syvänteiden tilanteesta ei mittausten perusteella voi päätellä muuta kuin että kerrostuminen siellä joko 4 m syvyydestä alempana tai poistunut kokonaan. On kuitenkin todennäköistä, että järven eteläpään syvänte käyttäytyy vastaavasti kuin pohjoispään syvänte, eli kerrostuminen on todennäköisesti purkautunut myös eteläpään syvänteestä.

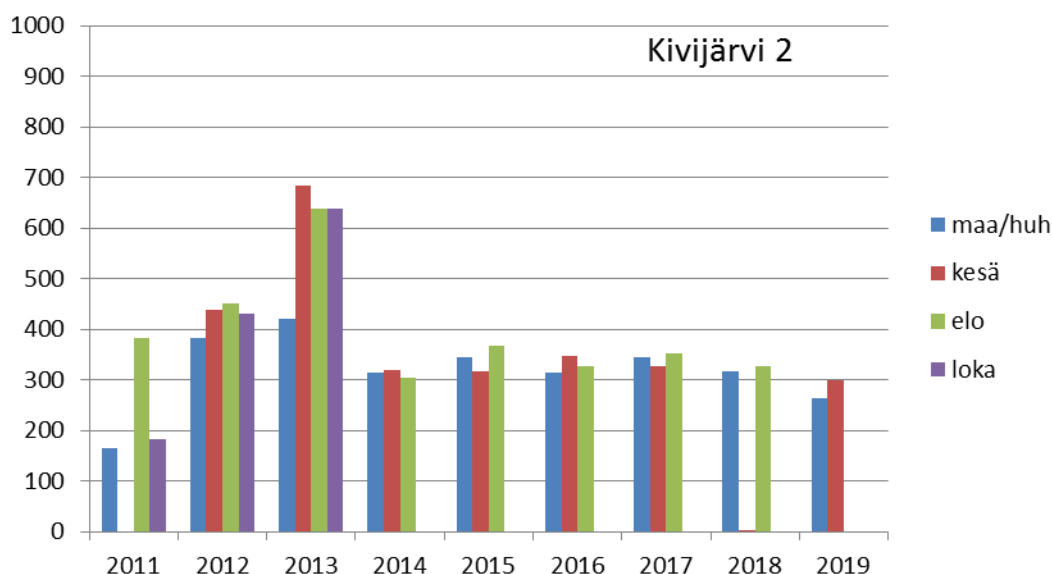
2.5 Kivijärvi

Kivijärvi on jakautunut useampaan pieneen altaaseen, joista kahdessa on yli 10 m syvyinen alue. Piste Kivijärvi 2 edustaan pohjoisempaa syvännettä ja allasta ja piste Kivijärvi 10 kaakkoista syvännettä. Piste Kivijärvi 7 sijaitsee järven luusuan lähellä, noin 3-5 m syvyisellä pienellä selkälueella. Johtavuuserot pisteissä 2, 10 ja 7 on esitetty kuvissa 3, 4 ja 5.

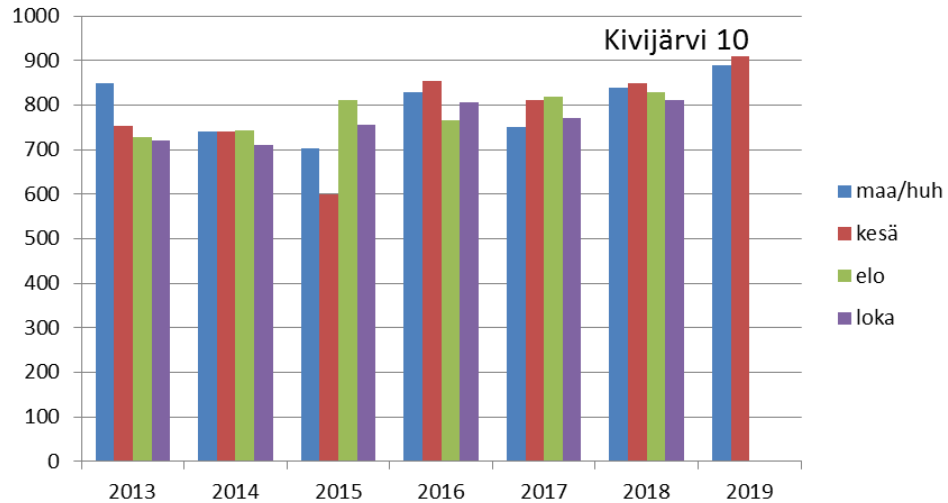
Pisteessä Kivijärvi 2 pysyvä sulfaattikerrostuminen on enimmäkseen jatkunut aikaisempaa tilannetta vastaavana, joskin pitoisuustaso on laskenut hieman vuosina 2018 ja 2019 aikaisempaan verrattuna. Vuonna 2018 kesäkuun mittauksessa (3.6.2018) johtavuusero oli lähellä nollaa, mikä osoittaisi kerrostumisen purkautuneen. Seuraavissa mittauksissa johtavuusero on kuitenkin ennallaan. Vastaava hetkellinen kerrostuminen katoaminen näkyy tosin myös pisteen Kivijärvi 10 4,5 m metrin syvyydeltä tehdyssä mittauksessa (kuva 6), joten kyseessä voi olla hetkellinen kerrostumisen alenema, kevättulvaan liittyvä vedenkorkeuden nousu, tai kertaantunut mittausvirhe. Sulfaattikerrosrajan hitaaseen alenemiseen pisteessä Kivijärvi 2 viittaavat 4 m syvyytason mittaukset (kuva 6), joissa johtavuudet ovat pienentyneet jaksolla 2016-2018 arvosta 100 mS/m pintakerroksen pitoisuutta vastaavalle tasolle (10-20 mS/m).

Pisteessä Kivijärvi 10 johtavuusero pinnan ja pohjan välillä on pysynyt vuosia 2014-2016 vastaavalla tasolla, tai jonkin verran jopa lisääntynyt.

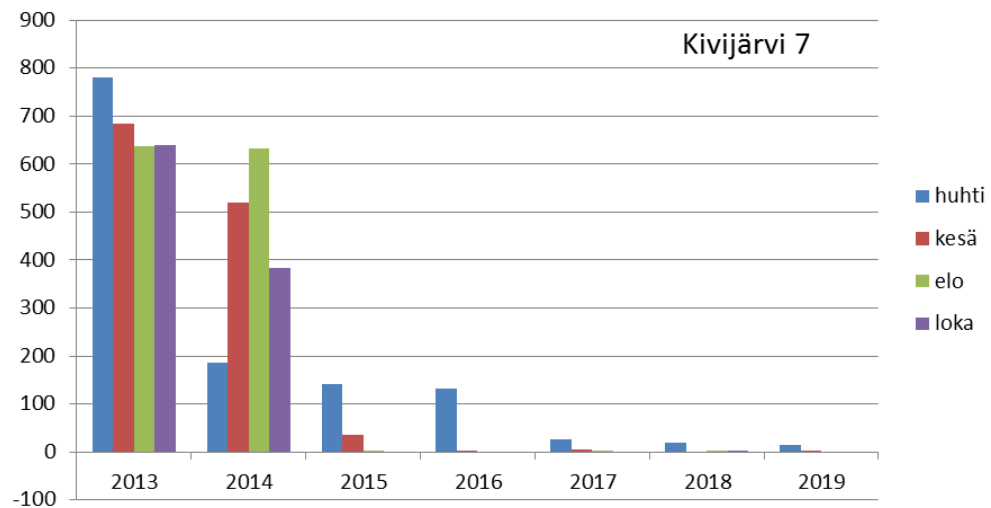
Pisteessä Kivijärvi 7 vuonna 2015 tapahtunut kerrostumisen purkautuminen on säilynyt, eli sulfaattikerrostumista ei ole mittausten perusteella enää tässä pisteessä havaittavissa vuoden 2015 jälkeen.



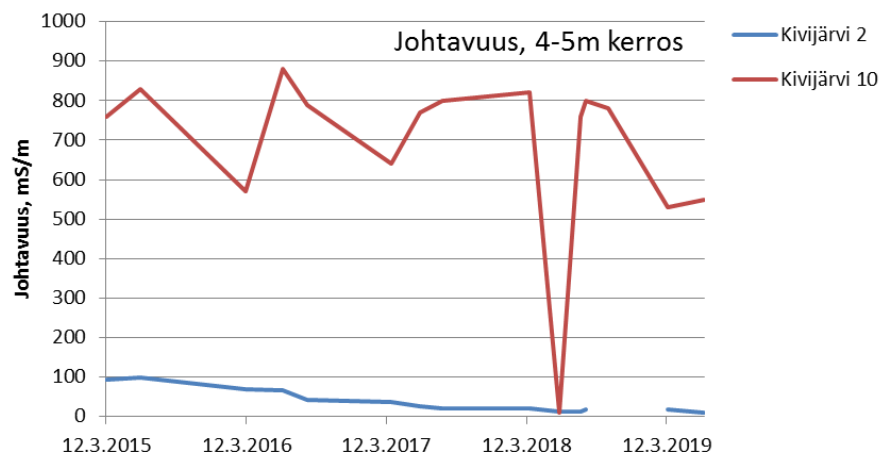
Kuva 3: Johtavuusero pohjan ja pinnan välillä (pohja-pinta) Kivijärven mittauspiste Kivijärvi 2, pohjakerroksen mittaussyvyys 7 m.



Kuva 4: Johtavuusero pohjan ja pinnan välillä (pohja-pinta) Kivijärven mittauspiste Kivijärvi 10, pohjakerroksen mitaussyvyys 9 m.



Kuva 5: Johtavuusero pohjan ja pinnan välillä (pohja-pinta) Kivijärven mittauspiste Kivijärvi 7, pohjakerroksen mitaussyvyys 4 m.

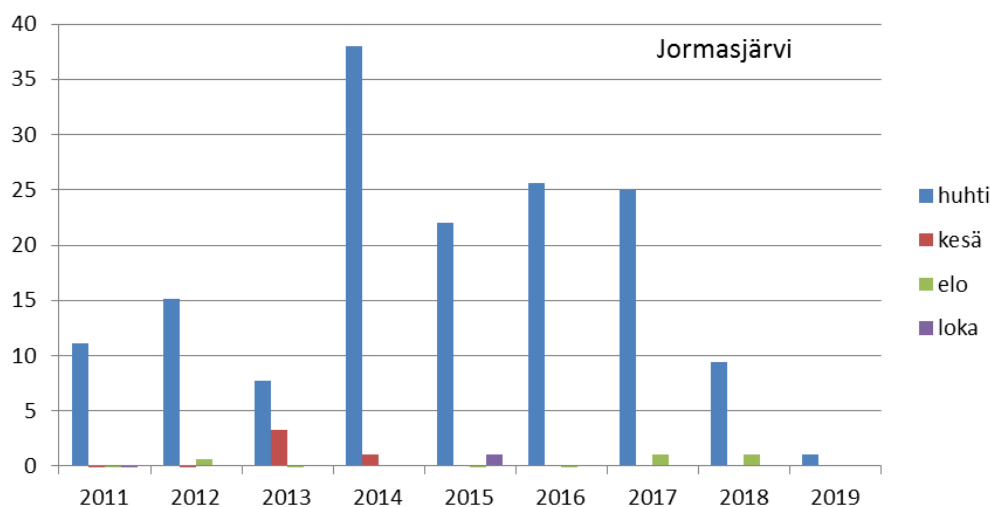


Kuva 6: Johtavuus, pisteet Kivijärvi 2 ja Kivijärvi 10, mitaussyvyys 4 - 5 m.

2.6 Jormasjärvi

Jormasjärvi sijaitsee virtaussuunnassa Kolmisopen alapuolella, ja on sekä pinta-alaltaan että tilavuudeltaan noin kymmenen kertaa Kolmisoppea suurempi. Johtavuuserot on esitetty kuvassa 7.

Jormasjärven pisteessä P3 ei johtavuuden eron perusteella ole ollut missään vaiheessa jatkuvaa sulfaattikerrostuneisuutta. Vuonna 2017 tilanne on vastannut jakson 2015-2016 tilannetta. Vuonna 2018 talviaikainen johtavuusero on pienentynyt alle puoleen vuosien 2015-2017 arvoista, eli tilanne on parantunut. Pohjan talviaikainen johtavuusarvo aiheutuu lähinnä jääpeitteisen ajan kuormitusmääristä, eli talviajan kuormitus Jormasjärveen on laskenut talvella 2018 aikaisempaan verrattuna. Talvella ja kesällä 2019 johtavuusero pinnan ja pohja välillä oli kadonnut.



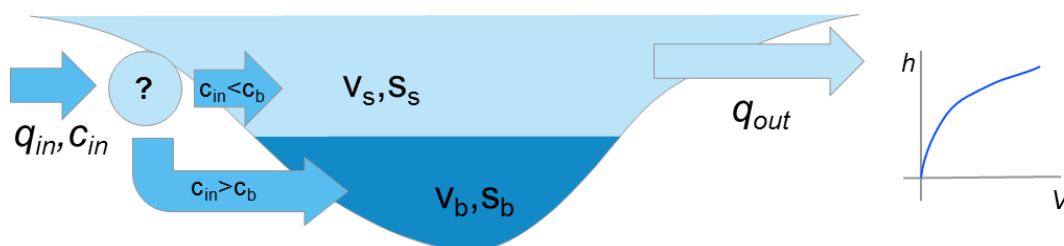
Kuva 7: Johtavuusero pohjan ja pinnan välillä (pohja-pinta) Jormasjärven syvänteen mittauspisteessä, pohjakerroksen mittaussyvyys noin 25 m.

3 JÄRVIEEN SULFAATTIVARASTOJEN LASKENTA

Kolmisopen, Jormasjärven ja Kivijärven sulfaattivarastojen suuruutta ja käyttäytymistä arvioitiin sovittamalla kullekin järvelle yksinkertainen dynaaminen varastomalli, jossa järven sulfaattivarastojen käyttäytymistä laskettiin tulevien ja lähtevien virtaamien, tulevien pitoisuuksien ja järven syvyys-tilavuus käyrän perusteella. Mallin parametrit arvioitiin jakson 2009 – 2018 perusteella, minkä jälkeen järvien käyttäytyminen jaksolla 2019 – 2025 laskettiin käyttämällä vuoden 2009 – 2018 virtaamatietoja, Kolmisopen suuntaan lupaehdon mukaisia enimmäiskuormituksia (kuormitus 2500 tn/a ja juoksutuksen pitoisuus enintään 3000 mg/l), ja Kivijärven suuntaan vuoden 2018 mitattujen pitoisuuksien perusteella arvioituja kuormituksia.

3.1 Laskentamenetelmä

Mallissa järveä kuvattiin kaksikerroksisena varastoalana, missä kerrosten tilavuus ja sulfaattipitoisuudet voivat vaihdella ajan kuluessa tulo- ja lähtövirtaamista ja pitoisuuksista riippuen (Kuva 8). Mallin alempi kerros kuvaa korkeamman sulfaattipitoisuuden kerrosta pohjan lähellä, ylempi kerros puolestaan tuulen vaikutuksesta avovesiaikana sekoittuvaa kerrosta. Lämpötilakerrostumista ei otettu tässä huomioon. Tarkempi kuvaus mallista löytyy aikaisemmasta raportista (Pöyry Finland 2017).



Kuva 8: Järven kaksikerrosmallin tilamuuttujat ja lähtötiedot

3.2 Lähtötiedot

Kolmisopen ja Kivijärven mallien virtaama- ja pitoisuustietojen lähteet on esitetty taulukossa 2. Ne virtaamatiedot, joita ei ollut saatavissa suorina mittauksina, poimittiin Suomen Ympäristökeskuksen VEMALA-järjestelmästä (SYKE 2019b).

Jakson 2019-2023 laskennassa on käytetty jakson 2012-2018 virtaamia siten, että 2019 virtaamina on käytetty vuoden 2012 tietoja, 2020 vuodelle 2013 tietoja jne. Tulevalle sulfaattikuormitukselle käytettiin Kolmisopelle seuraavaa skenaariota: kuormitus asetettiin niin, että järveen tulevan veden pitoisuus oli avovesiaikana 60 mg/l, ja talvella 30 mg/l, mikä vastasi suunnilleen Kalliojoesta Kolmisoppeen tulevan veden jaksolla 01-08/2018 mitattuja keskipitoisuuksia. Mikä sulfaatin vuosikiintiö (2500 tn/a) täyttyi asetettiin pitoisuus nolnaan. Jormasjärvelle tulopitoisuutena käytettiin vuodesta 2019 eteenpäin Kolmisopen mallilla laskettuja tietoja. Kivijärveen Lumijoesta päätyvä kuormitus laskettiin vuoden 2019 alusta käyttämällä Lumijoen pitoisuutena vuoden 2018 sulfaattipitoisuuksien keskiarvoa 30 mg/l.

Taulukko 2: Kolmisopen, Kivijärven, Jormasjärven ja Kalliojärven laskennan lähtötiedot

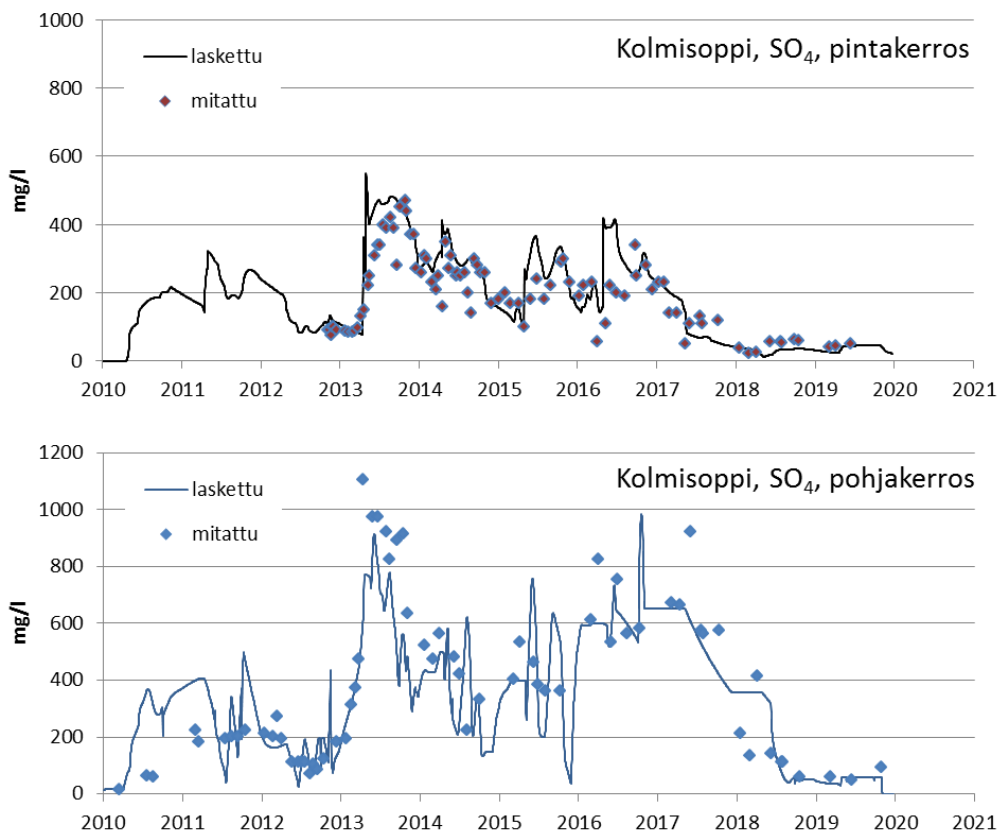
	Kolmisoppi	Kivijärvi	Jormasjärvi	Kalliojärvi
Tulovirtaama	mitattu Kalliojoki	Lumijoki (VEMALA) + kaivoksen juoksutus	Tuhkajoki (VEMALA)	Kalliojärvi tuleva (VEMALA)
Lähtövirtaama	Kolmisoppi lähtevä (VEMALA)	Kivijoki (VEMALA)	Jormasjoki (VEMALA)	Kalliojärvi lähtevä (VEMALA)
Tulopitoisuus	mittauspiste Kalliojoen suu	Lumijoki mitattu (kk-arvot interpoloitu päiväärhoiksi)	Tuhkajoki + Kolmisoppi laskettu	mittauspiste Salminen pinta, Salminenpuro
Syvyystiedot	SYKE järvirekisteri	SYKE järvirekisteri + MML karttatiedot	MML-karttatiedot	Mittaus, LVT 2013
Jäätyminen /Jäänlähtö	SYKE Oiva	SYKE Oiva	SYKE Oiva	SYKE Oiva
SO ₄ - pinta (vertailuun)	mittauspiste Kolmisoppi lähtevä	mittauspisteet Kivijoki 4 ja Kivijärvi 2	mittaus Jormasjärvi syvännä (Jor3)	mittauspiste Kalliojärvi
SO ₄ - pohja (vertailuun)	mittauspiste Kolmisoppi	mittauspisteet Kivijärvi 10 ja Kivijärvi 2	mittaus Jormasjärvi syvännä (Jor3)	mittauspiste Kalliojärvi

3.3 Kolmisopen laskentatulokset

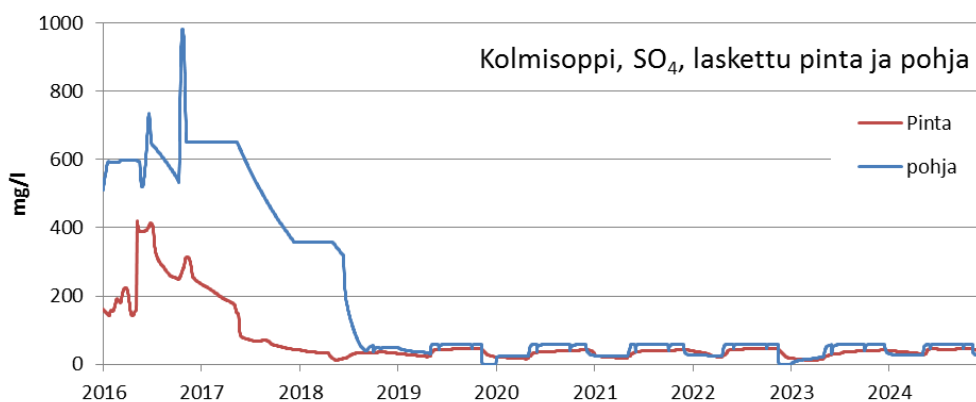
Kolmisopelle sovitettun mallin laskemat pinta- ja pohjakerroksen sulfaattipitoisuudet jaksolta 2010-2019 on esitetty kuvassa 9. Mallin laskemat tulokset on esitetty yhteisellä viivalla ja mittauksien tulokset pisteinä. Aikaisempaan (Pöyry Finland 2017) laskentaan verrattuna mallin tulokuormitus on pienempi ja lisäksi mallin tuulivaikutusparametria suurennettiin. Näillä muutoksilla mallin sopivuus mittauksiin parani, ja kerrostumisen purkautuminen saatiin vastaamaan mittauksia.

Järven pintakerroksen ja pohjakerroksen pitoisuuden vaihtelut toistuvat mallissa pääpiirteittäin, mutta mallin tarkkuus ei riitä mittaustulosten yksityiskohtaisen vaihtelun toistamiseen. Tosin mallin kuormitustiedot perustuvat kuukauden välein tehtyihin mittauksiin, mistä johtuen kuormitustieto ei ole erityisen tarkka.

Mallin laskema arvio järven pohjan ja pinnan sulfaattipitoisuuksille jaksolle 2016-2024 on esitetty kuvassa 10. Tulokuormituksen vähentyessä kerrostuminen purkautuu vuoden 2018 aikana, minkä jälkeen pitoisuusvaihtelu järvestä vastaa tulopitoisuuden vaihtelua. Käytetyillä parametreilla pysyvää sulfaattikerrostumista ei enää muodostu johtuen siitä, että pinnan ja pohjan pitoisuusero jää alle kerrostumista aiheuttavan rajapitoisuuden. Olennainen vaikutus on sillä, että joesta järveen tulevat sulfaattipitoisuudet pysyvät pieninä.



Kuva 9: Laskettu ja mitattu pinnan ja pohjan sulfaattipitoisuus, Kolmisoppi 2010-2020

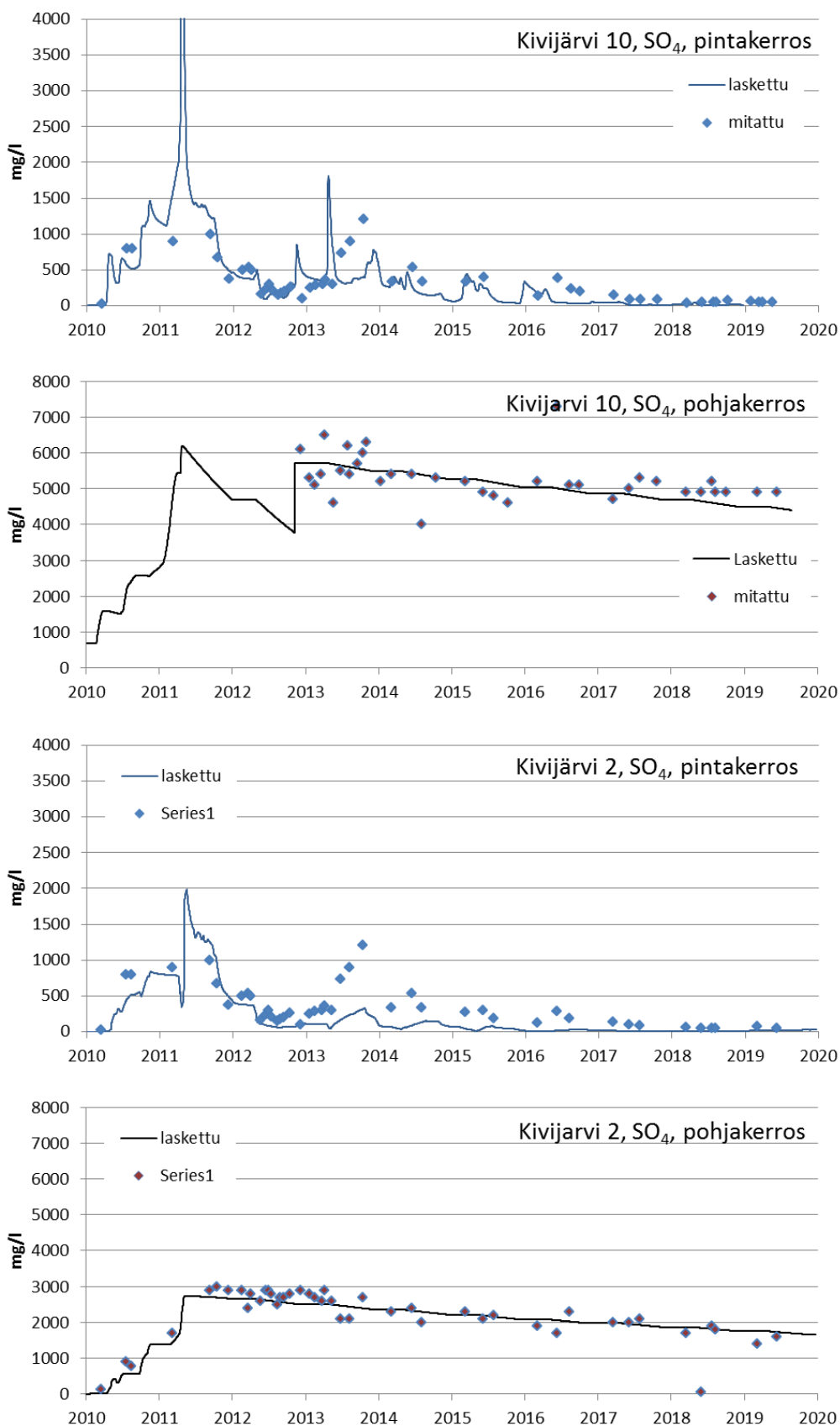


Kuva 10: Laskettu pinnan ja pohjan sulfaattipitoisuus, Kolmisoppi 2016-2024

3.4 Kivijärven laskentatulokset

Kivijärvi koostuu useammasta selkäalueesta, joilla jokaisella on muista selkäalueista erillinen syvänealue. Tästä johtuen Kivijärvi mallinnettiin käyttämällä kahta erillistä allasta (tai mallia), joista toinen kuvaa järven eteläosaa sisältäen myös Kivijoen luusuan alueen ja toinen järven pohjoisosaa.

Kivijärvelle sovitetun mallin laskemat pinta- ja pohjakerroksen sulfaattipitoisuudet jaksolta 2010-2019 on esitetty kuvassa 11 sekä eteläiselle (mittauspiste Kivijärvi 10) että pohjoiselle (mittauspiste Kivijärvi 2) altaalle. Mallin laskemat tulokset on esitetty yhtenäisellä viivalla, ja mittaustulokset pisteinä.

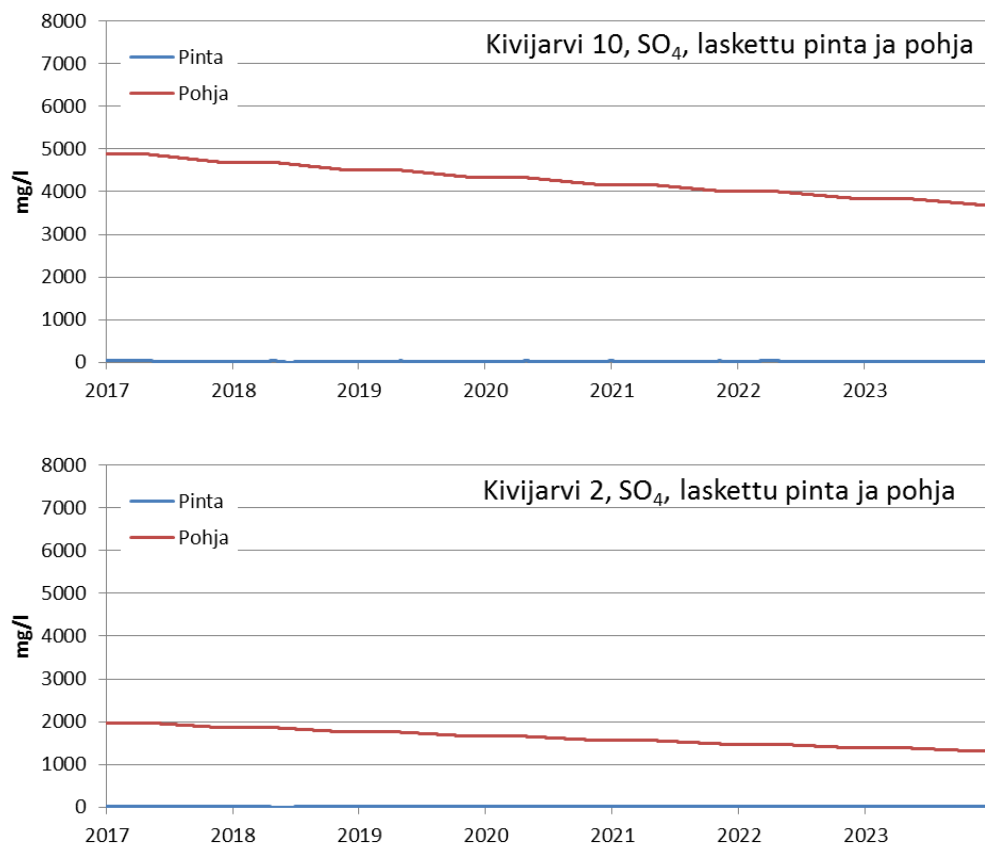


Kuva 11: Laskettu ja mitattu pinnan ja pohjan sulfaattipitoisuus, Kivijärvi 10 ja Kivijärvi 2, 2010-2016

Pintakerroksen ja pohjakerroksen ero toistuu mallissa hyvin, samoin järven etelä- ja pohjoisosien pohjan pitoisuusero. Pintakerroksen pitoisuus ei ole erityisen tarkka mittauksiin verrattuna, mikä johtunee tulovirtaamien ja pitoisuuksien epätarkkuudesta. Vuoden 2015 ja 2016 osalta pintakerroksen pitoisuudet ovat jääneet liian pieniksi, mutta pohjakerroksen pitoisuus on toistunut hyvin.

Mallin laskema arvio Kivijärven pohjan ja pinnan sulfaattipitoisuuksille jaksolle 2019-2023 on esitetty kuvassa 12.

Tulopitoisuuksien laskiessa pohjakerrokseen jää edelleen sulfaattipitoista vettä, joka poistuu järvestä hitaasti. Kuvan 10 mittausten perusteella näyttää vielä siltä, että poistumisnopeus voi hidastua kerrostumisrajan siirtyessä syvemmälle, sillä mallin käyttämällä vakio-poistumalla jaksolle 2017-2019 pohjalle laskettu pitoisuus pisteessä 10 on 2018 ja 2019 mittauksia pienempi. Kerrostuminen ei purkaudu tässä tehdyn laskennan mukaan laskennan loppuun mennessä kummastakaan järviältäasta, mutta on varsin lähellä purkautumista järven pohjoispään altaalla laskennan lopputilanteessa. Tulos vastaa aikaisemman (vuoden 2017) raportin arviota.



Kuva 12: Laskettu pinnan ja pohjan sulfaattipitoisuus, Kivijärvi 10 ja Kivijärvi 2, 2017-2023

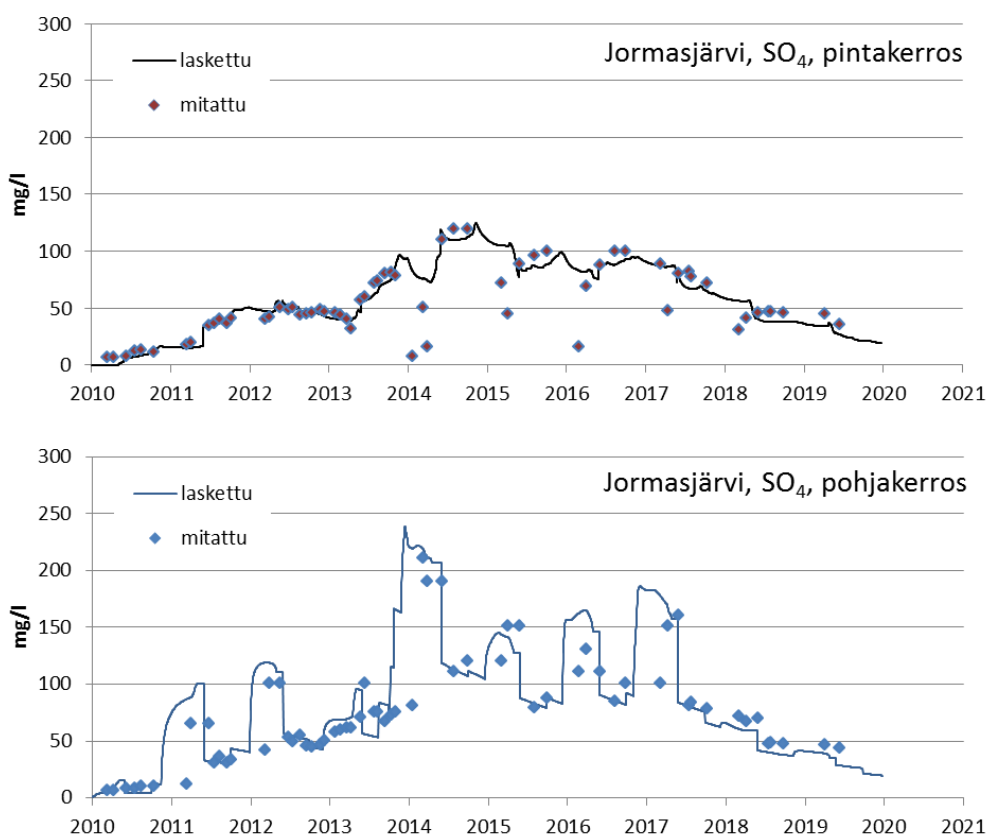
3.5

Jormasjärven laskentatulokset

Jormasjärvelle sovitettun mallin laskemat pinta- ja pohjakerroksen sulfaattipitoisuudet jaksolta 2010-2019 on esitetty kuvassa 13. Mallin laskemat tulokset on esitetty yhte-näisellä viivalla ja mittauksien tulokset pisteinä.

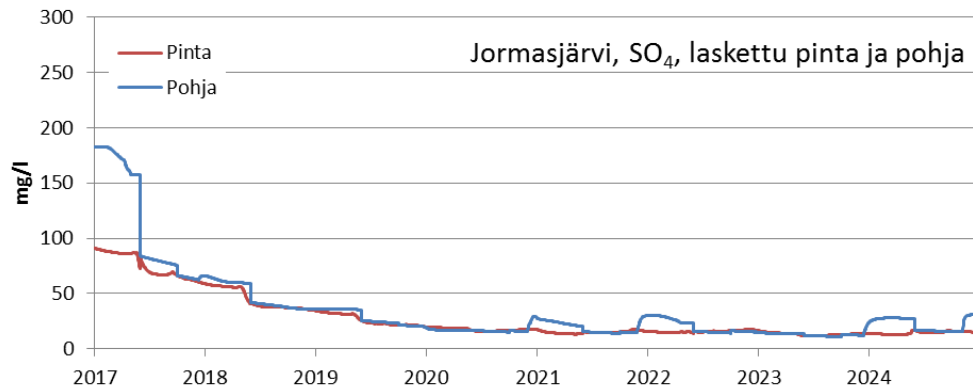
Järven pintakerroksen ja pohjakerroksen pitoisuuden vaihtelut toistuvat mallissa pääpiirteittäin. Pintakerroksessa näkyy mittauksissa talvella pitoisuuden selvä lasku, joka johtunee muualta kuin Tuhkajoesta tulevien vesien kerrostumisesta jään alle, jolloin

järveen muodostuu kolme sulfaattipitoisuudeltaan erilaista kerrosta. Malli ei toista tätä ilmiötä, sillä siinä kerroksia on vain kaksi. Pohjan pitoisuudet toistuvat kohtalaisen hyvin. Sekä mallissa että mittauksissa näkyy käyttäytyminen, jossa sulfaattipitoinen vesi kerrostuu vain talvella; avovesiaikana se sekoittuu koko vesimassaan. Mallissa kerrostuminen on jonkin verran liian voimakasta mittauksiin nähden (esim. vuonna 2011 ja 2016), eli vesi sekoittuu jossakin määrin myös talvella. Vuosina 2017 - 2019 vuosina järveen tuleva kuormitus on pienentynyt aikaisempaan verrattuna, mikä näkyy pitoisuuksien laskuna. Talvella 2017 – 2019 mittauksissa ja mallissa ei näy vastaavaa talviaikaista kerrostumista kuin aikaisempina talvina, eli tilanne on tältä osin muuttunut parempaan suuntaan.



Kuva 13: Laskettu ja mitattu pinnan ja pohjan sulfaattipitoisuus, Jormasjärvi 2010-2019

Mallin laskema arvio järven pohjan ja pinnan sulfaattipitoisuuksille jaksolle 2017-2023 on esitetty kuvassa 14. Tuhkajoesta tuleva sulfaattipitoisuus on alle 50 mg/l, jolloin se ei vaikuta kerrostumiseen enää merkittävästi. Pinta- ja pohjakerroksen sulfaattipitoisuudet ovatkin lähellä toisiaan 2017 kesästä alkaen. Vuoden 2018 kesästä alkaen pintakerroksen sulfaattipitoisuus on laskenut alle 50 mg/l. Vuoden 2020 talvesta eteenpäin on mallituloksissa havaittavissa sulfaatin pienimuotoista kerrostumista pohjan lähelle, mutta pitoisuuserot jäävät pieniksi ja kerrostuminen purkautuu keväällä. Ilmiö vastaa pitkälti järven normaalia talviaikaista käyttäytymistä, missä pohjanläheinen vesi ei talvella juurikaan sekoitu.



Kuva 14: Laskettu pinnan ja pohjan sulfaattipitoisuus, Jormasjärvi 2017-2024

3.6 Kalliojärven laskentatulokset

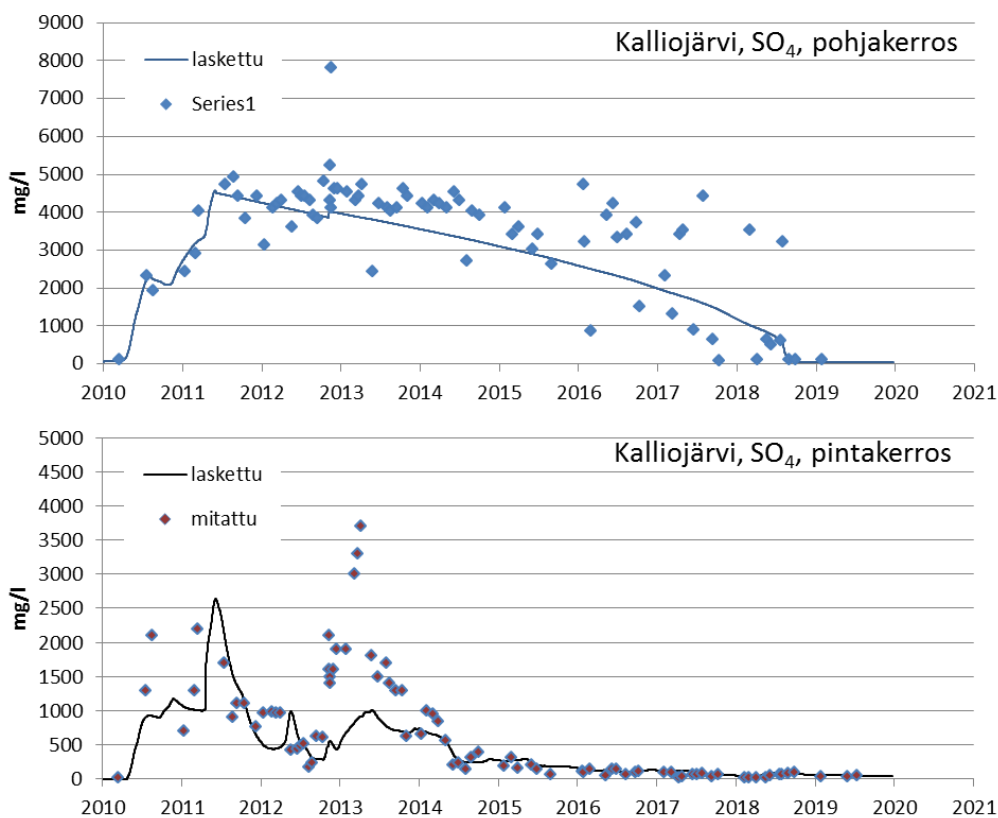
Kalliojärvelle sovitettun mallin laskemat pinta- ja pohjakerroksen sulfaattipitoisuudet jaksolta 2010-2019 on esitetty kuvassa 15. Mallin laskemat tulokset on esitetty yhte-näisellä viivalla ja mittaustulokset pisteinä. Kuormitustietoina oli mitattuna Salmisen pintakerroksen ja lähtevän pitoisuuden tietoja.

Johtuen siitä, että mittauspiste ei ole järven syvimessä kohdassa, näkyy vuodesta 2016 alkaen pohjan mittauksissa suurta pitoisuusvaihtelua, joka aiheutuu siitä, että mitta-
aus on välillä osunut halokliinin alapuolelle ja välillä yläpuolelle. Halokliinin vaihtelu on siirtynyt mittaustasoa syvemmälle 2018 syksyllä, jonka jälkeen haloklii-
nin alapuolisia tuloksia ei mittauksissa enää näy.

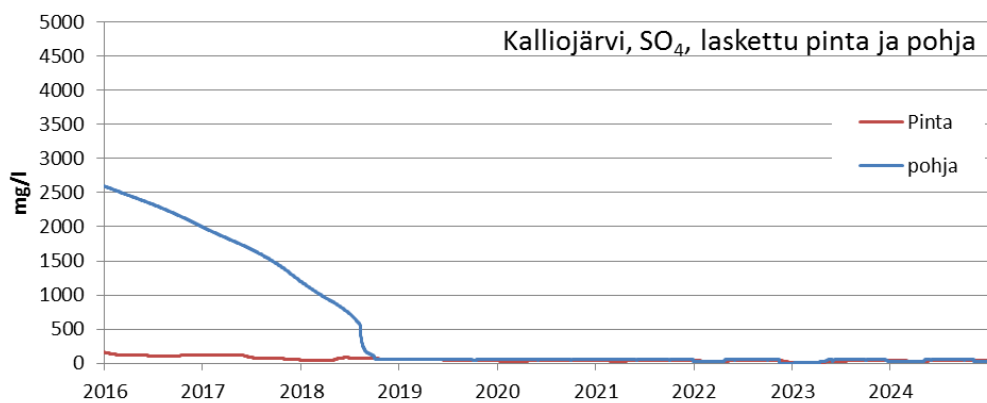
Kalliojärvellä halokliini on lähellä pintaa, jolloin halokliiniä kuluttaa avovesiaikana tuulen aiheuttama sekoittuminen. Järven mallintamiseksi halokliinin tuulieroosiopro-
sessi lisättiin laskentaan, jolloin malli saatiin seuraamaan mittauksia.

Järven pintakerroksen ja pohjakerroksen pitoisuuden vaihtelut toistuvat täydennetys-
sä mallissa pääpiirteittäin, mutta mallin tarkkuus ei riitä mittaustulosten yksityiskoh-
taisen vaihtelun toistamiseen.

Mallin laskema arvio järven pohjan ja pinnan sulfaattipitoisuuksille jaksolle 2016-
2024 on esitetty kuvassa 16. Tulokuormituksen loputtua kerrostuminen purkautui
vuoden 2018 aikana halokliinin erodoitumisen johdosta, minkä jälkeen pitoisuus-
vaihtelu järvestä on vastannut tulopitoisuuden vaihtelua. Käytetyillä laskenta-arvoilla
pysyvää sulfaattikerrostumista ei enää muodostu. Olennainen vaikutus on sillä, että
Salmisesta tulevat sulfaattipitoisuudet pysyvät pienenä.



Kuva 15: Laskettu ja mitattu pinnan ja pohjan sulfaattipitoisuus, Kalliojärvi 2010-2020



Kuva 16: Laskettu pinnan ja pohjan sulfaattipitoisuus, Kalliojärvi 2016-2024

3.7 Sulfaattikuormitukset

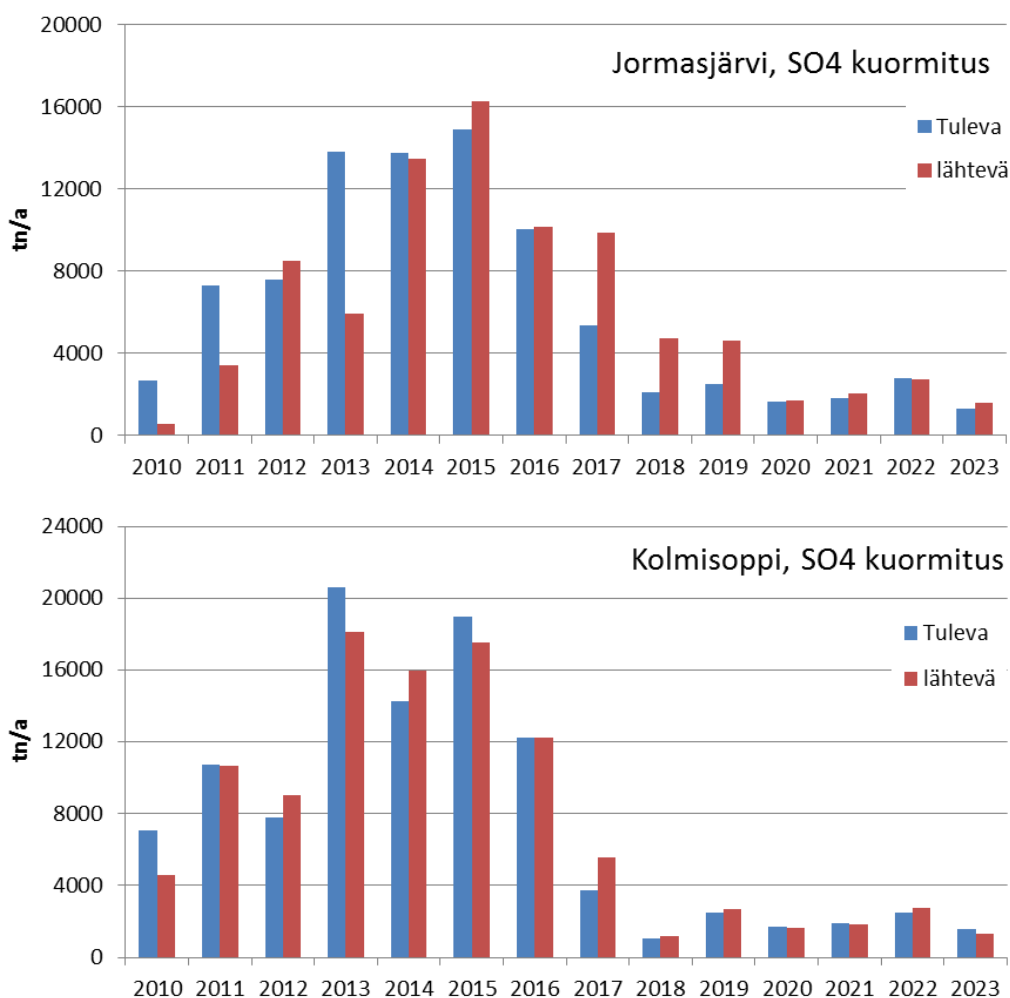
Mittauksista arvioitujen järvien tulokuormitukset ja mallilla lasketut lähtökuormitukset on esitetty kuvissa 17 ja 18. Kuormitukset on esitetty vuosisummana. Tulokuormituksen arviointi on esitetty kappaleessa 3.2.

Vuodesta 2018 eteenpäin Kolmisopen lähtökuormitus vakiintuu vuonna 2020 tulokuormituksen suuruiseksi, sitä ennen järven sulfaattivarasto tyhjenemisestä johtuen lähtökuormitus on jonkin verran tulokuormitusta suurempi.

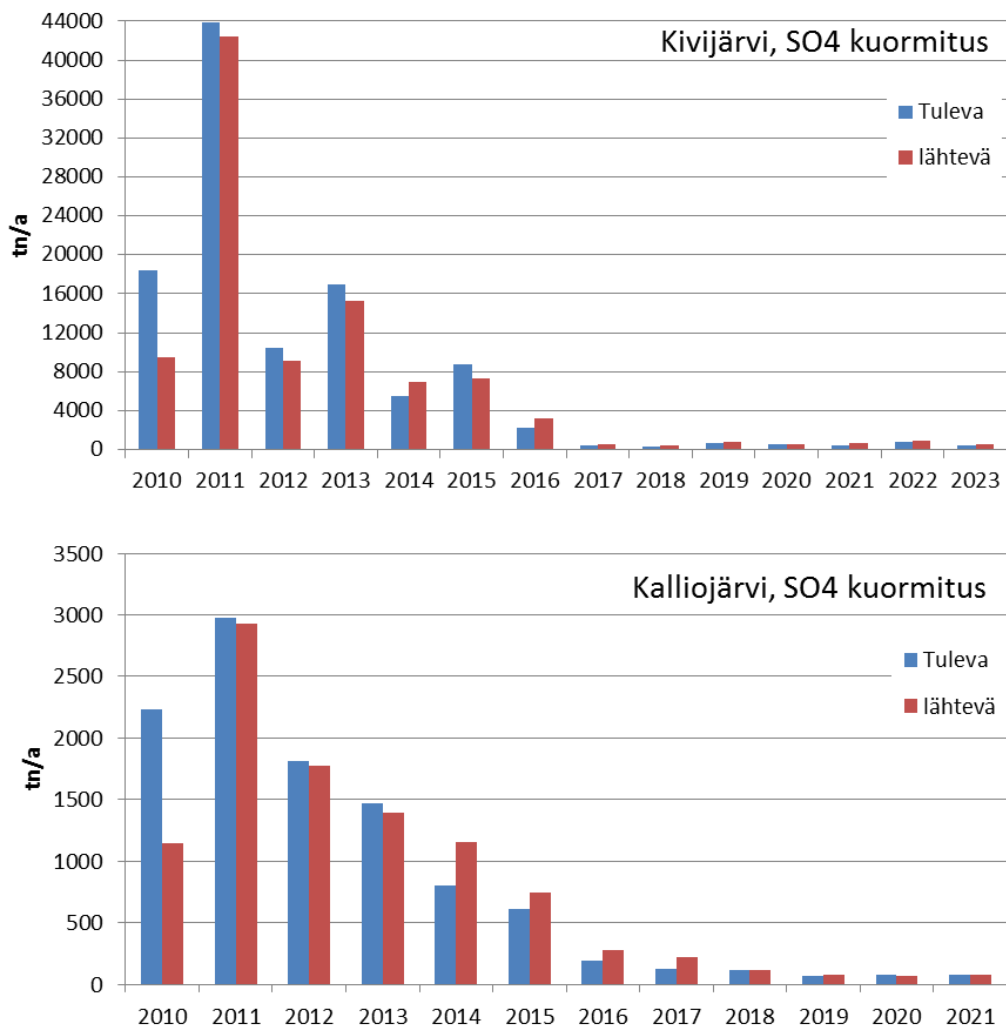
Kivijärven lähtökuormitus on koko laskentajakson ajan tulokuormitusta suurempi, eli järven sulfaattivarasto purkautuu laskelmien mukaan vähitellen alajuoksulle ainakin vuoteen 2023 asti.

Jormasjärven lähtökuormitus vaihtelee mutta on keskimäärin tulokuormituksen suuruinen vuodesta 2020 eteenpäin.

Kuormitusmäärät on tässä laskettu virtaamien ja tulopitoisuuksien perusteella. Menetelmä ei ole tarkka silloin, kun tulopitoisuus vaihtelee nopeasti ja paljon. Tästä johtuen kuormitus voi poiketa siitä mitä kaivos on kuormitukseksi ilmoittanut.



Kuva 17: Arvioidut tulevat ja lähtevät sulfaattikuormitukset 2010-2023. Kuormitukset 2019 alkaen perustuvat aikaisempiin virtaamiin ja Kolmisopessa ja Jormasjärvellä lu-parajan mukaiseen kuormitukseen.



Kuva 18: Arvioidut tulevat ja lähtevät sulfaattikuormitukset 2010-2023. Kuormitukset 2019 alkaen perustuvat aikaisempiin virtaamiin ja Kivijärvellä ja Kalliojärvellä vuoden 2018 – 2019 tason pitoisuuksiin.

4 ASiantuntija-arvio happi- ja metallipitoisuuksien kehittymisestä

Metalli- happipitoisuuksien kehittymistä kussakin järvessä on tarkasteltu sekä mallinnus- että analyysitulosten (2018-19) avulla.

4.1 Kalliojärvi

Mallinnuksen perusteella Kalliojärven sulfaattipitoisuus eri kerroksissa pienenee edelleen. Analyysitulosten perusteella Kalliojärvessä on ollut merkittävää kerrostuneisuutta talviaikana 2019 (02-04/2019). Kesäkuussa 2019 tilanne oli huomattavasti parantunut eikä pohjanläheistä happitilannetta voitu pitää normaalista poikkeavana. Talviaikainen kerrostuneisuus on havaittavissa myös metallipitoisuuksissa. Orgaanisen hiilen määrä (TOC) on pienentynyt n. kolmannekseen aiemmasta kesäkuussa 2019 (keskiarvo 9/2018-5/2019 18 mg/l kesäkuussa 2019 7 mg/l), joka saattaa osaltaan johtua metallien saostumisesta erilaisina humuskomplekseina. pH:ssa ei tapahtunut muutosta. Nikkelin liukoinen pitoisuus oli kesäkuussa 2019 keskimäärin 6 µg/l, pinnan ja pohjan välillä ei ollut eroa (5,7 ja 6,4 µg/l). Kadmiumpitoisuudet olivat alle määrittysrajan (0,030 µg/l) kaikilla tarkastelluilla näytteenottokerroilla.

Mikäli Kalliojärveen tulevan veden kemiallinen laatu ei oleellisesti muutu, on oletettavaa, että kehitys Kalliojärvessä jatkuu nykyisen kaltaisena. Suolaisuuden vähentyessä myös pohjanläheisen kerroksen happitilanne paranee täyskierron ulottuessa koko järveen. Talviajan tilanteeseen vaikuttaa oleellisesti jääpeitteisen ajan kesto.

4.2 Kolmisoppi

Kolmisopen halokliini on purkautunut vuonna 2018, mikä näkyy järven happitilanteessa. Pohjanläheisen kerroksen happipitoisuus on pysynyt verrattain hyvänä, kylästyneisyys aste 34 % ja pitoisuus 4,6 mg/l, myös talviaikana. Metallipitoisuudet ovat olleet verrattain alhaisia, joskin kesäkuussa 2019 oli nikkeli- ja sinkkipitoisuuksissa havaittavissa hienoista kasvua. Nikkelipitoisuuden vaihteluväli oli 10/2018-4/2019 3,9–6,6 µg/l, ka. 4,7 µg/l, keskimääräinen pitoisuus kesäkuun näytteenotokerralla 6,1 µg/l. Kyse saattaa myös olla halokliinin purkautumisen jälkeisestä tasapainotilan muotoutumisesta, sillä samanaikaisesti rautapitoisuus on pienentynyt, 10/2018-4/2019 650–1900 µg/l, ka.1000 µg/l, keskimääräinen pitoisuus kesäkuun näytteenotokerralla 430 µg/l.

Kolmisopen happitilanteen ja metallipitoisuuksien arvioidaan lähentyvän järven luontaisia pitoisuuksia, mikäli järveen tulevan veden kemiallisessa laadussa ei tapahdu merkittävää muutosta.

4.3 Kivijärvi

Mallinnustuloksen mukaan molemmissa Kivijärven syvännepisteissä (Kivijärvi 2 ja Kivijärvi 10) kerrostuneisuus jatkuu edelleen vuoteen 2024 asti, vaikkakin suolaisen veden kerros mataloituu hiljalleen tuloveden ollessa vähäsuolaista. Järven syvänteiden happitilanteeseen ei ole tarkastellulla aikajaksolla odotettavissa merkittävää muutosta. Vuosien 2018 ja 2019 mittauksissa hapen kyllästysaste syvänteissä halokliinin alla on ollut välillä 2,7 – 5,1 %. Mittaustulosten mukaan hapeton kerros on alkanut n. 5 m syvyydessä eikä siinä ole havaittavissa vuodenaikaisvaihtelua. Metallipitoisuuksissa on myös havaittavissa kerrostuneisuuden vaikutusta etenkin natriumin (280 - 2200 mg/l), mangaanin (11000 – 54000 µg/l) ja raudan (25000 – 110000 µg/l) sekä kalsiumin (51 – 180 mg/l) ja magnesiumin (43 – 190 mg/l) pitoisuuksissa. Muissa metalleissa kerrostuneisuuden vaikutus pitoisuuksiin on huomattavasti vähäisempää tai sitä ei ole havaittavissa. Nikkelipitoisuudet ovat muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta olleet <5 µg/l.

Kivijärven luusuan läheisellä mittauspisteellä (Kivijärvi 7) kerrostuneisuus on ollut huomattavasti syvänteitä vähäisempää ja vain talviaikana on esiintynyt erittäin alhaisia metallipitoisuuksia. Talviaikaisten rautapitoisuuksien perusteella varsinaista pitkäaikaista happikatoa ei kuitenkaan ole ollut. Metallipitoisuuksissa on jonkun verran vuodenaikaisvaihtelua eri syvyyksissä, mutta ei merkittäviä muutoksia.

Kivijärven happitilanne muuttuu erittäin hitaasti syvänteissä, mutta luusuan läheisellä alueella happitilanteen voidaan katsoa lähestyvän normaalia vuodenaikaisvaihtelua. Kivijärven metallipitoisuuksissa ei ennakoida myöskään tapahtuvan suuria muutoksia. Hapettoman kerroksen hitaasti mataloituen myös raudan pitoisuus uudelleen hapettuvissa osissa pienenee. On mahdollista, että raudan saostuessa happipitoisuuden noustessa myös muita metalleja kersaostuu.

4.4 Jormasjärvi

Jormasjärven mittaustulosten mukaan pohjanläheisissä näytteissä on ollut talviaikaan alhaisempi happipitoisuus (hapen kyllästysaste 5,7 – 20 %), mutta muina vuoden aikoina happitilanne on ollut tyydyttävä tai hyvä. Tulokset korreloivat hyvin mallinuksella kuvatun sulfaatin kerrostumisen kanssa. Mangaania (1400 – 5100 µg/l) ja rautaa (820 – 2400 µg/l) on mitattu merkittävästi suurempia pitoisuuksia samanaikaisesti vähähappisten tilanteiden kanssa. Myös nikkelin ja sinkin pitoisuudet ovat olleet hieman korkeampia vähähappisten tilanteiden aikana. Muilla metalleilla yhteyttä happitilanteeseen ei ole havaittavissa.

Jormasjärven arvioidaan jatkavan normaalia vuodenaikaiskehitystä ja metallipitoisuuksien pienenevän ajan myötä ulkoisen kuormituksen pienentyessä.

5 LÄHDELUETTELO

Engineering toolbox, 2017, http://www.engineeringtoolbox.com/density-aqueous-solution-inorganic-sodium-salt-concentration-d_1957.html

Maanmittauslaitos, 2017, Avoimien aineistojen tiedostopalvelu, tiedot haettu 02/2017, lisenssi ja tietojen haku sivulta <http://www.maanmittauslaitos.fi/asioi-verkossa/avoimien-aineistojen-tiedostopalvelu>

Pöyry Finland, 2017, Terrafamen kaivosalueen läheisten järvien sulfaattikerrostumisen tarkastelu, kohteina Kolmisoppi, Kivijärvi ja Jormasjärvi, Pöyry Finland Oy:n laatima raportti, asiakkaana Terrafame Oy

SYKE 2019a, SYKE avoin data, Hertta-tietokanta, tiedot haettu 06/2019.

SYKE 2019b, SYKE Vemala – järjestelmä, tiedot haettu 06/2019.

Water Density Calculator, 2017, <http://www.csgnetwork.com/h2odenscalc.html>