

18.9.2020

Petri Ekholm

Suomen ympäristökeskus

## Arvio peltojen kipsikäsittelyn vaikutuksesta Paimionjoen patoaltaiden sulfaattipitoisuuteen

### 1. Johdanto

Pellolle levitetty kipsi ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) liukenee maassa sulfaattianioniksi ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) ja kalsiumkationiksi ( $\text{Ca}^{2+}$ ). Sulfaatti ei juurikaan pidäty suomalaisissa maissa hiukkasten pinnoille vaan huuhtoutuu pinta- ja salaojavaluntana – lähinnä pintavesiin (Ekholm 2020). SAVE- ja Vantaanjoen peltojen kipsikäsittely -hankkeiden selvitysten mukaan sulfaatista ei odotettavissa olevissa pitoisuuksissa näytä olevan haittaa virtavesien eliöstölle simpukkaseurannan, lyhytaikaisten altistuskokeiden ja pidempiaikaisen taimenen mädillä tehtyjen kokeiden perusteella (mm. Rantamo 2018, Hyrsky 2020).

Järvissä sulfaatti voi kuitenkin aiheuttaa toisenlaista haittaa. Suuri osa pohjasedimentin fosforista on sitoutunut raudan (hydr)oksidiin. Vesien hapettomissa pohjasedimenteissä sulfaatti voi pelkistyä sulfidiksi. Sulfidi reagoi pohjasedimentin raudan kanssa pelkistäen rauta(hydr)oksidit rautasulfideiksi, jotka eivät enää kykene pidättämään fosforia. Lisäämällä fosforin vapautumista pohjalta sulfaatti voi siis lisätä järven rehevyyttä ilman, että ulkoinen kuormitus kasvaa. Koska sulfaatin pelkistys on mikrobiologinen reaktio, sen edellytyksenä on, että sedimentissä on riittävästi mikrobeille käyttökelpoista orgaanista ainesta, mikä yleensä tarkoittaa, että järvi on rehevä. Muita suosivia tekijöitä on veden korkea lämpötila ja yläpuolisen vesimassan hapettomuus, mikä edellyttää että vesi on lämpötilan tai suolaisuuden suhteen kerrostunut.

Toistaiseksi ei ole tietoa siitä, miten paljon sulfaattipitoisuuden eri tyyppisissä järvissä tulisi nousta, jotta sulfaatti lisäisi rehevöitymisriskiä. Siilinjärven Kolmisoppijärvellä havaittiin merkkejä sulfaatin kiihdyttämästä rehevöitymisestä, kun sulfaatin pitoisuus järvessä nousi tasolta 10 mg/l tasolle 50–60 mg/l (Saarijärvi ym. 2013). SAVE-hankkeessa suositeltiin, että peltojen kipsikäsittelyjä toteutetaan vain valuma-alueilla, joilta vedet virtaavat jokien kautta suoraan mereen tai joilla esiintyy vain VPD-tyypin ”hyvin lyhytviipymäiset järvet” järviä. Erittäin kuormittavien peltolohkojen kipsikäsittelyä voidaan harkita myös muidenkin järvien valuma-alueilla, mikäli käsiteltävä alue on pieni suhteessa järven koko valuma-alueeseen ja laskennallisesti voidaan osoittaa, että järven sulfaattipitoisuus ei juuri nouse. Tämä on myös hyvä varmistaa vesinäyttein, ja mikäli sulfaattipitoisuus nousee, kipsikäsittely keskeytetään.

Edellä esitetty järvirajaus voidaan toteuttaa paikkatiedon avulla. Aineistona käytetään SYKEN Ranta10 -rantaviiva-aineistoa (rantaviiva 1 : 10 000 ja uomaverkosto), jonka Järvi10-taso sisältää järvitunnuksen kaikille yli 1 hehtaarin järville. Järvitunnuksen perusteella on mahdollista yhdistää SYKEN vedenlaadun ja ravinnekuormituksen mallinnus- ja arviointijärjestelmää (Vemala) varten laskettu viipymä paikkatietoaineistoon. Raja-arvona hyvin lyhytviipymäiselle järvelle on VPD:n tyyppittelyohjeessa määritelty enintään luokkaa 10 päivän viipymä (Aroviita

ym. 2019). Alle 1 hehtaarin järvistä ei ole saatavissa Vemalasta viipymätietoa. Järvien tyypittelyohjeen mukaan silloin kun viipymää ei voida määrittää, voidaan käyttää järven pinta-alan ja sen valuma-alueen pinta-alan suhdetta. Jos järven pinta-alan suhde valuma-alueen pinta-alaan on luokkaa tuhannesosa tai pienempi, järvi voidaan sijoittaa hyvin lyhytviipymäisten järvien tyyppiin.

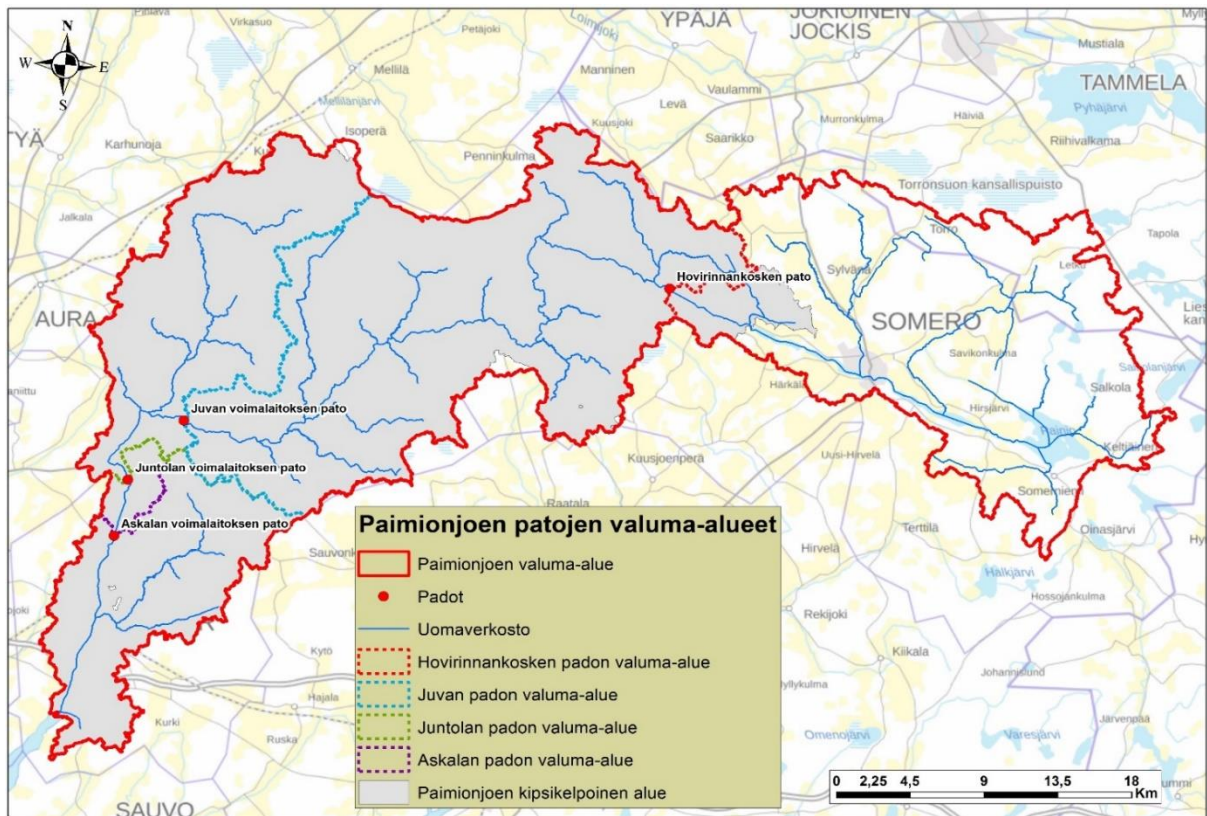
Paimionjoessa on neljä patoa (patoturvallisuuden tietojärjestelmä), joista kahdella alimmaisella, Juntolan ja Askalan voimalaitoksilla on noin 20 hehtaarin patoaltaat. KIPSI-hankkeen keskustelutilaisuuksissa on esitetty huoli patoaltaiden tilasta, ts. tulisiko ne rinnastaa sulfaattiherkkiin järviin. Patoaltaiden ominaisuuksista, kuten veden laadusta, viipymästä ja kerrostumisesta, ei ole tietoa. KIPSI-hanke tilasi SYKEltä selvityksen Paimionjoen patoaltaiden odotettavissa olevista sulfaattipitoisuuksista ja kohonneen sulfaattipitoisuuden vaikutuksesta patoaltaiden tilaan. Selvitystä oli tarkoitus täydentää laboratoriossa tehtävillä sedimentti-inkuboinneilla, mutta talven korkeat virtaamat ja jäättömyys estivät sedimenttinäytteiden oton patoaltailla.

Tässä selvityksessä määritettiin patoaltaiden yläpuolisten valuma-alueiden pinta-alat, maankäyttö ja kipsikelpoisten peltojen alat. Lisäksi etsittiin rekistereistä löytyvä tieto patoaltaista ja laskettiin niiden teoreettinen viipymä erilaisissa hydrologisissa tilanteissa sekä arvioitiin patoaltaiden sulfaattipitoisuutta ja riskiä fosforin vapautumisesta sedimenteistä SAVE-hankkeen aineistojen perusteella.

## **2. Aineisto**

### *2.1 Patoaltaiden valuma-alueet*

Patoaltaiden yläpuolisen valuma-alueen ala määritettiin VALUE-työkalulla (kuva 1) ja peltoisuus määritettiin peltolohkorekisterin avulla. Lisäksi arvioitiin SAVE-hankkeen kriteerien perusteella potentiaalisesti kipsikelpoisten peltojen ala (taulukko 1). Näiksi laskettiin pellot, jotka laskivat suoraan mereen ilman, että välissä on järviä. Lisäksi pellot eivät saaneet sijaita happamilla sulfaattimailla, pohjavesi- tai Natura-alueilla.



Kuva 1. Paimionjoen ja sen patoaltaiden valuma-alueet (Juha Riihimäki, SYKE).

Taulukko 1. Paimionjoen patoaltaiden valuma-alueet sekä kipsikelpoinen peltoala SAVE-hankkeen kriteerien perusteella.

	Valuma-alueen ala (km <sup>2</sup> )	Kipsikelpoinen peltoala (km <sup>2</sup> )
Hovirinnankosken yläpuoli	370,2	15,82
Juvan yläpuoli	775,7	197,10
Juntolan yläpuoli	951,3	277,24
Askalan yläpuoli	965,2	280,80
Paimionjoki	1088,0	317,94

## 2.2 Patoaltaiden viipymä

Patoaltaiden tietoja ei löydy järvirekisteristä. Patoaltaiden perusominaisuudet saatiin Patoturvallisuuden tietojärjestelmästä (tulostettu 23.9.2019, taulukko 2). Jos Juntolan ja Askalan patoaltaat olisivat järviä, ne kokonsa puolesta tulisivat otetuiksi huomioon yllä esitetystä kipsirajauksessa. Käytännössä näin ei kuitenkaan tapahtuisi, sillä Vemala-mallissa ne eivät ole mukana. Valuma-alueen pinta-alan suhde patoaltaiden pinta-alaan on noin 0,02 % eli ne laskettaisiin hyvin lyhytviipymäisiksi järviksi. Vertailun vuoksi todettakoon, että maatalouden vesiensuojelukosteikoille suositellaan, että niiden ala kattaisi vähintään 1 % yläpuolisen valuma-alueen alasta. Tämän perusteella voisi arvioida, että patoaltaiden merkitys sedimentaatioon on vähäinen. Koska Juntolan ja

Askalan patoaltaat ovat ominaisuuksiltaan hyvin samankaltaisia, tarkastellaan seuraavaksi vain Juntolan patoallasta.

Taulukko 2. Juntolan ja Askalan patoaltaiden ominaisuuksia

Patoallas	Ominaisuus	Korkeustaso (m)	Pinta-ala (km <sup>2</sup> )	Pinta- ala/Valuma- alueen pinta- ala (%)	Tilavuus (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Keskisyvyys <sup>F</sup> (m)
Juntola <sup>A</sup>	Teknillinen NW	+23,500				
	NW	+28,250	0,183	0,019		
	HW <sup>C</sup>	+29,600	0,210	0,022	0,27	1,3
	Hätä HW <sup>D</sup>	+30,150	0,220	0,023	0,39	1,8
Askala <sup>B</sup>	Teknillinen NW	+99,500				
	NW	+107,100	0,180	0,019		
	HW	+108,510	0,200	0,021	0,29	
	Hätä HW <sup>E</sup>	+110,010				

<sup>A</sup> Korkeusjärjestelmä N

<sup>B</sup> Oma (tunnettu), Korkeusoma + -92.273 m = KorkeusN2000

<sup>C</sup> Länsi-Suomen vesioikeuden 7. heinäkuuta 1977 antaman lupapäätöksen ehtojen mukainen padotuksen normaali yläraja

<sup>D</sup> Padon harjan alin taso

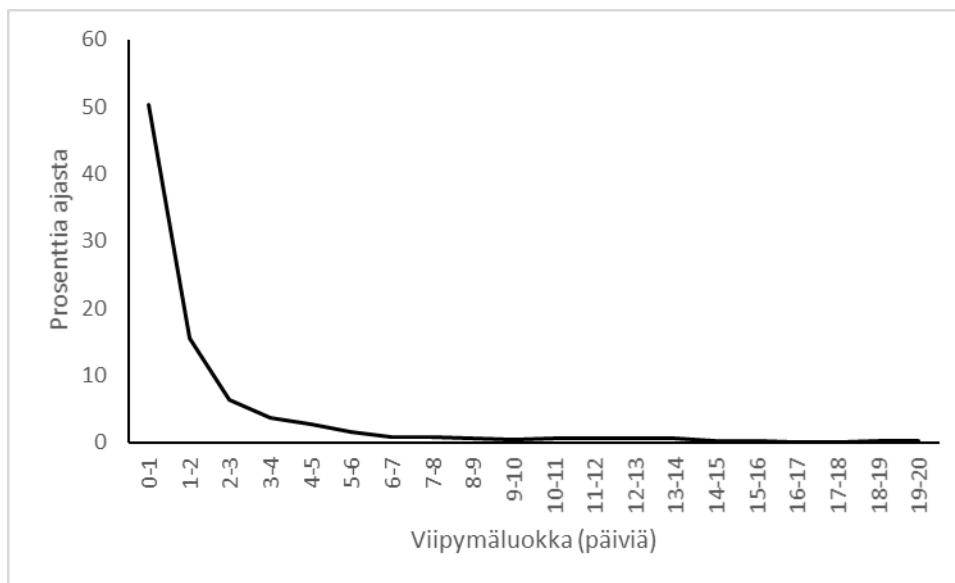
<sup>E</sup> Padon tiiviin osan olin yläpinta, kun purkauskynnyksiä ei oteta huomioon

<sup>F</sup> Laskettu pinta-alan ja tilavuuden perusteella

Patoaltaiden viipymän arvioimiseksi poimittiin Hertasta Juntolan voimalaitoksen virtaamat kaudella 2010–2019. Keskivirtaama tällä jaksolla oli 8,0 m<sup>3</sup>/s. Lähes järveettömälle jokivesistölle tyypillisesti virtaamat olivat pienimmillään kesällä ja suurimmillaan syksyllä ja keväällä (liite 1). Juntolan virtaama oli 159 tapauksessa 3652:sta havainnosta (= päivästä) nolla. Pienin nollassa poikkeava arvo oli 0,01 m<sup>3</sup>/s. Tämän perusteella nolla-arvot korvattiin luvulla 0,005 m<sup>3</sup>/s (pienin arvo · 0,5). Tämän jälkeen virtaamat muutettiin päivävirtaamiksi ja laskettiin, kuinka monta vuorokautta kunakin päivänä altaan täytyminen kestää. Patoaltaiden tilavuutta alivesikaudella ei ollut tiedossa. Tilavuutena käytettiin ylivesitilavuutta (Juntolassa 270 000 m<sup>3</sup>, taulukko 2), jolloin ei ainakaan aliarvioida viipymää.

Vuosien 2010–2019 suurin päivävirtaama oli 112 m<sup>3</sup>/s (18.4.2013). Olettaen, että patoaltaan vesi ei ole kerrostunut ja vesi virtaa tasaisena ”pulssina” altaan läpi, veden vaihtuminen patoaltaassa kestää tällä virtaamalla vain 40 minuuttia. Toisaalta esimerkiksi 2.1.2010 virtaama Juntolassa oli 1,17 m<sup>3</sup>/s eli 101 088 m<sup>3</sup>/d ja veden vaihtuminen kestää tällä virtaamalla 2,67 vuorokautta. Kun virtaama on 3,125 m<sup>3</sup>/s veden teoreettinen viipymä on yksi vuorokausi. Teoreettinen viipymä oli vuorokauden tai vähemmän noin puolet ajasta jaksolla 2010–2019.

Paimionjoessa veden virtaama vaihtelee päivittäin, ja siten viipymä riippuu myös edeltävien päivien virtaamasta, joka esimerkiksi 1.1.2010 oli 1,52 m<sup>3</sup>/s. Siten aineistosta etsittiin ensin ne tapaukset, joissa viipymä oli alle 24 tuntia (50,3% päivistä). Niille havainnoille, joilla viipymä oli yli 24 tuntia, laskettiin tämän ja edellisen päivän virtaaman perusteella viipymä ja laskettiin tapaukset, joissa viipymä ylitti 24 tuntia mutta alitti 48 tuntia (15,5 % päivistä). Vastaavasti niille havainnoille, joilla kahden peräkkäisen päivän viipymä ylitti 48 tuntia, laskettiin tapaukset, joissa viipymä ylitti 48 tuntia mutta alitti 72 tuntia (6,3 % ajasta) ja niin edelleen. Pisimmillään viipymä oli elokuussa 2010 peräti 33 päivää, ehkä pidempikin, sillä tällöin virtaama oli useana peräkkäisenä päivänä nolla, joka siis laskennassa korvattiin arvolla 0,005 m<sup>3</sup>/s. Kuvassa 2 on esitetty veden viipymä em. tavalla arvioituna 20 päivän viipymään asti.



Kuva 2. Juntolan patoaltaan arvioitu viipymä luokiteltuna yhdestä 20 päivään (pisin viipymä 33 vuorokautta).

### 2.3 Sulfaattipitoisuuden arviointi

Sulfaattipitoisuuden arviointi perustui SAVE-hankkeen Savijoelta keräämään ja käsittelemään aineistoon. Tunneittain jatkuvatoimisten anturien Savijoen vedestä mitaamat sähkönjohtavuusarvot (Cond) vertailualueella (Mittapato) ja kipsialueella (Yliskulma, Parmaharju) muutettiin sulfaattipitoisuuksiksi kahden yhtälön perusteella. Mittapadolla sekä Yliskulmalla ja Parmaharjulla ennen kipsin levitystä käytettiin lineaarista yhtälöä:

$$\text{SO}_4 \text{ (mg/l)} = 2,9 + 0,48 \cdot \text{Cond (mS/m)}$$

Kipsin levityksen jälkeen käytettiin kipsialueella toisen asteen yhtälöä:

$$\text{SO}_4 \text{ (mg/l)} = 17,1 + 0,072 \cdot \text{Cond}^2 - 1,02 \cdot \text{Cond}$$

Arvioidut tunnitaiset sulfaattipitoisuudet kerrottiin tunnitaisella Mittapadolla määritetyllä virtaamalla, ja tämän aineiston perusteella laskettiin sulfaatin ainevirtaamat jaksoittain kullakin havaintopaikalla. Jaksot koostuivat

puolivuotiskausista lukuun ottamatta ensimmäistä kahden kuukauden jaksoa kipsin levityksen jälkeen. Ainevirtaama jaettiin alkuperäisiin lähteisiinsä mm. kirjallisuudesta saatujen eri maankäyttömuotoja kuvaavien ominaiskuormituslukujen avulla. Taulukossa 3 on esitetty valumaveden arvioidut sulfaattipitoisuudet kipsikäsitellyille ja käsittelemättömille pelloille. Taulukossa on vertailun vuoksi mukana myös käsinäytteiden perusteella lasketut pitoisuudet. Ne on arvioitu suoraan vesinäytteistä määritetyistä sulfaattipitoisuuksista, mutta ovat harvahkon näytteenoton vuoksi ajallisesti epäedustavampia.

*Taulukko 3. Sulfaatin pitoisuudet (mg/l) eri jaksoina kipsikäsitellyillä (Yliskulma ja Parmaharju) ja käsittelemättömällä pelloilla.*

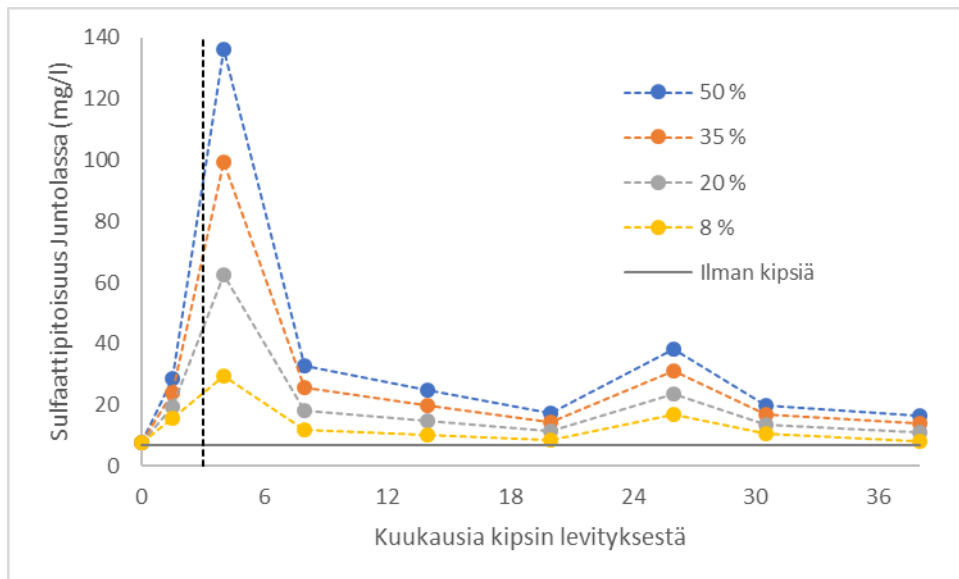
Jakso	Pellot, ei kipsiä		Pellot, kipsiä			
	Mittapato		Yliskulma		Parmaharju	
	Sensori	Vesinäyte	Sensori	Vesinäyte	Sensori	Vesinäyte
19.2.–31.7.2016	9,5	7,4	12,0	8,9	11,8	19,0
1.8.–31.10.2016	23,8	1,0	126	2,0	146	2,8
1.10.–31.12.2016	23,5	34	866	793	699	802
1.1.–30.6.2017	11,8	11,5	180	304	125	295
1.7.–31.12.2017	11,0	14,7	127	305	92	222
1.1.–30.6.2018	8,8	0,6	79	57,9	54	56,2
1.7.–31.12.2018	24,5	29,6	193	153	120	180
1.1.–15.5.2019	13,1	11,5	88	63,9	57	63,9
16.5.–19.9.2019	11,7	–	83	–	53	–
20.9.–31.12.2019	8,3	6,6	75	37	55	51

### 3. Tulokset

Patoaltaiden sulfaattipitoisuus arvioitiin käyttämällä taulukon 3 pitoisuuksien perusteella sovellettuna Juntolan valuma-alueelle. Jotta sulfaattipitoisuutta ei ainakaan aliarvioitaisi, käytettiin Yliskulman hieman Parmaharjua korkeampia pitoisuuksia. Kipsiskenaarioina käytettiin oletuksia, että 20 %, 35 % tai 50 % Juntolan valuma-alueen kipsikelpoisista pelloista käsiteltäisiin.

Juntolan patoaltaan veden sulfaattipitoisuuden mallinnettu lähtötaso oli 7,6 mg/l (kuva 3), mikä vastaa Paimionjoen Kätylästä (Juntolan yläpuolella) vuoden 2020 alussa otettujen vesinäytteiden keskipitoisuutta (7,1 mg/l,  $n = 18$ ). Sulfaattipitoisuus nousee neljän kuukauden päästä kipsinlevityksen aloituksesta tasolle 63 mg/l, mikäli kerralla käsitellään 20 % Juntolan patoaltaan yläpuolisen valuma-alueen kipsikelpoisesta peltoalasta. Jos puolet kipsikelpoisesta peltoalasta käsitellään, pitoisuus nousee arvoon 136 mg/l. Todennäköistä on kuitenkin, että minään vuonna ei edes 20 % kipsikelpoisesta peltoalasta kerralla käsitellä. Tämän hetkisen tiedon mukaan syksyn 2020 käsittelyala on 1822 hehtaaria eli 8 % soveltuvasta peltoalasta. Kipsin levitystä seuraavana kesänä patoaltaan arvioitu sulfaattipitoisuus 20–50 %:n skenaarioilla on jo laskenut 18–33 mg/l. Pitoisuus pysyy tällä

tasolla melko pitkään. Kesän pitoisuudet ovat fosforin vapautumisen kannalta merkittävimmät, sillä silloin viipymä on pisimmillään ja veden lämpötila korkeimmillaan.



Kuva 3. Juntolan patoaltaan arvioitu sulfaattipitoisuus eri kipsinlevitysskenaarioilla. Prosentit viittaavat osuuteen joka kipsikelpoisista pelloista on käsitelty. Oletuksena yksi kipsinlevitys, joka kestää kolme kuukautta. Pystysuora katkoviiva kertoo levityksen päättymisajankohdan.

#### 4. Yhteenveto ja suositukset

Juntolan ja Askalan patoaltaiden veden viipymä on lyhyimmillään alle tunnin, mutta kesällä kuivaan aikaan jopa viikkoja. Sulfaattipitoisuus nousee patoaltaissa kipsin levityksen seurauksena aluksi voimakkaasti, mutta pitoisuudet tasaantuvat muutamassa kuukaudessa tasolle 15–30 mg/l, riippuen kipsikäsiteltävästä peltoalasta ja sääoloista. Koska patoaltaat ovat matalia, veden voimakas kerrostuminen on niissä epätodennäköistä.

Turun Maarian altaan pohjasedimentillä tehdyssä laboratoriokokeessa fosforia vapautui hapettomissa oloissa suuria määriä (Kaseva ym. 2020). Sulfaattipitoisuuden nosto Maarian altaan veden perustasosta (10–15 mg/l) aina 100 mg/l:aan nosti noin viisi kuukautta kestäneessä kokeessa fosforin vapautumista sedimentistä veteen kuitenkin yllättävän vähän. Kun näytteet hapettoman vaiheen jälkeen ilmastettiin, suurin osa fosforista sitoutui takaisin pohja-ainekseen, tosin sitoutuminen oli vähäisintä koejäsenissä, joihin oli lisätty sulfaattia. Maarian altaan pohja-aines sisälsi runsaasti orgaanista ainesta ja siten tuloksia ei voida suoraan soveltaa Paimionjoen matalampiin ja viipymältään lyhyempiin patoaltaisiin.

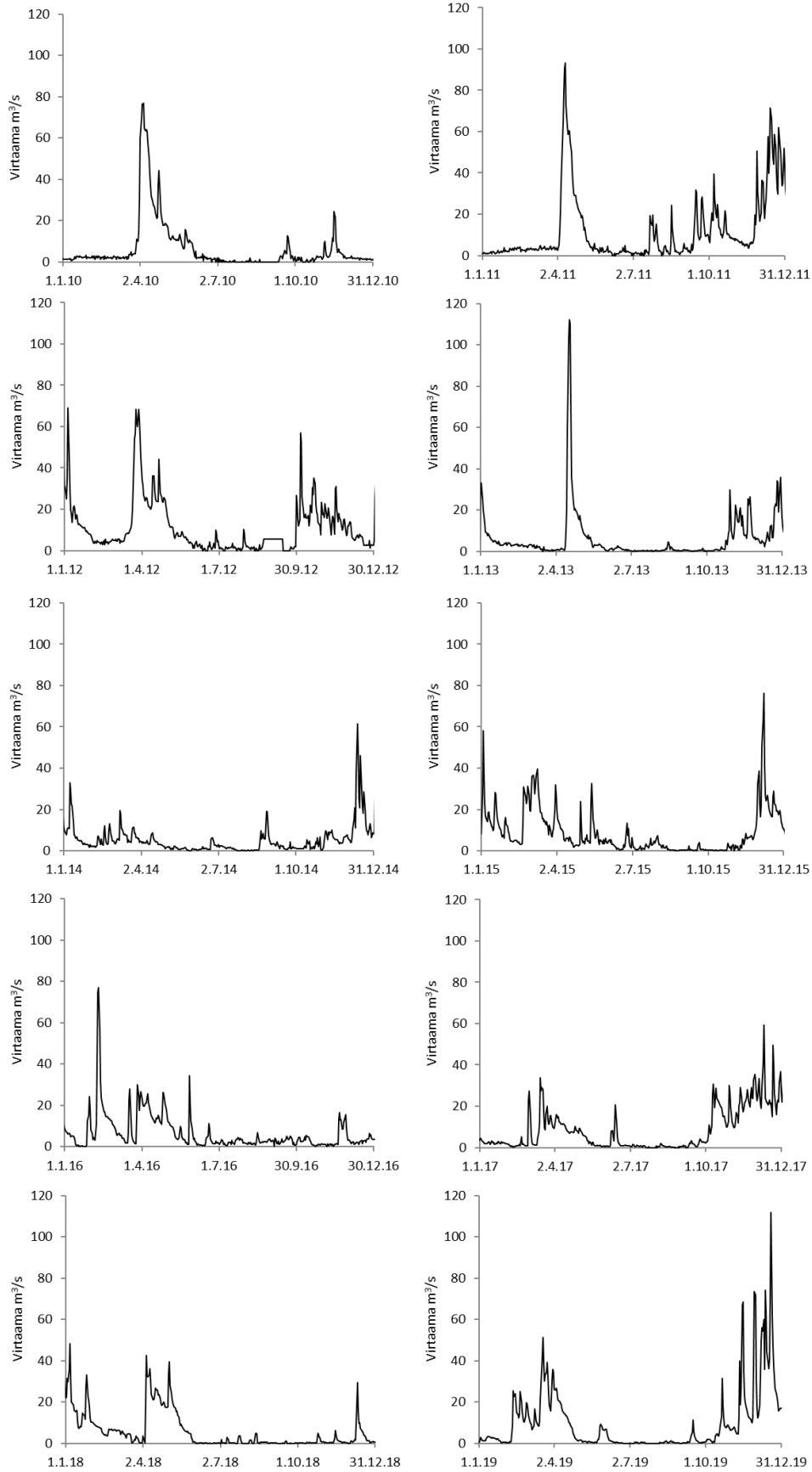
Vaikka sulfaattipitoisuudet Juntolan ja Askalan patoaltaissa jäävät maltillisiksi, ei täysin voida poissulkea sitä mahdollisuutta, että kesällä veden viipymän ollessa pitkä ja lämpötilan korkea, pohja-aineksestä vapautuisi fosforia yläpuoliseen veteen. Tämän selvittämiseksi on suositeltavaa määrittää lämpimään ja kuivaan aikaan Juntolan tai Askalan patoaltaasta mahdollinen lämpötilakerrostuneisuus sekä pintavedestä ja pohjan läheisestä vesikerroksesta hapen, fosforin, sulfaatin ja raudan pitoisuudet (+pH ja sähkönjohtavuus). KIPSI-hankkeen

27.8.2020 ottaman näytteen mukaan Juntolan patoallas ei ollut kerrostunut ja pohjanläheisen vesikerroksen happitilanne oli hyvä. Mikäli mahdollista, patoaltaiden sedimenteillä voitaisiin tulevana talvena tehdä laboratoriossa inkubointikoe, jossa tutkittaisiin sedimentin mineralisaatioprosessien herkkyyttä sulfaatile.

### Kirjallisuus

- Aroviita J, Mitikka S, Vienonen S (toim.), 2019. Pintavesien tilan luokittelu ja arviointiperusteet vesienhoidon kolmannella kaudella. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 37.
- Ekholm P, 2020. Kipsileivityksen vaikutus pohjavesiin – SAVE- ja SAVE2-hankkeen kaivovesiseurannan tulokset. <https://blogs.helsinki.fi/save-kipsihanke/files/2020/06/Kaivoraportti-SAVE2.pdf>.
- Hyrsky M, 2020. Vantaanjoen kipsihankkeen vaikutukset kalastoon. Pro Gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, bio- ja ympäristötieteellinen tiedekunta, akvaattiset tieteet. 79 s.
- Kaseva A, Suvanto E, Hänninen H, Lehtoranta J, Ekholm P, 2020. Sulfaatin ja hiilen vaikutus Turun Maarian altaan pohjasedimentin ainekiertoihin. *Vesitalous* 1/2020: 41–44.
- Rantamo K, 2018. Peltojen kipsikäsittelyn aiheuttama riski virtavesieliöille – Vasteena isonäkingsammalen (*Fontinalis antipyretica*) kasvu ja vuollejokisimpukan (*Unio crassus*) käyttäytyminen. Pro Gradu -tutkielma, Jyväskylän yliopisto, bio- ja ympäristötieteiden laitos, akvaattiset tieteet. 43 s.
- Saarijärvi E, Kauppinen E, Heitto L, Lehtoranta J, Ekholm P. 2013. Onko sulfaatti rehevöittänyt Siilinjärven Kolmisopen? *Vesitalous* 54 (2):43-45.





Liite 1. Paimionjoen virtaama Juntolassa vuosina 2010–2019.