



**YARA SUOMI OY**

# Kaivannaisjätteiden käyttäytyminen ja kuormituspotentiaali

**Yara Suomi Oy**  
Hanna Lampinen

**Envineer Oy**



[etunimi.sukunimi@envineer.fi](mailto:etunimi.sukunimi@envineer.fi)

[www.envineer.fi](http://www.envineer.fi)

Y-tunnus: 2850396–1

Projektinumero: 11796

**Versiohistoria:**

29.10.2025 alkuperäinen asiakirja

24.3.2026 päivitys täydennyspyynnön 12.02.2026 (Dnro LVV-U/27379/2026) mukaisesti

# Sisältö

Tiivistelmä.....	6
1 Johdanto .....	7
2 Selvityksen toteutus.....	8
3 Sivukivialueet .....	9
3.1 Sivukivien läjitysalueet .....	9
3.1.1 Ansanmäen 3D-malli .....	10
3.2 Läjitettyjen kivien mineralogia.....	15
3.3 Sivukivien kemiallinen koostumus .....	16
3.3.1 Kuningasvesiuutto .....	16
3.3.2 Nelihappouutto .....	17
3.4 Vaaraominaisuudet .....	18
3.5 Haponmuodostus- ja neutralointipotentiaali.....	21
3.6 Sivukivialueiden suotovedet .....	23
3.6.1 Ansamäen puro.....	24
3.6.2 Itäläijityksen oja.....	24
3.6.3 Saarisen oja .....	25
3.6.4 Yhteenveto sivukivialueen suotovesistä .....	27
3.7 Lysimetri ja sen tulokset .....	31
3.8 Typpi- ja sulfaattiselvitys .....	34
3.8.1 2016 selvitys .....	34
3.8.2 2020 selvitys .....	35
3.8.3 2023 vesi- ja ainetasemallinnus.....	36
3.9 Sivukivien pitkäaikaiskäyttäytyminen.....	36
3.9.1 Kosteuskammiotestien tulokset .....	39
3.9.2 Suotovesien sulfaattipitoisuuden käyttäytymisen arviointi pitkällä aikavälillä.....	43
3.9.3 Tulosten vertailu suotovesiin .....	46
3.10 Yhteenveto sivukivialueiden sulfaatin, typen ja fosforin käyttäytymisestä .....	47
3.10.1 Typpi .....	47
3.10.2 Fosfori .....	48

3.10.3 Sulfaatti .....	48
4 Rikastushiekka-alueet .....	50
4.1 Rikastushiekan läjitysalueet .....	50
4.1.1 Rakenteet, koko, sijainti.....	50
4.1.2 Läjitysmenetelmät .....	51
4.2 Rikastushiekan mineralogia.....	52
4.3 Rikastushiekan kemiallinen koostumus .....	53
4.4 Vaaraominaisuudet .....	55
4.5 Haponmuodostus- ja neutralointipotentiaali .....	56
4.6 Rikastushiekka-alueiden suotovedet .....	57
4.6.1 Tryptofaanimittaukset 2024 .....	67
4.7 Rikastushiekan pitkäaikaiskäyttäytyminen.....	67
4.7.1 Kosteuskammiotestien tulokset .....	68
4.7.2 Suotovesien sulfaattipitoisuuden käyttäytymisen arviointi pitkällä aikavälillä.....	71
4.7.3 Tulosten vertailu suotovesiin .....	75
4.8 Yhteenveto sulfaatin, typen ja fosforin käyttäytymisestä.....	76
4.8.1 Typpi .....	76
4.8.2 Fosfori .....	77
4.8.3 Sulfaatti .....	78
5 Tulosten yhteenveto, epävarmuustarkastelu ja jatkosuositukset.....	80
5.1 Tulosten yhteenveto.....	80
5.2 Tutkimusten tulokset ja niiden tulkinta .....	81
5.3 Epävarmuustekijöiden tarkastelu.....	81
5.3.1 Kineettisten testien skaalaus .....	81
5.3.2 Rakennemateriaalien ja mikrobitoiminnan vaikutus .....	82
5.4 Tarkkailun kehittäminen .....	83
5.5 Jatkotoimenpidesuositukset .....	83
Lähteet.....	85

# Liitteet

**Liite 1 Yara Siilinjärvi Static and Kinetic Testing, Geochemic Ltd, 15.11.2024**

**Liite 2 Yara Siilinjärvi ASTM D 5744-18 Humidity Cell Testing, Geochemic Ltd, 21.2.2025**

**Liite 3 Ansanmäen 3D-mallinnuksen poikkileikkaukset, Envineer Oy, 14.8.2025**

**Liite 4 Tryptofaanimittaukset 22.11.2024**

# Tiivistelmä

Tämä selvitys tarkastelee Yaran Siilinjärven kaivoksen sivukivi- ja rikastushiekka-alueiden käyttäytymistä ja niiden kuormituspotentiaalia pitkällä aikavälillä. Arvio perustuu kaivannaisjätteiden ominaisuuksien tutkimiseen, laboratoriokokeisiin sekä suotovesien tarkkailuun. Tutkimuksissa selvitettiin erityisesti sulfaatin, typen ja fosforin käyttäytymistä, sillä nämä ovat tunnistettu kaivoksen keskeisiksi haitta-aineiksi.

Sivukivet koostuvat pääosin kivilajeista, joiden rikkipitoisuus on hyvin alhainen, minkä vuoksi ne eivät muodosta hapanta valuntaa. Suotovedet ovat neutraaleja tai lievästi emäksisiä, mutta sulfaattipitoisuudet voivat kohota tuoretta sivukiveä läjittäessä ja pysyä koholla pitkään suurten läjitysmäärien vuoksi. Typen kuormitus liittyy pääasiassa räjähdettäisiin, jotka huuhtoutuvat nopeasti läjityksen jälkeen, mutta kokonaiskuormitus voi jatkua pitkään, koska läjitysmassat ovat suuria. Fosforin liukeneminen on vähäistä ja pitoisuudet pysyvät alhaisina.

Rikastushiekka on hienojakoista ja sisältää prosessikemikaalien jäämiä, mikä tekee siitä alttiimman liukoisuudelle kuin sivukivi. Sulfaatti on merkittävin kuormitustekijä rikastushiekassa, ja sen pitoisuudet suotovesissä voivat vaihdella läjityksen iän ja olosuhteiden mukaan. Typen pitoisuudet ovat korkeampia aktiivisilla läjitysalueilla ja pienenevät ajan myötä. Fosforin osalta pitoisuudet ovat pääosin alhaisia, mutta paikoin on havaittu nousua, mikä voi liittyä rikastushiekan lisäksi myös jätealueen maaperään ja patomateriaaleihin.

Kaiken kaikkiaan sivukiven ja rikastushiekan kuormituspotentiaali on suurimmillaan läjityksen alkuvaiheessa ja vähenee ajan kuluessa. Sulfaatti ja typpi voivat aiheuttaa kuormitusta vielä pitkään toiminnan päättymisen jälkeenkin. Kuormitusta voidaan kuitenkin rajoittaa jätealueiden sulkemistoimenpiteillä. Fosforin osalta kuormituspotentiaali on vähäinen. Selvityksen tulokset tukevat käsitystä, että jätteiden käyttäytyminen on ennustettavissa ja hallittavissa asianmukaisilla tarkkailu- ja hallintatoimenpiteillä.

# 1 Johdanto

Itä-Suomen aluehallintovirasto on 22.6.2021 antanut Yara Suomi Oy:lle ympäristölupapäätöksen nro 74/2021 Siilinjärven kaivoksen ympäristöluvan olennaiseksi muuttamiseksi kaivoksen toiminnan osalta sekä vesitalousluvan Jaakonlammen kuivattamiseksi. Ympäristöluvassa on annettu lupamääräys 44 a, jonka yhtenä osakokonaisuutena on luvan saajalle määrätty velvollisuus laatia selvitys sivukivialueiden ja rikastushiekka-alueiden fosfori-, typpi- ja sulfaattikuormituspotentiaalista ja sen pitkäaikaisesta kehityksestä. Ympäristöluvasta valitettiin Vaasan hallinto-oikeuteen. Lupamääräyksessä 44 a annettu kahden vuoden määräaika alkoi kulumaan Vaasan hallinto-oikeuden ratkaistua valituksen alaisen päätöksen.

Tässä selvityksessä on esitetty arvio kaivannaisjätealueiden fosfori-, typpi- ja sulfaattikuormituksen potentiaalista ja sen kehityksestä kaivoksen toiminnan aikana. Arvio perustuu kaivannaisjätealueiden sekä kaivannaisjätteiden tutkittuihin ominaisuuksiin. Selvitystä varten kaivannaisjätteiden ominaisuuksia ja käyttäytymistä on tutkittu aiempaa tarkemmin. Kaivannaisjätteiden jatkuvaa tarkkailua on kehitetty siten, että toteutetut tutkimukset ovat jääneet osittain osaksi jatkuvaa tarkkailua. Tutkimusten tulokset on myös kuvattu tässä asiakirjassa sekä esitetty liitemateriaalina.

## 2 Selvityksen toteutus

Selvitystä varten tutkittiin olemassa oleva aineisto kaivannaisjätteistä, joka on esitetty kaivannaisjätteen jätehuoltosuunnitelmassa 30.1.2020, ja suotovesien tarkkailutuloksista sekä hankittiin uutta tietoa kaivannaisjätteistä sekä jätealueiden suotovesistä. Kaivannaisjätteistä tutkittiin niiden kemiallista koostumusta, haponmuodostuspotentiaalia sekä pitkäaikaista käyttäytymistä staattisin ja kineettisin testein. Sivukivialueelle rakennettiin lysimetri syksyllä 2024, joka täytettiin sivukivellä, jotta voidaan tarkkailla tarkemmin tuoreesta sivukivestä muodostuvan suotoveden laatua. Muiden suotovesien laadun tarkkailua laajennettiin niin, että se pitää sisällään myös raskasmetallit. Raskasmetallien tarkkailua tehtiin selvityksen ajan, jotta selvitystä varten saatiin tarvittavaa lähtötietoa suotoveden raskasmetallipitoisuuksista. Raskasmetalleista kobolttin on sovittu olevan toistaiseksi mukana rikastushiekka-alueiden suotovesien tarkkailussa, muiden raskasmetallimääritysten osalta niiden analysoinnin jatkamisen tarve tarkastellaan vuoden 2025 lopussa. Tehtyjen tutkimusten avulla saadaan tietoa kaivannaisjätteiden rapautumisesta ja pitkäaikaikäkäyttäytymisestä, jolloin voidaan paremmin ymmärtää niiden vaikutus muodostuviin suotovesiin ja sitä kautta vesistökuormitukseen nykytilanteessa ja pitkällä aikavälillä. Tutkimuksissa haluttiin tarkastella erityisesti sulfaatin, typen ja fosforin käyttäytymistä, mutta samalla saatiin arvokasta tietoa myös muista alkuaineista ja yhdisteistä.

Kaivannaisjätteiden kineettinen testaus kosteuskammiokekein tehtiin huhtikuun 2024 ja elokuun 2024 välisenä aikana. Kosteuskammiotestit tehtiin kahdelle rikastushiekkanäytteelle, viidelle läjitysalueen kiviälynteelle, joista neljä näytettä oli sivukiveä ja yksi oli komposiitti (kokoomanäyte). Kosteuskammiotestit tehtiin yleisimmille sivukivilajeille ja parhaiten sivukivialueen kokonaisuutta kuvaavalle kokoomanäytteelle. Geochemic Ltd:n toteuttamien staattisten ja kineettisten testien tulokset on esitetty liitteissä 1 ja 2.

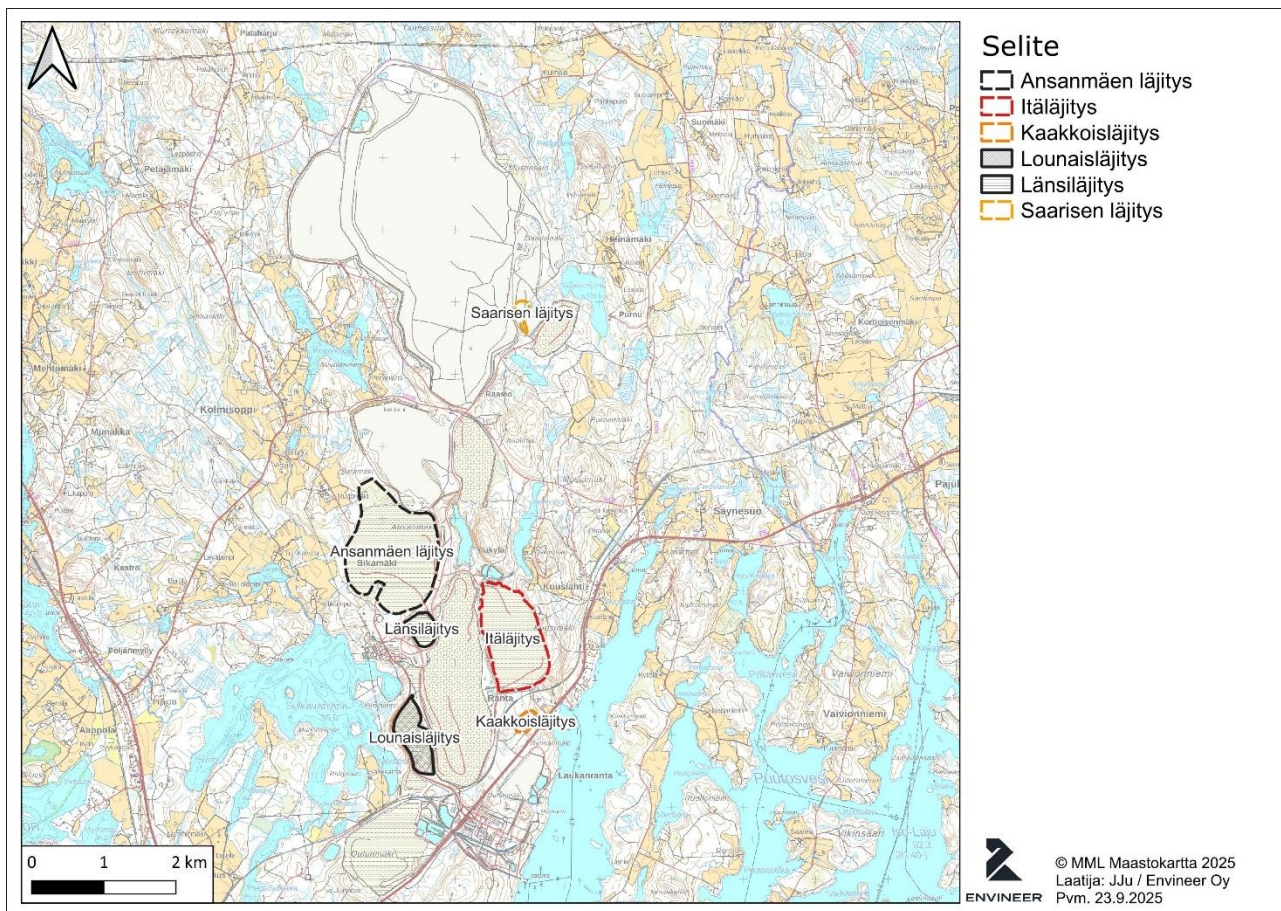
Ansanmäen sivukivialueesta luotiin vuositason 3D-malli aikavälille 2003–2024, jotta voitiin paremmin hahmottaa, miten sivukivien läjitys on toteutettu ja miten eri sivukivilajien suhteet vaihtelevat vuosittain. Jokaiselle mallinnetulle vuodelle laskettiin louhoksesta räjäytettyjen kenttien 3D-mallin, kaatonumeroiden ja kuormakirjojen ajopaikkatiedon perusteella läjitettyjen kivilajien määrä. Läjitystietoa voidaan verrata pitkän ajan suotovesitarkkailuun. Muiden sivukivialueiden läjitys on toteutettu vastaavilla periaatteilla Ansanmäen sivukivialueen tavoin, joten vuositason 3D-malli luotiin tässä vaiheessa vain Ansanmäen läjitysalueelle. 3D-mallin avulla luodut poikkileikkaukset on esitetty liitteessä 3.

# 3 Sivukivialueet

## 3.1 SIVUKIVIEN LÄJITYSALUEET

Sivukiviä läjitetään kaivosalueella oleville sivukiven läjitysalueille. Tällä hetkellä käytössä ovat pääosin Ansanmäen läjitysalue sekä Itäläjäytys ja Saarisen läjitysalue. Lounaisläjäytyksen alueelle välivarastoidaan hyödynnettäviä sivukiviä, luoteisläjäytystä käytetään puhtaiden moreenimaiden välivarastointiin. Luoteisläjäytys sijaitsee Ansanmäen yhteydessä. Lounaisläjäytyksen eteläosan maisemoitua on käytetty betoni-, tiili- ja asfalttijätteen välivarastointiin. (Yara 2020) Nykyisellään nämä jakeet toimitetaan luvalliseen vastaanottopaikkaan. Länsiläjäytys on ollut aiemmin malmipitoisten sivukivien läjitysalue, joita on hyödynnetty rikastamalla sekä osittain alueella olleet sivukivet on siirretty muille läjitysalueille. Nykyisellään länsiläjäytyksen aluetta käytetään osittain malmin välivarastointiin sekä louhoksen tukitoimintojen alueena. Sivukivialueet ovat esitetty alla olevassa kuvassa. Sivukivialueilla ei ole rakennettu erillisiä tiiviitä pohjarakenteita. Sivukiviä hyödynnetään mahdollisuuksien mukaan toiminnanharjoittajan omassa toiminnassa, esimerkiksi kaivosalueen pato- ja tierakenteissa, sekä ulkopuolisissa maanrakennuskohteissa. Louhittavasta sivukivestä noin 10–30 % vuosittain hyödynnetään pääosin omassa toiminnassa.

Sivukivien lisäksi läjitykseen päätyy jatkuvasti jonkin verran malmia. Hyödynnettävässä malmimineralisaatiossa on sivukivisulkeumia ja -juonia, joita erotellaan räjäytyssuunnittelun ja selektiivisen lastauksen avulla sivukiviläjäytykseen. Räjäytyssuunnittelusta ja selektiivisestä lastauksesta huolimatta jonkin verran malmikiveä päätyy sivukiviläjäytykseen (ns. ”malmitappio”).



Kuva 1. Läjitysalueet Yara Siilinjärven kaivosalueella.

Vuoden 2024 loppuun mennessä aktiivisille läjitysalueille eli Ansanmäen sivukivialueelle oli läjitetty noin 44 Mm<sup>3</sup> sivukiveä, Itäläjitykselle noin 38 Mm<sup>3</sup> ja Saarisen läjitysalueelle noin 2,6 Mm<sup>3</sup>.

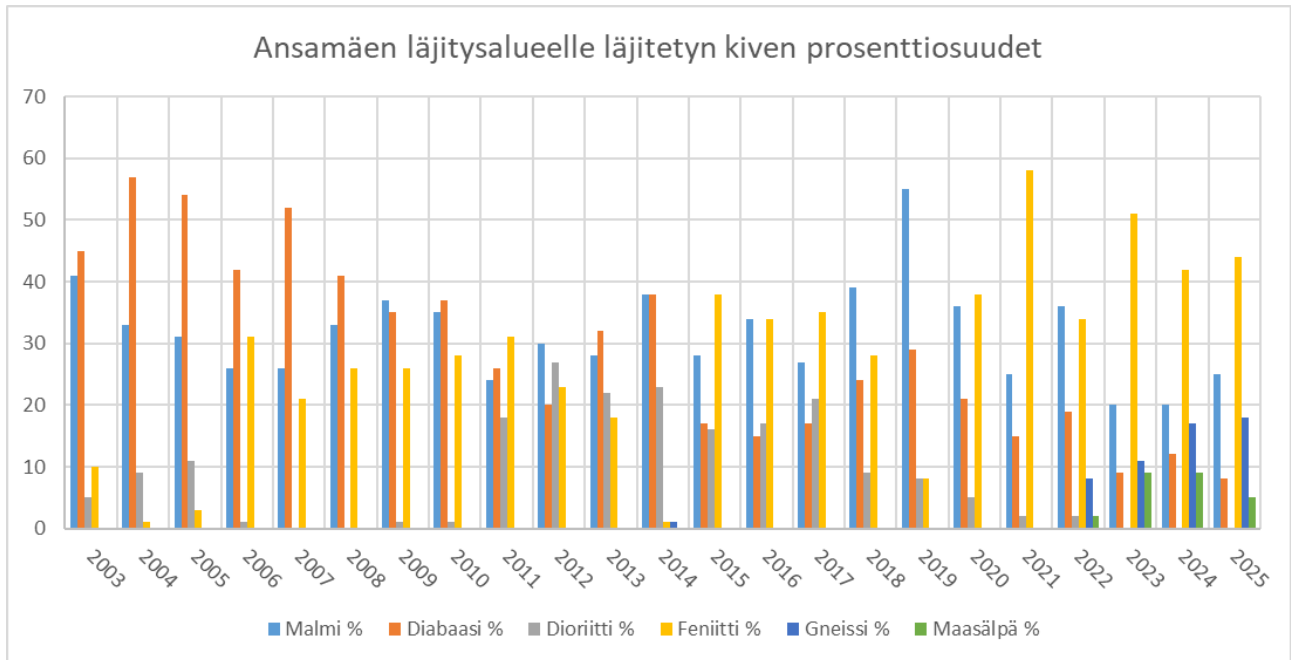
### 3.1.1 ANSANMÄEN 3D-MALLI

Ansanmäen sivukiven läjitysalueelle laadittiin vuosittaisen kerrosmallin avulla vuosittain läjitetystä sivukivestä. 3D-malli toteutettiin saatavilla olevan digitaalisen tiedon avulla vuosille 2003–2024. Ennen vuotta 2003 läjitetyt sivukivet on kuvattu alkukerrosena. 3D-mallin avulla voidaan tarkastella läjitettyjen sivukivien ikää, laatua ja sijaintia Ansanmäen sivukivialueella.

Ansanmäen sivukiven läjitysalueelle läjitetyt sivukivet ja eri sivukivilajien prosenttiosuudet vuodesta 2003 lähtien on esitetty taulukossa (**Taulukko 1**). Vuodesta 2003 lähtien Ansanmäen läjitysalueelle on läjitetty keskimäärin eniten malmia (32 %), joka päättyy sivukiven mukana kasalle, sekä diabaasia (29 %) ja feniittiä keskimäärin 27 % läjitetystä sivukivestä. Muilta läjitysalueilta vastaavaa tietoa ei ollut vielä koottu.

Läjitysalueelle läjitetyn malmin prosenttiosuus on selkeästi pienentynyt vuosina 2023–2025, kuten myös diabaasin osuus. Dioriittiä ei ole läjitetty vuoden 2023 jälkeen. Feniitin osuus läjitetystä sivukivestä on kasvanut merkittävästi vuoden 2021 jälkeen. Gneissia on läjitetty vuonna 2014 ja

vuodesta 2022 lähtien enenevässä määrin. Maasälvän läjittäminen on alkanut vuonna 2022, mutta osuus kaikesta sivukivestä on ollut < 10 % vuosittain.



Kuva 2. Ansamäen läjitysalueelle läjitettyjen sivukivien prosenttiosuudet ja niiden kehitys vuoden 2003 jälkeen.

Taulukko 1. Ansamäen läjitysalueelle läjitettyjen kivilajien jakauma vuodesta 2003 lähtien.

Vuosi	Tonnit	Malmi %	Diabaasi %	Dioriitti %	Feniitti %	Gneissi %	Maasälpä %
2003	58 829	41	45	5	10		
2004	297 963	33	57	9	1		
2005	1 192 726	31	54	11	3		
2006	891 263	26	42	1	31		
2007	409 718	26	52	0	21		
2008	1 487 422	33	41	0	26		
2009	2 208 704	37	35	1	26		
2010	2 587 212	35	37	1	28		
2011	1 415 673	24	26	18	31		
2012	4 990 163	30	20	27	23		
2013	4 515 146	28	32	22	18	0	
2014	184 542	38	38	23	1	1	
2015	6 437 961	28	17	16	38	0	
2016	10 863 531	34	15	17	34	0	0
2017	9 340 744	27	17	21	35	0	0
2018	4 667 783	39	24	9	28	0	
2019	2 870 277	55	29	8	8	0	
2020	4 693 417	36	21	5	38	0	
2021	5 543 962	25	15	2	58		
2022	4 509 544	36	19	2	34	8	2
2023	6 071 758	20	9	0	51	11	9
2024	8 477 174	20	12	0	42	17	9
2025	4 243 425	25	8	0	44	18	5

Ansamäen läjitysalueelle läjitetystä sivukivestä on tehty 3D-läjitysmallinnus. Historiallisen sivukiven läjitysmallinnus perustuu räjäytettyjen kenttien eli kaatokarttojen paikkatietoon (tietoa olemassa vuodesta 2000 lähtien), Kaatojen yksilöiviin numeroihin ja päivittäisiin kuormakirjauksiin kaadoista lastattujen kivien määristä ja ajokohteista vuodesta 1993 lähtien (yksilöityinä kaatonumeroilla).

Lisäksi työssä hyödynnettiin kairasydäntietoon perustuvaa kivilajiyksiköiden 3D-mallia, mistä kivilajitieto on ajettu kaivoksen pitoisuusblokkimalliin. Digitaalisten kaatokarttojen saatavuuden ja luotettavuuden takia mallinnustyö on tehty vuosien 2003–2025 aikana räjäytetyille ja läjitetyille kiville. Lastattujen kivien määrän validoinnissa on hyödynnetty myös rikastamon syötetonneja ja urakoitsijan laskutustietoja kiven kuljetuksesta.

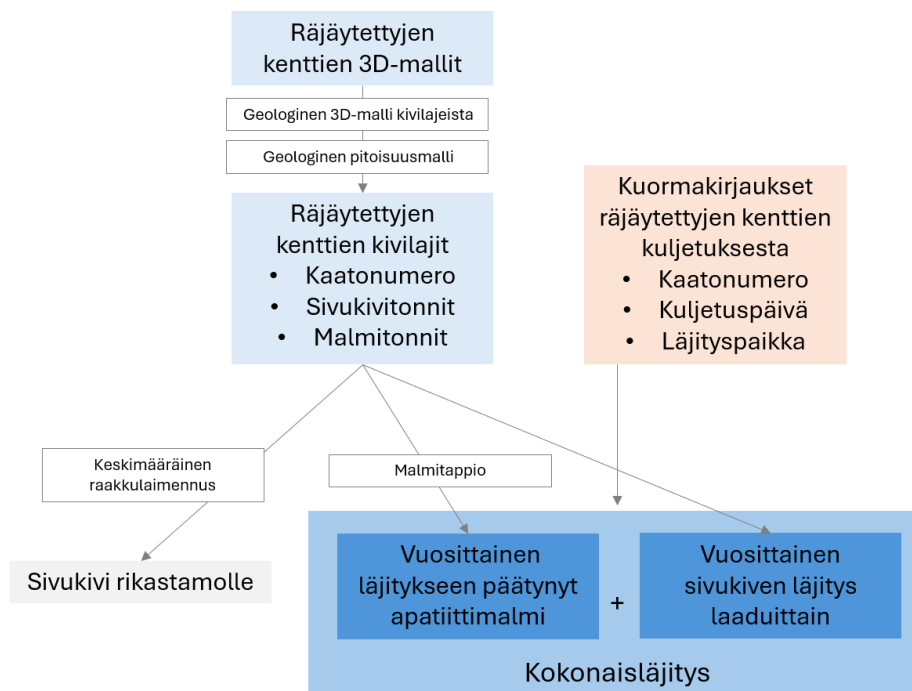
Kuvassa (**Kuva 3**) on havainnollistettu mallinnustyön kulku. Mallinnustyö aloitettiin kaatokarttojen 3D-mallinnuksella. Räjäytettyjä kenttiä oli kaikkiaan 1219 kpl, joista jokaiselle on tehty oma mallinsa. Mikäli kenttien korkotieto oli puutteellista, käytettiin räjäytetyille kentälle oletuskorkeutta 14 m.

Kaatojen kivilajitietojen raportoinnissa jokaisen kaadon 3D-mallista on ajettu blokkimalliraportti, josta saadaan tonnimääräinen jakauma kaadon sisältämistä kivilajeista. Jokaiselle kaadolle on edelleen blokkimallista ajettu mallinnettu malmitappiotieto, eli käytännössä apatiittimalmi, joka on päätyntä sivukiven mukana läjitykseen. Lisäksi jokaiselle kaadon kivilajille on laskettu keskimääräinen

blokkimalliin mallinnettu raakkulaimennus. Eli käytännössä tieto siitä, kuinka suuri prosenttiosuus kyseistä sivukiveä on päätyntä apatiittimalmin mukana rikastamolle. Tämän jälkeen kaatojen kivilajitiedot on koottu yhteen, yksilöivänä tekijänä kaatonumero.

Läjitettyjen kivilajien tonnimääräinen laskenta ja raportointi aloitettiin yhdistämällä kaatojen kivilajitieto kuormakirjojen ajopaikkatietoon. Koottu kivilajitieto on yhdistetty kaatonumeron perusteella kuormakirjoista saataviin ajokohteisiin, eli sivukiven osalta läjityspaikkoihin. Kaatonumerointi on ollut systemaattinen läpi raportointijakson, vaikka kuormankirjauksessa on ollut vaihtelua.

Malmitappio ja raakkulaimennus yhdistettiin läjitykseen ajatun sivukiven tietoon siten, että läjitykseen ajatun materiaalin mukaan on laskettu kaadon keskimääräisen malmitappion mukainen määrä apatiittimalmia. Edelleen jokaisen kaadon laskennalliset raakkulaimennustonnit on vähennetty läjitykseen menevistä tonneista. Danan validointi on suoritettu vertaamalla 3D-malleista saatua laskennallista ajettujen sivukivien tonnitietoa kuormakirjojen tonnitietoihin; kiven kuljetuksen laskutustietoihin; ja rikastamon syötetonneihin ja kokonaislouhintaan.



Kuva 3. Mallinnustyön kulku

Ansanmäen 3D-mallin perusteella tehtiin 11 poikkileikkausta Ansanmäen sivukivialueelle läjitettyjen sivukivien tarkastelun tueksi. Itä-Länsi -suuntaisia poikkileikkauksia tehtiin kuusi kappaletta ja pohjois-etelä -suuntaisia poikkileikkauksia viisi kappaletta. Asemapiirustus ja poikkileikkaukset on esitetty liitteessä 3 ja kuvattu sanallisesti alla.

## **Itä-Länsi -suuntaiset poikkileikkaukset**

Pohjoisimman poikkileikkauksen A alueella aikaisimmin läjitetyt sivukivet ovat vuodelta 2016. 2016 läjitetyt sivukivet sijoittuvat Ansanmäen läjitysalueen länsiosaan. Myöhemmin läjitetyt sivukivet on läjitetty vuonna 2016 läjitettyjen sivukivien päälle ja vuoden 2021 jälkeen läjitystä on toteutettu myös Ansanmäen läjitysalueen itäreunaan poikkileikkauksen A alueella.

Poikkileikkauksen B alueella on läjitetty kiviä vuodesta 2012 lähtien. Vuosina 2012–2014 syntynyttä sivukiveä on läjitetty poikkileikkauksen kohdalla Ansanmäen läjitysalueen itäreunaan siten, että pääosa sivukivestä on läjitetty vuosina 2012 ja 2013. Poikkileikkauksen B länsireunassa läjitetty sivukivimateriaali on pääosin samankaltaista kuin poikkileikkauksen A alueella. Vuonna 2016 läjitetyt sivukivet ovat pohjalla ja myöhemmin läjitetyt sivukivet näiden päällä. Poikkeuksena poikkileikkaukseen A on se, että vuonna 2024 louhittu sivukivi on läjitetty vuonna 2023 louhitun sivukiven päälle.

Poikkileikkauksen C läjitys on hyvin samankaltainen kuin poikkileikkauksessa B. Merkittävimpanä erona on se, että poikkileikkauksen itäosaan on läjitetty myös vuosina 2015–2018 louhittua sivukiveä. Myös poikkileikkauksen C keskiosa eroaa poikkileikkauksesta B. Poikkileikkauksen C keskiosissa 2024 läjitetty sivukivi on läjitetty suoraan vuonna 2017 louhitun sivukiven päälle, kun poikkileikkauksen B alueella vuonna 2017 läjitetyn sivukiven päällä on pääosin vuosina 2021 ja 2023 läjitettyä sivukiveä.

Poikkileikkauksen D profiili muistuttaa poikkileikkausta C. Poikkileikkauksen itäosassa erona on se, että vanhimmat läjitetyt sivukivet ovat vuodelta 2011, jota on läjitetty poikkileikkauksen kohdalle verrattain paksusti. Poikkileikkauksen D keskiosissa on pääosin vain 2017 läjitettyä sivukiveä ja sieltä puuttuu poikkileikkaus C:ssä nähty 2024 läjitetyn sivukiven kerros. Poikkileikkauksen D länsiosan läjitys on lähes identtinen poikkileikkauksen C kanssa.

Poikkileikkauksen E profiili muistuttaa poikkileikkauksia C ja D. Merkittävin ero on poikkileikkauksen itäosa, missä vanhimmat läjitetyt sivukivet ovat vuodelta 2007. Poikkileikkauksen E profiilin keskiosassa erona on se, että pohjalla ei ole yhtenäistä, tietynä vuotena läjitettyä kerrosta, vaan pohjakerroksena vaihtelee vuosina 2015–2017 läjitettyä sivukiveä. Profiilin länsiosassa läjitys on lähes identtinen poikkileikkausten C ja D kanssa.

Poikkileikkaus F Ansanmäen läjitysalueen eteläosassa eroaa huomattavasti muista profiileista. Profiilin keskiosaan läjitetty sivukivi on vanhempaa kuin 2003 läjitetty. Profiilin itäosassa on vuosina 2004–2006 ja vuonna 2013 läjitettyä sivukiveä. Profiilin länsiosassa puolestaan on vuosina 2015–2017 ja 2019 läjitettyä sivukiveä.

## **Pohjois-Etelä -suuntaiset poikkileikkaukset**

Poikkileikkauksen H alueella alimmat läjitetyt sivukivet ovat pääosin vuodelta 2016, mutta profiilin eteläosassa vuodelta 2015. Näiden kerrosten päälle on läjitetty uudempia sivukiviä melkein pä vuosittaisessa järjestyksessä. Vuonna 2024 läjitettyä sivukiveä on vähemmän ja ne on läjitetty päällimmäisiksi profiilin pohjoisosaan. Ylimmillään 2024 läjitetyt sivukivet ovat tasolla +190 m.

Profiili I on pääosin samankaltainen kuin profiili H. Profiililla I 2024 läjitettyä sivukiveä on vähemmän kuin profiililla H ja läjityskorkeus on maksimissaan tasolla + 180 m. Huomionarvoista on se, että profiililla I pohjoisosaan on laajennettu aluetta vuonna 2024 läjitetyllä sivukivellä. Profiililla J eteläosaan läjitetyt sivukivet ovat aiemmin läjitettyjä, kuin profiililla I. Profiililla J läjityskorkeus on maksimissaan sama kuin profiililla I. Huomionarvoista on lisäksi se, että profiililla J sekä etelä, että pohjoisosassa on läjitetty alimmaksi kerrokseksi vuonna 2024 louhittua sivukiveä.

Profiililla K alimmat sivukivet ovat vanhempia kuin sen länsipuolisissa pohjois-etelä suuntaisissa poikkileikkauksissa. Profiililla K maksimi läjityskorkeus on > 190 m ja siten korkeampi kuin muilla pohjois-etelä suuntaisilla poikkileikkauksilla. Myös profiilin K pohjoisosassa on läjitetty alimmaksi kerrokseksi vuonna 2024 louhittua sivukiveä.

### Yhteenveto

Ansanmäen läjitysalueen 3D-mallin perustuvien poikkileikkaustarkastelujen perusteella louhinta ajankohdaltaan vanhimmat tarkastellut sivukivijakeet on läjitetty Ansanmäen läjitysalueen eteläosaan. Louhinta ajankohdaltaan uusimmat (2022–) sivukivet on läjitetty pääosin Ansanmäen itäosaan. Lisäksi vuonna 2024 louhittua sivukiveä on läjitetty alimmaksi Ansanmäen läjitysalueen koillis- ja kaakkoisosiin, laajentaen läjitysalueita.

Luvussa 3.6 kuvassa (**Kuva 5**) on esitetty sivukivialueiden suotovesien tarkkailupisteet. Ansanmäen puron tarkkailupiste sijoittuu hieman etelämmäs, kuin mihin louhinta ajankohdaltaan uusimmat (2022–) sivukivet on läjitetty.

## 3.2 LÄJITETTYJEN KIVIEN MINERALOGIA

Siilinjärven kaivoksen sivukivien mineraloginen ja kemiallinen koostumus on esitetty Siilinjärven kaivoksen vuonna 2020 päivitettyssä kaivannaisjätteen jätehuoltosuunnitelmassa. Alla on esitetty sivukivien mineraloginen ja kemiallinen koostumus. Sulfideja ei esiinny kaivoksen sivukivissä merkittäviä määriä. Rikki (S) pitoisuus kaikkien sivukivien osalta on alle 0,1 %. (Yara 2020)

### Feniitti

- päämineraalit: kalimaasälpä, plagioklaasi, pyrokseenit, ambifolit
- aksessoriset: biotiitti, muskoviitti, karbonaatit, titaniitti, zirkoni, rikkikiisu, magneettikiisu, magnetiitti, ilmeniitti
- kemiallinen koostumus: SiO<sub>2</sub> 59.0%, CaO 3.1%, MgO 4.0%, K<sub>2</sub>O 7.0%, Na<sub>2</sub>O 3.5, FeO<sub>tot</sub> 4%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 14.5%
- Ominaispaino 2.7 t/m<sup>3</sup>

### Tonaliitti/Dioriitti

- päämineraalit: plagioklaasi, kvartsi, biotiitti
- aksessoriset: epidootti, amfibolit, vaihtelevasti kvartsi, titaniitti, biotiitti, karbonaatti, magnetiitti

- kemiallinen koostumus: SiO<sub>2</sub> 57.4%, CaO 4.0%, MgO 6.8%, K<sub>2</sub>O 5.4%, Na<sub>2</sub>O 4.6%, FeO<sub>tot</sub> 7.2%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 16.8%
- Ominaispaino 2.8 t/m<sup>3</sup>

#### Gneissi

- päämineraalit: plagioklaasi, kvartsi, biotiitti, ambifolit
- aksessoriset: epidootti, kloriitti, titaniitti, apatiitti, muskoviitti, zirkoni, karbonaatti
- kemiallinen koostumus: SiO<sub>2</sub> 57.0%, CaO 6.0%, MgO 3.5%, K<sub>2</sub>O 2.0%, Na<sub>2</sub>O 5.5%, FeO<sub>tot</sub> 7.0%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 17.0%
- Ominaispaino 2.8 t/m<sup>3</sup>

#### Diabaasi

- päämineraalit: ambifolit, plagioklaasi, pyrokseenit, biotiitti
- aksessoriset: epidootti, rikkikiisu, magnetiitti, titaniitti, apatiitti, zirkoni
- kemiallinen koostumus: SiO<sub>2</sub> 46.8%, CaO 7.7%, MgO 7.1%, K<sub>2</sub>O 1.3%, Na<sub>2</sub>O 3.2%, FeO<sub>tot</sub> 13.0%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 15.6%
- Ominaispaino 3.1 t/m<sup>3</sup>

#### Malmi

- päämineraalit: flogopiitti, karbonaatit, apatiitti, amfibolit
- aksessoriset: mm. magnetiitti, talkki, zirkoni, maasälvät, sulfidit
- kemiallinen koostumus: SiO<sub>2</sub> 29%, CaO 16%, MgO 16%, Co<sub>2</sub> 9%, K<sub>2</sub>O 8%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 7%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 7%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 4%, Ns<sub>2</sub>O 0,4%
- ominaispaino 3.0 t/m<sup>3</sup>

## 3.3 SIVUKIVIEN KEMIALLINEN KOOSTUMUS

### 3.3.1 KUNINGASVESIUUTTO

Kaivannaisjätteiden kokonaispitoisuudet on määritetty käyttäen kuningasvesiuuttoa sekä monialkuainemäärittystä. Kuningasvesiuutossa valtaosa kaivannaisjätteestä liukenee, joten uutosta mitattuja kokonaispitoisuuksien voidaan Yaran Siilinjärven kaivannaisjätteiden tapauksessa todeta edustavan näytteen kokonaispitoisuutta.

Sivukivinäytteiden kuningasvesiuuttoisia kokonaispitoisuuksia on verrattu valtioneuvoston maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnin asetuksen (ns. PIMA-asetus VNa 214/2007) mukaisiin kynnys- ja ohjearvoihin. Vertailun perusteella yhdenkään sivukivinäytteen pitoisuus ei ylitä PIMA-asetuksen mukaisia kynnysarvoja ja sivukivet voidaan luokitella pysyväksi jätteeksi. Sivukivi on myös voimassa olevassa ympäristöluvassa (nro 74/2021 ISAVI/1499/2019) luokiteltu pysyväksi tavanomaiseksi jätteeksi.

Taulukko 2. Sivukivinäytteiden ympäristölle haitallisten hivenmetallien ja arseenin kuningasvesiliukoiset kokonaispitoisuudet. Kuningasvesiliukoisten pitoisuuksien vertailuarvoina on esitetty valtioneuvoston maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnin asetuksen (ns. PIMA-asetus VNa 214/2007) ohjearvot. PIMA-asetuksessa ei ole määritely ohjearvoja molybdeenille.

	Sb	As	Hg	Cd	Co	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	V	Mo*
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Kynnysarvo mg/kg	2	5	0,5	1	20	100	100	60	50	200	100	
alempi ohjearvo mg/kg	10	50	2	10	100	200	150	200	100	250	150	5
ylempi ohjearvo mg/kg	50	100	6	20	250	300	200	750	150	400	250	200
Itälaidan feniitti, Särkijärvi	0,025	0,109	<0,01	0,058	2,11	3,8	6	2,88	3	11,8	10,7	0,445
Itälaidan feniitti, Särkijärvi 2	0,025	0,076	<0,01	0,063	2,07	3,5	5,9	2,87	2,9	11,7	10,7	0,468
A-raakku (diabaasi ja dioriitti), Särkijärvi	0,032	0,031	<0,01	0,041	12,6	14	88,8	1,03	16	36,7	58	0,958
Itälaidan feniitti, Jaakonlampi	<0,02	<0,01	<0,01	0,047	1,29	3,4	4,2	2,9	2,6	5,4	6,5	0,346
Maasälpäjuoni, Jaakonlampi	<0,02	0,047	<0,01	0,118	0,768	1,7	1,3	19,6	3,5	15,4	1,6	0,266
Länsilaidan graniittigneissi, Jaakonlampi	0,021	<0,01	<0,01	0,014	4,52	22,3	8,6	1,66	9	33,7	16,4	0,636

\*SAMASE-ohjearvot

### 3.3.2 NELIHAPPOUTTO

Kosteuskammiotesteihin lähetettyjen näytteiden peruskarakterisoinnin osana käytettiin nelihappouuttoa (ASTM E2941-21). Nelihappouutto on hajotusmenetelmänä kuningasvesiuuttoa tehokkaampi, minkä vuoksi menetelmä voi tuottaa kuningasvesiuuttoa suurempia pitoisuuksia. Nelihappouutossa käytetään suolahappoa (HCl), typpihappoa (HNO<sub>3</sub>), vetyfluoridihappoa (HF) ja kloorihappoa (HClO<sub>3</sub>).

Nelihappouuton tuloksia verrataan tässä myös PIMA-asetuksen (214/2007) mukaisiin kynnys- ja ohjearvoihin, vaikka vertailu ei olekaan suoraan kaivannaisjäteasetuksen 190/2013 liitteen 1 mukainen menettely. Nelihappouuton tulosten vertaamista kuningasvesiuuttoon perustuviin raja-arvoihin voidaan kuitenkin pitää konservatiivisena lähestymistapana, sillä nelihappouutto on pääosin uuttona ”ylitehokas” tähän käyttötarkoitukseen. Nelihappouutto on malminetsinnässä vakiintunut analyysimenetelmä XRF-menetelmän lisäksi, koska malminetsinnässä halutaan tietää kokonaiskoostumus eikä osittaisliuotuksen tulosta kiven alkuainekoostumuksesta. Tähän liittyy nelihappouuton käyttö kaivannaisjätteiden kokonaispitoisuuksien arvioinnissa. Esimerkiksi rikastushiekan ja malmin tutkiminen yhteisellä menetelmällä voi helpottaa kokonaisuuden hallintaa. Koska tällöin yhteisen menetelmän käyttämisellä on helpompi arvioida malmin vaihtelun vaikutusta rikastushiekan laatuun.

Nelihappouuton tulokset on esitetty taulukossa (Taulukko 3). Kobolttipitoisuuden osalta havaittiin PIMA-asetuksen kynnysarvon ylitys diabaasi- ja sivukiven komposiitti näytteissä. Sivukiven komposiittinäytteessä myös vanadiinin pitoisuus ylitti PIMA-asetuksen kynnysarvon.

Diabaasinäytteessä havaittiin useampia PIMA-asetuksen kynnysarvon ylityksiä, mm. kuparin ja nikkelin osalta, lisäksi vanadiinipitoisuus ylitti PIMA-asetuksen ylemmän ohjearvon.

Taulukko 3. Yara Siilinjärven kosteuskammiotestien sivukivinäytteiden nelihappouton tulokset.

	Sb	As	Hg	Cd	Co	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	V	Mo*
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Kynnysarvo mg/kg	2	5	0,5	1	20	100	100	60	50	200	100	
alempi ohjearvo mg/kg	10	50	2	10	100	200	150	200	100	250	150	5
ylempi ohjearvo mg/kg	50	100	6	20	250	300	200	750	150	400	250	200
GCL0231-001 Feniitti	0,05	0,1	0,005	0,09	9,3	35	19,4	4	11,5	50	83	0,35
GCL0231-002 Graniittigneissi	0,05	0,2	0,005	0,02	6	25	12,4	15,4	9,6	36	43	0,75
GCL0231-003 Dioriitti	0,05	0,1	0,005	0,06	9,8	50	23,8	6,8	15,4	58	49	0,95
GCL0231-004 Diabaasi	0,05	0,1	0,008	0,11	41,3	76	178,5	5,2	53,9	117	329	0,83
GCL0231-005 Kokooma	0,05	0,1	0,005	0,09	21,3	47	57,8	5,6	23,5	72	139	0,58

\*SAMASE-ohjearvot

### 3.4 VAARAOMINAISUUDET

Sivukivien jäteluokituksen tarkastelu tehdään suhteessa ympäristövaaraominaisuuteen H14. Sivukivien ympäristölle vaarallisten ominaisuuksien tarkastelu tehdään ympäristöministeriön oppaan ”Jätteen luokittelu vaaralliseksi jätteeksi – päivitetty opas 02/2019” kriteerien mukaisesti (**Kuva 4**). Lisäksi käytetään oppaan liitteen 9 eri metalleille annettuja vaarallisen jätteen pitoisuusrajoja ja yhteenlaskussa huomioitavia pitoisuusrajoja (cut-off-arvoja).

Koska kaikkia haitta-aineita, joita sivukivissä esiintyy ei ole esitetty liitteessä 9, on muiden haitta-aineiden vaarallisen jätteen pitoisuusraja määritelty CLP-asetuksen harmonisoidun aineluettelon mukaisen luokituksen perusteella. Sivukivien kuiva-ainepitoisuus on keskimäärin 99 %, joten kuiva-ainepitoisuuksia ei ole muutettu tuorepainoon. Muuten laskennassa ei ole poikettu ohjeesta.

### 3.4.1.1 Vaarallisuus ympäristölle (HP14)

**Neuvoston asetuksen (EU) 2017/997 ympäristövaarallisuuden arvioinnin yhteenlaskukaavat:**

**Välitön myrkyllisyys vesieliöille:**

$$\sum c \text{ Aquatic Acute 1 (H400)} \geq 25 \%$$

**Pitkäaikaiset haittavaikutukset vesieliöille:**

$$(100 * \sum c \text{ Aquatic Chronic 1 (H410)}) + (10 * \sum c \text{ Aquatic Chronic 2 (H411)}) + \sum c \text{ Aquatic Chronic 3 (H412)} \geq 25 \%$$

$$\sum c \text{ Aquatic Chronic 1 (H410)} + \sum c \text{ Aquatic Chronic 2 (H411)} + \sum c \text{ Aquatic Chronic 3 (H412)} + \sum c \text{ Aquatic Chronic 4 (H413)} \geq 25 \%$$

Pienin yhteenlaskussa huomioon otettava pitoisuus (cut-off-arvo) on:

- Aquatic Acute 1(H400) tai Aquatic Chronic 1 (H410) -luokituksen saaville aineille 0,1 %.
- Aquatic Chronic 2 (H411) Aquatic Chronic 3 (H412) tai Aquatic Chronic 4 (H413) -luokituksen saaville aineille 1 %.

Kuva 4. Ympäristövaarallisuuden arvioinnin periaate (YM 2019).

Ympäristölle vaarallisten ominaisuuksien tarkastelu tehdään vaiheittain:

1. Tarkastellaan, ylittävätkö vesiympäristölle vaarallisten tai haitallisten aineiden pitoisuudet cut-off-arvoja. Jos minkään *Aquatic Acute 1 (H400)* tai *Aquatic Chronic 1 (H410)* -luokituksen saavan aineen tai yhdisteen pitoisuus ei ole yli 0,1 % tai minkään *Aquatic Chronic 2 (H411)*, *Aquatic Chronic 3 (H412)* tai *Aquatic Chronic 4 (H413)* -luokituksen saavan aineen tai yhdisteen pitoisuus ei ole yli 1 % ei jätettä luokitella ympäristölle vaaralliseksi, eikä arviointia tarvitse jatkaa pidemmälle.
2. Tarkastellaan ylittääkö jonkin yksittäisen aineen pitoisuus vaarallisen jätteen pitoisuusrajan. Seuraavaan taulukkoon (**Taulukko 4**) on neuvoston asetuksen yhteenlaskukaavojen perusteella laskettu vastaava yhden aineen pitoisuusraja kullekin CLP-asetuksen mukaiselle luokitukselle. Jos jäte sisältää vain yhtä vesiympäristölle vaaralliseksi luokiteltua ainetta, jäte luokiteltaisiin vaaralliseksi, jos aineen pitoisuus jätteessä on vähintään yhtä suuri kuin seuraavan taulukon pitoisuusraja. **Silloin, kun jäte luokitellaan ympäristölle vaaralliseksi jo yhden aineen pitoisuuden perusteella, ei arviointia tarvitse jatkaa pidemmälle.**

Yhdisteille on tehty laskenta yhdisteessä esiintyvän metallin vaarallisen jätteen pitoisuusrajan määrittämiseksi, sillä sivukivestä analysoitua kuningasvesiliukoista kokonaispitoisuutta ei voida suoraan verrata yhdisteen pitoisuusrajaan. Laskenta on suoritettu seuraavasti:

Taulukko 4. Jätteiden vesiympäristövaarallisuuden arviointiin sovellettavat pitoisuusrajat. (YM 2019)

Aineen CLP-asetuksen mukainen luokitus		Sovellettava pitoisuusraja (pitoisuus ≥)
Vaaraluokka- ja kategoriakoodi	Vaaralauseke	
Aquatic Acute 1	H400: Erittäin myrkyllistä vesielioille	25 %
Aquatic Chronic 1	H410: Erittäin myrkyllistä vesielioille, pitkäaikaisia haittavaikutuksia	0,25 %
Aquatic Chronic 2	H411: Myrkyllistä vesielioille, pitkäaikaisia haittavaikutuksia	2,5 %
Aquatic Chronic 3	H412: Haitallista vesielioille, pitkäaikaisia haittavaikutuksia	25 %
Aquatic Chronic 4	H413: Voi aiheuttaa pitkäaikaisia haittavaikutuksia vesielioille	25 %

Metalli-ionin vaarallisen jätteen pitoisuusrajan laskeminen, esimerkkinä sinkkisulfaatti  $ZnSO_4^{2-}$ :

Yhden sinkkiatomin moolimassa  $M_{Zn} = 65,38 \text{ g/mol}$

Yhden rikkiatomin moolimassa  $M_S = 32,06 \text{ g/mol}$

Yhden happiatomin moolimassa  $M_O = 15,99 \text{ g/mol}$

Sinkkisulfaatin moolimassa  $M_{ZnSO_4^{2-}} = (65,38 + 32,06 + 4 * 15,99) \text{ g/mol} = 161,4 \text{ g/mol}$

Sinkin prosenttiosuus  $M_{Zn} / M_{ZnSO_4^{2-}} * 100 \% = 65,38 \text{ g/mol} / 161,4 \text{ g/mol} * 100 \% = 40 \%$

Vaarallisen jätteen pitoisuusraja sinkkisulfaatille yhdisteenä 2 500 mg/kg

Taulukko 5. Yara Siilinjärven sivukivien pitoisuudet ja jätteen ympäristövaarallisuuden arvioinnissa käytetyt raja- ja cut-off -arvot (YM 2019).

	As	Cd	Co (CoSO <sub>4</sub> )	Cr (VI)	Cu (CuSO <sub>4</sub> )	Ni (NiSO <sub>4</sub> )	Pb	Zn (ZnSO <sub>4</sub> )	V (V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	
Aquatic Acute 1, H400	250 000	250 000	95 000	250 000	100 000	95 000	250 000	100 000		
Cut-off	1 000	1 000	380	1 000	400	380	1 000	400		
Aquatic Chronic, H410	2 500	2 500	950	2 500	1 000	950	2 500	1 000	1 400	
Cut-off	1 000	1 000	380	1 000	400	380	1 000	400	560	
Alue/ Kivilaji	Näyte	mg/kg								
Feniitti	GCL0231-001	0,1	0,09	9,3	35	19,4	11,5	4	50	83
Graniittigneissi	GCL0231-002	0,2	0,02	6	25	12,4	9,6	15,4	36	43
Dioriitti	GCL0231-003	0,1	0,06	9,8	50	23,8	15,4	6,8	58	49
Diabaasi	GCL0231-004	0,1	0,11	41,3	76	178,5	53,9	5,2	117	329
Komposiitti	GCL0231-005	0,1	0,09	21,3	47	57,8	23,5	5,6	72	139
Särkijärvi, Itälaita	Feniitti,	0,109	0,058	2,11	3,8	6	3	2,88	11,8	10,7
Särkijärvi2, Itälaita	Itälaidan feniitti	0,076	0,063	2,07	3,5	5,9	2,9	2,87	11,7	10,7
Särkijärvi	A-raakku (diabaasi ja dioriitti)	0,031	0,041	12,6	14	88,8	16	1,03	36,7	58

Jaakonlampi	Itälaidan feniitti	<0,01	0,047	1,29	3,4	4,2	2,6	2,9	5,4	6,5
Jaakonlampi	Maasälpäjuoni	0,047	0,118	0,768	1,7	1,3	3,5	19,6	15,4	1,6
Jaakonlampi	Länsilaidan graniittigneissi	<0,01	0,014	4,52	22,3	8,6	9	1,66	33,7	16,4

Pitoisuusvertailun perusteella ei havaittu cut-off arvon ylityksiä. Yara Siilinjärven sivukivet eivät ole vaarallista jätettä.

### 3.5 HAPONMUODOSTUS- JA NEUTRALOINTIPOTENTIAALI

Kaivannaisjäteasetuksen (VNa 190/2013) mukaan inertin kiviaineksen sulfidirikin enimmäispitoisuus on 0,1 %. Jos neutraloimispotentiaalin ja hapontuottopotentiaalin suhde (NP/AP) on vähintään 3, inertin kiviaineksen sulfidirikin enimmäispitoisuus on 1 %. Standardin SFS-EN 15875 mukaisessa ABA-testissä AP määritetään kokonaisrikin perusteella. Yaran Siilinjärven kaivoksen sivukivinäytteille tehdyn ABA-testin perusteella kaikkien näytteiden kokonaisrikkipitoisuus jää alle 0,1 %. Suurin kokonaisrikin pitoisuus 0,07 % analysoitiin Särkijärven A-raakusta. Myös kaikkien näytteiden neutraloimispotentiaalin ja hapontuottopotentiaalin suhdeluku, eli NPR tai NP/AP, oli selvästi yli 3. Pienin NPR suhdeluku 18 havaittiin Jaakonlammen sivukivinäytteessä Länsilaidan graniittigneissi. Tulosten perusteella tutkitut sivukivinäytteet eivät ole potentiaalisesti happoa tuottavia. Analyysitulokset on esitetty alla olevassa taulukossa. Malmikivien hapontuotto-ominaisuuksia ei ole erikseen tutkittu. Malmikivillä tiedetään kuitenkin olevan suurehko neutralointipotentiaali malmin sisältämien karbonaattien vuoksi.

*Taulukko 6. Sivukivinäytteiden kokonaisrikkipitoisuus (S), hapontuottopotentiaali (AP), neutralointipotentiaali (NP), sekä niiden erotus (NNP) ja suhde (NP/AP eli NPR).*

	S	AP	NP	NNP	NPR
	%	kg CaCO <sub>3</sub> /t	kg CaCO <sub>3</sub> /t	kg CaCO <sub>3</sub> /t	
Itälaidan feniitti, Särkijärvi	0,02	0,63	64	63	100
Itälaidan feniitti, Särkijärvi 2	0,02	0,63	62	61	99
A-raakku (diabaasi ja dioriitti), Särkijärvi	0,07	2,2	30	28	14
Itälaidan feniitti, Jaakonlampi	0,01	<0.32	65	65	203*
Maasälpäjuoni, Jaakonlampi	<0,01	<0.32	77	77	241*
Länsilaidan graniittigneissi, Jaakonlampi	0,02	0,63	11	10	18

\*Suhdeluku laskettu käyttämällä määrittäjärajaa

Yara Siilinjärven kosteuskammiotestien näytteistä määritetyt ABA-testin tulokset on esitetty taulukossa (**Taulukko 7**). Näytteet GCL0231-002 (graniittigneissi) ja GCL0231-004 (diabaasi) luokituvat NNP tai NPR perusteella mahdollisesti happoa tuottaviksi. Kun tarkastellaan tarkemmin diabaasia, luokituu se ainoastaan C-NNP osalta mahdollisesti happoa tuottavaksi. Koska T-NNP ja NPR osalta näyte ei luokituta mahdollisesti happoa muodostavaksi, voidaan hapontuottopotentiaalia pitää verrattain pienenä. Kokoomanäytteen GCL0231-005 perusteella sivukivialueen yhteisläjäityksen kiviaines ei ole happoa muodostavaa. Kokoomanäytteen neutralointipotentiaalia kasvattaa myös malmin verrattain suuri määrä 28 % (ks. Taulukko 10).

Taulukko 7. Kosteuskammiotestien sivukivinäytteiden ABA-testin tulokset.

Näyte	C kok	S kok	C karb	S sulfid	C non karb.	S sulfat	T-NP	C-NP	MPA	T-NNP	C-NNP	T-NPR	C-NPR	ARD Class	
Yksikkö	%	%	%	%	%	%	kg CaCO <sub>3</sub> eq /t								
GCL0231-001	0,51	0,06	0,02	0,05	0,49	0,01	70	41	1,9	68	39	37	22	NAF	
GCL0231-002	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	19	0,8	0,3	18,6	0,5	61	2,67	UNC/NAF	
GCL0231-003	0,51	0,07	0,01	0,03	0,50	0,04	62	42	2,2	59	40	28	19	NAF	
GCL0231-004	0,16	0,07	0,01	0,04	0,15	0,03	33	12,5	2,2	30	10,3	15	5,71	UNC/NAF	
GCL0231-005	0,65	0,06	0,02	0,03	0,63	0,03	84	53	1,9	82	51	45	28	NAF	
GCL0231-006	3,09	0,04	0,01	0,02	3,08	0,02	263	257	1,3	263	255	211	205	NAF	
GCL0231-007	3,51	0,01	0,01	0,01	3,50	0,00	327	292	0,3	327	291	1047	933	NAF	

Taulukko 8. Taulukko 7 termien selitykset

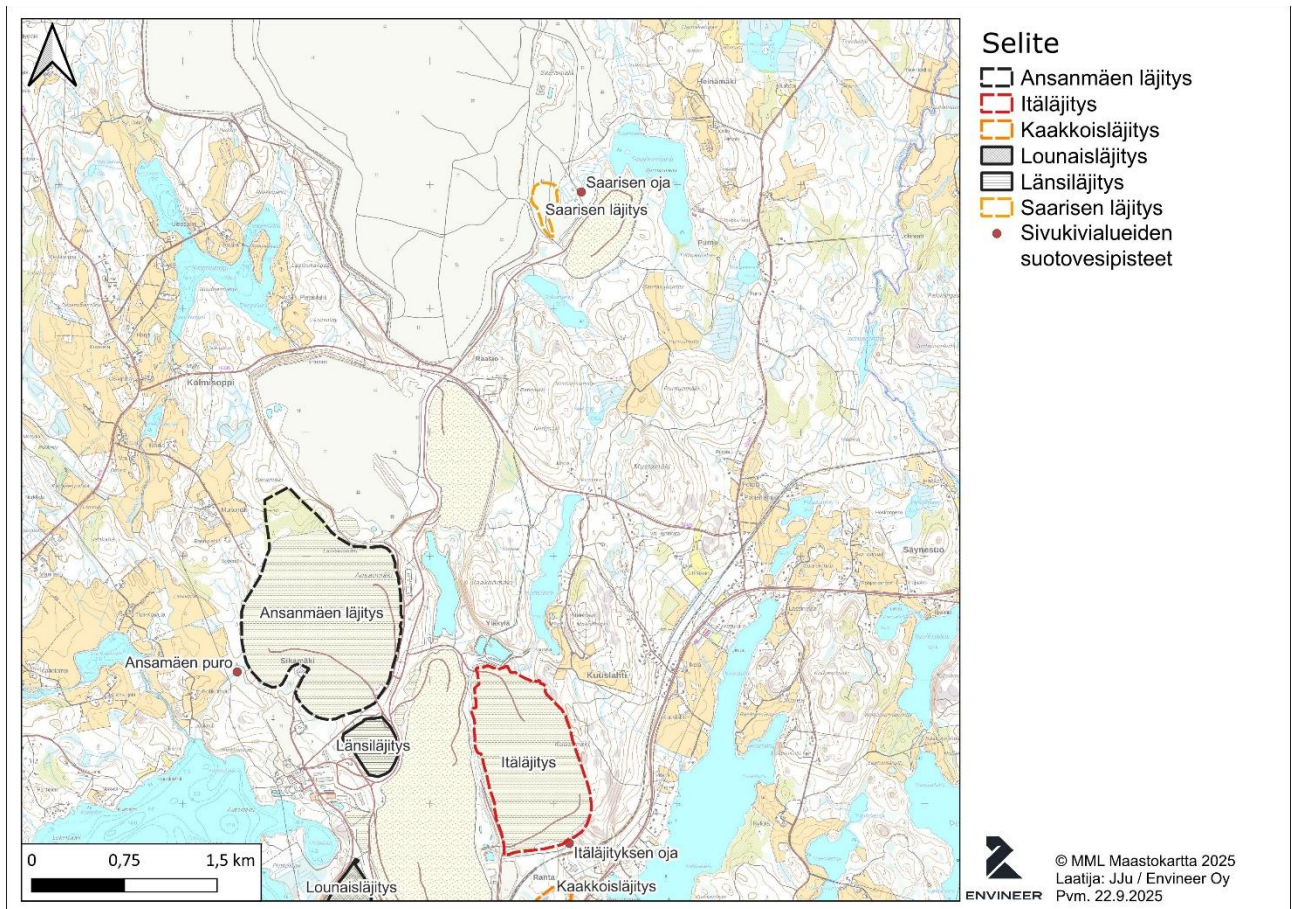
Lyhenne	Menetelmä/ käsite	Kuvaus	Laskenta/ perustuu	Tulkintaohje
<b>C-NP*</b>	Hiilipohjainen neutralointipotentiaali	Arvio neutralointikyvystä olettaen, että kaikki epäorgaaninen hiili on muodossa CaCO <sub>3</sub> , joka neutraloi happamuutta	Lasketaan epäorgaanisen hiilen määrästä, oletuksena 100 % CaCO <sub>3</sub>	Antaa teoreettisen arvion neutralointikyvystä; ei huomioi reaktiivisuutta tai mineralogista koostumusta
<b>T-NP'</b>	Titrauspohjainen neutralointipotentiaali	Neutralointikyky määritetään laboratoriossa titraamalla	Standardi EN15875	Käytännön mittaus, joka huomioi todellisen reaktiivisen neutralointikyvyn
<b>MPA</b>	Maksimaalinen potentiaalinen happamuus	Arvio happamuuden tuottopotentialista rikkipitoisuuden perusteella	Perustuu kokonaisrikkipitoisuuteen, esim. sulfidien hapettumiseen. kg CaCO <sub>3</sub> /t saadaan kaavalla: %S × 31.25	Kertoo, kuinka paljon happamuutta materiaali voi tuottaa; ei huomioi reaktiivisuutta tai mineralogiaa

<b>NNP</b>	Netto-neutralointipotentiaali	Todellinen neutralointikyky happamuuden jälkeen	$NNP = NP (C \text{ tai } T) - MPA$	$NNP > 0$ : neutralointikyky riittää; $NNP < 0$ : riski happamoitumiselle
<b>NPR</b>	Neutralointipotentiaalın suhdeluku	Suhdeluku, joka kertoo riittääkö neutralointikyky estämään happamoitumisen	$NPR = NP (C \text{ tai } T) / MPA$	$NPR > 3$ : hyvä neutralointikyky; NPR 1–3: rajatapaus; $NPR < 1$ : suuri happamoitumisriski

\*C-NP ja T-NP voivat antaa eri tuloksia, koska C-NP perustuu oletuksiin ja T-NP laboratoriomittaukseen. Siksi T-NP on yleensä luotettavampi arvio käytännön ympäristövaikutuksista.

### 3.6 SIVUKIVIALUEIDEN SUOTOVEDET

Sivukivialueen suotovesiä seurataan tarkkailupisteillä Itäläjäytyksen oja, Saarisen oja ja Ansamäen puro (Kuva 5). Tarkkailupisteiden nimet kuvaavat alueita, joiden suotoveden laatua pisteillä mitataan. Seuraavassa on esitetty tarkkailutulokset tarkkailupisteittäin vuosilta 2016–2025, tai ajalta, jolloin tarkkailutuloksia oli käytettävissä. Sivukivialueiden suotovesien tarkkailutulokset raportoidaan osana toimijan latvavesien tarkkailua.



Kuva 5. Sivukivien läjitysalueiden suotoveden tarkkailupisteet

### 3.6.1 ANSAMÄEN PURO

Ansamäen puron osalta vedenlaadun tarkkailutuloksia oli käytettävissä 2016 alkaen. Tarkkailu aloitettiin, kun Ansamäen läjityksen laajennusalue otettiin käyttöön. Laajennustyön yhteydessä tunnistettiin suotoveden purkautumiskohta, jonka tarkkailu aloitettiin. Suotovesien määrää ja laatua on tarkkailtu jatkuvatoimisesti vuodesta 2018 lähtien. Ansamäen puron vedenlaatua luonnehtii verrattain korkeat sähkönjohtavuuden (EC) (keskimäärin 161 mS/m) ja sulfaattipitoisuuden (keskimäärin 416 mg/l) arvot. Sulfaattipitoisuus ja sähkönjohtavuus korreloivat verrattain hyvin 2017 kesään asti, minkä jälkeen sulfaattipitoisuus on kohonnut suhteessa suuremmaksi kuin veden sähkönjohtavuus. Kuitenkin sulfaattipitoisuuden käyttäytyminen korreloi edelleen veden sähkönjohtavuuden kanssa, korkeampien sulfaattipitoisuuksien aikaan, myös sähkönjohtavuudessa havaitaan korkeampia arvoja.

Ansamäen puron pH on neutraali tai lievästi emäksinen (7,6). Ansamäen puron vesi sisältää alueen maa- ja kallioperälle tyypillisesti fluoridia ja fosforia. Raudan liukoisuus on vuoden 2016 jälkeen ollut verrattain alhainen, mutta perustasosta poikkeavia, hieman kohonneita rautapitoisuuksia on mitattu keväisin, lumen sulamisen aikana.

Keskimääräinen typpipitoisuus Ansamäen purossa on verrattain korkea (64 mg/l), mutta osoittaa laskevaa trendiä vuoden 2019 jälkeen. Historian aikana pisteeltä on mitattu myös kohonneita ammonium- ja nitraattityypin pitoisuuksia. Fosforipitoisuus Ansamäen purossa on tyypillisesti ollut alhainen. Ammoniumtyypin osalta pitoisuudet ovat pienentyneet vuoden 2016 jälkeen, vastaava trendi näkyy nitriittityypessä, jonka pitoisuudet ovat alhaiset läpi tarkkailujakson. Nitraattityypin osalta pitoisuus Ansamäen purossa oli nousevalla trendillä vuosina 2016–2019, minkä jälkeen nitraattityypin pitoisuus on lähtenyt laskuun ja palautunut lähes vuosien 2016–2017 tasolle. Ansamäen puron fosforipitoisuus on ollut laskeva vuodesta 2016 lähtien, laskeva trendi on tasoittunut vuoden 2020 jälkeen.

Ansamäen puron suotovesien raskasmetallipitoisuuksista oli käytettävissä analyysituloksia elokuusta 2023 lähtien. Vuosina 2023–2024 tarkkailtiin raskasmetallien kokonaispitoisuuksia ja vuodesta 2025 lähtien on analysoitu raskasmetallien liukoisia pitoisuuksia. Ansamäen puron raskasmetallipitoisuudet ovat yleisesti alhaisella tasolla. Elohopean ja lyijyn pitoisuudet ovat pääosin alle määrittämissä rajoissa.

Kalsiumin pitoisuus Ansamäen puron vedessä on ollut verrattain korkea, mutta pitoisuutta on analysoitu vain vuonna 2025. Kalsiumin pitoisuus on vaihdellut välillä 45,6–53,3 mg/l. Metalleista suurimmat keskimääräiset liukoiset pitoisuudet ovat kuparilla (4,65 µg/l), mangaanilla (5,2 µg/l), molybdeenillä (5,3 µg/l) ja titaanilla (6,95 µg/l). Nämä suurimmat pitoisuudet ovat kuitenkin alhaisia, eikä niistä aiheudu ympäristön pilaantumisen vaaraa. Vanadiinin pitoisuus Ansamäen purossa on todella alhainen (< 0,54 µg/l).

### 3.6.2 ITÄLÄJITYKSEN OJA

Itäläjäytysten ojan osalta tarkkailutuloksia oli käytettävissä vuodesta 2020 lähtien. Tarkkailu aloitettiin Itäläjäytysten läjitysalueen laajennustyön yhteydessä, kun havaittiin selkeä suotoveden

purkautumiskohta. Jatkuvatoiminen suotoveden määrän ja -laadun tarkkailu on ollut käynnissä vuodesta 2020 alkaen. Itäläjityksen ojan vedenlaatua luonnehtii verrattain korkeat sähkönjohtavuuden (EC) (keskimäärin 153 mS/m) ja sulfaattipitoisuuden (keskimäärin 450 mg/l) arvot. Huomionarvoista on se, että itäläjityksen ojassa keskimääräinen sulfaattipitoisuus on korkeampi kuin Ansamäen purossa, mutta sähkönjohtavuus puolestaan pienempi. Keskimääräiseen pitoisuuteen vaikuttaa kuitenkin se, että Ansamäenpuron tarkkailu on alkanut 4 vuotta aiemmin. Viimeisimmät sulfaattipitoisuudet ovat Ansamäen purossa korkeammat kuin Itäläjityksen ojassa.

Veden laatu Itäläjityksen ojassa vastaa verrattain hyvin Ansamäen puron veden laatua. Itäläjityksen ojan pH on neutraali tai lievästi emäksinen (7,6). Keskimääräinen typpipitoisuus Itäläjityksen ojassa on verrattain korkea (48 mg/l), mutta osoittaa laskevaa trendiä vuoden 2021 jälkeen. Nitraattityypen pitoisuuden osalta pisteessä on mitattu yksittäisiä korkeampia pitoisuuksia, mutta yleisesti pitoisuus on luokkaa 50 mg/l. Ammoniumtyypen osalta havaitaan yksittäisiä korkeampia pitoisuuksia ja ammoniumtyypen pitoisuus onkin hieman korkeampi Itäläjityksen ojassa, kuin Ansamäen purossa. Nitriittityypen pitoisuus on alhainen ja pitoisuudessa on lievä laskeva trendi. Ammoniumtyypen pitoisuus Itäläjityksen ojassa on tasaantunut vuoden 2022 jälkeen ja osoittaa lievää, laskevaa trendiä. Fosforipitoisuus Itäläjityksen osalta on viimeaikaisten tarkkailutulosten perusteella noin puolet Ansamäen puron pitoisuudesta. Fluoridipitoisuus itäläjityksen osassa on samaa luokkaa kuin Ansamäen purossa. Natriumin liukoinen pitoisuus Itäläjityksen ojassa (69 mg/l) on huomattavasti alhaisempi kuin Ansamäen purossa (108,8 mg/l).

Itäläjityksen ojan suotovesien raskasmetallipitoisuuksista oli käytettävissä analyysituloksia elokuusta 2023 lähtien. Vuosina 2023–2024 tarkkailtiin raskasmetallien kokonaispitoisuuksia ja vuodesta 2025 lähtien on analysoitu raskasmetallien liukoisia pitoisuuksia. Itäläjityksen ojan raskasmetallipitoisuudet ovat pääosin samaa luokkaa kuin Ansamäen purossa ja yleisesti alhaisella tasolla. Elohopean ja lyijyn pitoisuudet ovat pääosin alle määritysrajan.

Kalsiumin pitoisuus Ansamäen puron vedessä on ollut verrattain korkea, mutta pitoisuutta on analysoitu vain vuonna 2025. Kalsiumin pitoisuus on vaihdellut välillä 41,9–47,8 mg/l. Metalleista suurimmat keskimääräiset liukoiset pitoisuudet ovat kuparilla (3,2 µg/l), nikkelillä (3,7 µg/l), mangaanilla (26,8 µg/l) ja titaanilla (6,8 µg/l). Nämä suurimmat pitoisuudet ovat kuitenkin alhaisia, eikä niistä aiheudu merkittävää ympäristön pilaantumisen vaaraa. Verrattuna Ansamäen puron raskasmetallimääritysten tuloksiin, Itäläjityksen ojassa kuparin ja titaanin pitoisuudet ovat alhaisempia, tai samalla tasolla kuin Ansamäen purossa. Nikkelipitoisuus itäläjityksen ojassa on hieman suurempi kuin Ansamäen purossa. Mangaanipitoisuus on puolestaan merkittävästi suurempi Itäläjityksen ojassa, kuin Ansamäen purossa. Alumiinipitoisuus havaintopisteissä noudattaa mangaanipitoisuutta ja on korkeampi Itäläjityksen ojassa kuin Ansamäen purossa. Vanadiinin pitoisuus Itäläjityksen ojassa on todella alhainen (< 0,38 µg/l).

### **3.6.3 SAARISEN OJA**

Saarisen ojan osalta tarkkailutuloksia oli käytettävissä vuodesta 2017 lähtien. Saarisen ojan jatkuvatoiminen suotoveden laadun ja -määrän tarkkailu on ollut käynnissä vuodesta 2022 lähtien. Saarisen ojan vedenlaatua luonnehtii kohonneet sähkönjohtavuuden (EC) (keskimäärin 84 mS/m) ja sulfaattipitoisuuden (keskimäärin 200 mg/l) arvot. Sulfaattipitoisuus on ollut hieman korkeammalla

tasolla kuin veden sähkönjohtavuus koko tarkkailun ajan. Huomionarvoista on se, että Saarisen ojassa keskimääräinen sulfaattipitoisuus ja veden sähkönjohtavuus ovat pienempiä kuin Ansamäen purossa ja Itäläjityksen ojassa. Saarisen ojan sulfaattipitoisuudessa on voimakasta vaihtelua, mutta lievä nouseva trendi, kun tarkastellaan sulfaattipitoisuuksia kokonaisuutena.

Veden laatu Saarisen ojassa vastaa verrattain hyvin Ansamäen puron ja Itäläjityksen ojan veden laatua. Saarisen ojan vedessä pitoisuudet ovat pääosin kuitenkin alhaisempia kuin Ansamäen purossa, tai Itäläjityksen ojassa. Saarisen ojan päätyy Saarisen sivukiviläjityksen suotovesien lisäksi myös Mustin rikastushiekka-alueen suotovesiä, mikä voi vaikuttaa suotoveden tarkkailupisteen vedenlaatuun.

Saarisen ojan pH on neutraali tai lievästi emäksinen (7,5). Keskimääräinen typpipitoisuus Saarisen ojassa on alhaisempi kuin muissa sivukivialueiden suotoveden tarkkailupisteissä (24 mg/l). Typpipitoisuus Saarisen ojassa osoitti laskevaa trendiä vuosina 2019–2023, jonka jälkeen typpipitoisuudessa on lievä nouseva trendi. Typpipitoisuus Saarisen ojassa on vuonna 2025 on hieman alhaisemmalla tasolla kuin vuonna 2019. Nitraattitypen pitoisuuden osalta pisteessä on mitattu yksittäisiä korkeampia pitoisuuksia, mutta yleisesti pitoisuus on < 15 mg/l. Ammoniumtypen osalta havaitaan vaihtelua pitoisuuksissa ja ammoniumtypen pitoisuus onkin vuoden 2022 jälkeen ollut yhtenevä Itäläjityksen ojan ammoniumtyppipitoisuuden kanssa. Poikkeuksena on ammoniumtypen trendi, joka on lievästi nouseva Saarisen ojassa, kun Itäläjityksen ojassa trendi on lievästi laskeva. Nitriittitypen pitoisuus on alhainen, mutta pitoisuudessa nähdään jonkin verran vaihtelua. Fosforipitoisuus Saarisen ojassa on viimeaikaisten tarkkailutulosten perusteella yhtenevä Ansamäen puron pitoisuuden kanssa. Fluoridipitoisuus Saarisen ojassa on pienempi kuin Ansamäen purossa tai Itäläjityksen ojassa. Natriumin liukoinen pitoisuus Saarisen ojassa (35,5 mg/l) on huomattavasti alhaisempi kuin Itäläjityksen ojassa (69 mg/l) tai Ansamäen purossa (108,8 mg/l).

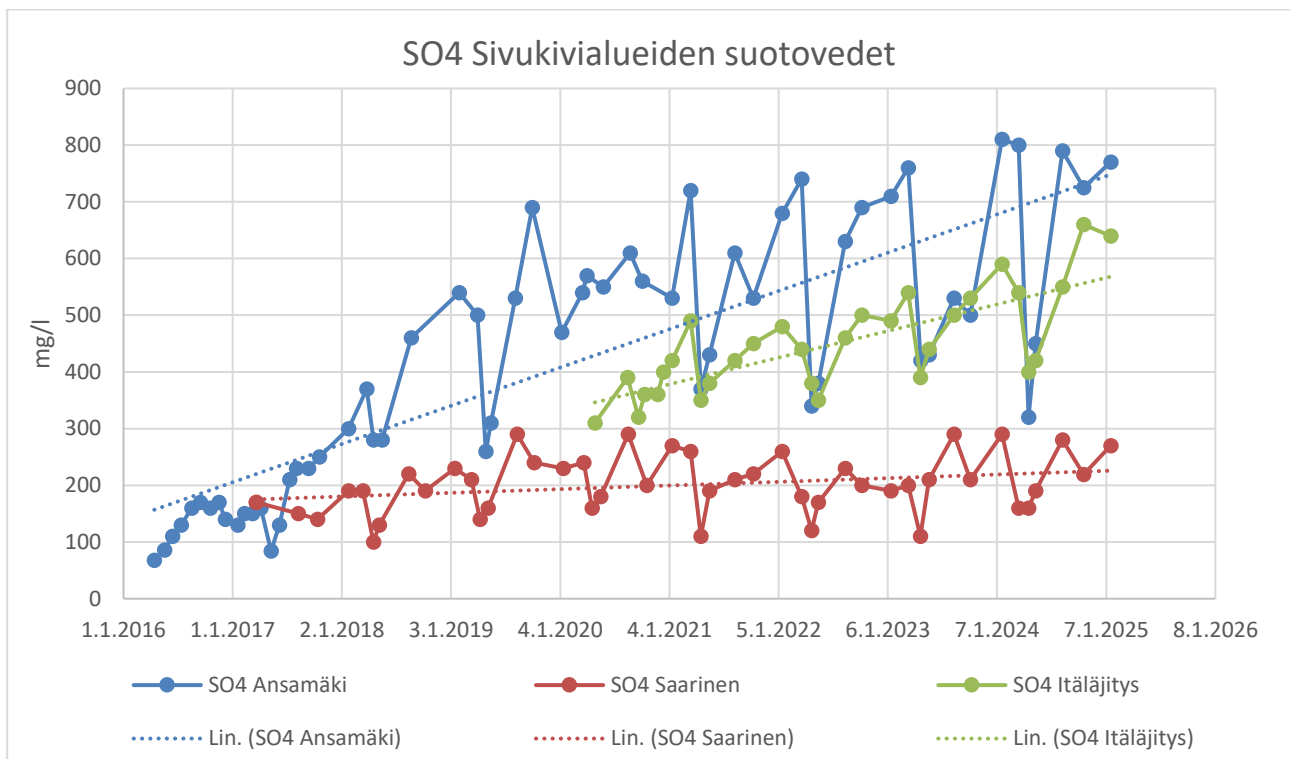
Saarisen ojan suotovesien raskasmetallipitoisuuksista oli käytettävissä analyysituloksia elokuusta 2023 lähtien. Vuosina 2023–2024 tarkkailtiin raskasmetallien kokonaispitoisuuksia ja vuodesta 2025 lähtien on analysoitu raskasmetallien liukoisia pitoisuuksia. Saarisen ojan raskasmetallipitoisuudet ovat pääosin samaa luokkaa kuin Ansamäen purossa ja Itäläjityksen ojassa, sekä yleisesti alhaisella tasolla. Elohopean ja lyijyn pitoisuudet ovat pääosin alle määrittämissä rajoissa.

Saarisen ojan kalsiumpitoisuutta ei ole analysoitu, oletettavasti kalsiumin pitoisuus on verrattain korkea, kuten muissakin sivukivialueen suotovesipisteissä. Toisaalta Saarisen ojassa yleisesti pitoisuudet ovat hieman alhaisempia kuin Itäläjityksen ojassa tai Ansamäen purossa. Metalleista suurimmat keskimääräiset liukoiset pitoisuudet ovat kuparilla (3,9 µg/l), nikkelillä (3,7 µg/l), mangaanilla (8,1 µg/l) ja titaanilla (3,3 µg/l). Nämä suurimmat pitoisuudet ovat kuitenkin alhaisia, eikä niistä aiheudu merkittävää ympäristön pilaantumisen vaaraa. Verrattuna Ansamäen puron ja Itäläjityksen ojan raskasmetallimääritysten tuloksiin, titaanin pitoisuus on alhaisempi Saarisen ojassa kuin muissa havaintopisteissä. Muiden mainittujen metallien osalta pitoisuus Saarisen ojassa on suurempi kuin Ansamäen purossa, mutta pienempi kuin Itäläjityksen ojassa. Nikkelipitoisuus Saarisen ojassa on pienempi kuin muissa tarkkailupisteissä. Mangaanipitoisuus Saarisen ojassa on puolestaan suurempi kuin Ansamäen purossa, mutta pienempi kuin Itäläjityksen ojassa. Alumiinipitoisuus havaintopisteissä noudattaa mangaanipitoisuutta ja on Saarisen ojassa korkeampi

kuin Ansamäen purossa ja alhaisempi kuin Itäläjityksen ojassa. Vanadiinin pitoisuus Saarisen ojassa on todella alhainen (< 0,38 µg/l).

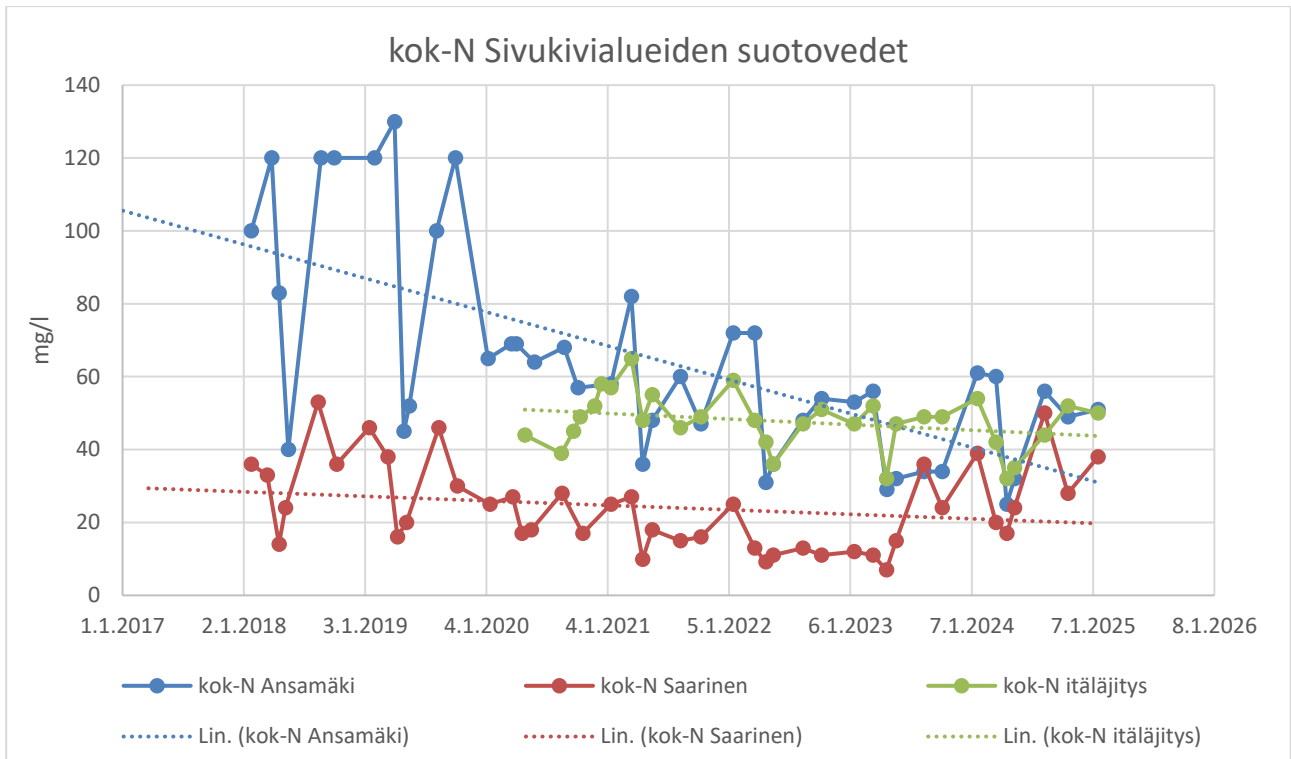
### 3.6.4 YHTEENVETO SIVUKIVIALUEEN SUOTOVESISTÄ

Sivukivialueen suotovedet ovat tarkkailutulosten perusteella neutraaleja, tai lievästi emäksisiä. Sivukivialueiden suotoveden laatua luonnehtii verrattain korkeat sulfaattipitoisuudet verrattuna alueellisiin taustapitoisuuksiin, jotka ovat alhaisimmillaan Saarisen ojassa. Sulfaattipitoisuus osoittaa nousevaa trendiä kaikissa sivukivialueiden suotovesien tarkkailupisteissä, voimakkaimmin pisteissä Ansamäki ja Itäläjityksen oja.

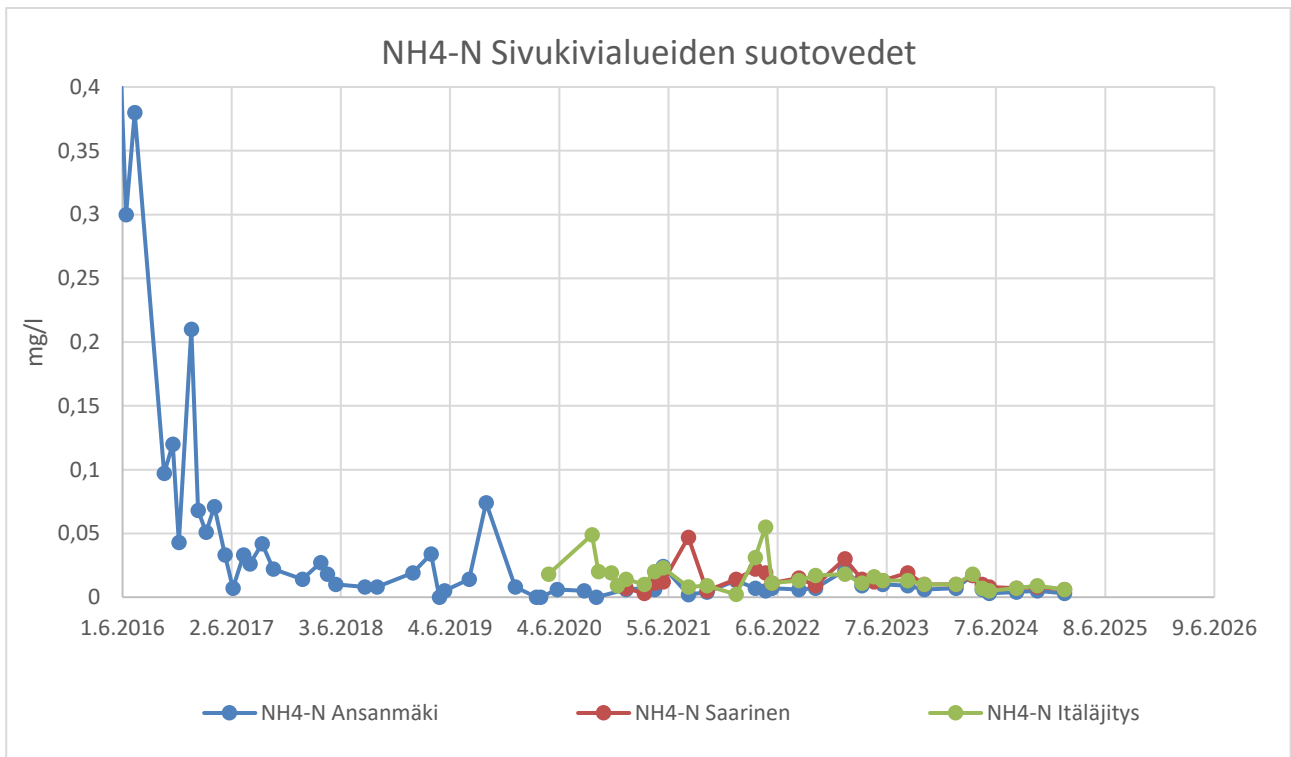


Kuva 6. Sivukivialueiden suotovesien sulfaattipitoisuus.

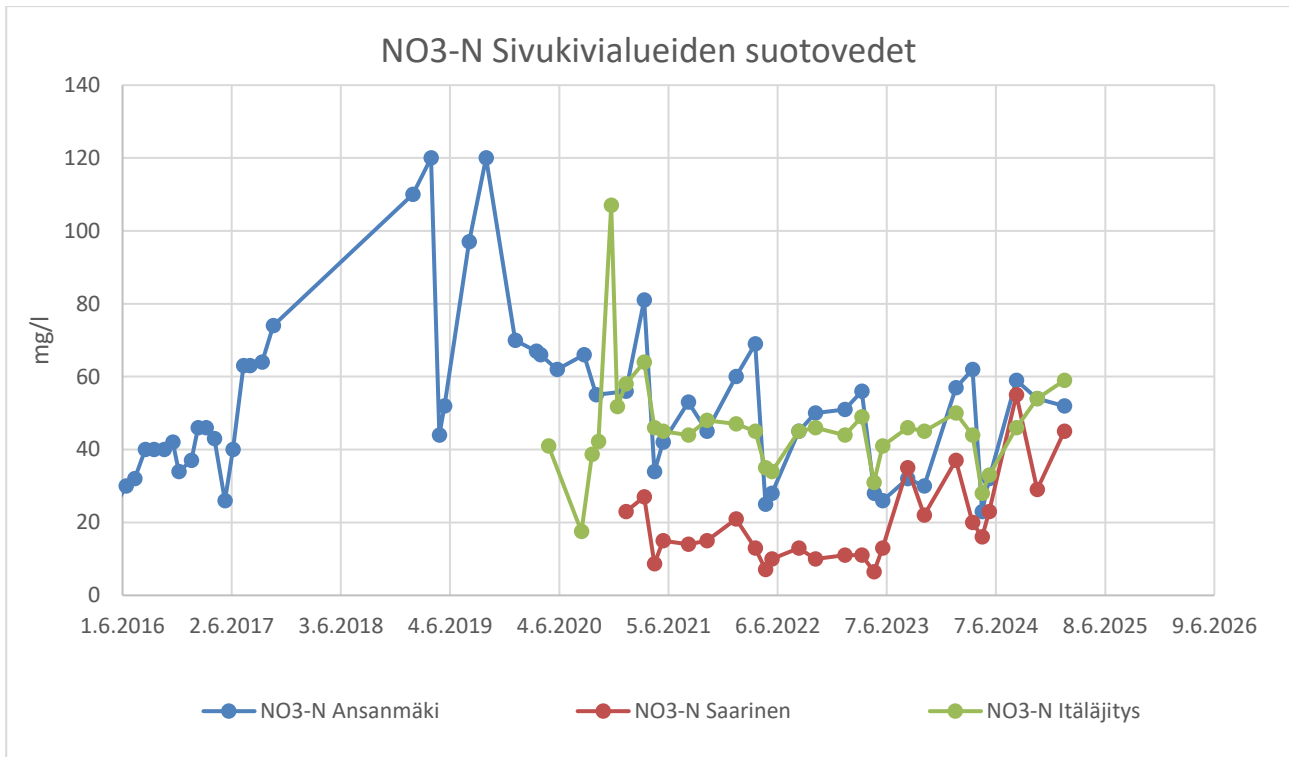
Typpipitoisuus tarkkailupisteissä Ansamäen puro ja Itäläjityksen oja osoittaa laskevaa trendiä, tarkkailupisteessä Saarisen oja kokonaistyyppipitoisuus on osoittanut nousevaa trendiä vuoden 2023 jälkeen ja on noussut osin muiden tarkkailupisteiden tasolle. Typen jakeiden osalta kaikissa havaintopisteissä on havaittu vähintään yksittäisiä kohonneita pitoisuuksia. Typen jakeet ovat pääosin alhaisella tasolla, pl. nitraattitypen pitoisuudet kaikissa tarkkailupisteissä. Typen jakeissa nähdään paikoin hienoista nousevaa trendiä, mutta kyse on todennäköisimmin hapetusolosuhteiden vaikutuksesta, kuin varsinaisesta typpipitoisuuden noususta, koska kokonaistyyppipitoisuus osoittaa pääosin laskevaa trendiä.

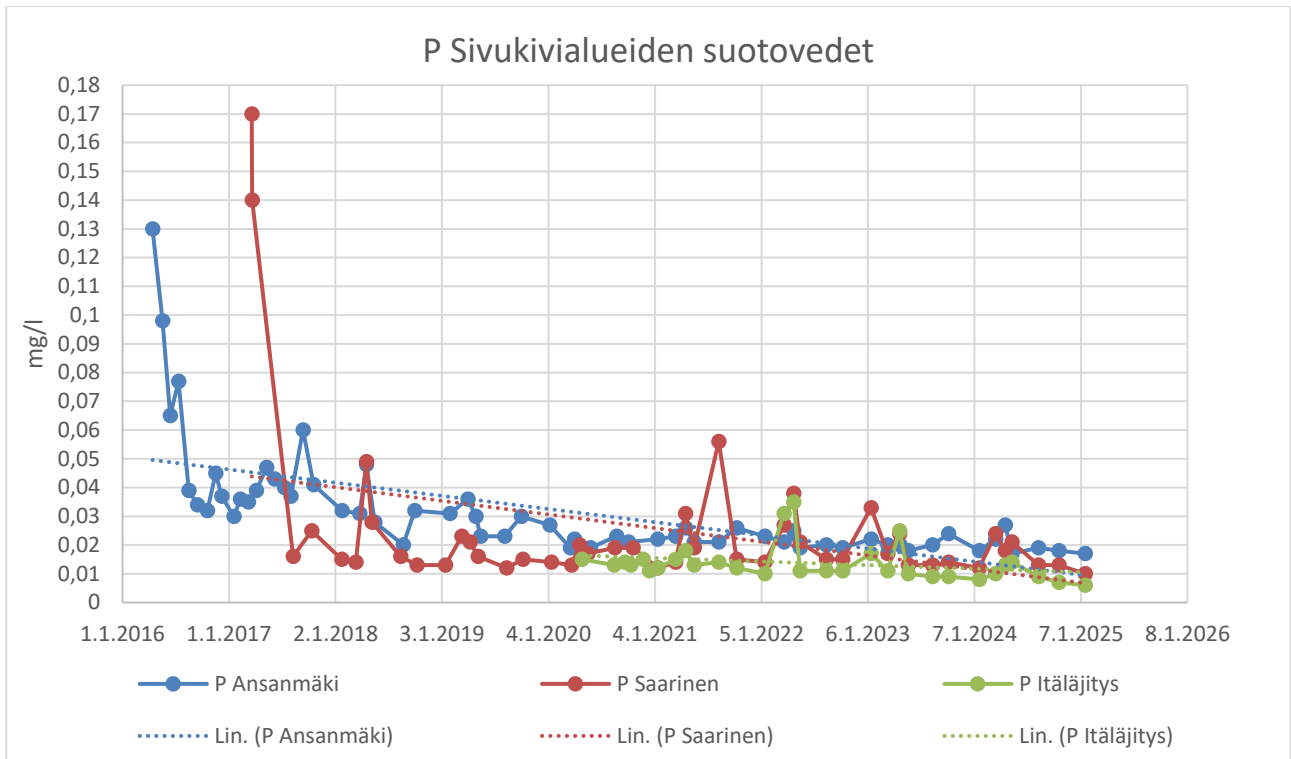


Kuva 7. Sivukivialueiden suotovesien kokonaistyyppipitoisuus.

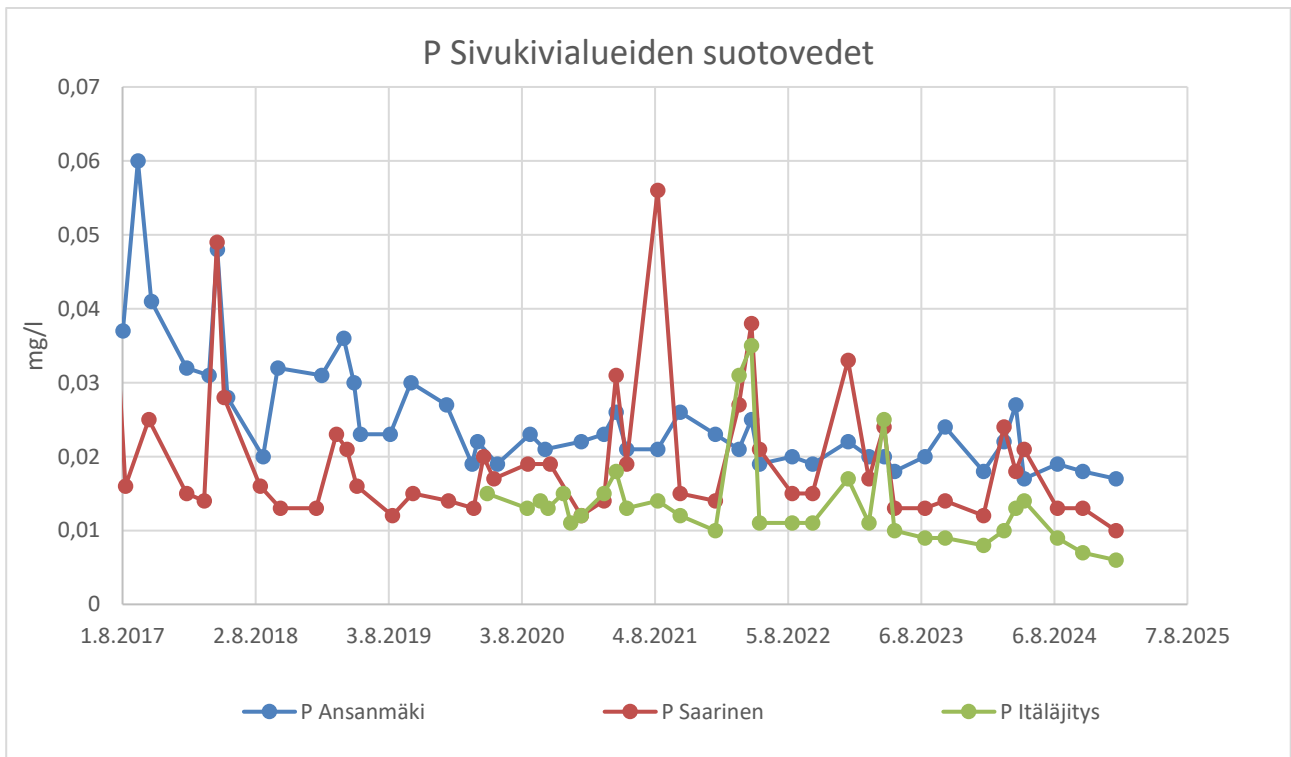


Kuva 8. Sivukivialueiden suotovesien ammoniumtyyppipitoisuus.





Kuva 10. Sivukivialueiden suotovesien fosforipitoisuus.



Kuva 11. Yllä olevien sivukivialueiden suotovesien fosforipitoisuus kohdennettuna mataliin tuloksiin 1.8.2017 alkaen.

Taulukko 9. Sivukivialueiden suotoveden fosforipitoisuuden vaihteluväli.

Kokonaisfosfori [mg/l]			
Alue	Ansanmäki	Saarinen	Itäläjitys
min	0,017	0,01	0,006
keskiarvo	0,0321	0,0253	0,0136
mediaani	0,026	0,016	0,012
max	0,13	0,17	0,035

### 3.7 LYSIMETRI JA SEN TULOKSET

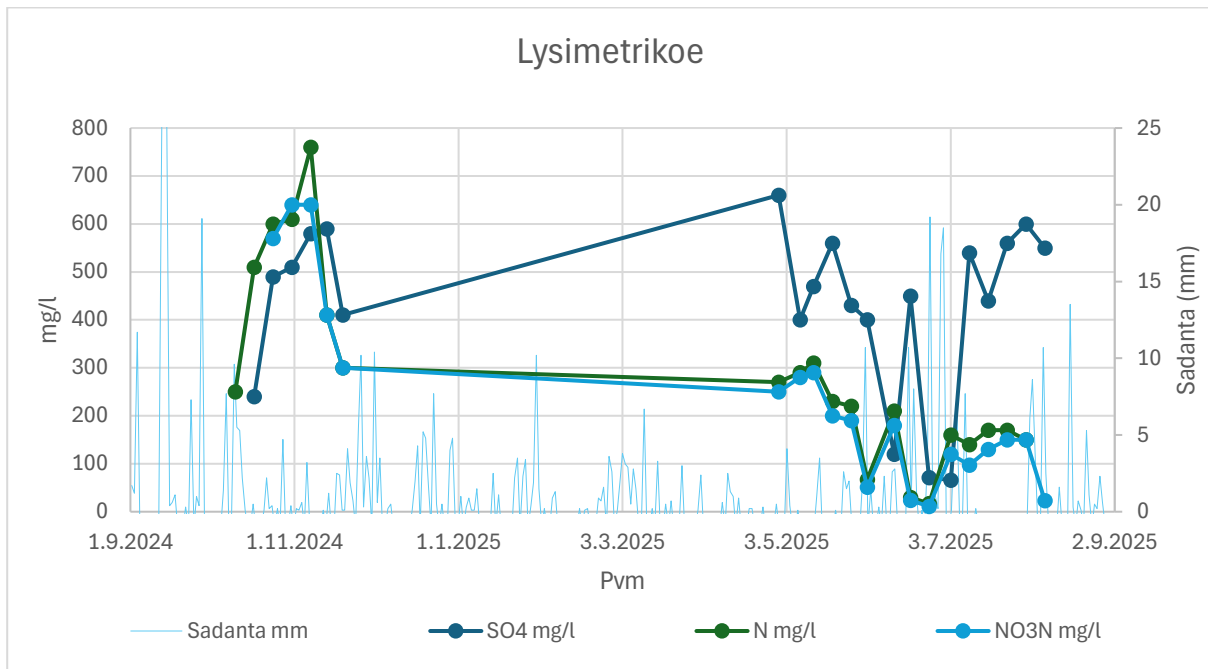
Ansanmäen sivukivialueelle valmistui syksyllä 2024 lysimetri, jonka kokonaiskoko on noin 60 m x 60 m. Sivukiveä on sijoitettu lysimetriin noin 32 m x 32 m alueella ja sivukivitäytön paksuus on suurimmillaan lysimetrin keskellä noin 5,5 m. Sivukivitäyttö on toteutettu eri sivukivilajeilla siinä suhteessa, kun niitä sivukivialueella esiintyy. Sivukivenä on ollut tarpeen käyttää sekä tuoretta sivukiveä että hetken sivukivikasalla ollutta kiveä, jotta oikea koostumus lysimetriin on voitu toteuttaa. Lysimetri on eristetty muusta sivukivialueesta kalvorakentein ja lysimetriin on toteutettu näytteenoton mahdollisuus siten, että vedet ohjataan yhteen pisteeseen, josta saadaan näyte otettua. Lysimetristä saatavat tulokset kertovat sivukivimassan käyttäytymistä paikallisissa olosuhteissa. Kun tuloksia on enemmän käytettävissä, voidaan tehdä kattavampaa vertailua kosteuskammiotestien tuloksiin ja sitoa kosteuskammiotestien viikkotuloksia ajallisiin jaksoihin.

Ensimmäiset näytteet kerättiin lokakuussa 2024. Näytteet on kerätty kerran viikossa, pl. 19.11.2024–30.4.2025, milloin ei ole kyetty keräämään näytteitä jäätyneen vuoksi. Lysimetristä oli käytettävissä vedenlaadun tuloksia tätä raporttia kirjoittaessa elokuuhun 2025 asti.

Näytteestä mitattiin useita eri parametreja, joista metallit tyypillisesti liukoisina pitoisuuksina. Lysimetrituloksista voidaan huomata, että veden sähkönjohtavuus ja sulfaattipitoisuus käyttäytyvät pääosin samankaltaisesti, kun taas pH käyttäytyy päinvastoin. Eli kun pH nousee, niin veden sähkönjohtavuus ja sulfaattipitoisuus laskevat.

Nitraattitypen ja kokonaistypen osalta voidaan huomata, että lysimetritulosten perusteella typen liukeneminen oli verrattain voimakasta syksyllä 2024 ja jo keväällä 2025 typen liukeneminen oli puolittunut. Kevään 2025 jälkeen typen pitoisuus on edelleen jatkanut laskuaan. Kun näitä tuloksia peilataan kosteuskammiokokeiden sivukivien testihavaintoihin (ks. kpl. 3.9), voidaan huomata tietty yhteneväisyys. Kosteuskammiotestien perusteella alun ”first flush” ilmiössä typen ja typen jakeiden pitoisuudet olivat muuhun testiin nähden korkeammalla sivukiven komposiittinäytteessä (GCL0231-005-HCT), jonka jälkeen (noin viikolla 5) ne laskivat todella alhaiselle tasolle. Sivukiven

komposiittinäytteeseen on koottu eri sivukivijakeet **luvussa 3.9** esitetyllä tavalla ja näyte kuvaakin parhaiten sivukivialueilla syntyvän veden laatua.



Kuva 12. Kokonais- ja nitraattitypen, sekä sulfaatin tarkkailutulokset lysimetrikokeen ajalta. Kuvaajassa on esitetty myös vuorokausisadanta Kuopion Maaningan sääasemalta.

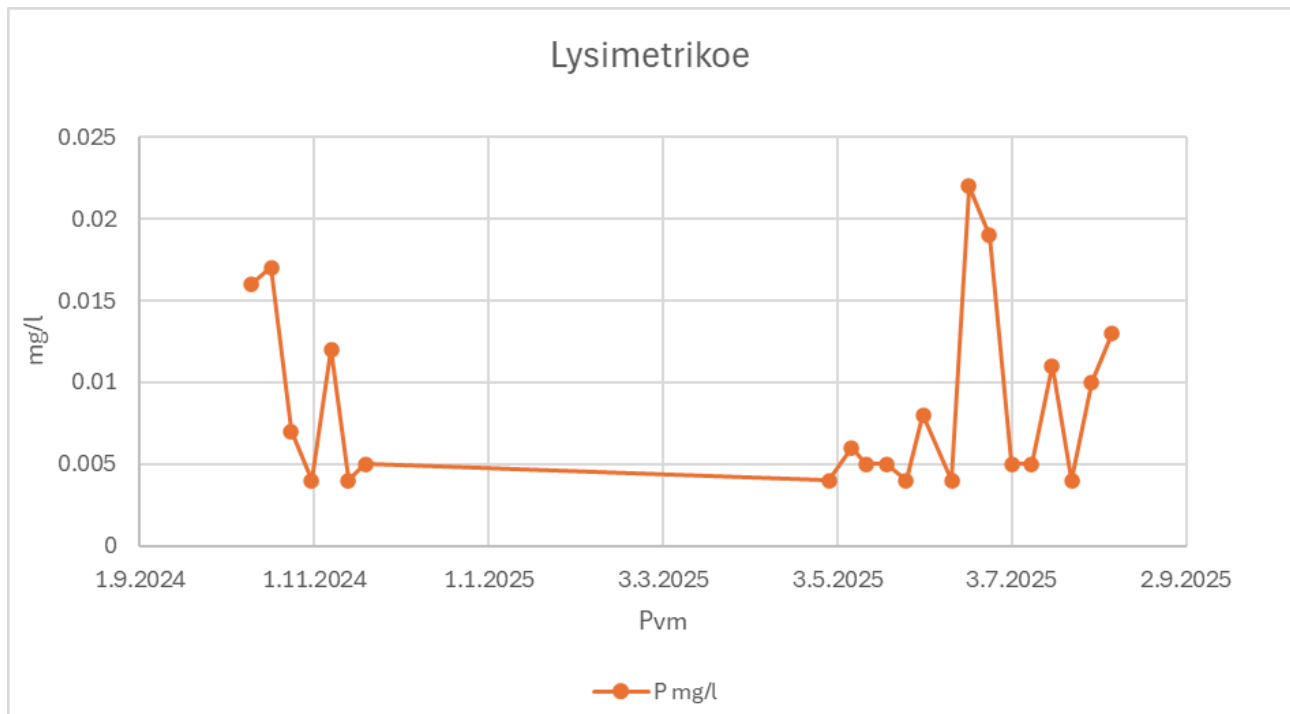
Sulfaattipitoisuuden osalta lysimetrikokeen tulokset osoittavat merkittävää vaihtelua läpi testijakson. Vaihtelu voi osin liittyä lysimetristä muodostuvan valunnan määrään. Kuvaajasta voidaan havaita, että kesä-heinäkuun sateisella jaksolla suotovedestä mitatut pitoisuudet ovat pienimmillään ja pitoisuudet lähtevät kasvuun heinäkuun kuivalla kaudella. Lisäksi on huomioitava, että lysimetristä on käytettävissä vasta alkuvaiheen tuloksia, jolloin helposti liukenevat haitta-aineet vapautuvat ennen suotoveden laadun tasaantumista.

Lysimetrikokeen sulfaattipitoisuus nousee syksyllä 2024 melko voimakkaasti aikavälillä 17.10.–13.11.2024 (tasolta 240 mg/l tasolle 590 mg/l), minkä jälkeen mitattiin alhaisempi sulfaattipitoisuus 19.11.2024 (410 mg/l). Kevään ensimmäisessä näytteenotossa 30.4.2025 mitattiin testin aikainen suurin sulfaattipitoisuus 660 mg/l, minkä jälkeen sulfaattipitoisuus osoittaa pääosin laskevaa trendiä 3.7.2025 asti, jolloin sulfaattipitoisuus oli testin alhaisimmalla tasolla (66 mg/l). Laskevan trendin aikana oli muutama poikkeava mittaustulos, jotka olivat selvästi poikkeavia yleisestä laskevasta trendistä. Heinäkuusta 2025 lähtien sulfaattipitoisuus on lähtenyt nousuun ja yleinen trendi on nouseva aina 7.8.2025 asti, jolloin sulfaattipitoisuus oli tasolla 550 mg/l.

Kun verrataan lysimetrin havaintoja sivukiven komposiittinäytteeseen (GCL0231-005-HCT), voidaan näytteiden tuloksista havaita tiettyjä yhtäläisyyksiä. Kosteuskammiotestissä näytteen GCL0231-005-HCT sulfaatin liukoisuus nousi aina testiviikolle 5 asti, mikä oli näytteen sulfaatin liukoisuuden maksimiarvo (9,61 mg/kg/vko). Tämän jälkeen sulfaattipitoisuus osoitti pääosin laskevaa trendiä, sisältäen kuitenkin muutamia nopeita sulfaatin pitoisuuden korkeahkoja nousuja. Lysimetrikokeessa reaktiot tapahtuvat huomattavasti hitaammin kuin kosteuskammiokokeessa, joten on todennäköistä.

että sulfaattipitoisuus tulee lysimetrikokeessa vielä nousemaan ennen pitoisuuksien kääntymistä laskusuuntaiseksi.

Fosforipitoisuuden osalta lysimetrikokeen tulosten perusteella fosforin pitoisuuden perustaso on verrattain alhainen 5–10 µg/l, mutta pitoisuudessa on voimakastakin vaihtelua yksittäisten mittaustulosten osalta. Kosteuskammiotesteissä kaikkien sivukivinäytteiden fosforin liukoisuus pysyi verrattain tasaisena läpi testijakson, joten on oletettavaa, että myös lysimetriissä fosforin keskiarvoinen pitoisuus pysyy jatkossakin tasaisena.



Kuva 13. Fosforin tarkkailutulokset lysimetrikokeen ajalta

Kun tarkastellaan PIMA-asetuksen haitta-aineiden ja molybdeenin liukoisuuksia lysimetrikokeen ajalta, voidaan todeta, että Ansamäen sivukivistä ei juuri liukene sinkkiä, lyijyä, tai elohopeaa, joiden pitoisuudet ovat olleet koko testin ajan alle määrittäysrajan (Pb ja Hg), tai osin alle määrittäysrajan (Zn). Havainnot ovat yhteneviä kosteuskammiotestien tulosten kanssa, lyijyn ja elohopean liukoisuus oli todella alhainen läpi kosteuskammiotestien. Sinkin osalta kosteuskammiokokeen aikana pitoisuudet olivat alhaisia, mutta paikoin sivukivinäytteissä havaittiin pitoisuuksien kohoamisia. On mahdollista, että myös lysimetrikokeessa sinkin pitoisuus hieman nousee kokeen edetessä.

PIMA-asetuksen haitta-aineista korkeimmat pitoisuudet havaittiin lysimetrikokeessa arseenin ja molybdeenin osalta. Lysimetrikokeen tulosten perusteella arseenin pitoisuudessa on laskeva trendi. Molybdeenipitoisuudessa on puolestaan vaihtelua ja vuoden 2025 pitoisuudet osoittavat lievää nousevaa trendiä, poikkeuksena kesän 2025 näytteenotot, jolloin havaittiin kolmen näytteenoton yhteydessä alhaisia molybdeenipitoisuuksia. Molybdeenin osalta lysimetrikokeen havainnot eroavat hieman kosteuskammiokokeen tuloksista. Kosteuskammiokokeessa molybdeenin liukoisuus oli koholla viikolle 3 asti, jonka jälkeen liukoisuus laski hieman ja viikon 9 jälkeen todella alhaiselle tasolle. Lysimetrikokeen tulokset viittaavat siihen, että molybdeenin liukoisuus ei ole vielä

saavuttanut täyttä määräänsä ja pitoisuudet ovat edelleen noususuunnassa. Arseenipitoisuus lysimetrikokeessa on puolestaan yhtenevä kosteuskammiokekeen tulosten kanssa. Kosteuskammiokeessa arseenin "first flush" ilmiön aiheuttamat korkeammat liukoisuudet kestivät viikolle 4 asti, minkä jälkeen arseenin liukoisuus laski alhaiselle tasolle ja laskeva trendi jatkuu testijakson loppuun asti. Onkin oletettavaa, että lysimetrikokeen arseenipitoisuus pysyy alhaisena tulevaisuudessa.

Muiden PIMA-asetuksen haitta-aineiden osalta pitoisuudet lysimetrikokeessa ovat erittäin alhaiset, mikä on linjassa kosteuskammiokekeissa havaittujen liukoisuuksien kanssa. Poikkeuksena vanadiinin pitoisuus, joka on lysimetrikokeessa todella alhainen. Vanadiinin pitoisuus osoittaa kuitenkin hienoista nousevaa trendiä lysimetrikokeen tulosten aikana. Lähes kaikissa sivukivinäytteissä Vanadiinin liukoisuus kosteuskammiokekeiden aikana osoitti laskevaa trendiä. Poikkeuksena näyte GCL0231-002-HCT, missä vanadiinin liukoisuus nousi viikolle 4 asti ja lähti vasta sen jälkeen laskuun. Muissa sivukivinäytteissä vanadiinin liukoisuus nousi viikolle 1 asti, jonka jälkeen liukoisuus lähti laskuun. Lysimetrikokeen tulokset viittaavat siihen, että vanadiinin liukoisuus ei ole vielä saavuttanut täyttä määräänsä ja pitoisuudet ovat edelleen noususuunnassa. Kosteuskammiokekeiden tulosten perusteella vanadiinin pitoisuuksien pitäisi kuitenkin myöhemmässä vaiheessa lähteä laskuun.

## **3.8 TYPPI- JA SULFAATTISELVITYS**

Sivukiven läjitysalueiden pinta- ja pohjavesivaikutuksia on arvioitu Ramboll Finland Oy:n toimesta vuonna 2016 (Ramboll Finland Oy, 2016). Ansamäen ja Itäläjityksen sivukivialueiden korottamisen ympäristöluvituksen tueksi Envineer Oy teki raportin, jossa arvioitiin sivukiviläjityksen kuormituksen nykytilaa ja peilataan sitä aikaisemman selvityksen arvioihin kuormituksen kehityksestä (Envineer Oy, 2020).

### **3.8.1 2016 SELVITYS**

Vuoden 2016 suotovesiselvityksen tulosten perusteella sivukivialueilla ei arvioitu olevan haitallisia vaikutuksia pohjavesiin. Sivukiven läjitys läjitysalueille tiivistää sivukivialueiden alapuolista maaperää suuren paineen seurauksena, mikä hidastaa suotautumista läjityksestä pohjaveteen. (Ramboll Finland Oy, 2016)

Vuoden 2016 suotovesiselvityksen tulosten perusteella sivukivialueiden pintavesivaikutukset rajautuvat typpikuormitukseen, mikä on peräisin räjähdeainejäämistä. Tulosten perusteella sivukivistä itsestään ei liukene haitallisia määriä alkuaineita, eikä suotoveden pH:ssa tapahdu haitallisia muutoksia. Sivukiven typpikuormituksen arvioitiin kasvavan läjityksen jatkuessa vuoden 2016 tilanteen kaltaisena. Muutaman vuoden kuluessa läjityksen loputtua, tai läjitysmäärien merkittävästi vähentyessä, typpikuormituksen arvioitiin alkavan pienentyä asteittain. (Ramboll Finland Oy, 2016)

Typpikuormituksen kannalta merkittävimmiä asioiksi tunnistettiin se, kuinka tasaisesti vesi huuhtelee sivukivien pintoja, sekä saatavilla olevan orgaanisen hiilen määrä, mikä vaikuttaa denitrifikaatio-olosuhteisiin. Sivukiven liukoisuustesteihin perustuen tehtiin laskelma, minkä mukaan

typpikuormitus sivukiven pinnasta pienenee nopeasti pelkän valumavesien huuhtoutumisen seurauksena. Nykyisin käytössä olevien Ansamäen ja Itäläjäytysten läjitysalueiden sivukivimassat ja kerrospaksuudet ovat verrattain suuria, minkä perusteella merkittävästi taustapitoisuuksia korkeampien typpipitoisuuksien arvioidaan loppuvan vasta kymmenien vuosien kuluttua läjityksen päättymisestä. Saarisen läjitysalueella läjitetyn sivukiven määrä on huomattavasti pienempi, jolloin typpikuormituskin pienenee läjityksen päätyttyä nopeammin. (Ramboll Finland Oy, 2016)

Muita pitkäaikaisvaikutuksia ei Ramboll Finland Oy:n 2016 suotovesiselvityksen perusteella arvioida kohdistuvan. Koska Siilinjärven kaivosta ympäröivissä pintavesissä on fosforirajoitteisuutta ja typpi poistuu luontaisesti tehokkaasti, niin typpikuormituksen vaikutus vesistöihin arvioitiin vähäiseksi. Koska nitriitti, nitraatti ja ammonium ovat suurina pitoisuuksina vesieliöille toksisia yhdisteitä, joiden kertyminen Sulkajärven syvänteeseen on tulosten perusteella mahdollista talvikerrostuneisuuden aikaan. Ravinneolosuhteiden muutokset voivat aiheuttaa muutoksia myös planktonleväyhteisön koostumuksessa, minkä perusteella suositeltiin typpifraktioiden pitoisuuksien tarkkailua Sulkavanjärven alueella. (Ramboll Finland Oy, 2016)

### **3.8.2 2020 SELVITYS**

2020 suotovesiselvityksessä on todettu, että 2016 selvityksen jälkeen kertyneen tarkkailutiedon perusteella sivukiven läjitysalueiden laajentaminen ja korottaminen ovat vaikuttaneet kuormituksen kehittymiseen odotetulla tavalla. (Envineer Oy, 2020)

Merkittävin sivukiviläjäytysten kuormitusvaikutus on sivukivien pinnan räjähdettäviä aineita aiheutuva nitraattityppikuormitus. Vuonna 2020 arvioitiin typpikuormituksen kehittymistä LOM 2018 suunnitelman mukaisesti Itäläjäytysten läjitysmääriin perustuen. Typpikuormituksen odotettiin kasvavan seuraavien kuuden vuoden ajan, minkä jälkeen trendin odotettiin kääntyvän laskuun. Ansamäen läjitysalueella typpikuormituksen odotettiin pysyvän vuoden 2020 tasolla noin kahdeksan vuoden ajan, minkä jälkeen sen odotetaan alkavan pienentyä. (Envineer Oy, 2020)

Sulfaattipitoisuus on vuoden 2020 selvityksissä tulkittu olevan peräisin valtaosin maisemointiin käytetyistä maista. Maisemointiin käytetty Särkijärven sedimentti on sisältänyt sulfaatin liukenemiselle herkkiä sulfideja. Kun sadevesi suotautuu läjitysalueen läpi, liukenevan sulfaatin määrä sivukivien pinnoilta arvioitiin vähäiseksi. Maisemointimaissa jäljellä oleva kuormituspotentiaali vaikuttaa merkittävimmin sivukivialueen suotovesien sulfaattipitoisuuden kehitykseen. Suotovesien sulfaattipitoisuuden arvioidaan pienenevän, kun kuormituspotentiaali alkaa merkittävästi pienentyä. Kuormituspotentiaalin pieneminen voi olla seurausta esimerkiksi ajan kulumisesta tai maisemoinnin kasvittumisen myötä. Läjäytysten päättymisen jälkeen kuormituksen arvioidaan edelleen pienenevän ja lopulta hiipuvan, kun sivukivien pinnoilla olevat herkästi liukenevat sulfidikiteet ovat lienneet. (Envineer Oy, 2020)

Vuoden 2020 selvityksessä suositeltiin suotovesitarkkailun jatkamista sekä Ansamäen purossa, että vanhassa Sikopuron uomassa, joiden perusteella saadaan tietoa sivukiven läjityksen aiheuttaman kuormituksen kehittymisestä. Toisaalta näiden avulla voidaan arvioida myös kuormituksen kehitystä kaivostoiminnan päättyessä. Raportissa suositeltiin myös maisemointiin käytettävien maiden haitta-aineiden selvittämistä tilanteissa, joissa on syytä epäillä mahdollisia poikkeavuuksia alueen

luontaisten pintamaiden taustapitoisuuteen. (Envineer Oy, 2020) Raportissa esitettyjä suosituksia noudatetaan nykyisessä toiminnassa. Nykyisin esimerkiksi maisemointiin käytettävistä maista tehdään mm. sulfaatti- ja ravinneanalyysit ja niiden käyttö maisemointiin hyväksytetään valvontaviranomaisella.

### 3.8.3 2023 VESI- JA AINETASEMALLINNUS

Envineer Oy (Envineer, 2023) on toteuttanut Siilinjärven kaivoksen sivukivialueet käsittävän vesi- ja ainetaseen ennustemallin vuonna 2023. Mallinnuksen avulla voidaan parantaa kaivoksen tuotantovarmuutta ja riskien hallintaa, sekä minimoida kustannuksia ja ympäristövaikutuksia. Mallinnuksen avulla on tuotettu tietoa TULE-hankkeen suunnitteluun (projekti liittyen Siilinjärven kaivostoiminnan laajentamiseen ja toiminta-ajan pidentämiseen).

Malli on laadittu GoldSim-ohjelmistolla ja mallikokonaisuus koostuu neljästä osamallista; Sää- ja ilmastomuutosmallista, kaivoksen sisäisestä vesi- ja ainetasemallista, sivukivimallista ja alapuolisten vesistöjen, Kolmisopen ja Sulkavanjärven, vesi- ja ainetasemallista (CSTR-malli). (Envineer Oy, 2023)

Mallinnustulosten perusteella Ansanmäen sivukivialueen suotoveden typpipitoisuus pienenee vuoteen 2035 asti pienenevän läjitysmäärän vuoksi, keskimääräisenä sadantavuotena tasolta 48 mg/l tasolle 14 mg/l. Suotoveden sulfaattipitoisuus kasvaa mallinnuksen perusteella keskimääräisenä sadanta vuotena vuoden 2024 tasolta 914 mg/l vuoden 2035 tasolle 934 mg/l. Vuoden 2035 jälkeen pitoisuudet tulevat laskemaan, mikäli toiminta päättyy vuoteen 2035. (Envineer Oy, 2023)

Itäläjityksen alueella mallinnustulokset viittaavat samankaltaiseen käyttäytymiseen typpi- ja sulfaattipitoisuuden osalta, mitä Ansanmäen tulokset ovat. Mallinnuksen perusteella keskimääräisenä säävuotena Itäläjityksen suotoveden typpipitoisuus laskee vuoden 2024 tasolta 143 mg/l vuoden 2035 tasolle 27 mg/l. Sulfaattipitoisuus puolestaan nousee vuoden 2024 tasolta 926 mg/l vuoden 2035 tasolle 934 mg/l. Vuoden 2035 jälkeen Itäläjityksen pitoisuudet tulevat laskemaan, mikäli toiminta päättyy vuoteen 2035. (Envineer Oy, 2023)

Mallin herkkyysanalyysin perusteella vuositason kuormitusennuste sivukivialueille on herkin läjitettävän sivukiven määrälle ja sen sisältämälle typpimäärälle (g/tn); sivukivien raekokojakaumalle; lähtötilanteessa vakioksi määritellylle sulfaattikuormitustasolle; ja sulfaatin liukenemiskertoimelle. (Envineer Oy, 2023)

## 3.9 SIVUKIVIEN PITKÄAIKAISKÄYTTÄYTYMINEN

Kosteuskammiotutkimuksissa käytettiin neljää Yara Siilinjärvi Oy:n sivukivinäytettä, yhtä sivukiven kokoomanäytettä ja kahta rikastushiekkanäytettä. Rikastushiekkanäytteet ja niiden kosteuskammiotestien kuvaukset on esitetty myöhemmin **luvussa 4.7**. Kosteuskammiotestit tehtiin standardin ASTM D 5744-18 mukaisesti hyödyntäen aktiivista ilmakiertoa (optio A). Testi on yleisesti käytetyin kineettinen testi kaivannaisjätteiden pitkäaikaiskäyttäytymisen arviointiin (Punkkinen et al. 2024). Testikammiot on rakennettu kirkkaasta Perspex-akryylista ja ne voivat olla joko leveämällisiä

(halkaisija 200 mm, korkeus 100 mm) tai korkeita (sisähalkaisija 100 mm, korkeus 200 mm). Eri mallien käyttö riippuu näytteiden raekoosta ja läpäisevyydestä. Pienen läpäisevyyden näytteille, kuten rikastushiekkanäytteille, käytetään leveämallisia testikammioita ja ilma johdetaan näytteen pinnan yli. Karkearakeisimmille materiaaleille, kuten murskatulle sivukivelle, jolla on suurempi vedenläpäisevyys, käytetään kapeampia soluja ja ilma johdetaan näytteen läpi. Testikammioiden pohjassa on rei'itetty alusta, jonka päällä on polypreenihuopa. Huopa suodattaa hienoaineksen ja lepää rei'itetyn välikannen päällä, joka mahdollistaa veden poistumisen.

Mikäli mahdollista, kussakin testissä käytetään 1 kg:n kuivapainoa vastaava määrä näytettä. Geochemicillä rikastushiekkanäytteet asetetaan testikammioihin niiden vastaanottohetken kosteuspitoisuudessa, ylimääräisen nesteen poistamisen jälkeen. Näin pyritään välttämään tarpeettomia kemiallisia muutoksia näytteessä sekä vähentämään haihtuvien yhdisteiden, kuten prosessikemikaalijäämien häviämistä. Näissä tapauksissa näytteen vesipitoisuus määritetään standardin ISO 17892-1:2014 mukaisesti ja lisättävän kiinteän aineksen määrä lasketaan 1 kg:n kuivapainoa vastaavaksi

Testin alussa (viikko 0) tehdään uutto suhteella 1:1 nestettä/kiintoainesta, eli 1 litra nestettä per 1 kg kuivaa näytettä. Jos näyte asetetaan testikammioon kosteana, sen alkuperäinen vesipitoisuus vähennetään tästä 1 litran alkuliuksesta, jotta kokonaisuudessaan näytteeseen lisätään täsmälleen 1 l/kg. Myöhemmillä viikoilla lisätään 0,5 l vettä/kg. Liutuksessa käytetään ultrapuhdasta deionisoitua vettä (18 M $\Omega$ ).

Testikammiot altistetaan viikoittaiselle syklille, joka koostuu kolmesta kuivan ilmakierron päivästä, kolmesta kostean ilmakierron päivästä ja seitsemäntenä päivänä tehtävästä uuttokäsittelystä. Testikammioiden huoneen lämpötila pidetään tasolla  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ . Liutouksen aikana deionisoitua vettä tiputetaan testikammioon 1 L HDPE-erotussuppiloista kahden tunnin aikana. Liutin jätetään tämän jälkeen kosketuksiin näytteen kanssa vielä kahdeksi tunniksi, minkä jälkeen sen annetaan valua pois yön yli. Tuloksena syntyvä liuos kerätään testikammion pohjalta ja ilmastointisykli käynnistetään uudelleen.

Jokaisella viikolla mitataan näytteenoton yhteydessä seuraavat parametrit: lisätyn deionisoidun veden määrä, kerätyn liuoksen määrä, sekä solujen paino kosteajakson lopussa ja tyhjentämisen jälkeen. Lisäksi kerätystä liuoksesta analysoidaan heti ruiskusuodatuksen jälkeen seuraavat ominaisuudet: pH, sähkönjohtavuus, hapetus-pelkistyspotentiaali (redox) alkaliteetti/happamuus, sekä sulfaattipitoisuus.

Suotovesinäytteet analysoidaan ISO 17025 – akkreditoidussa laboratoriossa. Jossa analysoidaan kattava valikoima anioneja, kationeita ja hivenaineita ICP-MS-menetelmällä. Kaikki esikäsittely (suodatus, säilöntä jne.) suoritetaan puhdistilassa mahdollisen kontaminaatoriskin minimoimiseksi.

Näytteet lähetetään suotonesteanalyysin viikoittain ensimmäisen viiden viikon aikana (viikot 0, 1, 2, 3 ja 4), minkä jälkeen neljän viikon yhdistelmänäytteet lähetetään (viikot 5–8, 9–12, 13–16, 17–20 jne). Yhdistelmänäytteet kootaan siten, että suotonestettä on yhtä suuri määrä jokaiselta osaviikolta.

Kosteuskammiotestit suoritettiin huhtikuun 2024 ja elokuun 2024 välisenä aikana. Testeihin toimitettiin 2 rikastushiekkanäytettä, 5 näytettä läjitysalueen kivistä, joista neljä raakkua ja yksi komposiitti (kokoomanäyte) (**Taulukko 10**). Komposiitin määräsuhteet ovat: malmikiviä 28 %, diabaasia 26 %, dioriittia 12 %, feniittia 28 % ja gneissia 7 %.

Taulukko 10 Kosteuskammiotestien näytteet

Geochemic ID	Yara ID	Jätejake	Kivilaji
GLC0231-001	FEN	Sivukivi	Feniitti
GLC0231-002	GRGN	Sivukivi	Graniittigneissi
GLC0231-003	DR	Sivukivi	Dioriitti
GLC0231-004	DB	Sivukivi	Diabaasi
GLC0231-005	Composite	Sivukivi	Komposiitti <sup>1</sup>
GLC0231-006	PASTA1	Rikastushiekka	
GLC0231-007	Raasio	Rikastushiekka	

<sup>1</sup>Komposiittiin on lisätty raakkukivilajien ohella 28 % malmikiviä. Malmikivien osuus näytteestä on koostettu rikastamon malmisyöttestä sekä käsin kerätyistä hiertyneistä kivistä, jotka on yhdistetty suhteessa 1/3 hiertoa, 2/3 malmisyötettä

Näytteet tehtiin murskaamalla kukin kivilaji erikseen murskan leukojen ollessa leveydellä 6,3 mm (db, fen, dr, grgn, hiertyneet malmit, kasanäyte). Raakkukivien näyte kahtioitiin ensin isolla splitterillä, jonka jälkeen käsispitterillä, kunnes saavutettiin n. 2 kg näytekoko.

Komposiittinäyte koostettiin osanäytteistä mukaillen sivukivialueelle läjitettyjen kivilajien prosenttiosuuksia. Taulukossa (**Taulukko 11**) on esitetty, miten komposiitin näyte koostui grammoina eri kivilajeista.

Taulukko 11. Komposiitin näytemäärät kivilajeittain (g)

Malmikivi	560
Diabaasi	520
Dioriitti	240
Feniitti	560
Graniittigneissi	140
Total	2020

Malmin osuus koostettiin yhdistämällä murskattua kasanäytettä 66 % ja hiertynyttä malmia 33 %. Tämän jälkeen näyte kahtioitiin haluttuun määrään. Kaikista kivinäytteistä kahtioitiin lopuksi noin 200 g erillisenä näyte, mikä lähetettiin mineralogisiin testeihin. Kosteuskammiotesteihin lähetettiin loput 1,8 kg näytteestä.

Rikastushiekan näytteistä toinen koostuu vanhasta Raasion rikastushiekasta ja toinen tuoreesta rikastushiekasta. Näytettä kuivattiin sen verran, että määrästä saatiin kahtioitua n. 2 kg näyte. Molemmista rikastushiekanäytteistä kahtioitiin lopuksi noin 200 g erillistä näyte, mikä lähetettiin mineralogisiin testeihin. Kosteuskammiotesteihin lähetettiin loput 1,8 kg näytteestä.

### 3.9.1 KOSTEUSKAMMIOTESTIEN TULOKSET

Sivukivinäytteet, joista tehtiin kosteuskammiotestit, on esitetty edellä (**Taulukko 10**). Komposiittinäyte on kokoomänäyte sivukivistä, joten todennäköisesti näyte edustaa parhaiten sitä, mitä sivukiven läjitysalueella tulee todennäköisimmin tapahtumaan ajan kuluessa.

#### Sivukivet, peruskemia

Sivukivinäytteiden GCL0231-001-HCT, GCL0231-003-HCT, GCL0231-004-HCT ja GCL0231-005-HCT pH asettui nopeasti tasolle 7,5–8 ja viikon 25 jälkeen pH-arvossa näiden näytteiden osalta näkyi hienoinen laskeva trendi, mutta pH oli testijakson lopussa edelleen lievästi emäksinen, näytteiden pH:n ollessa noin 7,5. Sivukivinäytteen GCL0231-002-HCT pH oli muita sivukivinäytteitä alhaisempi koko testijakson ajan. Viikolle 25 asti näytteen GCL0231-002-HCT pH vaihteli pääosin välillä 7,2–7,6, minkä jälkeen pH:ssa näkyi hienoinen laskeva trendi. pH pysyi kuitenkin tässäkin näytteessä lievästi emäksisenä koko tarkastelujakson ajan, pH:n asettuessa testijakson lopussa noin tasolle 7,2.

Sivukivinäytteiden sähkönjohtavuudessa näkyy verrattain voimakas vaihtelu kaikkien näytteiden osalta ensimmäisen viiden viikon aikana. Vastaavasti kuin pH-arvon suhteen, niin sivukivinäytteen GCL0231-002-HCT sähkönjohtavuus oli alhaisemmalla tasolla kuin muilla sivukivinäytteillä. Kaikkien sivukivinäytteiden sähkönjohtavuus tasaantui viikon 15 jälkeen. Testijakson päättyessä GCL0231-002-HCT sähkönjohtavuus oli noin tasolla 18  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ja muilla tasolla 38–48  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Mikäli näytteiden pH laskee ja EC-, sekä Eh-arvot nousevat, voivat nämä tulokset indikoida yhdessä happaman valuman syntyä. Tällaisia trendejä ei tulosten perusteella ollut havaittavissa testin aikana sivukivinäytteiden osalta.

Sulfaatin ja raudan pitoisuudet kuvaavat yleisesti sulfidimineraalien hapettumista (ASTM 2018). Sivukivinäytteiden osalta sulfaatin liukoisuus kaikissa näytteissä on alhaisempi testiviikolla 0, josta sulfaatin liukoisuus nousee, näytteestä riippuen, viikolle 2–6 asti. Sulfaatin liukoisuuden hitaan nousun tulkitaan kuvaavan kivilajikohtaisen rapautumisen etenemistä.

Sulfaatin liukoisuus saavutti maksimitasonsa ensimmäisten viikkojen aikana, pl. sivukivinäyte GCL0231-004-HCT (diabaasi), jossa maksimi liukoisuus havaittiin vasta viikolla 23. Yleinen trendi alun sivukivinäytteiden sulfaatin liukoisuuden osalta on laskeva testijakson alun korkeiden liukoisuuksien jälkeen. Tämä viittaa siihen, että kivilajien sisältämän sulfaatin liukenemisen alkaminen vie aikaa. Toisaalta tämä viittaa myös siihen, että sulfaatin liukenemisen alkaessa sulfaatti liukenee verrattain nopeasti, jonka jälkeen sulfaatin liukoisuus vähenee. Voidaankin päätellä, että kivilajit eivät isossa määrin sisällä sulfideja ja tästä syystä sulfaatin liukeneminen on

lyhytkestoinen ilmiö jonkin ajan kuluttua läjittämisestä, minkä jälkeen sulfaatin liukeneminen vähenee ja joissain tapauksissa voi jopa loppua (GCL0231-002-HCT; Graniittigneissi).

Viikon 8 jälkeen sulfaattipitoisuus sivukivinäytteissä vakiintui verrattain alhaiselle tasolle, joskin datassa voidaan nähdä yksittäisiä kohonneita pitoisuuksia, jotka ovat kuitenkin < 10 mg/kg/vko. Yleinen trendi sivukivinäytteiden sulfaattipitoisuudessa viikon 10 jälkeen on laskeva ja testijakson lopussa kaikkien näytteiden sulfaattipitoisuus oli < 2,4 mg/kg/vko. Viikoilla 12–15 testikammiot eivät menneet kuivaksi asti, joka voi osaltaan selittää poikkeavaa tulosta viikolla 15. Rautapitoisuudet kaikissa sivukivinäytteissä olivat testin alun "first flush" -ilmiön jälkeen alle määritysrajan < 0,01 mg/kg/vko.

Kaikkien sivukivinäytteiden nettoalkaliniteetti-happamuus on pysytellyt alkalisella puolella, pl. yksittäinen näyte GLC0231-002-HCT osalta noin viikolla 14. Yleisesti ottaen testissä muodostuneiden suotovesien haponpuskurointikyky on suhteellisen hyvä. Positiivinen arvo tarkoittaa, että liuos on nettoemäksinen ja siinä on riittävästi alkaliniteettia vastustamaan pH:n muutoksia mahdollisen piilevän happamuuden vuoksi. GLC0231-002-HCT viikon 14 näytteessä asiditeetti on huomattavan korkea (20 mg/l CaCO<sub>3</sub>) verrattuna muihin näytteen analyysihin. Samalla viikolla näytteen alkaliniteetti (8,5 mg/l CaCO<sub>3</sub>) oli hieman normaalia alhaisemmalla tasolla. Koska nettoalkaliniteetti-happamuus lasketaan alkaliniteetin ja asiditeetin erotuksena, aiheutti tämä yksittäisen alhaisen piikin tuloksiin. Yksittäisellä, yksittäisen näytteen poikkeavalla tuloksella ei arvioida olevan merkitystä haponpuskurointikyvyn arvioinnin kannalta, koska vastaavaa ilmiötä ei nähty muissa näytteissä. Eikä varsinkaan komposiittinäytteessä, mikä edustaa parhaiten sivukivialueiden todellista luonnetta, koska alueille läjitetään monia eri sivukivilajeja.

Vetyperoksidin jälkeinen pH-arvo tarjoaa indikaatiota siitä, kuinka paljon pelkistyneitä yhdisteitä näytteessä on, jotka voivat vaikuttaa kokonais-happamuuteen. pH:n lasku alle 4,5 (esimerkiksi 3,5:een virhemarginaalin huomioimiseksi), viittaisi siihen, että hapetusvaihe laskee pH-arvoa verrattuna alkaliniteettititrauksen jälkeiseen pH:hon. Sivukivinäytteiden osalta pH-arvot pysyivät pääosin tasolla 4,2–4,8. Sivukivinäytteissä ei siis ole viitteitä siitä, että hapetusvaihe laskee pH-arvoa verrattuna alkaliniteettititrauksen jälkeiseen pH:hon. Viikolla 14, jolloin näytteen GLC0231-002-HCT nettoalkaliniteetti-happamuus oli asidisella puolella, vetyperoksidin jälkeinen pH arvo näytteessä oli 4,4 ja pH-arvon lasku ei ole tulosten perusteella todennäköistä.

Sivukivinäytteen GLC0231-002-HCT hapontuotto- ja neutralointipotentiaalia tarkastellessa voidaan huomata, että 40 viikon testin aikana neutralointipotentiaalia kului noin 25 %, kun taas hapontuottopotentialia kului vain 10 %. Sivukivinäytteessä GLC0231-002-HCT neutralointipotentiaalia oli kuitenkin testin lopussa jäljellä puolet enemmän kuin hapontuottopotentialia. Tulosten perusteella on mahdollista, että näytteen neutralointipotentiaali kuluu nopeammin loppuun kuin hapontuottopotentialia. Muiden sivukivinäytteiden osalta neutralointipotentiaalia on jäljellä huomattavasti enemmän kuin hapontuottopotentialia. Muissa sivukivinäytteissä hapontuottopotentialia oli testin lopussa jäljellä < 2,1 kg CaCO<sub>3</sub> eq/t, kun taas neutralointipotentiaalia oli jäljellä vähintään 12,1 kg CaCO<sub>3</sub> eq/t (GCL0231-004-HCT) ja enintään 52 kg CaCO<sub>3</sub> eq/t (GCL0231-005-HCT). Tulosten perusteella on epätodennäköistä, että sivukivinäytteiden suotovesi muuttuisi tulevaisuudessa happamaksi. Graniittigneissiiä (GLC0231-002-HCT) on läjitetty verrattain vähän toiminnan aikana. Mikäli graniittigneissi muodostaisi hapanta

valumaa, on perusteltua arvioida, että muiden sivukivilajien neutralointipotentiaali riittää puskuroimaan graniittigneissistä mahdollisesti aiheutuvat vaikutukset. Tämä voidaan nähdä mm. Sivukiven komposiittinäytteestä (GCL0231-005-HCT), missä neutralointipotentiaalia oli kosteuskammioitestin lopussa jäljellä eniten.

### **Pääanionit, kationit ja metallit, sivukivet**

Kalsiumin ja magnesiumin pitoisuudet kuvaavat yleisesti Ca- ja Mg-karbonaattien osuutta sulfidimineraalien hapettumisen tuottaman happamuuden neutraloinnissa (ASTM 2018). Sivukivinäytteiden Ca- ja Mg-pitoisuudet ovat alhaisempia kuin rikastushiekassa. Sivukivinäytteissä kalsiumin liukoisuus oli läpi testijakson verrattain tasainen, ensimmäisen 10 viikon voimakkaamman vaihtelun jälkeen. Sivukivinäytteiden kalsiumin liukoisuus testijakson lopussa oli kaikissa näytteissä < 1,62 mg/kg/vko. Kalsiumin osalta sivukivinäytteissä liukoisuuden lievää nousua voidaan havaita viikoilla 10–12, jolloin pitoisuuspiikki kaikissa näytteissä ajoittuu viikoille 10 ja 12, pl. näyte GCL231-001-HCT, jossa pitoisuus on korkeimmillaan viikoilla 5–8. Viikon 10 jälkeen kaikissa sivukivinäytteissä on nähtävissä kalsiumin liukoisuuden osalta hienoinen laskeva trendi. Myös sivukivinäytteiden magnesiumin liukoisuus oli alhaisempi kuin rikastushiekkänäytteissä. Kuten kalsiuminkin liukoisuus, niin magnesiumin liukoisuudessa voidaan nähdä hienoista laskua viikon 10 jälkeen ja sivukivinäytteiden magnesiumin liukoisuus olikin testijakson lopussa < 0,13 mg/kg/vko kaikissa näytteissä.

Na- liukoisuudessa on nähtävillä "first flush" -ilmiö, sivukivinäytteistä voimakkaimmin näytteessä GCL0231-003-HCT. Viiden viikon jälkeen Na-liukoisuus kaikissa näytteissä oli < 2,05 mg/kg/vko. Suurin Na-liukoisuus viikon 5 jälkeen oli sivukivinäytteessä GCL0231-003-HCT, jossa Na-liukoisuus oli yli tuplasti suurempi muihin sivukivinäytteisiin verrattuna. Sivukivinäytteessä GCL0231-003-HCT Na-liukoisuudessa voidaan nähdä portaittainen laskeva trendi. Na-liukoisuus näytteessä GCL0231-003-HCT oli noin tasolla 2 mg/kg/vko neljän viikon ajan, jonka jälkeen pitoisuus laski neljäksi viikoksi noin tasolle 0,7 mg/kg/vko, edelleen neljäksi viikoksi noin tasolle 0,4 mg/kg/vko, edelleen neljäksi viikoksi noin tasolle 0,3 mg/kg/vko, edelleen neljäksi viikoksi tasolle 0,2 mg/kg/vko, tasoittuen lopulta tasolle 0,14–0,18 mg/kg/vko viikon 25 jälkeen. Vastaava portaittainen laskeva trendi voidaan nähdä lievempänä sivukivinäytteessä GCL0231-002-HCT. Muissa sivukivinäytteissä Na-liukoisuus oli alhaisemmalla tasolla. Näissä näytteissä liukoisuudessa oli havaittavissa lievä laskeva trendi.

K-liukoisuus on kaikissa näytteissä Na-liukoisuutta suurempi, pienin ero K- ja Na-liukoisuuksien määrässä on sivukivinäytteessä GCL231-002-HCT. K-liukoisuus suurimmassa osassa sivukivinäytteistä (pl. GCL231-002-HCT) muistuttaa testin alussa Na-liukoisuuden käyttäytymistä. Viikon 5 tasolta K-liukoisuus laskee portaittain 4 viikon jaksoissa viikolle 16 asti. Viikon 16 jälkeen näytteissä GCL231-001-HCT, GCL0231-005-HCT ja GCL231-003-HCT K-liukoisuus nousee hienoisesti. K-liukoisuus näytteissä lähtee uudelleen laskuun viikon 28 jälkeen. Poikkeuksena näyte GCL231-001-HCT, jossa K-liukoisuus on hieman koholla viikoilla 33–36. Sivukivinäytteessä GCL231-004-HCT K-liukoisuus on yhtenevä edellä mainittujen näytteiden kanssa viikolle 16 asti. Viikon 16 jälkeen näytteen K-liukoisuus poikkeaa siten, että pitoisuus omaa hienoisin laskevan trendin koko lopputestijakson ajan.

Kun tarkastellaan PIMA-asetuksen haitta-aineiden, alumiinin ja molybdeenin liukoisuuksia kosteuskammiotestien ajalta, voidaan huomata, että merkittävimmät haitta-aineet eroavat eri näytteiden välillä. Merkittäväillä pitoisuuksilla tarkoitetaan tässä yli 1,0 µg/kg viikoittaisia liukoisuuksia, jotka saattavat indikoida haitta-aineiden kohonneita pitoisuuksia kaivannaisjätealueiden suotovesissä. Sivukivinäytteessä GCL0231-003-HCT viikoittainen sinkin liukoisuus ylitti 1,0 µg/kg viikoittaisen liukoisuuden viikoilla 29–32. Lisäksi sivukivinäytteessä GCL0231-004-HCT havaittiin viikoilla 13–16 yksittäisiä kohonneita liukoisuuksia, jotka eivät kuitenkaan ylittäneet 1,0 µg/kg/vko. Muissa näytteissä sinkin liukoisuus oli luokkaa 0,5 µg/kg/vko.

Vanadiinin osalta havaittiin useammassa näytteessä kohonneita pitoisuuksia. Sivukivinäytteessä GCL0231-004-HCT vanadiinin liukoisuus ylitti 1 µg/kg/vko koko kosteuskammiotestin ajan. Sivukivinäytteissä GCL0231-001-HCT ja GCL0231-005-HCT vanadiinin liukoisuus ylitti 1 µg/kg/vko arvon näytteessä GCL0231-005-HCT viikolle 37 asti ja näytteessä GCL0231-001-HCT viikolle 12 asti. Muissa näytteissä vanadiinin liukoisuus oli alhaisemmalla tasolla läpi kosteuskammiotestien testijakson. Kaikkien sivukivinäytteiden osalta vanadiinin liukoisuudessa on nähtävissä hienoinen laskeva trendi läpi testijakson. Muiden PIMA-asetuksen haitta-aineiden osalta liukoisuudet olivat < 1 µg/kg/vko koko kosteuskammiotestin ajan.

Alumiinin osalta kaikkien näytteiden liukoisuudet ylittivät 1,0 µg/kg/vko liukoiset koko testin ajan. Kosteuskammiotestin lopussa eri sivukivinäytteiden alumiinin liukoisuudet vaihtelivat välillä 14,75–56 µg/kg/vko. Alumiinin liukoisuus sivukivinäytteissä oli suurempaa kuin rikastushiekkänäytteissä. Molybdeenin osalta minkään näytteen liukoisuus ei ylittänyt 1,0 µg/kg/vko "first flush" -ilmiön jälkeen (viikon 5 jälkeen). Molybdeenin liukoisuus oli kaikissa sivukivinäytteissä laskeva viikon 2 jälkeen. Testijakson lopussa molybdeenin liukoisuus kaikissa sivukivinäytteissä oli < 0,05 µg/kg/vko.

Fosforin liukoisuuden osalta "first flush" -ilmiö näkyi viikoilla 0 ja 1 kaikissa sivukivinäytteissä. Viikosta 2 lähtien fosforin liukoisuus asettui kaikissa näytteissä noin tasolle 20–24 µg/kg/vko, muutamaa yksittäistä piikkiä lukuunottamatta. Huomionarvoista on se, että fosforin liukoisuus rikastushiekkänäytteissä vaikuttaa tulosten perusteella olevan hieman alhaisempi kuin sivukivinäytteissä.

Ammoniumtypen, nitriittitypen ja nitraattitypen osalta on nähtävissä "first flush" -ilmiö, joka kesti noin viikolle 5 asti. Ammoniumtypen, nitriittitypen ja nitraattitypen liukoisuudet olivat viikon 5 jälkeen pääosin todella alhaisella tasolla. Poikkeuksena sivukivinäyte GCL0231-005-HCT, jossa viikoilla 29–32 oli muutama yksittäinen korkeampi liukoisuus nitraattitypen osalta (0,25 mg/kg/vko). Samassa näytteessä havaittiin nitriittitypen liukoisuuden nousu viikoilla 36–40 (0,01 mg/kg/vko). Nitriittitypen osalta samoilla viikoilla 36–40 nähtiin lievempiä liukoisuuksien kasvuja myös muissa sivukivinäytteissä. Nitraattitypen osalta samoilla viikoilla 29–32 nähtiin lievempi liukoisuuden kasvu sivukivinäytteessä GCL0231-003-HCT. Ammoniumtypen osalta liukoisuudessa nähtiin hienoinen nousu viikoilla 29–32 sivukivinäytteissä GCL0231-002-HCT, GCL0231-003-HCT ja GCL0231-004-HCT. Liukoisuudet pysyivät < 0,004 mg/kg/vko tasolla.

Uraanin osalta näytteessä GCL0231-003-HCT havaitaan "first flush" -ilmiö. Näytteen GCL0231-003-HCT osalta huomionarvoista on se, että uraanin liukoisuus oli > 1 µg/kg/vko viikolle 8 asti, jonka

jälkeen viikolla kymmenen uraanin liukoisuus ylitti 1 µg/kg/vko. Viikon 10 jälkeen näytteen uraanin liukoisuus laski tasaisesti testin loppuun asti ja asettui lopussa tasolle 0,42 µg/kg/vko. Muissa näytteissä uraanin liukoisuus oli koko testin ajan alhaisempi.

Muiden metallien liukoisuuden osalta huomionarvoista on bariumin liukoisuuskäyttäytyminen. Bariumin liukoisuus sivukivinäytteissä on rikastushiekkaa alhaisempi. Sivukivinäytteissä GCL0231-001-HCT ja GCL0231-005-HCT "first slush" ilmiö kesti testiviikolle 3 asti. Viikosta kolme eteenpäin sivukivinäytteiden bariumin liukoisuudet joko osoittivat hienoisesti nousevaa trendiä (GCL0231-001-HCT, GCL0231-003-HCT ja GCL0231-005-HCT), tai liukoisuus pysyi lähes muuttumattomana (GCL0231-002-HCT ja GCL0231-004-HCT).

Muiden metallien osalta tulee lisäksi mainita myös strontiumin liukoisuus. Strontiumin liukoisuus tutkituissa sivukivinäytteissä oli pääosin alhaisempi kuin rikastushiekkänäytteissä. Selkeästi alhaisin strontiumin liukoisuus oli sivukivinäytteessä GCL0231-002-HCT, jossa strontiumin liukoisuus oli < 13 µg/kg/vko koko testijakson ajan. Strontiumin liukoisuus kyseisessä näytteessä osoitti myös lievästi laskevaa trendiä. Toiseksi alhaisin strontiumin liukoisuus oli sivukivinäytteessä GCL0231-004-HCT, missä liukoisuus osoitti lievästi laskevaa trendiä läpi testijakson. Sivukivinäytteissä GCL0231-001-HCT ja GCL0231-005-HCT strontiumin liukoisuus oli yhtenevä viikolle 4 asti, jonka jälkeen näytteen GCL0231-001-HCT strontiumin liukoisuus nousi noin 40–50 µg/kg/vko korkeammalle tasolle kuin näytteessä GCL0231-005-HCT. Viikolla 9 näiden näytteiden strontiumin liukoisuus laski yhtenevälle tasolle, jonka jälkeen pitoisuudet laskivat yhtenevästi viikolle 16 asti. Viikon 16 jälkeen strontiumin liukoisuus näytteessä GCL0231-001-HCT laski noin 16 µg/kg/vko alhaisemmalle tasolle kuin näytteessä GCL0231-005-HCT. Ero pysyi samassa suuruusluokassa testijakson loppuun asti, molempien näytteiden strontiumin liukoisuuden osoittaessa laskevaa trendiä. Selkeästi korkein strontiumin liukoisuus sivukivinäytteistä oli näytteessä GCL0231-003-HCT. Näytteen strontiumin liukoisuus nousi viikolle 10 asti, noin tasolle 293 µg/kg/vko, josta strontiumin liukoisuus näytteessä laski tasolle 185 µg/kg/vko testijakson lopussa.

### **3.9.2 SUOTOVESIEN SULFAATTIPITOISUUDEN KÄYTTÄYTYMISEN ARVIOINTI PITKÄLLÄ AIKAVÄLILLÄ**

Tässä kappaleessa on arvioitu Ansamäen sivukivialueelta muodostuvaa suotoveden laatua kosteuskammiotestin tulosten perusteella. Arvioinnissa on käytetty kosteuskammiokokeen kokoomanäytteen tuloksia. Kokoomanäyte on sisältänyt sivukiviä noin samassa suhteessa kuin niitä on läjitetty sivukivialueelle. Kokoomanäytteen koostumus on esitetty aiemmin taulukossa (**Taulukko 11**).

On tärkeää huomioida, että kosteuskammiotestien olosuhteet eivät vastaa todellisen kaivannaisjätealueen olosuhteita. Eroja voi esiintyä esimerkiksi mineraaliaineksen raekoossa, lämpötilassa, veden ja kiintoaineksen suhteessa, hapen määrässä sekä mikrobitoiminnassa. Tämän vuoksi kosteuskammiotestien tulokset eivät välttämättä kuvaa suoraan kaivannaisjätealueen suotoveden laatua, eikä niiden perusteella voida yksiselitteisesti arvioida muodostuvan suotoveden

haitta-ainepitoisuuksia. Tuloksia voidaan kuitenkin hyödyntää arvioitaessa suotoveden käyttäytymisen todennäköistä trendiä ja muutoksia pitoisuustasoissa. Arviointiin liittyy aina epävarmuuksia, kun laboratorionkokeiden tuloksia skaalataan kenttämittakaavaan, arvioinnissa tehtävien yksinkertaistuksien ja oletuksien takia.

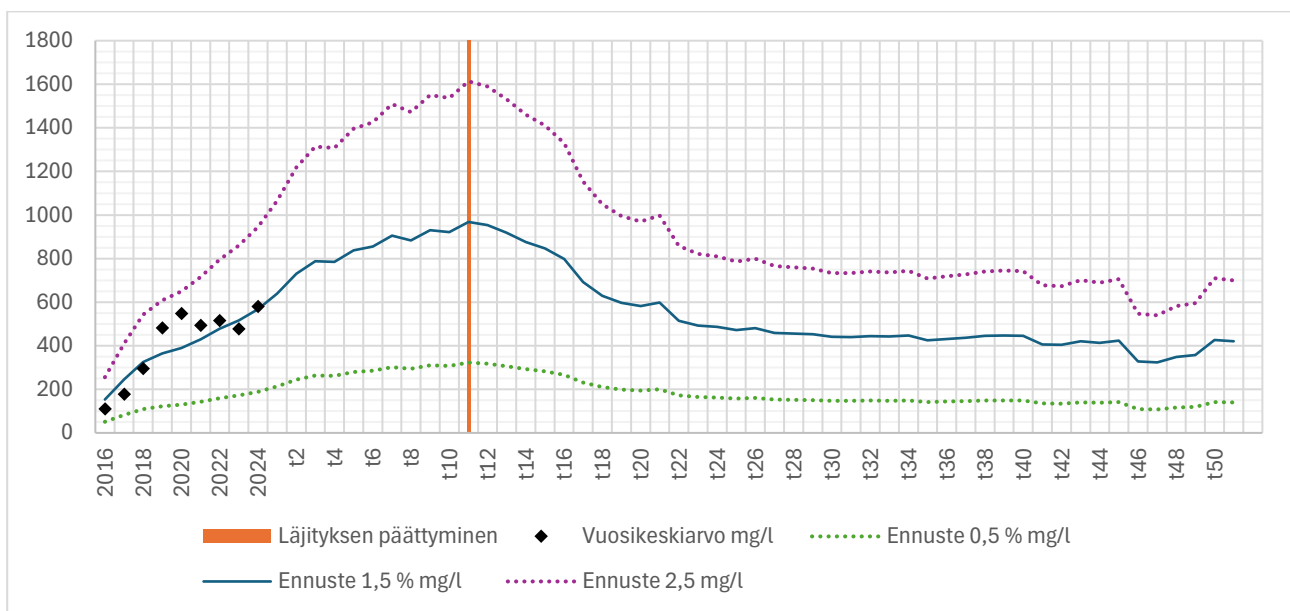
Laboratoriomittakaavan tulosten skaalaamiseksi kenttäolosuhteisiin on kuitenkin tehty arvioita. Esimerkiksi Price (1997) havaitsi, että kenttämittakaavan testikasoilla sulfaatin liukoisuudet olivat noin 0,3–1,5 % verrattuna vastaavien materiaalien kosteuskammioikäyttyymiseen. Samassa tutkimuksessa myös alkuaineiden kuten kalsiumin (Ca), kadmiumin (Cd), kuparin (Cu), nikkelin (Ni) ja lyijyn (Pb) liukoisuudet olivat samalla tasolla. Morin (2013) on käsitellyt artikkelissaan yksittäisiä korjauskertoimia, joista muodostuu kokonaiskorjauskerroin. Näitä ovat mm. partikkelikoko, lämpötila, veden virtaus ja kontaktipinta, hapen määrä huokosilmassa sekä mineraalien pitoisuudet, lisäksi eri alkuaineiden ominaisuudet voivat vaikuttaa korvauskertoimen suuruuteen. Näiden muuttujien vuoksi korjauskertoimet voivat materiaalista ja kohteen ominaisuuksista johtuen poiketa hyvin paljon toisistaan, eikä niin kutsuttua yleiskorjauskerrointa voida käyttää kosteuskammiokokeiden skaalaamiseksi kenttämittakaavaan.

Suotoveden laadun arvioinnissa on verrattu Ansanmäenpurosta mitattujen suotovesien virtaamapainotteisten vuosikeskiarvojen laatua kosteuskammiotestien perusteella laskettavaan suotoveden laatuun. Kosteuskammiotestin tulosten sekä jätealueen ja läjitetyn jätemäärän perusteella laskettiin suotoveden laatuarvio vuosille 2016–2024 keskimääräisenä sadantavuonna. Saatujen tulosten perusteella havaittiin, että suotoveden sulfaattipitoisuus vastasi melko hyvin 1,5 % pitoisuuteen kosteuskammioikäyttyymisestä, kun käytettiin testiviikkojen 1–10 tuloksia.

Ansanmäen sivukivialueelta muodostuvalle suotovedelle laskettiin myös suotoveden laadun muutoksen ennuste vuosille 2025–2035, jolloin Ansanmäen läjitysalue on aktiivisessa käytössä. Laskennassa käytettiin niin ikään keskimääräistä sadantavuotta. Laskennassa oletettiin, että Ansanmäen koko läjitystilavuus, noin 155 Mt, käytetään vuoteen 2035 mennessä. Lisäksi laskettiin ennuste suotoveden laadun muutokselle läjityksen päättymisen jälkeen, joka simuloi jätealueella olevan sivukiven vanhenemista tilanteessa, jossa sivukivialuetta ei suljettaisi asianmukaisin sulkemistoimenpitein. Laskennassa haluttiin tarkastella suotoveden laadun muutoksia kyseissä kohteissa pitkän ajan kuluessa.

Laskennassa jouduttiin tekemään yksinkertaistuksia ja oletamia, eikä kosteuskammiotestien viikkotuloksia voitu käytettävissä olevan tiedon avulla validoida tiettyyn ajanhetkeen tai -jaksoon. Kosteuskammiotestin viikkotuloksen tulkintaan vaikuttaa aina kyseessä olevan jätteen ominaisuudet sekä kohdekohtaiset olosuhteet. Laskennassa oletettiin, että yhden viikon tulos vastaa yhtä vuotta kenttäolosuhteissa, jolloin myös saadut tulokset vastasivat melko hyvin todennettuja suotoveden virtaamapainotteisia vuosikeskiarvoja. Ansanmäki on jo käytössä oleva kaivannaisjätteen läjitysalue, jonka vuoksi laskennassa käytettiin useiden testiviikkojen keskiarvoa, painottamatta sitä kuitenkaan erikseen eri vuosina läjitettyjen jätteiden määrillä. Vuoteen 2035 saakka laskennassa käytettiin eri keskiarvoja viikkoilta 1–20, jotta voitiin kuvata sivukiven ikääntymisen vaikutusta suotoveden laatuun. Ansanmäen läjityksen päättyessä jätteen vanhenemista on kuvattu viikkojen 1–41 tuloksilla aika-askelin (t1...t51) 20 viikon liukuvalla keskiarvolla niin, että kutakin aika-askelta kohden kaivannaisjäte ”vanhenee” yhden viikon testituloksen verran.

Kuvassa (**Kuva 14**) on esitetty arvio Ansanmäen sivukivialueen sulfaattipitoisuuden kehittymisestä. Kuvassa on esitetty todennäköinen arvio ”Ennuste 1,5 %”, joka vastaa melko hyvin vuosien 2016—2024 todennettuja virtaamapainotteisia suotoveden sulfaattipitoisuuksia. Lisäksi on esitetty kaksi muuta ennustetta (0,5 ja 2,5 %), jotka kuvaavat laskennan herkkyyttä käytetyn korjauskertoimen osalta. Ennusteen 1,5 % mukaan sivukivialueen suotovesien sulfaattipitoisuus tulee kasvamaan sivukiven määrän lisääntyessä läjitysalueella. Sivukivialueen laajentuminen ja vesimäärän kasvaminen hieman hillitsee sulfaattipitoisuuden nousua, mutta se ei pienennä kuitenkaan sulfaattikuormitusta. Ansanmäen läjityksen päättymiseen mennessä sivukivialueen suotoveden pitoisuuden arvioidaan kosteuskammiotestien tulosten perusteella nousevan noin tasolle 970 mg/l. Tämä arvio on melko hyvin linjassa aiemmin laaditun GoldSim-mallinnuksen (Envineer 2023) kanssa, jossa arvioitiin, että Ansanmäen läjityksen suotoveden sulfaattipitoisuus tulee nousemaan tasolle 934 mg/l vuoteen 2035 mennessä.



Kuva 14. Arvio Ansanmäen sivukivialueen suotovesien sulfaattipitoisuuden kehittymisestä. Vuosikeskiarvo kuvaa Ansanmäen puron sulfaattipitoisuuksien virtaamapainotteista vuosikeskiarvoa. Ennusteet 0,5, 1,5 ja 2,5 % kuvaavat käytettyjä kosteuskammiotulosten korjauskertoimia, joilla laskenta on tehty.

Vaikka ennusteeseen liittyy epävarmuuksia, voidaan kosteuskammiotestien tulosten perusteella kuitenkin melko luotettavasti arvioida, että sulfaattipitoisuuden kehitys tulee olemaan melko tasaista ja sivukivistä vapautuvan sulfaatin määrä hiipuu vähitellen läjitystoiminnan lakattua. Laskenta ei huomioi peittorakennetta tai muita sulkemistoimenpiteitä, joita sivukivialueella voidaan tehdä suotoveden määrän vähentämiseksi ja laadun parantamiseksi.

Saarisen ja Itäläjityksen osalta voidaan tehdä vastaava arvio, kun Ansanmäkeä vastaavat tiedot ovat käytettävissä. Näidenkin läjitysalueiden suotoveden sulfaattipitoisuuden kehitys noudattaa kuitenkin kosteuskammiotesteissä havaittua käyttäytymistä. Siten voidaankin arvioida, että sivukivialueelle läjitettävän sivukiven määrä lisää kaikilla sivukivialueille varastoituvaa sulfaattikuormaa vastaavalla tavalla. Myös vesi- ja ainetasemallinnuksessa Ansanmäen ja Itäläjityksen käyttäytymisen on arvioitu olevan hyvin lähellä toisiaan. Sulfaattikuorman suurin lisäys nähdään suhteellisen lyhyen ajan kuluessa sivukiven läjittämisestä, jonka jälkeen kuormitus pienenee ja tasaantuu, mutta ei täysin

lakkaa tutkitulla ajanjaksolla (tarkasteltaessa sivukiven kokoomanäytteen tulosta). Suotovesien sulfaattipitoisuus on siten riippuvainen sivukivialueella olevien sivukivien iästä sekä määrästä, jonka vuoksi Ansanmäen, Saarisen ja Itäläjityksen suotovesien pitoisuudet, eivät täysin vastaa toisiaan. Saarisen sivukivialueen suotovesien tarkkailutuloksiin vaikuttaa myös Mustin rikastushiekka-altaan suotovesien laatu.

### 3.9.3 TULOSTEN VERTAILU SUOTOVESIIN

Sivukivinäytteiden kosteuskammiotestien aikainen pH oli pääosin tasolla 7,5–8 ja neutralointipotentiaalia oli yleisesti enemmän kuin hapontuottopotentiaalia, näytteet olivat myös nettoalkaliniteetti-happamuuden osalta pääosin alkalisella puolella. Suotoveden laatu on yhtenevä näiden tulosten osalta, koska suotovedet ovat tarkkailutulosten perusteella neutraaleja tai lievästi emäksisiä.

Kosteuskammiotesteissä sulfaatin liukoisuus saavutti pääosin maksimitasonsa ensimmäisten viikkojen aikana. Sulfaatin liukoisuuden trendi oli laskeva testijakson alun korkeiden liukoisuuksien jälkeen. Kosteuskammiotestin ja staattisten testien tulosten perusteella voidaan päätellä, että kivilajit eivät isossa määrin sisällä sulfideja. Tulosten perusteella sulfaatin voimakkaampi liukeneminen on lyhykestoinen ilmiö (vrt. first flush), minkä jälkeen sulfaatin liukeneminen vähenee ja joidenkin kivilajien osalta voi jopa loppua. Suotovesien tarkkailutulosten perusteella sulfaattipitoisuus osoittaa nousevaa trendiä Ansanmäen purossa ja Itäläjityksen ojassa ja lievempää nousevaa trendiä Saarisen ojassa. Yleisesti ottaen ainakin Ansanmäen läjitysalueen osalta voidaan arvioida, että läjitysalueen verrattain suuri läjitetyn tuoreen sivukiven määrä aiheuttaa sulfaattikuormitusta. Tehdyn arvion mukaan alueelle läjitettävä sivukivi kasvattaa alueen sulfaattikuorman varastoa nopeammin kuin sulfaattia ehtii vapautua rapautumisen ja/tai liukenemisen seurauksena. Arvion mukaan suotovesien keskiarvoinen sulfaattipitoisuus tulee kasvamaan tulevaisuudessa niillä sivukivialueilla, joilla on aktiivista läjitystoimintaa.

Sivukiven läjitysalueista tällä hetkellä on käytössä pääosin Ansanmäen läjitysalue sekä Itäläjitys ja Saarisen läjitysalue. Tämän raportin kirjoitushetkellä oli käytettävissä tieto Ansanmäen läjitysalueelle läjitettyjen sivukivien suhteesta (**Taulukko 1**). Vuodesta 2020 lähtien Ansanmäen läjitysalueelle on läjitetty eniten feniittiä (kosteuskammionäyte GCL0231-001), keskimäärin 44,5 % läjitetystä sivukivestä. Lisäksi Ansanmäelle on läjitetty keskimäärin 27 % malmia, joka päättyy sivukiven mukana kasalle, sekä 14 % diabaasia (kosteuskammionäyte GCL0231-004) ja 10,8 % gneissia (kosteuskammionäyte GCL0231-002). Muilta läjitysalueilta vastaavaa tietoa ei ollut käytettävissä.

Yleisesti voidaan arvioida, että suotovesissä havaittu nouseva trendi sulfaattipitoisuudessa kuvaa todennäköisesti sitä, että kuormitusta tulee sekä aiemmin läjitetystä sivukivestä, että nykyisin läjitettävästä sivukivestä. Koska sivukiven läjitysmäärät ovat verrattain suuria, sulfaattipitoisuuden nouseva trendi tulee todennäköisesti jatkumaan, mikäli sivukiven läjitysmäärät pysyvät nykyisellä tasolla. Läjitettävä sivukivimäärä tulee todennäköisesti vähentymään vasta kaivoksen elinkaaren loppupuolella ja tällöin sulfaattipitoisuus tulee oletettavasti tasaantumaan, tai jopa laskemaan keskipitkällä aikavälillä, kun uutta sivukiveä ei enää läjitetä. Tämän hetkisen louhintasuunnitelman mukaisesti sivukiven määrä tulee pienenevän vuodesta 2030 alkaen, kun ulkoraakun louhinta vähenee. Arvio perustuu kosteuskammiotesteissä havaittuun sulfaatin liukoisuuden pieneneemiseen

sekä laskennalliseen arvioon Ansanmäen läjitysalueen suotoveden sulfaattipitoisuuden käyttäytymisestä. Läjitysalueiden sulkeminen tulee pienentämään sivukivialueilta muodostuvaa suotoveden määrää sekä parantamaan sen laatua pitkällä aikavälillä tarkasteltuna. Tällöin myös läjitysalueilta aiheutuva sulfaattikuormitus tulee vähenemään.

PIMA-asetuksen haitta-aineiden, alumiinin ja molybdeenin osalta merkittäviä (yli 1,0 µg/kg viikoittaisia) liukoisuuksia "first flush"-ilmiön ulkopuolella havaittiin osassa sivukivinäytteistä sinkin, vanadiinin, alumiinin ja molybdeenin osalta. Muiden PIMA-asetuksen haitta-aineiden liukoisuudet olivat alhaisia läpi kosteuskammiotestijakson. Suotovesissä havaitut PIMA-metallien pitoisuudet ovat alhaisia ja täten linjassa kosteuskammiotestien tulosten kanssa.

Ammonium-, nitriitti- ja nitraattitypen liukoisuudet sivukivinäytteistä olivat alhaiset kosteuskammiotestien aikana. Testin myöhemmillä viikoilla nähtiin lyhytaikaisia, pieniä, liukoisuuden kasvuja. Suotovesitulosten perusteella typen jakeiden osalta kaikissa havaintopisteissä on havaittu vähintään yksittäisiä kohonneita pitoisuuksia. Typen jakeet ovat pääosin alhaisella tasolla, pl. nitraattitypen pitoisuudet kaikissa tarkkailupisteissä, mikä on toisaalta yhtenevä havainto kosteuskammiotestien kanssa. Kosteuskammiotesteissä typen jakeiden liukoisuudet olivat alhaisia, mutta suurin liukoisuus havaittiin nitraattitypen osalta. Typen jakeissa nähdään paikoin hienoista nousevaa trendiä, mutta kyse on todennäköisimmin hapetusolosuhteiden vaikutuksesta, kuin varsinaisesta typpipitoisuuden noususta, koska kokonaistyyppipitoisuus osoittaa pääosin laskevaa trendiä.

## **3.10 YHTEENVETO SIVUKIVIALUEIDEN SULFAATIN, TYPEN JA FOSFORIN KÄYTTÄYTYMISESTÄ**

### **3.10.1 TYPPI**

Typen käyttäytymistä sivukivialueilla on arvioitu sekä laboratoriotestien (kosteuskammiotestit ja lysimetrit) että kenttätarkkailun perusteella. Typen kuormituspotentiaali liittyy erityisesti räjähdäinejämiin, jotka jäävät sivukiven pintaan louhinnan ja läjityksen yhteydessä. Tehtyjen suotovesiselvityksen mukaan sivukivistä itsestään ei liukene merkittäviä määriä typpeä, vaan kuormitus on pääosin peräisin räjähteistä. Typen huuhtoutuminen tapahtuu nopeasti valumavesien mukana, mutta suurten läjitysmäärien vuoksi typpikuormitus voi jatkua pitkäänkin läjityksen päättymisen jälkeen.

Kosteuskammiotestit osoittivat, että typen jakeiden liukoisuus pysyi pääosin alhaisella tasolla. Kosteuskammiokokeissa näkyi selvästi ns. alkuhuhtouma testin alkuvaikeilla, jolloin nitraattityppi oli hallitseva muoto. Ammonium- ja nitriittitypen pitoisuudet olivat selvästi matalampia, ollen usein alle määritysrajan. Testijakson edetessä typen pitoisuudet laskivat nopeasti ja pysyivät matalina. Lysimetrikokeessa havaittiin samankaltainen ilmiö: typen liukeneminen oli voimakkainta heti läjityksen jälkeen, mutta pitoisuudet puolittuivat nopeasti ja jatkoivat laskuaan. Suotovesitarkkailussa kokonaistyyppipitoisuus osoittaa pääosin laskevaa trendiä Ansanmäen ja Itäläjityksen alueilla. Saarisen ojassa havaittiin laskeva trendi vuosina 2019–2023, mutta sen jälkeen lievää nousua.

Kokonaisuudessa tarkastellen typen jakeiden osalta nitraattityppi on selvästi hallitseva, ja sen pitoisuuksissa on havaittu yksittäisiä nousuja. Ammonium- ja nitriittityypen pitoisuudet ovat olleet alhaisia ja osoittavat lievää laskua tai tasaantumista. Havaittu hienoinen nousu joidenkin jakeiden välillä liittyy todennäköisesti hapetusolosuhteiden vaihteluun, eikä varsinaiseen kokonaistyyppipitoisuuden kasvuun.

Yhteenvetona voidaan todeta, että typpikuormitus sivukivialueilla liittyy ensisijaisesti räjähdäinejäämiin ja huuhtoutuu nopeasti sivukiven läjityksen jälkeen. Kuormituspotentiaali on suurimmillaan heti läjityksen jälkeen, mutta pitoisuudet tasaantuvat ajan myötä. Toiminnan päätyttyä suotovesien typpipitoisuudet vaimenevat ja lopulta lähestyvät luonnollista tasoa.

Vuoden 2025 aikana Yara Siilinjärven kaivoksella on siirrytty toistaiseksi käyttämään vain Dual Salt räjähdysainetta. Muutos on toteutettu Yarex-aseamalla, jossa räjähdäineen reseptiikka on päivitetty vastaamaan Dual Salt -koostumusta. Muutos on tehty, jotta voidaan paremmin tarkastella räjähdysaineen soveltuvuutta ja vaikutuksia ympäristöön, tuotantoon sekä turvallisuuteen. Muutoksen odotetaan vähentävän typpipäästöjä. Vasta kerättyjen käyttökokemuksien perusteella voidaan tehdä päätöksiä tulevaisuudessa käytettävistä räjähdysaineista.

### **3.10.2 FOSFORI**

Fosforin käyttäytyminen sivukivialueilla on ollut verrattain rauhallista ja ennustettavaa. Fosforin liukoisuuteen vaikuttavat muun muassa sivukiven mineralogia, veden virtausolosuhteet ja vuodenaikaiset vaihtelut. Keväisin lumen sulamisvedet voivat laimentaa pitoisuuksia, mikä näkyy tarkkailutuloksissa. Fosfori ei ole yhtä liikkuva kuin typpi, ja sen liukeneminen tapahtuu hitaammin ja tasaisemmin.

Kosteuskammiotestien perusteella fosforin liukoisuus oli ensimmäisillä testiviikoilla koholla, mutta asettui nopeasti tasolle 20–24 µg/kg/vko. Lysimetrikokeessa fosforin pitoisuus oli perustasolla 5–10 µg/l, mutta yksittäisissä mittauksissa havaittiin vaihtelua. Suotovesitarkkailussa fosforipitoisuus sivukivialueilla osoittaa lievää laskevaa trendiä kaikilla tarkkailupisteillä. Fosforipitoisuuden yleinen trendi tutkituissa näytteissä oli kuitenkin pääosin tasainen ja alhainen.

Tulosten perusteella voidaan arvioida, että kaivannaisjätteiden käyttäytymisessä ei tapahdu sellaisia muutoksia, jotka äkillisesti kasvattaisivat vapautuvan fosforin määrää merkittävästi. Fosforin liukenemisen ollessa hidasta, kasvaa sivukivialueiden fosforikuorma tuoretta sivukiveä läjittäessä. Toiminnan päätyttyä sivukivialueille varastoitunut kuorma purkautuu, jolloin suotovesien fosforipitoisuudet kääntyvät laskuun ja pitkän ajan kuluessa lähestyvät luonnollista tasoa.

### **3.10.3 SULFAATTI**

Sulfaatti ja suotovesien sulfaattipitoisuus on tarkastelluista komponenteista selkeimmin riippuvainen läjitysmateriaalin laadusta, määrästä ja iästä. Kosteuskammiotestit osoittivat, että sulfaattipitoisuus nousee nopeasti läjityksen jälkeen ("first flush") ja laskee sen jälkeen asteittain. Komposiittinäytteen, eli sivukiven kokoomanäytteen, sulfaatin liukoisuus saavutti maksimitasonsa viikolla 5 (9,61

mg/kg/vko), minkä jälkeen pitoisuus laskee tasaisesti. Lysimetrikokeessa sulfaattipitoisuus vaihteli voimakkaasti sadannan mukaan. Lysimetrikokeessa on arvion mukaan vielä alkuhuuhtouma käynnissä. Suotovesitarkkailussa sulfaattipitoisuus osoittaa nousevaa trendiä kaikilla sivukivialueilla, erityisesti Ansanmäen ja Itäläjäytyksen alueilla. Saarisen ojassa trendi on lievempi, mutta silti havaittavissa.

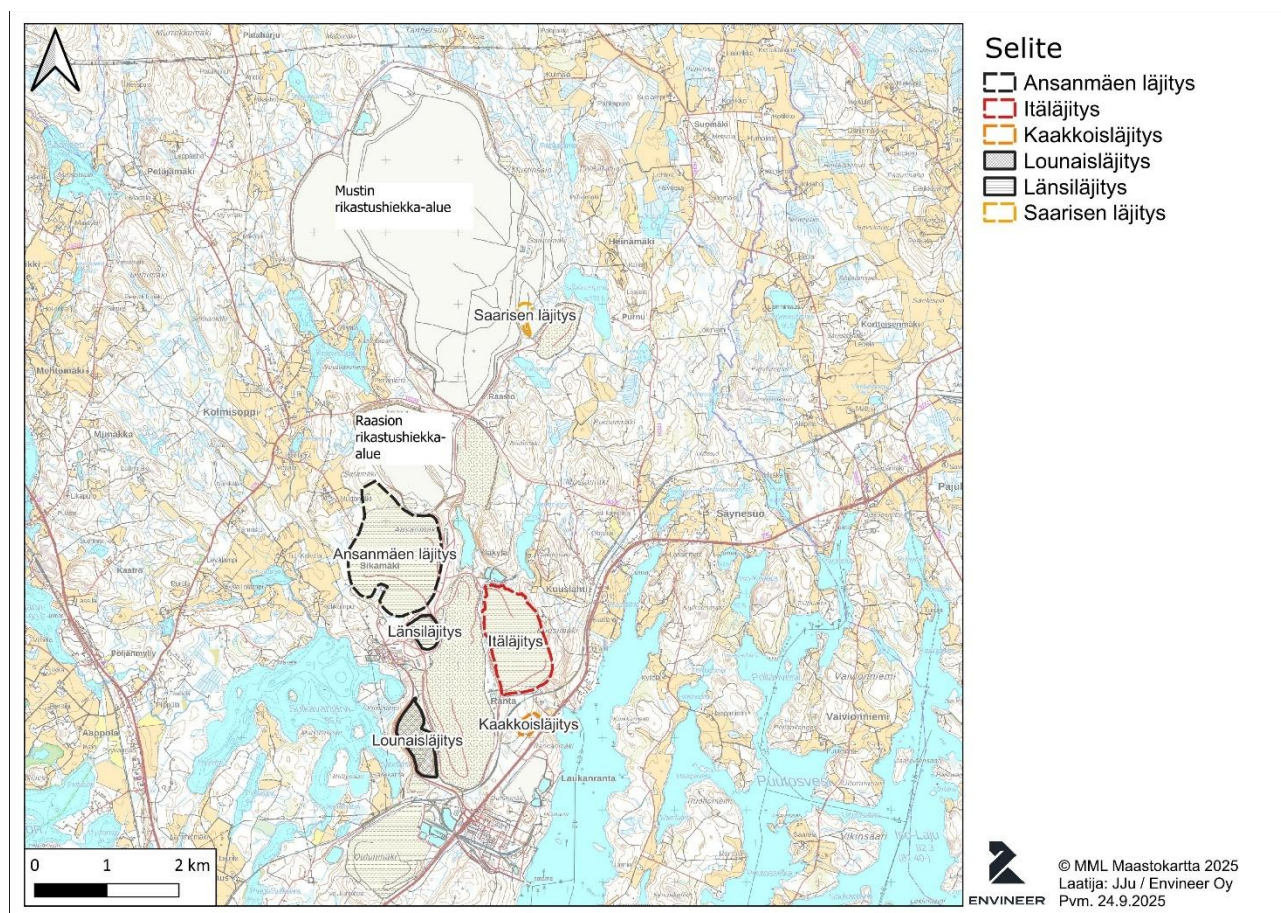
Sulfaattikuormituksen arvioinnissa on käytetty myös vesi- ja ainetasemallinnusta, joiden mukaan sivukivialueiden suotovesien sulfaattipitoisuuden nousu tulee jatkumaan, kunnes tuoreen sivukiven läjittäminen lopetetaan. Suotovesien sulfaattipitoisuuden on arvioitu kääntyvän laskusuuntaiseksi läjitystoiminnan päättyttyä. Myös kosteuskammiotestin perusteella tehty suotoveden käyttäytymisen laskenta on yhteneväinen mallinnuksen tuloksien kanssa. Tämä tukee havaintoa siitä, että sulfaattikuormaa kertyy sivukivialueille nopeammin kuin se ehtii niiltä vapautua. Kuormituspotentiaali kasvaa läjitysmäärän mukana, ja sulfaattipitoisuus on siten riippuvainen sekä jätteen määrästä että iästä. Läjityksen päättyessä suotovesien sulfaattipitoisuudet lähtevät laskuun, mutta luonnollisen tilan saavuttaminen ilman sulkemistoimenpiteitä voi kestää vuosikymmeniä tai vuosisatoja.

Yhteenvetona voidaan todeta, että sulfaatti on nyt tarkastelluista komponenteista herkin läjitysmateriaalin laadulle, iälle ja määrälle. Sen käyttäytyminen on ennustettavissa laboratoriotulosten ja kenttähavaintojen perusteella, ja kuormituspotentiaali on merkittävä erityisesti aktiivisilla läjitysalueilla. Sulfaattipitoisuus tasaantuu vasta pitkän ajan kuluttua läjityksen päättymisestä, ja sulkemistoimenpiteet voivat nopeuttaa tätä prosessia.

# 4 Rikastushiekka-alueet

## 4.1 RIKASTUSHIEKAN LÄJITYSALUEET

Rikastushiekkaa läjitetään kaivosalueella oleville rikastushiekka-alueille. Rikastushiekan läjitys tehdään pääosin Mustin rikastushiekka-alueelle ja satunnaisesti Raasion rikastushiekka-alueelle. Rikastushiekan läjitysalueet, Mustin rikastushiekka-alue ja Raasion rikastushiekka-alue on esitetty kuvassa (Kuva 15). Rikastushiekka on luokiteltu tavanomaiseksi pysyväksi kaivannaisjätteeksi. Rikastushiekka-alueiden pohjarakenteena toimii luonnonmaa, eikä erillisiä tiivistysrakenteita ole vaadittu.



Kuva 15. Rikastushiekan läjitysalueet sivukiven läjitysalueet.

### 4.1.1 RAKENTEET, KOKO, SIJAINTI

Rikastushiekka-alueiden sijainti on esitetty edellä (Kuva 15). Mustin rikastushiekka-alue sijoittuu kaivosalueen pohjoisosaan Saarisen louhoksen länsipuolelle. Raasion rikastushiekka-alue kaivosalueen keskiosaan, Mustin rikastushiekka-alueen eteläpuolelle, Jaakonlammen louhoksen länsipuolelle. (Yara 2020)

Mustin rikastushiekka-alueen kokonaispinta-ala on 800 ha ja Raasion rikastushiekka-altaan kokonaispinta-ala on 170 ha. Mustin rikastushiekka-alueen kokonaistäyttötilavuus on 380 000 000 m<sup>3</sup> ja Raasion rikastushiekka-alueen kokonaistäyttötilavuus on 6 000 000 m<sup>3</sup>. (Yara, 2024) Vuoden 2024 loppuun mennessä rikastushiekkaa oli läjitetty Mustin rikastushiekka-altaalle noin 183 000 000 kuutiometriä ja Raasion rikastushiekka-altaalle arviolta noin 5 567 000 kuutiometriä.

Louhittava malmi sisältää arvomineraaleina apatiittia (n. 10 %) ja kalsiittia (noin 20 %). Rikastusprosessissa arvomineraalit erotetaan malmisyöttestä vaahdottamalla ja jäljelle jäävä syötteen osa on rikastushiekkaa. (Yara 2020)

Rikastushiekkaa syntyy vuosittain noin 10 miljoonaa tonnia. Rikastushiekkaa läjitetään pääosin Mustin rikastushiekka-alueelle. Rikastushiekan läjittymistä ohjataan rikastushiekka-altaan sisäpuolelle rakennettavien tukipenkereiden avulla, jotka on rakennettu louheesta. Rikastushiekka-alueen maksimikorkeus tulee olemaan + 230 mpy. Raasion rikastushiekka-aluetta käytetään rikastushiekan läjittämiseen tilanteissa, missä pastalaitoksella tai Mustin rikastushiekka-alueella tehdään sellaisia kunnossapitotöitä, ettei rikastushiekan johtaminen sinne ole mahdollista (keskimäärin 1 vrk/a). (Yara 2020)

Rikastushiekan hyödyntämistä rikastushiekka-altaan patojen rakentamiseen on tutkittu. Rikastushiekkaa ei käytetä patojen rakentamiseen, koska hiekan kitkakulman takia riittävän stabiileihin rakenteisiin ei ole päästy tutkimusten perusteella. (Yara 2020)

Vuonna 2018 rikastushiekka-alueen aktiivisen läjitystoiminnan kohteena oleva alue (maisemoimaton alue) on noin 432 ha. Rikastushiekka-alueille on tehty vuosien 2017 ja 2018 aikana kylvöjä suoraan rikastushiekkakerroksen pinnalle pölyämisen hallintaan liittyen Mustin rikastushiekka-alueen keskiosaan. Kylvöt ovat onnistuneet hyvin. Kylvöt on kohdistettu alueille, joille tulee vielä kohdistumaan läjitystoimintaa. (Yara 2020) Kylvöjä on jatkettu vuosittain myös vuoden 2018 jälkeen. Rikastushiekka-alueen pölyämistä hallitaan myös alueelle asennettujen vesi-/lumitykkien avulla. Vesi-/lumitykkeitä on asennettu alueelle yhteensä kolme kappaletta.

#### **4.1.2 LÄJITYSMENETELMÄT**

Rikastushiekka pumpataan rikastamolta vesilietteenä pastalaitokselle. Pastalaitos on otettu käyttöön vuoden 2017 alussa. Pastalaitoksella rikastushiekasta poistetaan vettä kahdessa sakeuttimessa. Pastamainen rikastushiekka pumpataan edelleen kahta putkilinjaa pitkin Mustin rikastushiekka-altaalle. Rikastushiekka-altaalla on kolme purkupaikkaa pastalaitoksen putkilinjoille, joista kahta käytetään samanaikaisesti. Sakeuttimen ylitevesi ohjataan Mustin rikastushiekka-altaan pohjoisosaan. (Yara 2020)

Rikastushiekasta voidaan erottaa sen sisältämiä kiillemineraaleja painovoimaan ja seulontaan perustuvilla menetelmillä ennen rikastushiekka-altaalle pumppaamista. Menetelmiä käytetään eri vaiheissa halutun tuotteen loppukarkeuden saavuttamiseksi. Lopputuloksena saadaan erittäin puhdasta flogopiittikiillettä sisältävää rikastetta, jota tuotetaan enintään 30 000 t/a. Rikastushiekasta erotetaan myös maanparannusaineena ja lannoitteiden raaka-aineena käytettävää biotiittia enintään 120 000 t/a. (Yara 2020)

Rikastusprosessissa merkittävimmän kemikaalijäännöksen rikastushiekka-altaille aiheuttaa pH:n säädössä käytetty laimea rikkihappo. Rikkihapon käytön seurauksena rikastushiekka-alueen suotovesissä nähdään ympäristöään korkeampia sulfaattipitoisuuksia. (Yara 2020)

## 4.2 RIKASTUSHIEKAN MINERALOGIA

Siilinjärven kaivoksen rikastushiekan mineraloginen koostumus on esitetty Siilinjärven kaivoksen vuonna 2020 päivitetystä kaivannaisjätteen jätehuoltosuunnitelmassa. Rikastushiekan päämineraalina ovat flogopiitti (kiille) sekä karbonaattimineraalit kalsiitti ja dolomiitti, joiden jakauma on seuraava: kalsiitti 9–19% ja dolomiitti 1,5-5%. Muita sen sisältämiä mineraaleja:

- Aksessorisina: maasälpiä, amfiboleja, dolomiitti, biotiitti, pyrokseeneja ja apatiittia
- Sulfidit: havaittu rikkikiisu sekä magneettikiisu, joiden kokonaismäärä on alle 0,05 % (Yara 2020)

Rikastushiekan mineralogiana on tutkittu vuosina 2016 ja 2017 MLA-menetelmällä (Mineral Liberation Analysis). Näytteet on analysoitu yhdestä näytteestä partikkelianalysimenetelmällä ns. bulkkina. Alla olevassa taulukossa esitetyt fraktiot on generoitu MLA-ohjelmalla bulkkinäytteestä saaduista tuloksista. Näytteiden päämineraalit (yli 1 paino-%) ovat hyvin samankaltaiset, jossa phlogopiitti dominoi, ja mukana on runsaasti biotiittia, karbonaatteja (kalsiitti, dolomiitti), maasälpiä (albiitti, hyalofaani, plagioklaasi), amfiboleja (richteriitti, tremoliitti, aktinoliitti) sekä apatiittia.

*Taulukko 12. Rikastushiekan mineralogia vuoden 2016 ja 2017 näytteistä. Lukema 0,00, tarkoittaa, että kyseistä mineraalia on löytynyt näytteestä ja sen kokonaispitoisuus on yli 0, mutta alle 0,01 paino-%.*

2016		2017	
Fraction Wt%	146 / 14785 / Bulk	Fraction Wt%	15583 / Bulk
Mineral	Wt%	Mineral	Wt%
Quartz	0,31	Quartz	1,41
Albite	3,04	Albite	3,74
Plagioclase	0,60	Plagioclase	1,44
K_feldspar	0,57	K_feldspar	0,05
Hyalophane	1,95	Hyalophane	3,52
Diopside	0,29	Diopside	0,21
Richterite	0,78	Richterite	3,91
Actinolite	0,54	Actinolite	1,61
Tremolite	2,72	Tremolite	3,75
Epidote	0,08	Epidote	0,68
Phlogopite	68,18	Phlogopite	63,34
Biotite	5,47	Biotite	5,54
Muscovite	0,57	Muscovite	0,08
Chlorite	0,01	Chlorite	0,46
Talc	0,02	Talc	0,34
Deerite	0,13	Deerite	0,10
Titanite	0,08	Titanite	0,33
Allanite	0,00	Allanite	0,00
Zircon	0,05	Zircon	0,13
Calcite	8,80	Calcite	5,06
Dolomite	3,18	Dolomite	1,86
Strontianite	0,00	Strontianite	0,00
Apatite	2,08	Ancylite	0,00
Monazite-(Ce)	0,00	Apatite	1,54

Aeschnite	0,00	Monazite-(Ce)	0,01
Magnetite	0,25	Arrojadite	0,00
Ilmenite	0,01	Aeschnite	0,00
Rutile	0,01	Magnetite	0,56
Baddeleyite	0,00	Ilmenite	0,01
Ferrocolumbite	0,00	Rutile	0,03
Corundum	0,00	Baddeleyite	0,00
Gypsum	0,00	Ferrocolumbite	0,00
Barite	0,00	Corundum	0,00
Celestine	0,00	Gypsum	0,00
Pyrite	0,01	Barite	0,02
Pyrrhotite	0,06	Celestine	0,00
Chalcopyrite	0,00	Pyrite	0,00
Unclassified	0,22	Pyrrhotite	0,01
Total	100,00	Chalcopyrite	0,02
		Unclassified	0,24
		Total	100,00

### 4.3 RIKASTUSHIEKAN KEMIALLINEN KOOSTUMUS

Kaivannaisjätteiden kokonaispitoisuudet on määritetty käyttäen kuningasvesiuuttoa sekä monialkuainemäärittystä. Kuningasvesiuutossa valtaosa kaivannaisjätteestä liukenee, joten uutosta mitattuja kokonaispitoisuuksien voidaan Yaran Siilinjärven kaivannaisjätteiden tapauksessa todeta edustavan näytteen kokonaispitoisuutta.

Rikastushiekkänäytteiden kuningasvesiuuttoisia kokonaispitoisuuksia on verrattu valtioneuvoston maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnin asetuksen (ns. PIMA-asetus VNa 214/2007) mukaisiin kynnys- ja ohjearvoihin. Rikastushiekkänäytteistä kolme näytettä ylitti lievästi koboltille asetetun kynnysarvon ja yksi näyte oli lähellä kynnysarvoa. Näytteiden tulokset vaihtelivat välillä 19,5–22,8 mg/kg, kun kynnysarvo on 20 mg/kg. Muutoin rikastushiekkänäytteet alittivat PIMA-asetuksen mukaiset kynnysarvot.

*Taulukko 13. Rikastushiekkänäytteen ympäristölle haitallisten hivenmetallien ja arseenin kuningasvesiliukoiset kokonaispitoisuudet. Kuningasvesiliukoisten pitoisuuksien vertailuarvoina on esitetty valtioneuvoston maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnin asetuksen (ns. PIMA-asetus VNa 214/2007) ohjearvot. PIMA-asetuksessa ei ole määritelty ohjearvoja molybdeenille.*

	Sb	As	Hg	Cd	Co	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	V	Mo*
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Kynnysarvo mg/kg	2	5	0,5	1	20	100	100	60	50	200	100	
alempi ohjearvo mg/kg	10	50	2	10	100	200	150	200	100	250	150	5
ylempi ohjearvo mg/kg	50	100	6	20	250	300	200	750	150	400	250	200
Rikastushiekka R1, tuore läjitys	<0,02	<0,01	<0,01	0,049	22,5	6,6	7,2	1,78	3,5	60,1	40	0,108
Rikastushiekka R2, läjitetty 3-4 v sitten	<0,02	<0,01	<0,01	0,078	22,8	30,3	8,1	2,48	19,4	53,4	35,3	0,098
Rikastushiekka R3, läjitetty 2000-luvun alussa	<0,02	<0,01	<0,01	0,071	19,5	11,8	9,6	1,55	4,6	46,7	46,5	0,132

Rikastushiekka R4.  
 läjitetty 1980  
 alkupuolella  
 \*SAMASE-ohjearvot

<0,02	<0,01	<0,01	0,065	21	4,2	3,6	1,52	<2	38,2	35,5	0,093
-------	-------	-------	-------	----	-----	-----	------	----	------	------	-------

Vuonna 2023 rikastushiekasta kerättiin ylimääräiset näytteet 5.4.2023 ja 24.4.2023. 5.4.2023 näytteenotossa rikastushiekkanäytteet otettiin edellisenä päivänä kaivinkoneella kaivetuista koekuopista. Näytteet otettiin kokoomanäyteinä kasvukerroksen alta kuoppien alaosaan, jotta niihin ei sekoittuisi orgaanista ainesta:

- Näyte N1 näytteenotto kasvukerroksen alta, n. 1,7 m syvyydeltä
- Näyte N2 näytteenotto kasvukerroksen alta, n. 1,7 m syvyydeltä
- Näyte N3 näytteenotto kasvukerroksen alta, n. 1,7 m syvyydeltä
- Näyte N4 näytteenotto kasvukerroksen alta, n. 1,4 m syvyydeltä
- Näyte N5 näytteenotto uomasta, joka on rikastushiekan purkuputken suulla.

24.4.2023 kerättiin näytteet toiseen kertaan:

- Näyte N1 koekuoppa täyttynyt hiekalla, joten näytteenotto koekuopan kaivamisessa syntyneeltä kasalta.
  - Näytteet eivät ole täysin verrattavissa 5.4.2023 näytekerroksen tuloksiin
- Näyte N2 koekuoppa täyttynyt hiekalla, joten näytteenotto koekuopan kaivamisessa syntyneeltä kasalta.
  - Näytteet eivät ole täysin verrattavissa 5.4.2023 näytekerroksen tuloksiin
- Näyte N3 koekuoppa täyttynyt hiekalla, joten näytteenotto koekuopan kaivamisessa syntyneeltä kasalta.
  - Näytteet eivät ole täysin verrattavissa 5.4.2023 näytekerroksen tuloksiin
- Näyte N4 näytteenotto kasvukerroksen alta, n. 1,4 m syvyydeltä
- Näyte N5 näytteenotto rikastushiekka-alueelta purkuputken pään vierestä, näytteenotto pintakerroksesta 0–20 cm.

	Sb	As	Hg	Cd	Co	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	V	Mo*
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Kynnysarvo mg/kg	2	5	0,5	1	20	100	100	60	50	200	100	
alempi ohjearvo mg/kg	10	50	2	10	100	200	150	200	100	250	150	5
ylempi ohjearvo mg/kg	50	100	6	20	250	300	200	750	150	400	250	200
Rikastushiekka N1**	0,07	<0,01	0,026	0,049	25	6,80	6,74	1,99	3,30	64,4	60,2	0,027
Rikastushiekka N2**	<0,02	<0,01	0,027	0,075	24,6	28,5	10,2	2,72	21,3	58,3	54,7	0,055
Rikastushiekka N3**	<0,02	<0,01	0,023	0,055	23,3	9,63	5,44	1,50	4,21	57,1	53,0	0,063
Rikastushiekka N4**	<0,02	<0,01	0,026	0,057	25	6,42	6,88	1,76	4,36	52,6	60,7	0,079

Rikastushiekka N5**	<0,02	<0,01	0,023	0,052	25,2	8,65	7,26	1,78	6,30	63,7	56,5	0,095
Rikastushiekka N1***	<0,02	<0,01	<0,01	0,070	21,2	7,99	8,21	2,07	5,11	49,9	50,1	0,103
Rikastushiekka N2***	<0,02	<0,01	<0,01	0,064	21,2	13,9	6,97	2,82	9,70	51,1	49,7	0,072
Rikastushiekka N3***	<0,02	0,020	<0,01	0,060	19,2	7,26	5,76	1,59	3,87	43,1	47,2	0,081
Rikastushiekka N4***	<0,02	<0,01	<0,01	0,060	21,4	5,39	6,07	1,82	3,52	40,9	54,6	0,088
Rikastushiekka N5***	<0,02	<0,01	<0,01	0,042	21,2	10,4	7,80	1,86	7,61	48,1	54,9	0,126

\* SAMASE-ohjeavot

\*\* 5.4.2023

\*\*\*24.4.2023

Myös tällä näytekierroksella rikastushiekan kobolttipitoisuudet ylittivät PIMA-asetuksen mukaisen kynnysarvon yhtä näytettä lukuunottamatta. Kobolttipitoisuus vaihteli näytteissä välillä 19,2–25 mg/kg. Muiden tutkittujen aineiden osalta ei havaittu kynnysarvon ylityksiä.

Yara Suomi Oy on tehnyt vuonna 2024 selvityksen rikastushiekan kobolttipitoisuudesta ja luokittelusta, sekä selvityksen Siilinjärven esiintymän kobolttipitoisuudesta. ELY-keskus on ottanut kantaa selvityksiin (POSELY/1407/2015) vuonna 2024. ELY-keskus on lausunut, että ”Vuonna 2023 tehtyjen liukoisuustestien mukaan osassa rikastushiekasta otetuista näytteistä kobolttin pitoisuus ylittää PIMA-asetuksessa määritetyn kynnysarvopitoisuuden. Tehtyjen tutkimusten mukaan kobolttia kuitenkin esiintyy korkeita pitoisuuksia myös rikastamolte syötetyssä malmassa, alueen muissa mineraaleissa ja yleisimmässä sivukivessä feniitissä. Erityisesti malmikivestä mitatut pitoisuudet ylittävät PIMA-asetuksen (214/2007) kynnysarvon, kuvastaen alueen taustapitoisuuksia yleisemmin.” Edelleen ELY-keskus on jatkanut lausuntoaan: ” Tehtyjen tutkimusten mukaan huomioitavaa myös on, että rikastushiekassa ja erityisesti alueen suotovesissä todetut kobolttin pitoisuudet jäävät verrattain alhaiselle tasolle siten, että siitä ei ELY-keskuksen näkemyksen mukaan käytettävissä olevien tietojen pohjalta voida katsoa aiheuttavan vaaraa ympäristölle tai terveydelle. Jätteiden karakterisointi tulee kuitenkin päivittää ja toteuttaa kaivannaisjäteasetuksen mukaisesti, kun ympäristölupaa on seuraavan kerran päivitettävä. Rikastushiekan suotovesien tarkkailuun on lisättävä kobolttin tarkkailu.”

## 4.4 VAARAOMINAISUUDET

Rikastushiekan vaaraominaisuuksien tarkastelu tehdään vastaavasti kuin sivukivelle (ks. **kappale 3.4**). Rikastushiekan kuiva-ainetta ei ole tehdyissä analyyseissä mitattu, joten rikastushiekkaa ei ole muutettu tuorepainoon. Tarkastelu näin tehtynä on konservatiivinen. Rikastushiekan ympäristölle vaarallisten aineiden pitoisuudet alittavat asetettujen vaaraominaisuuksien mukaiset pitoisuusrajat.

Taulukko 14. Yara Siilinjärven rikastushiekan pitoisuudet ja jätteen ympäristövaarallisuuden arvioinnissa käytetyt raja- ja cut-off arvot (YM, 2019)

		As	Cd	Co (CoSO <sub>4</sub> )	Cr (VI)	Cu (CuSO <sub>4</sub> )	Ni (NiSO <sub>4</sub> )	Pb	Zn (ZnSO <sub>4</sub> )	V (V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
	Aquatic Acute 1, H400	250 000	250 000	95 000	250 000	100 000	95 000	250 000	100 000	
	Cut-off	1 000	1 000	380	1 000	400	380	1 000	400	
	Aquatic Chronic, H410	2 500	2 500	950	2 500	1 000	950	2 500	1 000	1 400
	Cut-off	1 000	1 000	380	1 000	400	380	1 000	400	560
Alue	Näyte	mg/kg								
Siilinjärvi	R1, tuore läjitys	<0,01	0,049	22,5	6,6	7,2	3,5	1,78	60,1	40
Siilinjärvi	R2, läjitetty 3-4 v sitten	<0,01	0,078	22,8	30,3	8,1	19,4	2,48	53,4	35,3
Siilinjärvi	R3, läjitetty 2000-luvun alussa	<0,01	0,071	19,5	11,8	9,6	4,6	1,55	46,7	46,5
Siilinjärvi	R4. läjitetty 1980 alkupuolella	<0,01	0,065	21	4,2	3,6	<2	1,52	38,2	35,5
Siilinjärvi	Rikastushiekka N1**	<0,01	0,049	25	6,80	6,74	3,30	1,99	64,4	60,2
Siilinjärvi	Rikastushiekka N2**	<0,01	0,075	24,6	28,5	10,2	21,3	2,72	58,3	54,7
Siilinjärvi	Rikastushiekka N3**	<0,01	0,055	23,3	9,63	5,44	4,21	1,50	57,1	53,0
Siilinjärvi	Rikastushiekka N4**	<0,01	0,057	25	6,42	6,88	4,36	1,76	52,6	60,7
Siilinjärvi	Rikastushiekka N5**	<0,01	0,052	25,2	8,65	7,26	6,30	1,78	63,7	56,5
Siilinjärvi	Rikastushiekka N1***	<0,01	0,070	21,2	7,99	8,21	5,11	2,07	49,9	50,1
Siilinjärvi	Rikastushiekka N2***	<0,01	0,064	21,2	13,9	6,97	9,70	2,82	51,1	49,7
Siilinjärvi	Rikastushiekka N3***	0,020	0,060	19,2	7,26	5,76	3,87	1,59	43,1	47,2
Siilinjärvi	Rikastushiekka N4***	<0,01	0,060	21,4	5,39	6,07	3,52	1,82	40,9	54,6
Siilinjärvi	Rikastushiekka N5***	<0,01	0,042	21,2	10,4	7,80	7,61	1,86	48,1	54,9

## 4.5 HAPONMUODOSTUS- JA NEUTRALOINTIPOTENTIAALI

Kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013) mukaan inertin kiviaineksen sulfidirikin enimmäispitoisuus on 0,1 %. Jos neutraloimispotentiaalin ja hapontuottopotentiaalin suhde (NP/AP) on vähintään 3, inertin kiviaineksen sulfidirikin enimmäispitoisuus on 1 %. Standardin SFS-EN 15875 mukaisessa ABA-testissä AP määritetään kokonaisrikin perusteella. Yaran Siilinjärven kaivoksen rikastushiekanäytteiden tehdyn ABA-testin perusteella kaikkien näytteiden kokonaisrikipitoisuus

jää alle 0,1 %. Kaikkien näytteiden neutraloimispotentiaalin ja hapontuottopotentiaalin suhdeluku, eli NPR tai NP/AP, oli selvästi yli 3. Pienin NPR suhdeluku 150 havaittiin tuoreessa rikastushiekan läjityksessä R1. Tulosten perusteella tutkitut rikastushiekanäytteet eivät ole potentiaalisesti happoa tuottavia. Analyysitulokset on esitetty alla olevassa taulukossa (**Taulukko 15**).

Taulukko 15. Rikastushiekanäytteiden kokonaisrikkipitoisuus (S), hapontuottopotentiaali (AP), neutralointipotentiaali (NP), sekä niiden erotus (NNP) ja suhde (NP/AP eli NPR).

	S	AP	NP	NNP	NPR
	%	kg CaCO <sub>3</sub> /t	kg CaCO <sub>3</sub> /t	kg CaCO <sub>3</sub> /t	
Rikastushiekka R1, tuore läjitys	0,03	0,94	140	140	150
Rikastushiekka R2, läjitetty 3-4 v sitten	0,02	0,63	200	200	320
Rikastushiekka R3, läjitetty 2000-luvun alussa	0,01	<0.32	220	220	688*
Rikastushiekka R4. läjitetty 1980 alkupuolella	<0,01	<0.32	220	220	688*

\*Suhdeluku laskettu käyttämällä määrittysrajaa

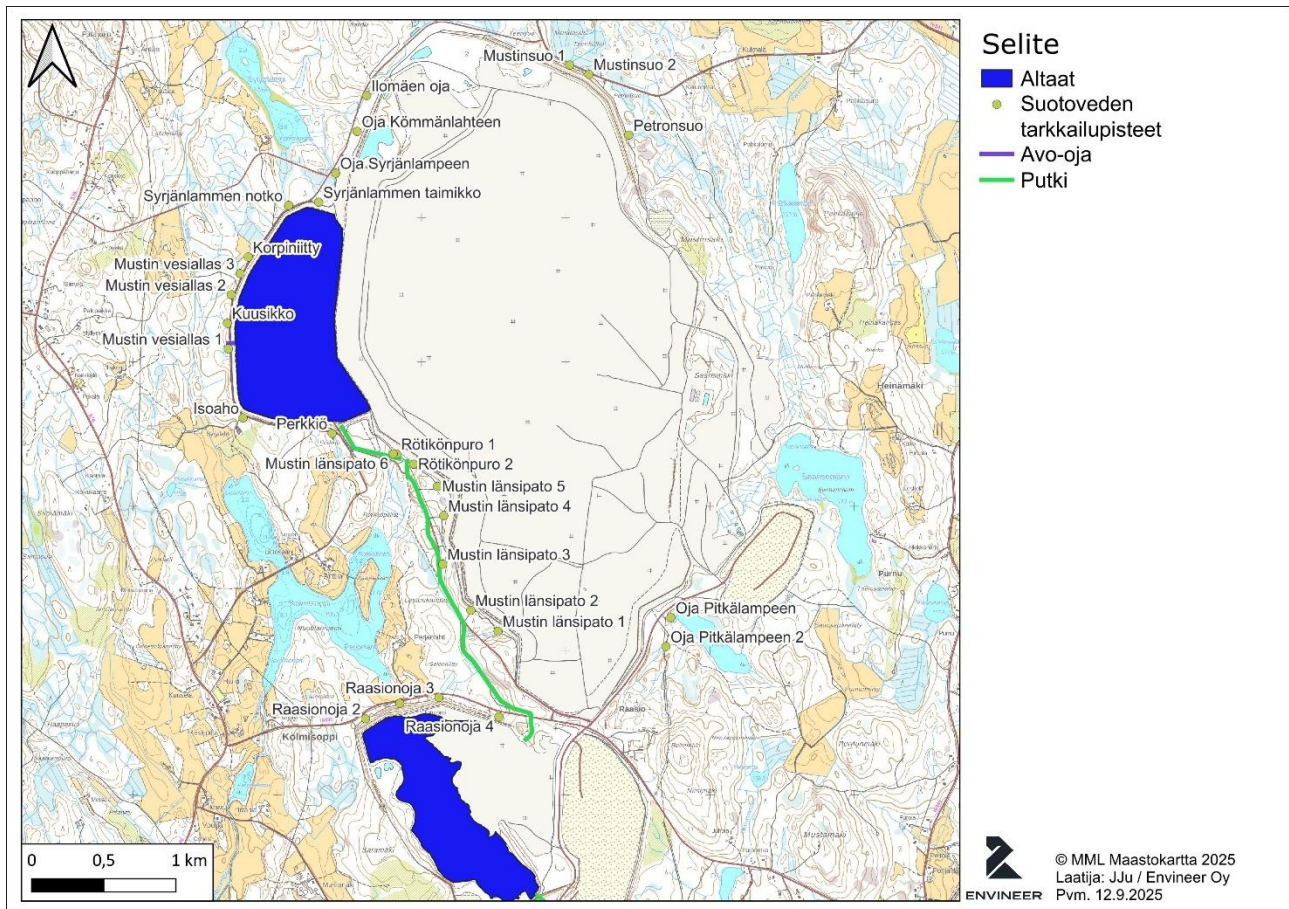
Yara Siilinjärven kosteuskammiotestien näytteistä määritetyt ABA-testin tulokset on esitetty taulukossa (**Taulukko 16**). Tutkitut näytteet eivät ole happoa muodostavia.

Taulukko 16. Kosteuskammiotestien rikastushiekanäytteiden ABA-testin tulokset.

Näyte	C kok	S kok	C karb.	S sulfid	C non karb	S sulfat	T-NP	C-NP	MPA	T-NNP	C-NNP	T-NPR	C-NPR	ARD Class
Yksikkö	%	%	%	%	%	%	kg CaCO <sub>3</sub> eq /t							
GCL023 1-006	3.09	0.04	0.01	0.02	3.08	0.02	263	257	1.3	263	255	211	205	NAF
GCL023 1-007	3.51	0.01	0.01	0.01	3.50	0.00	327	292	0.3	327	291	1047	933	NAF

## 4.6 RIKASTUSHIEKKA-ALUEIDEN SUOTOVEDET

Rikastushiekka-alueen suotoveden laatua seurataan kattavan tarkkailupisteverkoston avulla (**Kuva 16**). Rikastushiekka-alueen suotoveden laatua on tarkkailtu vuodesta 2009 lähtien ja tarkkailupisteitä on lisätty myöhemmin vuosina. Saarisen ojaan päätyy Saarisen sivukiviläjäytyksen suotovesien lisäksi myös Mustin rikastushiekka-alueen suotovesiä, Saarisen ojan suotovesitulokset on kuvattu luvussa **3.6.3**. Rikastushiekka-alueen suotovesitulokset raportoidaan osana toimijan latvavesien tarkkailua.

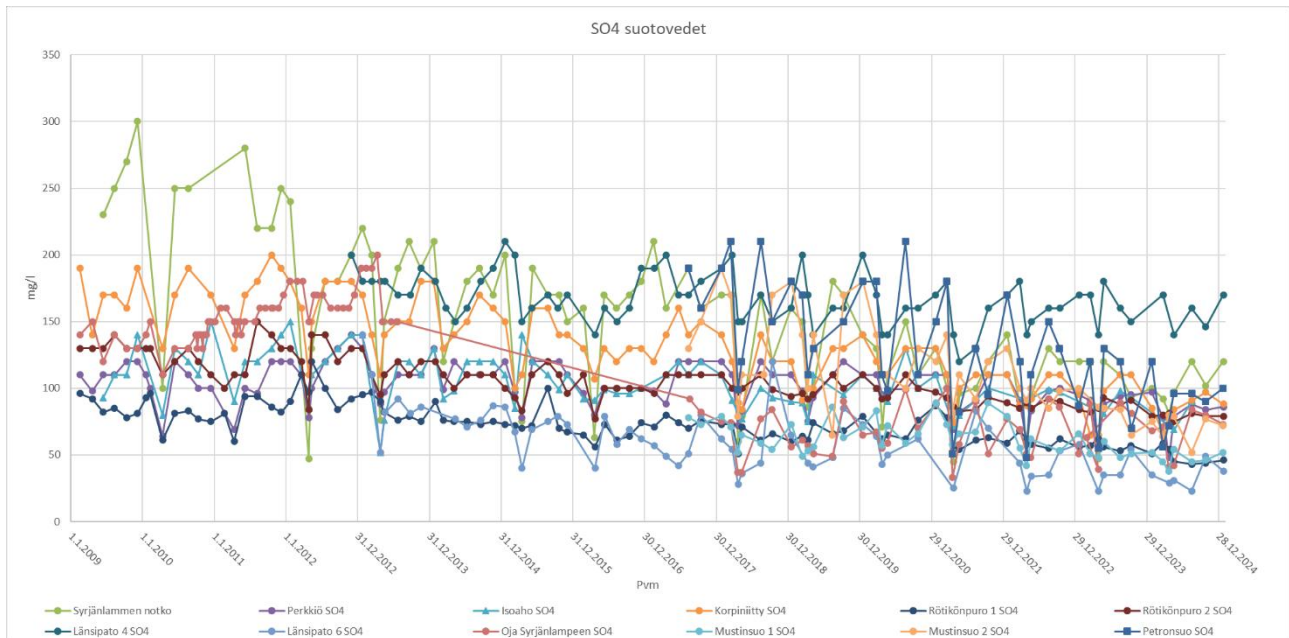


Kuva 16. Rikastushiekka-alueiden suotovesien tarkkailupisteet.

Rikastushiekka-alueen suotovesistä seurataan seuraavia parametreja: pH, EC, kok-P, SO<sub>4</sub>, F-, kiintoaine, Fe, Co (kok. + liuk.) NO<sub>3</sub>-N ja NH<sub>4</sub>-N. Rikastushiekka-alueen tarkkailupisteiden sulfaattipitoisuuden kehityksessä on havaittavissa selkeää eroavaisuutta eri tarkkailupisteiden välillä. Osassa tarkkailupisteistä sulfaattipitoisuus osoittaa nousevaa trendiä, kun taas osassa tarkkailupisteistä sulfaattipitoisuus osoittaa laskevaa trendiä.

Rikastushiekka-alueen suotovesien tarkkailupisteiden pH vaihtelee pääosin välillä 6,5–8. Suotoveden pH on siis neutraali tai lievästi emäksinen. Alhaisin pH on Mustinsuon alueella tarkkailupisteissä Mustinsuo 1 ja 2.

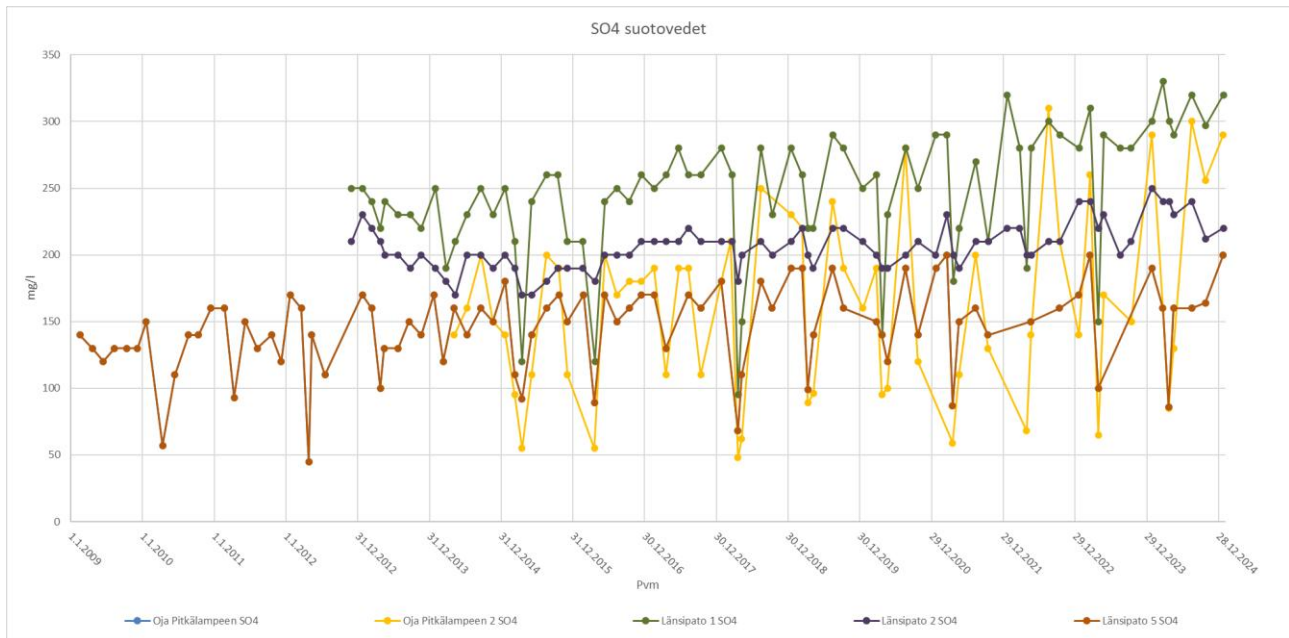
Laskeva trendi sulfaattipitoisuudessa nähdään tarkkailupisteillä Syrjälammen notko, Perkkiö, Isoaho, Korpiniitty, Rötikönpuro 1 ja 2, Länsipato 4 ja 6, Oja Syrjälampeen, Mustinsuo 1 ja 2, sekä Petronsuo. Voimakkaimmin sulfaattipitoisuus laskee pisteissä Syrjälammen notko, Korpiniitty ja Petronsuo, joissa sulfaattipitoisuus on puolittunut vuoden 2009 tasosta. Pisteiden Perkkiö ja Isoaho sulfaattipitoisuus on laskenut vähemmän, mutta pisteiden sulfaattipitoisuus on hyvin samankaltainen läpi mittaushistorian. Pisteissä Rötikönpuro 1 ja 2 sulfaattipitoisuus eroaa hieman, mutta trendi on samansuuntainen, eli laskeva, läpi mittaushistorian.



Kuva 17. Tarkkailupisteiden sulfaattipitoisuuden kehitys, jossa sulfaattipitoisuus osoittaa laskevaa trendiä.

Tarkkailupisteissä Länsipato 4 ja 6 sulfaattipitoisuudessa on selkeä tasoero ja sulfaattipitoisuus pisteessä Länsipato 4 on jopa 100 mg/l suurempi kuin pisteessä Länsipato 6. Tarkkailupisteessä Länsipato 6 sulfaattipitoisuuden lasku on voimakkaampaa kuin pisteessä Länsipato 4. Pisteessä Länsipato 4 laskeva trendi ei ole erityisen voimakas. Tarkkailupisteissä Mustinsuo 1 ja 2 sulfaattipitoisuudessa oli selkeä ero tarkkailun alussa vuonna 2017. Tarkkailupisteessä Mustinsuo 2 sulfaattipitoisuus oli huomattavasti korkeampi vuonna 2017, mutta sulfaattipitoisuus on laskenut lähelle Mustinsuo 1 sulfaattipitoisuuden tasoa.

Nouseva trendi sulfaattipitoisuudessa nähdään tarkkailupisteillä Oja Pitkälampeen 1 ja 2, Länsipato 1, 2 ja 5. Merkittävin nouseva trendi sulfaattipitoisuudessa havaitaan pisteellä Oja Pitkälampeen 2, missä sulfaattipitoisuudessa havaitaan voimakasta vaihtelua, mutta yleinen trendi on nouseva. Tarkkailupisteissä Länsipato 1 ja Länsipato 5 sulfaattipitoisuus on noussut tarkkailun aikana noin 50 mg/l, mutta sulfaattipitoisuus on alhaisemmalla tasolla tarkkailupisteellä Länsipato 5. Tarkkailupisteellä Länsipato 2 sulfaattipitoisuus laski vuosina 2012–2014, jonka jälkeen trendi on ollut nouseva. Vuonna 2025 sulfaattipitoisuus tarkkailupisteellä Länsipato 2 on noussut vuoden 2012 tasolle.



Kuva 18. Tarkkailupisteiden sulfaattipitoisuuden kehitys, jossa sulfaattipitoisuus osoittaa nousevaa trendiä.

Alhaisin sulfaattipitoisuus on pisteellä Ilomäenoja, jossa ei ole näkyvissä muutosta sulfaattipitoisuudessa. Sulfaattipitoisuus pisteellä Ilomäenoja on pysytellyt välillä 10–20 mg/l. Toinen piste, jossa sulfaattipitoisuudessa ei ole näkyvissä selkeää trendiä on Oja Kömmänlahteen. pisteen sulfaattipitoisuudessa oli voimakasta vaihtelua vuosina 2017–2019, jonka jälkeen pitoisuus oli koholla vuosina 2020–2021. Vuoden 2021 jälkeen sulfaattipitoisuus on palautunut vuoden 2017 tasolle ja sulfaattipitoisuuden vaihtelu on vähentynyt.

Kokonaistyyppipitoisuuden osalta merkittävin pitoisuus on havaittu tarkkailupisteellä Oja Pitkälampeen 2. Tarkkailupisteen kokonaistyyppipitoisuudessa on voimakasta vaihtelua, kokonaistyyppipitoisuuden vaihdella välillä 26–340 mg/l. Pääosin merkittävimmät kokonaistypen pitoisuudet tarkkailupisteellä Oja Pitkälampeen 2 on mitattu elo- tai tammikuussa. Kokonaistypen pitoisuudessa on voimakkaan vaihtelun lisäksi havaittavissa nouseva trendi pisteellä Oja Pitkälampeen 2.



Kuva 19. Tarkkailupisteeseen Oja Pitkälampeen 2 typpipitoisuuden kehitys.

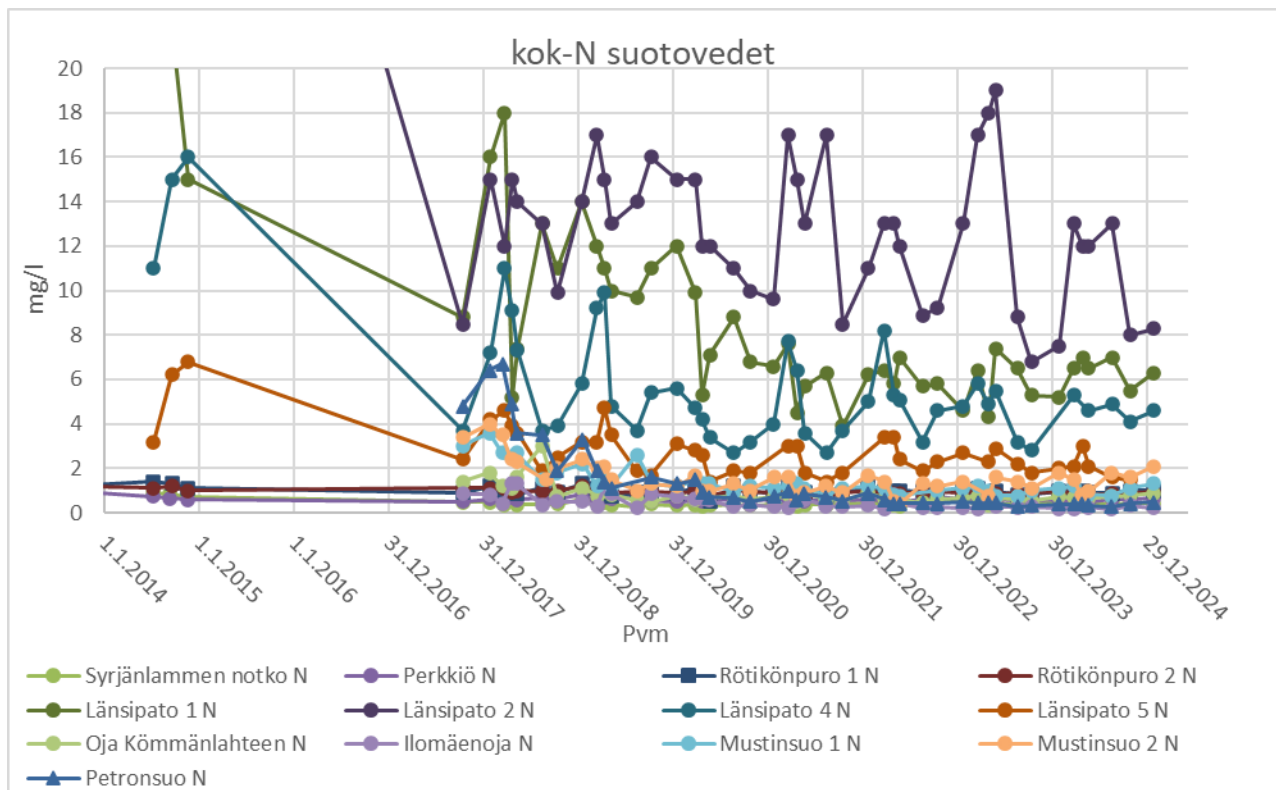
Tarkkailupisteellä Oja Pitkälampeen kokonaistyyppipitoisuuden kehitys on huomattavasti erilainen kuin pääosassa rikastushiekka-altaan suotovesien tarkkailupisteistä. Tarkkailupisteeseen kokonaistyyppipitoisuus pysyy melko vakaana ja alhaisella tasolla vuosina 2014–2018, minkä jälkeen kokonaistyyppipitoisuudessa nähdään voimakas nousu. Huippupitoisuudet kokonaistypen osalta tarkkailupisteellä Oja Pitkälampeen havaittiin vuonna 2020 ja lisäksi hieman kohonneita pitoisuuksia havaittiin vuonna 2021. Myös vuonna 2023 nähtiin lyhytaikainen kokonaistypen pitoisuuden nousu. Vuodesta 2024 lähtien kokonaistypen pitoisuus tarkkailupisteellä Oja Pitkälampeen osoittaa nousevaa trendiä, mutta viimeisin (tammikuun 2025) mittaustulos on vuoden 2021 huhtikuun tasolla. Tarkkailupisteellä Isoaho kokonaistypen pitoisuuden kehitys muistuttaa hieman tarkkailupisteeseen Oja Pitkälampeen kokonaistyyppipitoisuuden kehitystä.

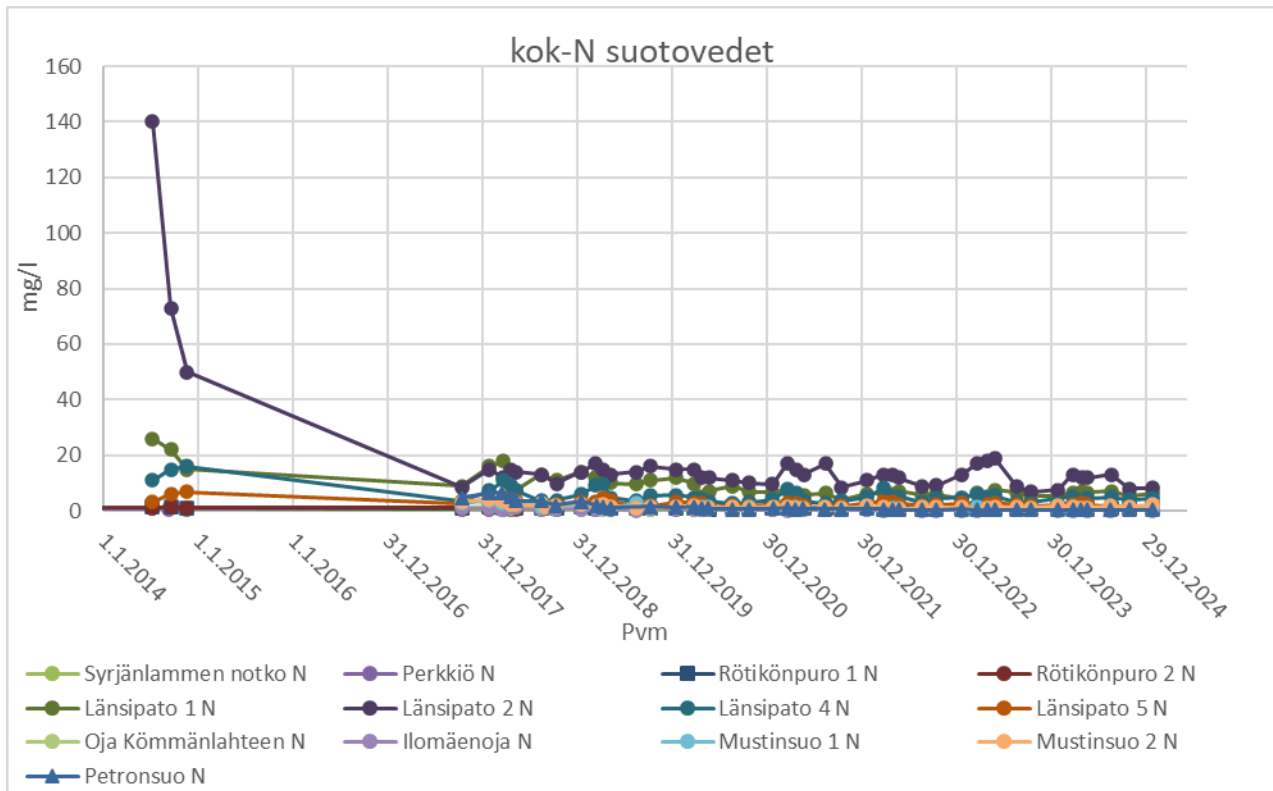
Tarkkailupisteellä Isoaho on mitattu yksittäinen, perustasoa, korkeampi kokonaistypen pitoisuus vuoden 2018 lokakuussa. Eroavaisuutena tarkkailupisteeseen Oja Pitkälampeen on se, että tarkkailupisteellä Isoaho kyseessä on yksittäinen huippupitoisuus ja muuten kokonaistypen pitoisuus on ollut verrattain tasainen.

Tarkkailupisteillä Länsipato 1, 2, 4 ja 5 ja Petronsuo kokonaistypen pitoisuudessa on havaittavissa laskeva trendi, mikä on voimakkain tarkkailupisteillä Länsipato 1 ja Länsipato 2. Edellä mainittujen tarkkailupisteiden kokonaistypen pitoisuudessa on havaittu voimakasta vaihtelua vuoden 2018 jälkeen. Tarkkailupisteellä Länsipato 4 kokonaistyyppipitoisuuden laskeva trendi on hieman heikompi, mutta pitoisuudessa on havaittavissa vaihtelua vuoden 2017 jälkeen. Kokonaistyyppipitoisuuden vaihtelu tarkkailupisteellä Länsipato 4 on vähäisempää kuin tarkkailupisteillä Länsipato 1 ja Länsipato 2. Tarkkailupisteessä Länsipato 5 kokonaistyyppipitoisuuden laskeva trendi on edelleen vähäisempää, minkä lisäksi pitoisuuden vaihtelu ei ole yhtä voimakasta, kuin muissa Länsipadon tarkkailupisteissä. Länsipadon tarkkailupisteiden osalta huomionarvoista on vuosien 2014–2017

väliset puuttuvat tulokset ja se, että näinä vuosina kokonaistyyppipitoisuus on laskenut erityisen voimakkaasti kaikissa Länsipadon tarkkailupisteissä. Tarkkailupisteessä Petronsuo kokonaistyyppipitoisuus osoittaa laskevaa trendiä. Merkittävin kokonaistyyppipitoisuuden lasku tarkkailupisteessä Petronsuo voidaan havaita vuosina 2017–2019, minkä jälkeen kokonaistyyppipitoisuus on pysynyt verrattain vakaana.

Tarkkailupisteillä Syrjälammen notko, Perkkiö, Rötikönpuro 1 ja Rötikönpuro 2, Oja Kömmänlahteen, Ilomäenoja, Mustinsuo 1 ja Mustinsuo 2 kokonaistyyppipitoisuudessa on havaittavissa laskeva trendi. Tarkkailupisteistä Mustinsuo 1 ja Mustinsuo 2 pisteissä lasku on voimakkain, mutta molemmissa pisteissä pitoisuusvaihtelu on melko voimakasta ja vuoden 2024 tarkkailutulosten perusteella pitoisuuden trendi voi kääntyä nousevaksi. Pitoisuudet eivät kuitenkaan nykyisin ole lähelläkään vuoden 2017 tasoa. Pisteessä Oja Kömmänlahteen kokonaistyyppipitoisuuden maksimiarvo on mitattu elokuussa 2018. Tämän jälkeen kokonaistyyppipitoisuuden trendi oli laskusuuntainen vuoteen 2024 asti, minkä jälkeen trendi on lähtenyt nousemaan uudelleen. Kokonaistyyppipitoisuuden taso tarkkailupisteellä Oja Kömmänlahteen on kuitenkin vain hieman yli vuoden 2023 tason.





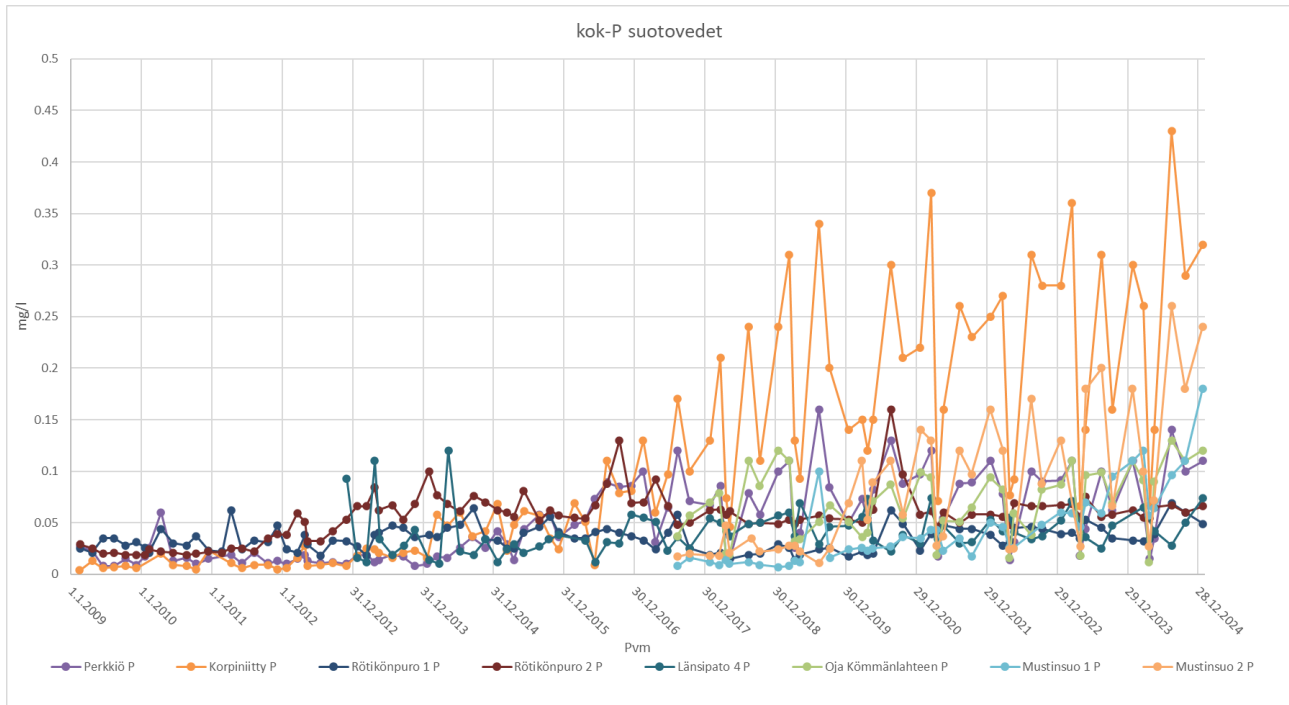
Kuva 20 Kokonaistypen pitoisuus tarkkailupisteillä, missä kokonaistypen pitoisuudessa on havaittavissa laskeva trendi.

Tarkkailupisteellä Perkkiö kokonaistypen pitoisuus laski voimakkaasti vuosina 2012–2014, minkä jälkeen pitoisuus on pysynyt verrattain vakaana, eikä selkeää trendiä ole nähtävillä. Tarkkailupisteellä Ilomäenoja kokonaistypen pitoisuus osoittaa laskevaa trendiä, mutta pitoisuudessa on havaittavissa yksittäisiä huippuja, jotka ajoittuvat pääosin huhti- ja toukokuulle. Tarkkailupisteellä Syrjälammen notko kokonaistypipitoisuus laski voimakkaimmin vuosina 2014–2018, minkä jälkeen pitoisuus on pysynyt verrattain tasaisena. Vuoden 2022 syksyllä tarkkailupisteellä Syrjälammen notko havaittiin useampi, hieman koholla ollut pitoisuus. Kokonaistypen pitoisuus palautui normaalille tasolle vuonna 2023.

Tarkkailupisteiden Rötikönpuro 1 ja Rötikönpuro 2 kokonaistypen pitoisuus on pääosin samankaltainen. Molemmilla pisteillä havaitaan selvä huippu kokonaistypen pitoisuudessa alkuvuodesta 2012, minkä jälkeen pitoisuudet laskevat ja vaihtelevat maltillisemmin. Rötikönpuro 1:ssä esiintyy enemmän vaihtelua kuin Rötikönpuro 2:ssä, jonka arvot pysyvät tasaisempina. Kokonaistypen pitoisuudet ovat yleisesti ottaen laskeneet tarkastelujakson aikana.

Fosforipitoisuuden osalta rikastushiekka-alueen suotovesissä on havaittavissa nouseva trendi tarkkailupisteillä Perkkiö, Korpiniitty, Mustinsuo 1, Mustinsuo 2, Rötikönpuro 1, Rötikönpuro 2, Länsipato 4 ja Oja Kömmänlahteen. Voimakkaimmin fosforipitoisuus on noussut tarkkailupisteessä Korpiniitty. Pitoisuuden noustessa myös pitoisuuden vaihtelu on voimistunut, erityisesti vuoden 2017 jälkeen. Seuraavaksi voimakkaimmat fosforipitoisuuden nousut voidaan nähdä tarkkailupisteissä Mustinsuo 1 ja Mustinsuo 2. Pisteiden tarkkailu on alkanut vasta vuonna 2017, jolloin niiden fosforipitoisuus oli pienempi kuin tarkkailupisteessä Perkkiö. Mustinsuo 2 tarkkailupisteen fosforipitoisuus ylitti pisteen Perkkiö fosforipitoisuuden vuonna 2020, jonka jälkeen fosforipitoisuus

tarkkailupisteellä Mustinsuo 2 on ollut pääosin suurempi kuin tarkkailupisteellä Perkkiö. Tarkkailupisteen Mustinsuo 1 fosforipitoisuus on ylittänyt tarkkailupisteen Perkkiö fosforipitoisuuden vuonna 2024. Yleisesti ottaen fosforipitoisuudet suotovesissä ovat alhaisia, pl. tarkkailupiste Korpiniitty.



Kuva 21. Fosforipitoisuuden kehitys tarkkailupisteissä, missä fosforipitoisuus osoittaa nousevaa trendiä.

Tarkkailupisteessä Perkkiö suotoveden fosforipitoisuus oli pääosin vakaa vuosina 2009–2014, minkä jälkeen pitoisuus on lähtenyt nousuun. Nousu jatkui vuoteen 2019, minkä jälkeen tarkkailupisteen fosforipitoisuudessa ei ole havaittavissa selkeää trendiä. Huomionarvoista on myös se, että tarkkailupisteessä Perkkiö fosforipitoisuudessa alkoi verrattain voimakas vaihtelu vuoden 2017 jälkeen. Matalimmat fosforipitoisuudet ajoittuvat huhtikuulle ja todennäköisesti pitoisuuksien lasku liittyy lumen sulamisvesien aiheuttamaan laimenemiseen.

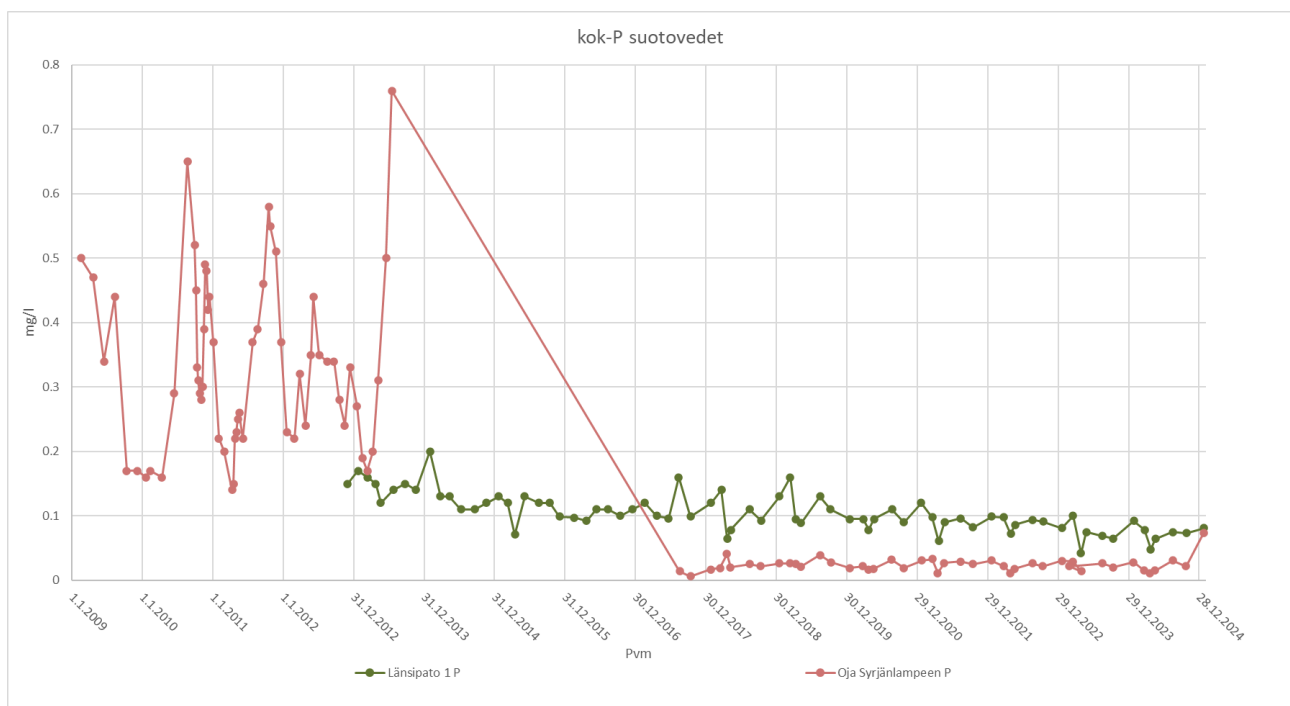
Suotoveden tarkkailupisteiden fosforipitoisuuden osalta tulee huomioida se, että läjitysalueen pohjamaan laatu ja alueen maaperä yleisesti voi vaikuttaa havaittuihin fosforipitoisuuksiin. Alueen kallioperän luontaisesti korkea fosforipitoisuus voi heijastua myös maaperän fosforipitoisuuteen ja edelleen suotovesiojien fosforipitoisuuteen. Myös rikastushiekka-altaan patojen rakentamiseen historian aikana käytetyt maa-ainekset voivat osaltaan vaikuttaa suotoveden fosforipitoisuuteen.

Tarkkailupisteissä Länsipato 4, Rötikönpuro 1, Rötikönpuro 2 ja Oja Kömmänlahteen fosforipitoisuuden nousutrendi on heikompi ja erityisesti tarkkailupisteellä Oja Kömmänlahteen on havaittavissa voimakasta vaihtelua fosforipitoisuudessa. Matalimmat fosforipitoisuudet ajoittuvat huhtikuulle ja todennäköisesti pitoisuuksien lasku liittyy lumen sulamisvesien aiheuttamaan laimenemiseen.

Fosforipitoisuus on pysynyt läpi tarkkailun samalla tasolla tarkkailupisteissä Oja Pitkälampeen, Oja Pitkälampeen 2, Syrjälammen notko, Isoaho, Länsipato 2, Länsipato 5, Länsipato 6, Ilomäenoja ja Petronsuo. Tarkkailupisteessä Länsipato 2 fosforipitoisuus oli korkeammalla tasolla vuosina 2015–2020, minkä jälkeen fosforipitoisuus on palautunut vuoden 2013 tasolle. Tarkkailupisteessä Oja Pitkälampeen 2 fosforipitoisuus on vaihdellut tarkkailun aikana, mutta fosforipitoisuudessa ei ole havaittavissa selkeää trendiä. Tarkkailupisteessä Oja Pitkälampeen fosforipitoisuudessa ei ole havaittavissa selkeää trendiä, mutta huomionarvoista on se, että vuosina 2019 ja 2024 tarkkailupisteeltä on mitattu yksittäiset, perustasosta poikkeavat fosforipitoisuudet. Tarkkailupisteessä Syrjälammen notko ei ole havaittavissa selkeää trendiä fosforipitoisuudessa, mutta huomionarvoista on se, että tarkkailupisteen yksittäiset korkeammat fosforipitoisuudet on mitattu ennen vuotta 2013, minkä jälkeen fosforipitoisuuden vaihtelu tarkkailupisteellä on vähentynyt.

Tarkkailupisteessä Isoaho fosforipitoisuuden vaihtelu on vähentynyt vuoden 2019 jälkeen. Fosforipitoisuuden kehityksessä ei ole havaittavissa trendiä tarkkailupisteessä Isoaho. Tarkkailupisteen Petronsuo fosforipitoisuus on pysynyt vakaana läpi tarkkailuhistorian. Tarkkailupisteiden Länsipato 5 ja 6 fosforipitoisuudet käyttäytyvät yhtenäisesti ja ovat lähes samaa tasoa. Tarkkailupisteiden fosforipitoisuudessa ei ole havaittavissa selkeää trendiä.

Tarkkailupisteissä Oja Syrjälampeen ja Länsipato 1 fosforipitoisuuden trendi on laskeva. Merkittävin fosforipitoisuuden lasku on tapahtunut tarkkailupisteellä Oja Syrjälampeen vuosina 2013–2017. Huomionarvoista on myös se, että ennen vuotta 2013 fosforipitoisuus vaihteli tarkkailupisteellä verrattain voimakkaasti, mutta vaihtelua ei juuri ole havaittu vuoden 2017 jälkeen. Tarkkailupisteellä Länsipato 1 fosforipitoisuus laskee tasaisemmin ja tarkkailupisteen fosforipitoisuudessa ei ole merkittävää vaihtelua.



Kuva 22. Fosforipitoisuuden kehitys tarkkailupisteillä, missä fosforipitoisuudessa on laskeva trendi.

Fluoridipitoisuudessa ja pitoisuuden kehitymisessä on eroja eri suotovesipisteissä. Nouseva tai lievästi nouseva trendi fluoridipitoisuudessa nähdään viidellä tarkkailupisteellä: Perkkiö, Korpiniitty, Rötikönpuro 1 ja 2, sekä Isoaho. Merkittävin nouseva trendi fluoridipitoisuudessa nähdään tarkkailupisteessä Rötikönpuro 2. Samankaltainen nouseva trendi nähdään myös tarkkailupisteessä Rötikönpuro 1, jossa kuitenkin fluoridin pitoisuus on noin puolet Rötikönpuro 2:lla havaitusta pitoisuudesta.

Tarkkailupisteillä Perkkiö ja Korpiniitty fluoridipitoisuus käyttäytyy hyvin yhtenäisesti. Tarkkailupisteiden fluoridipitoisuudessa on havaittavissa hienoinen nouseva trendi läpi pisteiden tarkkailujakson (2007 lähtien). Pitoisuudet ovat kuitenkin verrattain alhaisella tasolla. Tarkkailupisteessä Isoaho fluoridin pitoisuus on tarkkailujakson (2009 lähtien) aikana triplaantunut, pitoisuus on kuitenkin edelleen alhaisella tasolla (< 0,4 mg/l). Tarkkailupisteen Isoaho fluoridipitoisuuden merkittävin nousu ajoittui vuosiin 2009–2015, minkä jälkeen fluoridin pitoisuus tarkkailupisteellä on pysynyt verrattain tasaisena. Vuonna 2019 tarkkailupisteellä havaittiin yksittäinen korkeampi pitoisuus (0,57 mg/l)

Fluoridipitoisuudessa nähdään laskeva trendi kuudella tarkkailupisteellä: Oja Pitkälampeen, Länsipato 1, 2, 4 ja 5, ja Oja Syrjälampeen. Pisteessä Oja Syrjälampeen fluoridipitoisuus on laskenut merkittävimmin ja suurin lasku ajoittui vuosiin 2014–2017. Fluoridipitoisuus vuoden 2017 jälkeen on ollut noin neljäsosa vuotta 2014 edeltävistä pitoisuuksista. Muutokset ovat seurausta patoon tehdyistä korjauksista, jotka ovat vaikuttaneet suotoveden määrään ja laatuun.

Tarkkailupisteissä Länsipato 1, 2, 4 ja 5 fluoridipitoisuus on hyvin yhtenevä, kuten myös fluoridipitoisuuden kehittyminen, mikä osoittaa laskevaa trendiä. Tarkkailupisteessä Oja Pitkälampeen fluoridipitoisuus on laskenut noin 0,4 mg/l vuodesta 2009 lähtien.

Yhteensä kahdeksalla tarkkailupisteellä fluoridipitoisuus on pysynyt pääosin samalla tasolla koko tarkkailujakson ajan, tarkkailupisteet ovat Oja Pitkälampeen 2, Syrjälammen notko, Länsipato 6, Oja Kömmänlahteen, Ilomäenoja, Mustinsuo 1 ja 2, sekä Petronsuo. Näistä tarkkailupisteistä voimakkain vaihtelu fluoridipitoisuudessa on tarkkailupisteellä Oja Pitkälampeen 2, mutta tarkkailupisteen fluoridipitoisuudessa ei ole havaittavissa kuitenkaan selkeää laskevaa tai nousevaa trendiä. Yleisesti tarkkailupisteessä Oja Pitkälampeen 2 fluoridipitoisuus on korkeimmillaan elo- tai joulutammikuun näytteenotoissa ja alhaisimmillaan maaliskuuhuhtikuun näytteenotossa. Myös tarkkailupisteellä Länsipato 6 on havaittu verrattain voimakasta vaihtelua fluoridipitoisuudessa ennen vuotta 2020. Tämän jälkeen fluoridipitoisuuden vaihtelu tarkkailupisteellä on vähentynyt, pl. elokuun 2024 pitoisuuspiikki.

Tarkkailupisteissä Syrjälammen notko, Oja Kömmänlahteen, Ilomäenoja, Mustinsuo 1 ja 2, sekä Petronsuo fluoridipitoisuus on pysynyt samalla tasolla ja fluoridipitoisuudessa ei juuri havaita vaihtelua. Poikkeuksena maaliskuuhuhtikuun 2021, jolloin tarkkailupisteillä Mustinsuo 1 ja 2, Oja Kömmänlahteen, sekä Syrjälammen notko nähtiin yksittäisiä korkeampia pitoisuuksia. Yksittäinen korkeampi pitoisuuskin on alhainen.

Rikastushiekka-altaan suotovesien kobolttipitoisuutta (kok. + liuk.) on tarkkailtu lokakuusta 2024 lähtien. Suotovesien kobolttipitoisuudet ovat alhaisia ja korkeimmat kobolttipitoisuudet on mitattu

tarkkailupisteiltä Oja Kömmänlahteen (7,1 µg/l, liukoinen pitoisuus 21.1.2025) ja Mustinsuo 1 (3,5 µg/l, liukoinen pitoisuus 21.1.2025). Muissa tarkkailupisteissä kobolttin liukoiset pitoisuudet olivat < 1,5 µg/l. Koska kobolttituloksia oli käytettävissä vain kahdelta mittauskerralta, ei kobolttipitoisuuden kehittymisestä ole tarkkaa tietoa.

Rikastushiekka-alueen metallipitoisuuksia on tutkittu ylimääräisillä näytteenotoilla vuodesta 2023 lähtien. Tämän raportin kirjoitushetkellä elokuun 2025 mittauskierroksen tulokset eivät olleet käytettävissä. Metallipitoisuuksien näytetuloksia rikastushiekka-alueen suotovesistä oli käytettävissä tarkkailupisteiltä Rötikönpuro 1, Rötikönpuro 2, Raasionoja 1B, Oja Syrjälampeen ja Oja Pitkälampeen. Rikastushiekka-alueen suotovesien metallipitoisuudet ovat alhaisia, pl. liukoisen alumiinin pitoisuus (0,13 mg/l) tarkkailupisteellä Oja Syrjälampeen. Yleisesti metallien pitoisuudet rikastushiekka-alueen suotovesissä ovat alhaisemmat kuin sivukivialueella.

#### 4.6.1 TRYPTOFAANIMITTAUKSET 2024

Yara Siilinjärven alueella toteutettiin tryptofaanimittauksia loka- ja marraskuussa 2024. Tryptofaanimittaus kertoo veden sisältämän mikrobiperäisen, proteiinipitoisen orgaanisen aineen määrästä ja laadusta, ja toimii usein indikaattorina saastumisesta tai biologisesta aktiivisuudesta. Mittauksista on koostettu erillinen mittausraportti (Vesi-Eko, 2024), joka on esitetty liitteenä 4. Mittauksia tehtiin rikastushiekka-alueen lounaispuolella ja Kolmisopenjärvellä lokakuussa 2024 ja Ansamäen läjitysalueen lysimetrialueella, Ansamäenpurossa ja Sulkajärven rannalla marraskuussa 2024.

Merkittävimmät (> 30) tryptofaaniarvot mitattiin Rötikönpuro 1 ja 2, Rötikköpellot E-oja, Mustin länsipato 1 ½, Perkkiö, Perkkiönöja, Mustintie ja Kolmisopenjärvi pisteistä. Suurin tryptofaaniarvo 52 QSU mitattiin pisteessä Perkkiö.

Tulosten perusteella arvioitiin, että sekä padoissa että läjitysalueella on biologista toimintaa, mikä lisääntyy ajan kuluessa. Rikastushiekka-aitaiden alueella suurimmat pitoisuudet tulivat kohdista, joissa on havaittu eniten rautasakkaa, mikä oli odotettua. Tuloksiin aiheutui epävarmuutta mittausajankohdasta, koska syksyllä maastossa on paljon hajoavaa orgaanista ainesta, mikä saattaa vaikuttaa mittaus tulokseen. Toinen epävarmuustekijä on Mustin vesialtaan alhainen lukema, mikä saattaa johtua veden sameudesta, koska runsas sameus voi muuttaa optisen mittauksen laatua.

## 4.7 RIKASTUSHIEKAN PITKÄAIKAISKÄYTTÄYTYMINEN

Kosteuskammionäytteiden kokoaminen ja kosteuskammiotesteihin lähetetyt rikastushiekanäytteet on esitetty tarkemmin **luvussa 3.9**. Kosteuskammiotestit tehtiin kahdelle rikastushiekanäytteelle. Rikastushiekan näytteistä toinen koostuu vanhasta Raasion rikastushiekasta (GCL0231-007-HTC) ja toinen tuoreesta Mustin rikastushiekka-altaalle läjitettävästä pastamaisesta rikastushiekasta (GCL0231-006-HTC).

## 4.7.1 KOSTEUSKAMMIOTESTIEN TULOKSET

### Rikastushiekka, peruskemia

Yara Siilinjärven kaivannaisjätenäytteille tehtyjen 40 viikkoa kestäneiden kosteuskammiotestien raakadata ja testauksen suorittaneen Geochemic Ltd:n raportti on esitetty kokonaisuudessaan liitteissä 1 ja 2. Kosteuskammiotestien osalta tulee huomioida yleisesti tunnettu alun "first flush"-ilmiö, jossa tyypillisesti viikoilla 0–5 on korkeammat pitoisuudet. "First flush"-ilmiön arvioitu maksimikesto on 5 viikkoa. Tulosten perusteella "first flush"-ilmiö on voimakkain rikastushiekkänäytteellä GCL0231-006-HCT.

Tutkimusjakson aikana rikastushiekkänäytteiden GCL0231-006-HCT ja GCL 0231-007-HCT pH asettui verrattain nopeasti tasolle 8–8,8. Näytteen GCL0231-006-HCT pH oli alussa 10,5, mutta laski jo toisella viikolla yleiselle vaihteluvälille. Näytteen GCL0231-007-HCT pH oli lähtötasolla 8,1. Rikastushiekkänäytteiden pH oli verrattain vakaa koko testijakson ajan. Viikosta 25 lähtien pH:ssa nähtiin molempien näytteiden osalta lievää pH:n lasku, mutta molempien näytteiden pH oli testijakson lopussa edelleen emäksinen ja noin tasolla 8,0.

Rikastushiekkänäytteiden sähkönjohtavuudessa näytteen GCL0231-006-HCT osalta voidaan huomata "first flush" ilmiö ensimmäisen 3–4 viikon aikana, jonka jälkeen sähkönjohtavuus tasaantui tasolle 129–181  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Näytteen GCL0231-006-HCT sähkönjohtavuudessa oli edelleen pientä vaihtelua, välillä 123–197  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Sähkönjohtavuus käytännössä lähes tasaantui viikon 30 jälkeen näytteessä GCL0231-006-HCT. Rikastushiekkänäytteessä GCL0231-007-HCT ei juuri havaittu merkittävää vaihtelua koko kosteuskammiotestin aikana, noin viikolla 15 mitattiin yksi matalampi sähkönjohtavuus (68,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), sähkönjohtavuuden muutoin vaihdellen välillä 96–122  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Mikäli näytteiden pH laskee ja EC-, sekä Eh-arvot nousevat, voivat nämä tulokset indikoida yhdessä happaman valuman syntyä. Tällaisia trendejä ei tulosten perusteella ollut havaittavissa testin aikana.

Sulfaatin ja raudan pitoisuudet kuvaavat yleisesti sulfidimineraalien hapettumista (ASTM 2018). Sulfaattipitoisuuden osalta näytteessä GCL0231-006-HCT näkyy voimakas "first flush" -ilmiö ensimmäisen viikon näytteessä. Viikoilla 2 ja 3 sulfaattipitoisuus oli edelleen hieman koholla, jonka jälkeen sulfaattipitoisuus laski alhaiselle tasolle (< 10 mg/kg/vko). Näytteessä GCL0231-006-HCT sulfaattipitoisuudessa jatkui hienoinen laskeva trendi testijakson loppuun asti ja sulfaattipitoisuus asettui noin tasolle 2,4 mg/kg/vko testijakson lopussa. Näytteessä GCL0231-007-HCT sulfaattipitoisuus oli verrattain alhainen koko testijakson ajan. Yksittäisiä korkeampia pitoisuuksia mitattiin testijakson aikana, mutta niissäkin sulfaattipitoisuus oli < 8 mg/kg/vko. Viikon 30 jälkeen näytteen GCL0231-007-HCT sulfaattipitoisuus pysyi käytännössä vakiona ja oli luokkaa 1 mg/kg/vko. Rautapitoisuudet molemmissa rikastushiekkänäytteissä olivat testin alun "first flush" -ilmiön jälkeen alle määritysrajan < 0,01 mg/kg/vko. Näytteen GCL0231-007-HCT käyttäytymistä selittää se, että kyseessä on vanha läjitetty rikastushiekka, josta on jo huuhtoutunut haitta-aineita.

Molempien testattujen rikastushiekkänäytteiden nettoalkaliniteetti-happamuus on pysytellyt alkalisisella puolella. Yleisesti ottaen näiden suotovesien haponpuskurointikyky on suhteellisen hyvä. Positiivinen arvo tarkoittaa, että liuos on nettoemäksinen ja siinä on riittävästi alkaliniteettia

vastustamaan pH:n muutoksia mahdollisen piilevän happamuuden vuoksi. Vetyperoksidin jälkeinen pH-arvo tarjoaa indikaatiota siitä, kuinka paljon pelkistyneitä yhdisteitä näytteessä on, jotka voivat vaikuttaa kokonais-happamuuteen. pH:n lasku alle 4,5 (esimerkiksi 3,5:een virhemarginaalin huomioimiseksi), viittaisi siihen, että hapetusvaihe laskee pH-arvoa verrattuna alkaliniteettititrauksen jälkeiseen pH:hon. Rikastushiekkänäytteiden osalta pH-arvot pysyivät pääosin tasolla 4,5.

Rikastushiekkänäytteillä GCL0231-006-HCT ja GCL0231-007-HCT on huomattavasti enemmän jäljellä olevaa neutralointipotentiaalia, verrattuna jäljellä olevaan hapontuottopotentiaalin määrään. Näiden rikastushiekkänäytteiden hapontuottopotentiaali vaikuttaa kuluvan loppuun neutralointipotentiaalia nopeammin ja näytteellä GCL0231-007-HCT hapontuottopotentiaalia olikin testin lopussa < 0,3 kg CaCO<sub>3</sub> eq/t. Näytteellä GCL0231-006-HCT hapontuottopotentiaalia oli testin lopussa < 1,1 kg CaCO<sub>3</sub> eq/t. Jäljellä oleva neutralointipotentiaali molemmissa näytteissä oli > 250 kg CaCO<sub>3</sub> eq/t. Tulosten perusteella on epätodennäköistä, että rikastushiekkänäytteiden suotovesi muuttuisi tulevaisuudessa happamaksi.

### **Päänionit, kationit ja metallit, rikastushiekka**

Kalsiumin ja magnesiumin pitoisuudet kuvaavat yleisesti Ca- ja Mg-karbonaattien osuutta sulfidimineraalien hapettumisen tuottaman happamuuden neutraloinnissa (ASTM 2018). Rikastushiekkänäytteiden Ca- ja Mg-liukoisuudet ovat suhteellisen matalalla tasolla ja näytteessä GCL0231-006-HCT jopa tasaisesti alenevalla tasolla. Magnesiumin liukoisuus oli molemmilla näytteillä koko ajan < 0,82 mg/kg/vko ja testijakson lopussa < 0,55 mg/kg/vko. Kalsiumin liukoisuus oli molemmilla rikastushiekkänäytteillä melko tasainen viikon 5 jälkeen. Kalsiumin liukoisuus vaihteli välillä 2,5–3,5 mg/kg/vko ja testijakson lopussa näytteellä GCL0231-006-HCT tasolla 3,44 mg/kg/vko ja näytteellä GCL0231-007-HCT tasolla 2,81 mg/kg/vko.

Na- liukoisuudessa on nähtävillä ”first flush” -ilmiö, voimakkaimmin rikastushiekkänäytteessä GCL0231-006-HCT. Viiden viikon jälkeen Na-liukoisuus molemmissa rikastushiekkänäytteissä oli < 0,6 mg/kg/vko. K-liukoisuus on molemmissa rikastushiekkänäytteissä Na-liukoisuutta suurempi. Rikastushiekkänäytteen GCL0231-006-HCT K-liukoisuus laski ”first flush” -ilmiön päätyttyä tasolta 38,5 g/kg/vko tasolle 27 mg/kg/vko testijakson lopussa. Toisessa rikastushiekkänäytteessä GCL0231-007-HCT K-liukoisuus pysytteli viiden testiviikon jälkeen noin tasolla 19–21 mg/kg/vko.

Kun tarkastellaan PIMA-asetuksen haitta-aineiden, alumiinin ja molybdeenin liukoisuuksia kosteuskammiotestien ajalta, voidaan huomata, että rikastushiekkänäytteet GCL0231-006-HCT ja GCL0231-007-HCT ovat liukoisuuksien osalta pääosin hyvin samankaltaisia. Merkittävillä pitoisuuksilla tarkoitetaan tässä yli 1,0 µg/kg viikoittaisia liukoisuuksia, jotka saattavat indikoida haitta-aineiden kohonneita pitoisuuksia kaivannaisjätealueiden suotovesissä. Rikastushiekkänäytteellä GCL0231-006-HCT kuparin liukoisuus ylitti 1,0 µg/kg/vko liukoisuuden ”first flush” -ilmiön jälkeen viikoilla 5–8, jonka jälkeen kuparin liukoisuus laski tasolle 0,4 µg/kg/vko. Testijakson lopussa rikastushiekkänäytteen GCL0231-006-HCT Cu-liukoisuus asettui tasolle 0,18 µg/kg/vko. Rikastushiekkänäytteessä GCL0231-007-HCT ei havaittu merkittäviä kuparin liukoisuuksia.

Rikastushiekkänäytteissä sinkin liukoisuus oli luokkaa 0,5 µg/kg/vko, mutta viikoilla 29–32 molemmista näytteistä mitattiin hieman korkeampia liukoisuuksia, luokkaa 0,6–0,7 µg/kg/vko. Rikastushiekkänäytteessä GCL0231-006-HCT vanadiinin liukoisuus ylitti 1 µg/kg/vko arvon viikolle 24 asti. Rikastushiekkänäytteessä GCL0231-007-HCT vanadiinin liukoisuus oli alhainen (< 0,6 µg/kg/vko) koko testijakson ajan, mutta liukoisuudessa oli hienoinen laskeva trendi. Vanadiinin liukoisuus rikastushiekkänäytteessä GCL0231-007-HCT laski testin alun 0,53 µg/kg/vko tasolta tasolle 0,18 µg/kg/vko testijakson lopussa.

Alumiinin osalta molempien rikastushiekkänäytteiden liukoisuudet ylittivät 1,0 µg/kg/vko koko testin ajan. Kosteuskammiotestin lopussa rikastushiekkänäytteiden alumiinin liukoisuudet olivat 5,82 µg/kg/vko (GCL0231-007-HCT) ja 14,3 µg/kg/vko (GCL0231-006-HCT). Alumiinin liukoisuus sivukivinäytteissä oli suurempaa kuin rikastushiekkänäytteissä. Molybdeenin osalta kummankaan rikastushiekkänäytteen liukoisuus ei ylittänyt 1,0 µg/kg/vko "first flush" -ilmiön jälkeen (viikon 5 jälkeen). Molybdeenin osalta rikastushiekkänäytteen GCL0231-006-HCT liukoisuudessa nähtiin lievä nousu viikon 36 jälkeen, molybdeenin liukoisuus nousi tasolle 0,35 µg/kg/vko. Rikastushiekkänäytteessä GCL0231-007-HCT molybdeenin liukoisuus oli alhainen ja osoitti laskevaa trendiä viikon 5 jälkeen. Molybdeenin liukoisuus rikastushiekkänäytteessä GCL0231-007-HCT laski viikon 5 tasolta 0,17 µg/kg/vko tasolle 0,04 µg/kg/vko testin lopussa.

Fosforin liukoisuuden osalta "first flush" -ilmiö näkyi viikoilla 0 ja 1 ja voimakkaimmin rikastushiekkänäytteessä GCL0231-006-HCT. Viikosta 2 lähtien fosforin liukoisuus asettui molemmissa rikastushiekkänäytteissä noin tasolle 16–22 µg/kg/vko. Fosforin liukoisuudessa ei ole nähtävissä kummankaan rikastushiekkänäytteen osalta selkeää trendiä. Rikastushiekkänäytteessä GCL0231-007-HCT fosforin liukoisuus testijakson aikana laski noin 2 µg/kg/vko, tasolta 20 µg/kg/vko tasolle 18 µg/kg/vko. Huomionarvoista on se, että fosforin liukoisuus rikastushiekkänäytteissä vaikuttaa tulosten perusteella olevan hieman alhaisempi kuin sivukivinäytteissä.

Ammoniumtypen, nitriittitypen ja nitraattitypen osalta rikastushiekkänäytteissä on nähtävissä "first flush" -ilmiö, joka kesti noin viikolle 5 asti. Ammoniumtypen, nitriittitypen ja nitraattitypen liukoisuudet olivat viikon 5 jälkeen pääosin todella alhaisella tasolla. Nitraattitypen osalta viikoilla 9–12 rikastushiekkänäytteessä GCL0231-006-HCT ja viikoilla 29–32 molemmissa rikastushiekkänäytteissä nähtiin lievempiä nitraattitypen liukoisuuksien kasvuja. Pääosa ammoniumtypen, sekä nitriitti- ja nitraattitypen liukoisuuksista oli alle määrittämissä rikastushiekkänäytteissä.

Uraanin osalta molemmissa rikastushiekkänäytteissä havaitaan "first flush" -ilmiö, joskin voimakkaampana näytteessä GCL0231-006-HCT. Rikastushiekkänäytteen GCL0231-007-HCT uraanin liukoisuus oli viikolla 5 tasolla 0,16 µg/kg/vko, josta se laski testijakson lopun tasolle 0,06 µg/kg/vko. Rikastushiekkänäytteen GCL0231-006-HCT uraanin liukoisuus oli viikon 5 jälkeen noin tasolla 0,25–0,35 µg/kg/vko. Rikastushiekkänäytteen GCL0231-006-HCT uraanin liukoisuus pysytteli melko vakaana viikolle 24 asti, jonka jälkeen näytteen uraanin liukoisuudessa ilmeni voimakkaampaa vaihtelua, liukoisuuden ollessa silti alhaisella tasolla.

Muiden metallien liukoisuuden osalta huomionarvoista on bariumin liukoisuuden nousu läpi testijakson molempien rikastushiekkänäytteiden osalta. Viikolla 5 rikastushiekkänäytteen GCL0231-006-HCT bariumin liukoisuus oli tasolla 95 µg/kg/vko ja rikastushiekkänäytteen GCL0231-007-HCT bariumin liukoisuus oli tasolla 61 µg/kg/vko. Testijakson lopussa vastaavat bariumin liukoisuudet olivat GCL0231-006-HCT 138,6 µg/kg/vko ja GCL0231-007-HCT 103 µg/kg/vko. Huomionarvoista on myös se, että bariumin liukeneminen saavuttaa ”normaalin” tasonsa viikolla 2 näytteen GCL0231-006-HCT osalta ja viikolla 5 näytteen GCL0231-007-HCT osalta.

Muiden metallien osalta tulee lisäksi mainita myös strontiumin liukoisuus. Strontiumin liukoisuus tutkituissa rikastushiekkänäytteissä oli koko testijakson ajan > 130 µg/kg/vko molemmilla rikastushiekkänäytteillä. Kovempi pitoisuus oli näytteessä GCL0231-006-HCT, jossa strontiumin liukoisuus oli viikon 2 jälkeen koko testijakson ajan > 235 µg/kg/vko. Molempien rikastushiekkänäytteiden strontiumin liukoisuudessa oli laskeva trendi, joka oli voimakkaampi näytteessä GCL0231-006-HCT.

#### **4.7.2 SUOTOVESIEN SULFAATTIPITOISUUDEN KÄYTTÄYTYMISEN ARVIOINTI PITKÄLLÄ AIKAVÄLILLÄ**

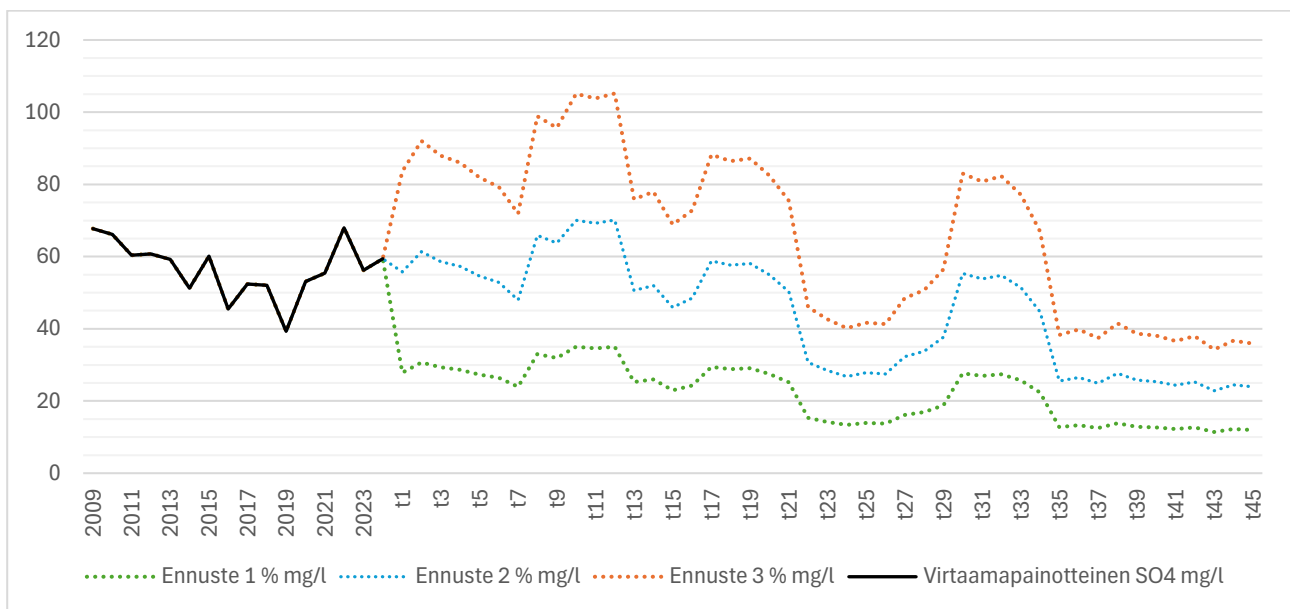
Mustin ja Raasion rikastushiekka-aldaiden suotoveden laadun käyttäytymisen kehittymistä pitkällä aikavälillä arvioitiin kosteuskammioitestien tulosten perusteella noudatellen samoja periaatteina kuin Ansanmäen läjitysalueen arvioinnissa (kpl. 3.9.2). Rikastushiekka näytteet olivat vanhasta Raasion rikastushiekasta (GCL0231-007-HCT) ja toinen tuoreesta Mustin rikastushiekka-altaalle läjitettävästä pastamaisesta rikastushiekasta (GCL0231-006-HCT). Raasion rikastushiekkänäytteen tarkka ikä ei ole tiedossa.

Raasion rikastushiekka-allas on rikastushiekka-altaista vanhempi ja se ei ole enää aktiivisessa käytössä. Raasion rikastushiekka-altaalle läjitetään rikastushiekkaa vain poikkeustilanteissa muutamana päivänä vuodessa. Raasion läjitysalueella on myös läjitysalueet Sikopuron allaspuhdistamolta poistettavalle kiintoaineelle, joka on luokiteltu pysyväksi tavanomaiseksi kaivannaisjätteeksi. Raasion rikastushiekka-aldaan suotoveden laadun arvioinnissa on laskettu Raasion rikastushiekka-aldaan jätemäärän aiheuttamaa suotoveden laadun pitkäaikaista kehittymistä keskimääräisinä sadantavuosina. Koska Raasion rikastushiekka-altaalla on pääasiassa vanhaa läjitettyä jätettä, tarkasteltiin laskennassa tämänhetkisen jätemäärän ikääntymistä pitkällä aikavälillä. Kosteuskammio testiin lähetetyn näytteen ollessa vanhaa, jo rapautunutta, rikastushiekkaa, kuvaa se jo rapautuneen hiekan ikääntymistä näytteenottohetkestä eteenpäin. Tämän vuoksi Raasion hiekalla ei nähty yhtä voimakasta first flush -ilmiötä kuin Mustin rikastushiekalla.

Laskennassa jouduttiin tekemään yksinkertaistuksia ja olettamia, eikä kosteuskammioitestien viikkotuloksia voitu käytettävissä olevan tiedon avulla validoida tiettyyn ajanhetkeen tai -jaksoon. Koska kyseessä on rapautunut näyte edustaa se jätteen jäännösrapautumista, eikä sen perusteella voida arvioida suotoveden käyttäytymistä menneisytydessä. Tällöin ei voitu myöskään tehdä ennusteen sovitusta tai validointia Raasionojien 1-4 suotovesien mittauspisteiden tuloksiin. Raasion

rikastushiekka-altaalta vapautuvan sulfaatin määrää kuvattiin laskennassa aika-askelin (t1–t45) hyödyntäen kosteuskammiotestien viikkotuloksia. Laskenta aloitettiin käyttämällä yksittäisiä viikkotuloksia, kasvattaen asteittain mukaan otettujen viikkojen määrää viiteen. Tämän jälkeen sulfaattimäärä laskettiin liukuvana viiden viikon keskiarvona, kunnes käytettävissä olevien viikkotulosten määrä jälleen väheni loppua kohden. Laskenta näin toteutettuna on konservatiivisempi antaen suuremman painoarvon viikkojen kosteuskammiotestin alkuvikoille ja toisaalta se tasoittaa yksittäisten testiviikkojen korkeahkoja pitoisuuksia, vastaten todennäköisesti paremmin jätealueen käyttäytymistä.

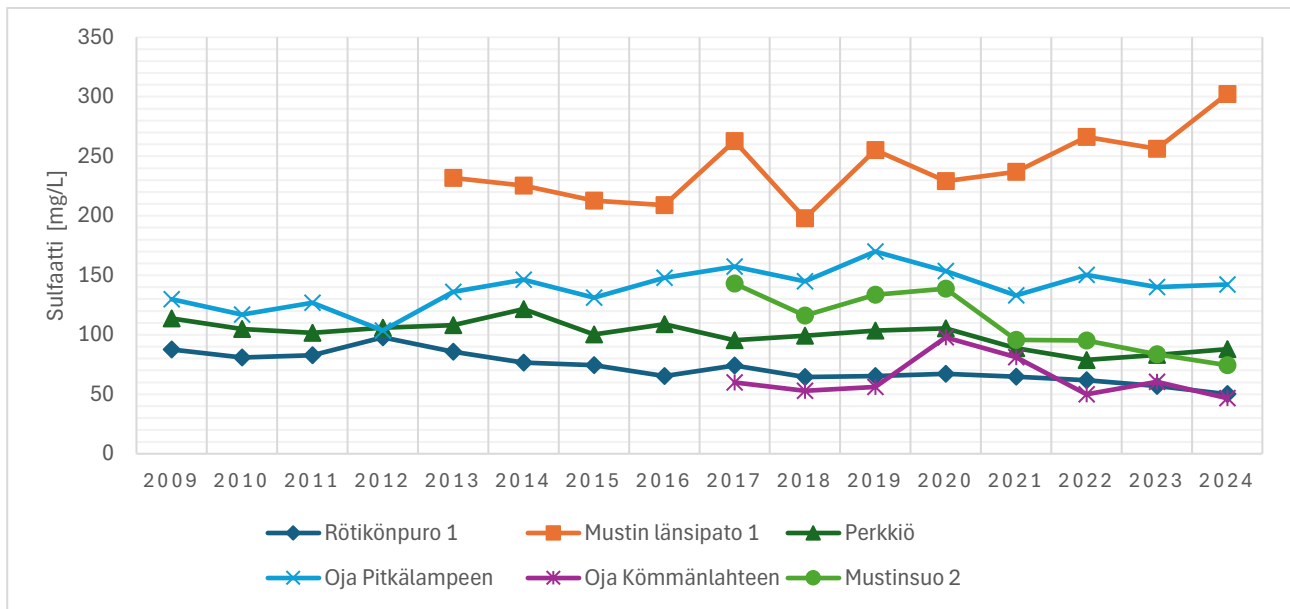
Kuvassa (**Kuva 23**) on esitetty Raasionojien 1–4 virtaamapainotteinen sulfaattipitoisuuden vuosikeskiarvo vuosille 2009–2024 sekä arvio suotoveden sulfaattipitoisuuden käyttäytymisestä aika-askelilla t1–t45 käyttäen korjauskertoimia 1 %, 2 % ja 3 % kosteuskammiotestien tuloksille. Korjauskertoimella 2 % laskettu arvio edustaa todennäköisintä kehityssuuntaa, kun sitä verrataan todennettuihin suotoveden sulfaattipitoisuuksiin. Kertoimilla 1 % ja 3 % lasketut sulfaattipitoisuudet ovat todennäköiset vaihtelun ala- ja ylärajat ja ne kuvastavat arvioinnin herkkyyttä. Arvion mukaisesti suotoveden laadussa on odotettavissa nykyisen kaltaista syklittäistä vaihtelua pitkänkin ajan kuluessa, mutta sulfaattipitoisuuden trendi on kuitenkin laskusuuntainen. Arvion (2 %) mukaan sulfaattipitoisuus tulee lopulta tasaantumaan noin tasolle 25 mg/l. Arviossa ei ole huomioitu rikastushiekka-altaalle toteutettavia peittorakenteita tai muita sulkemisen toimenpiteitä.



Kuva 23. Arvio Raasion rikastushiekka-altaan suotoveden sulfaattipitoisuuden laadun kehittymisestä pitkällä aikavälillä.

Mustin rikastushiekka-altaalle on läjitetty rikastushiekkaa vuosikymmenien ajan ja vuoden 2024 lopussa sitä oli läjitettynä rikastushiekka-altaalle yhteensä noin 265 350 000 tonnia. Mustin rikastushiekka-altaan suotoveden laatua pyrittiin arvioimaan yhden kosteuskammiotestin näytteen perusteella, joka edustaa tällä hetkellä läjitettävän rikastushiekan laatua. On tärkeää huomioida, että rikastusprosessia on kehitetty kaivoksen ja rikastamon elinkaaren aikana, jolloin myös rikastushiekan ympäristöominaisuudet ovat todennäköisesti parantuneet. Mustin rikastushiekka-allas on pinta-alaltaan noin 1 000 hehtaaria ja sillä on useita suotovesipisteitä, joita tarkkaillaan.

Suotovesien laatu on hyvin vaihtelevaa eri näytteenottopisteillä, joka voidaan hyvin havainnollistaa alla olevassa kuvassa (Kuva 24) esitetyillä keskeisillä suotovesipisteiden todennetuilla virtaamapainotteisilla vuosikeskiarvoilla. Sulfaattipitoisuuden vuosikeskiarvo on vaihdellut esitetyillä pisteillä 46–302 mg/l välillä. Sulfaattipitoisuuden trendi on osalla pisteistä laskeva ja osalla nouseva, kuten kappaleessa 4.5 on aiemmin todettu.



Kuva 24. Mustin rikastushiekka-altaan keskeisten suotovesipisteiden virtaamapainotteiset vuosikeskiarvot.

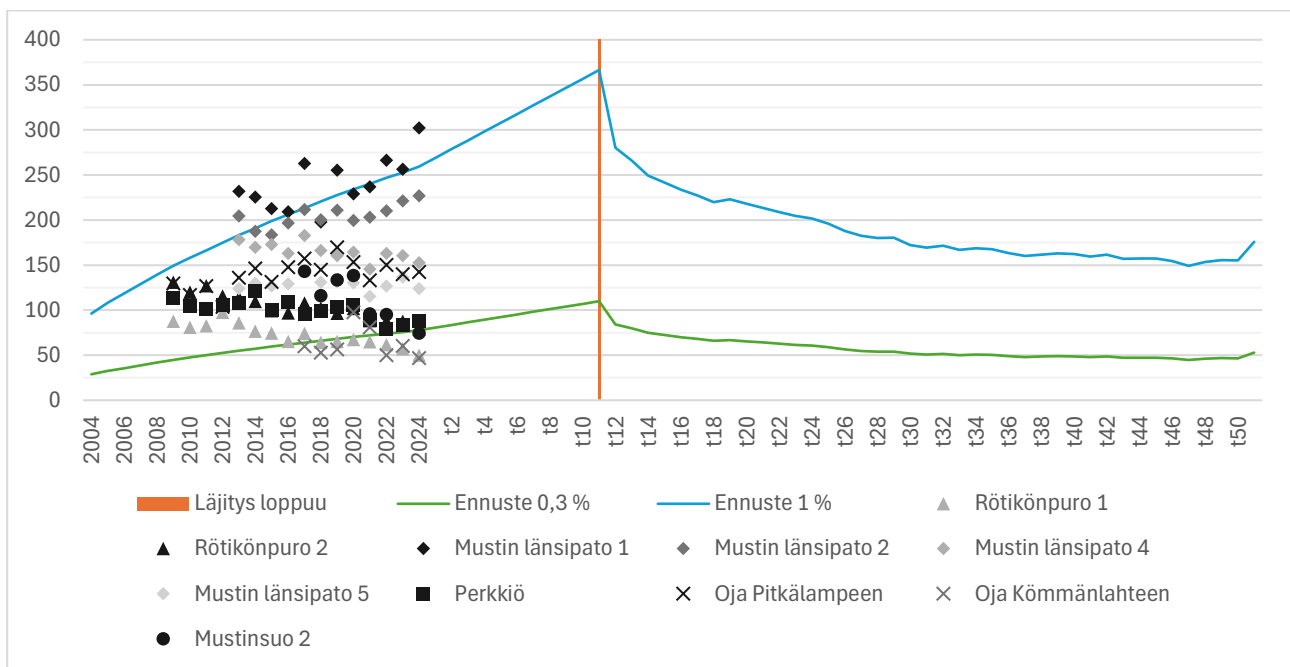
Mustin rikastushiekka-altaan suotovedelle laadittiin ennuste sulfaattipitoisuuden käyttäytymisestä vuodesta 2004 vuoteen 2035, jolloin läjitystoiminta Mustin rikastushiekka-altaalla tulee loppumaan. Laskennassa läjitetyn rikastushiekan määrä on 10 miljoonaa tonnia vuodessa, jolloin voitiin laskea vuositasoinen keskiarvoinen sulfaattipitoisuus keskimääräisille sadantavuosille menneisyydelle, nykytilanteelle sekä tulevaisuudelle. Yhden viikon kosteuskammiotestin tuloksen oletettiin edustavan yhden vuoden muutosta läjitysalueella. Laskennan alkutilanteessa käytettiin kosteuskammiotestin viikkojen 1–21 arvoja, joita kasvatettiin asteittain nykyhetkeen niin, että vuoden 2024 laskennassa arvoina on edustettuna koko kosteuskammiotestien arvosarja. Vuodesta 2025 toiminnan päättymiseen käytettiin viikkojen 1–41 tuloksia ja laskennan ainoa muuttuja oli kasvava jätemäärä. Toiminnan päättymisen jälkeen sulfaattimäärän laskenta jatkui aika-askelin ( $t_1$ – $t_{51}$ ), käyttäen keskiarvostettua kosteuskammiotestin tulosta. Jokaisella uudella aika-askeleella poistettiin yksi aikaisempi viikkotulos keskiarvon laskennasta, jolloin laskennassa huomioitujen viikkojen määrä väheni asteittain, kuvaten jätemateriaalin vanhentumista. Viimeisellä aika-askeleella kosteuskammiotestin tuloksesta käytettiin vain viimeisen mittausviikon tulosta.

Sulfaattipitoisuuden ennusteet on laadittu kosteuskammiotestien tulosten perusteella käyttäen kahta eri korjauskerrointa: 0,3 % ja 1 % kosteuskammiotestien tuloksille. Näiden kertoimien valinta perustuu siihen, että ne tuottavat ennusteita, jotka asettuvat hyvin havaittujen suotovesipitoisuuksien vaihteluvälin ala- ja ylärajoille. Tavoitteena on ollut epävarmuuksien takia kuvata realistinen vaihteluväli, jonka sisällä sulfaattipitoisuus todennäköisesti kehittyä eri mittauspisteissä pitkällä aikavälillä. Korjauskertoimet eivät pyri tarkkaan sovitukseen keskiarvostettuihin havaintoihin

nähdessä, vaan ne tarjoavat arvioidun haarukan, joka huomioi läjitysalueen iän vaikutuksen ja mittauspisteiden väliset erot. Tuleva sulfaattipitoisuus todennäköisesti vaihtelee valittujen ennustekäyrien välillä, riippuen paikallisista olosuhteista ja toisistaan poikkeavien rikastushiekkaerien ominaisuuksista.

Kuvassa on esitetty Mustin rikastushiekka-alueen suotoveden sulfaattipitoisuuden laadun ennuste edellä mainituilla korjauskertomilla sekä Mustin rikastushiekka-alueen suotovesien sulfaattipitoisuuksien virtaamapainotteiset vuosikeskiarvot kymmeneltä eri mittauspisteeltä. Mustin rikastushiekka-altaan suotoveden sulfaattipitoisuuden arvioidaan nousevan rikastushiekka-altaalla niin kauan kun rikastushiekka-alueelle sijoitetaan uutta rikastushiekkaa. Heti läjitystoiminnan päätyttyä suotoveden laadun arvioidaan kääntyvän laskusuuntaiseksi. Tämä muutos näkyy verrattain voimakkaana tehdyssä arvioinnissa, koska Mustin rikastushiekkanäytteen sulfaatin liukoisuus oli erittäin suuri kosteuskammiotestin ensimmäisessä viikkonäytteessä. On todennäköistä, että sulfaattipitoisuudessa ei nähdä yhtä jyrkkää laskua läjitystoiminnan päätyttyä.

Pitkällä aikavälillä suotoveden sulfaattipitoisuuden arvioidaan vakiintuvan noin 45–160 mg/l välille. Mustin rikastushiekkanäytteen kosteuskammiotestien loppuvaiheen liukoisuustasot olivat samaa suuruusluokkaa kuin Raasion rikastushiekkanäytteen alkuvaiheen tulokset. Vaikka Mustin näytteessä havaittiin vaihtelua sulfaattipitoisuudessa, se oli vaimeampaa kuin Raasion näytteessä. Koska molemmat näytteet ovat peräisin samankaltaisesta mineralisaatiosta ja edustavat samaa kaivannaisjätettä, on mahdollista, että hyvin pitkällä aikavälillä myös Mustin rikastushiekka käyttäytyisi Raasion hiekkaa vastaavasti. Tällöin muodostuvassa suotovedessä voisi esiintyä nykyistä arviota suurempaa vaihtelua sulfaattipitoisuudessa.



Kuva 25. Arvio Mustin rikastushiekka-alueen suotoveden sulfaattipitoisuuden laadun kehittymisestä pitkällä aikavälillä.

### 4.7.3 TULOSTEN VERTAILU SUOTOVESIIN

Rikastushiekkänäytteiden kosteuskammiotestien pH oli koko testijakson emäksinen. Suotoveden tarkkailupisteillä havaitut korkeimmat pH-arvot vastaavat kosteuskammiotestien lopussa mitattuja pH-arvoja. Testattujen rikastushiekkänäytteiden nettoalkaliniteetti-happamuus pysytteli alkalinisella puolella ja rikastushiekkänäytteiden neutralointipotentiaalia oli huomattavasti enemmän jäljellä testijakson lopussa kuin hapontuottopotentiaalia. Kosteuskammiotestien perusteella rikastushiekka ei muodosta hapanta valumaa, jota tukee suotovesistä mitatut pH-arvot.

Rikastushiekka-alueen suotovesien sulfaattipitoisuus ja sulfaattipitoisuuden kehitys vaihtelee eri pisteiden välillä. Vuoden 2023 jälkeen pääosassa rikastushiekka-altaan tarkkailupisteistä sulfaattipitoisuus on < 150 mg/l, pl. tarkkailupisteet Länsipato 1, 2, 4 ja 5, sekä Oja Pitkälampeen 2. Suurimmat sulfaattipitoisuudet havaitaan tarkkailupisteissä Länsipato 1 ja 2, sekä Oja Pitkälampeen 2. Näistä Länsipato 1 ja Oja Pitkälampeen 2 sulfaattipitoisuudet osoittavat nousevaa trendiä. Yleisesti ottaen kuitenkin suotovesien tarkkailutulokset viittaavat sulfaattipitoisuuden olevan pääosin laskeva. Laskeva trendi sulfaattipitoisuudessa havaitaan 12 tarkkailupisteessä, kun nouseva trendi havaitaan puolestaan viidellä tarkkailupisteellä. Kosteuskammiokokeissa rikastushiekkänäytteiden sulfaattipitoisuus pysyi tasaisena, tai osoitti laskevaa trendiä.

Yleisesti voidaan arvioida, että suotovesissä havaittu nouseva trendi sulfaattipitoisuudessa kuvaa todennäköisesti sitä, että kuormitusta tulee sekä aiemmin läjitetystä rikastushiekasta, että nykyisin läjitettävästä rikastushiekasta. Kosteuskammiotestin tulosten perusteella aiemmin läjitetyn rikastushiekan aiheuttaman sulfaattikuormituksen pitäisi pienentyä ajan kuluessa. Koska alueelle kuitenkin läjitetään jatkuvasti uutta rikastushiekkaa, on todennäköistä, että keskiarvoisesti tarkasteltuna nouseva trendi sulfaattipitoisuudessa jatkuu. Sulfaattipitoisuudet saattavat kuitenkin voimakkaasti vaihdella eri mittapisteiden välillä. Rikastushiekka-alueen pohjamaa on ollut luonnontilassa turvevaltaista, joka saattaa osaltaan vaikuttaa mm. havaittuihin sulfaattipitoisuuksiin.

Sulfaattipitoisuuden nousu ei toisaalta ole kosteuskammiotestin tulosten perusteella todennäköistä tarkkailupisteissä, missä ei nykyisin ole selkeää trendiä, tai trendi on laskeva. Tämä johtuu siitä, että alueelle on läjitetty jo merkittävä määrä rikastushiekkaa ja sulfaattikuormitusta ei ole tarkkailupisteille syntynyt toiminnan aikana. Normaalityöinnässä läjitettävän rikastushiekan laatu ei tule merkittävästi muuttumaan ja täten sulfaattipitoisuuden kehityksessä ei ole odotettavissa muutosta.

Rikastushiekkänäytteiden kosteuskammiotestien perusteella typen jakeiden (nitraatti-, nitriitti- ja ammoniumtyppi) liukoisuus on alhaisella tasolla. Rikastushiekka-alueen suotovesien tarkkailupisteiden tulosten perusteella kokonaistypen pitoisuus on melko alhainen. Pääosin rikastushiekka-alueen suotovesien kokonaistypen pitoisuus on < 10 mg/l. Länsipato 1 ja Länsipato 2 tarkkailupisteillä mitattiin korkeampia pitoisuuksia vuonna 2014, minkä jälkeen kokonaistypen pitoisuus tarkkailupisteillä on laskenut. Tarkkailupisteellä Länsipato 2 kokonaistypen pitoisuus on edelleen ajoittain > 10 mg/l. Tarkkailupisteellä Oja Pitkälampeen kokonaistypen pitoisuus on selkeästi suurin kaikista rikastushiekka-alueen suotovesien tarkkailupisteistä. Pääosassa rikastushiekka-alueen suotoveden tarkkailupisteistä kokonaistypen pitoisuus on < 2 mg/l. Suhteutettuna läjitetyn rikastushiekan määrään kokonaistypen pitoisuus suuressa osassa

suotoveden tarkkailupisteitä on vähäinen. Läjitysmäärän pysyessä nykyisellä tasolla typpikuormitus tulee oletettavasti kasvamaan.

Suotovesien tarkkailutulosten perusteella fosforipitoisuudessa on vaihtelua eri suotovesien tarkkailupisteissä. Fosforipitoisuus osoittaa nousevaa trendiä kahdeksalla tarkkailupisteellä ja laskevaa trendiä kahdella tarkkailupisteellä. Muilla tarkkailupisteillä fosforipitoisuudessa ei ole havaittavissa selkeää trendiä. Fosforin liukoisuus kosteuskammiotesteissä oli rikastushiekkanäytteillä 16–22 µg/kg/vko. Fosforin liukoisuudessa ei havaittu selkeää trendiä kosteuskammiotestien aikana. Huomionarvoista tuloksissa on se, että fosforin liukoisuus rikastushiekkanäytteissä oli kosteuskammiotestien tulosten perusteella hieman alhaisempi kuin sivukivinäytteillä. Kuitenkin rikastushiekka-alueen suotovesissä fosforipitoisuus on suurempi kuin sivukivialueiden suotovesissä. Todennäköisesti fosfori liukenee helpommin hienompijakoisesta rikastushiekasta, kuin sivukivistä, minkä vuoksi suotovesihavainnot eroavat kosteuskammiotestin havainnoista. Todennäköisesti myös läjitetyn rikastushiekan suurempi määrä suhteessa sivukiven määrään vaikuttaa siihen, että fosforipitoisuus on suurempi rikastushiekka-altaan suotovesissä. Yleisesti ottaen fosforipitoisuudet suotovesissä ovat alhaisia, pois lukien tarkkailupiste Korpiniitty.

PIMA-asetuksen haitta-aineiden, alumiinin ja molybdeenin liukoisuudet olivat kosteuskammiotestien aikana alhaisella tasolla. Alumiinin liukoisuus oli merkittävä (> 1 µg/kg/vko) molemmissa rikastushiekkanäytteissä läpi kosteuskammiotestijakson. Muiden haitta-aineiden liukoisuudet olivat alhaisia läpi kosteuskammiotestien, tai osoittivat laskevaa trendiä testin aikana. Suotovesien tarkkailutulosten perusteella PIMA-asetuksen haitta-aineiden, alumiinin ja molybdeenin liukoisuudet ovat alhaisia rikastushiekka-alueen suotovesissä. Alumiinin osalta poikkeuksen muodostaa tarkkailupiste Oja Syrjälampeen, missä liukoisen alumiinin pitoisuus oli verrattain korkea huhtikuussa 2025. Mitattu alumiinin pitoisuus oli moninkertainen muihin rikastushiekka-alueen suotovesiin, tai sivukivialueiden suotovesiin verrattuna.

## **4.8 YHTEENVETO SULFAATIN, TYPEN JA FOSFORIN KÄYTTÄYTYMISESTÄ**

### **4.8.1 TYPPI**

Typen käyttäytyminen rikastushiekka-alueilla poikkeaa selvästi sivukivialueista, erityisesti pitoisuustasojen ja vaihtelun osalta. Rikastushiekka on hienojakoista ja kosteaa, mikä edistää typen liukenemistä ja kulkeutumista suotovesiin.

Tarkasteltaessa rikastushiekka-alueiden typpipitoisuuksia Mustin ja Raasion rikastushiekka-altailla, havaitaan selkeitä eroja alueiden välillä sekä pitoisuustasojen että kehitystrendien osalta. Mustin rikastushiekka-alueella, joka on kaivoksen pääasiallinen läjitysalue, kokonaistyppipitoisuudet ovat selvästi korkeampia ja osoittavat paikoin nousevaa trendiä. Raasion rikastushiekka-alueella, jota käytetään vain satunnaisesti esimerkiksi kunnossapitotöiden aikana, typpipitoisuudet ovat huomattavasti alhaisempia ja vakaampia.

Mustin rikastushiekka-alueen tarkkailupisteistä erityisesti Oja Pitkälampeen 2 on osoittautunut poikkeukselliseksi kohonneiden kokonaistypen pitoisuuksien ja niiden vaihtelun osalta. Pisteiden tuloksissa on havaittavissa selkeästi vuodenaikaan liittyvää vaihtelua, ja pitoisuudet ovat olleet ajoittain selvästi korkeampia kuin muilla alueilla. Lisäksi pitkän aikavälin tarkastelussa pisteen typpipitoisuudet osoittavat nousevaa kehityssuuntaa.

Muut Mustin alueen tarkkailupisteet, kuten Länsipatojen ja Mustinsuon alueet, ovat osoittaneet vaihtelevia pitoisuuksia. Joillakin pisteillä on havaittu aiemmin korkeita arvoja, mutta myöhemmin pitoisuudet ovat laskeneet tai tasaantuneet. Mustinsuon pisteissä pitoisuudet ovat olleet pääosin matalampia, mutta niissäkin on nähtävissä lievää nousua viime vuosina.

Raasion rikastushiekka-alueella tilanne on selvästi rauhallisempi. Alueen tarkkailupisteissä kokonaistypipitoisuudet ovat pysyneet matalina ja vakaina, eikä niissä ole havaittavissa merkittävää vaihtelua tai nousutrendiä. Tämä tukee käsitystä siitä, että Raasion alueella läjitetty rikastushiekka on jo stabiloitunut ja että alueen käyttö on ollut vähäistä ja satunnaista. Typen osalta Raasion alueen kuormituspotentiaali on siten huomattavasti pienempi kuin Mustin alueella.

Yhteenvedon voidaan todeta, että Mustin rikastushiekka-alueella typpipitoisuudet ovat selvästi korkeampia ja osoittavat nousevaa trendiä erityisesti aktiivisten alueiden suotovesipisteillä. Raasion alueella pitoisuudet ovat matalia ja vakaita, koska alueella läjitys on nykyisin vähäistä ja läjitystoiminta on ollut aktiivisimmillaan 1980-luvun alussa. Typen käyttäytyminen rikastushiekka-alueilla liittyy erityisesti läjityksen tuoreuteen, materiaalin kemialliseen koostumukseen ja biologiseen aktiivisuuteen.

#### **4.8.2 FOSFORI**

Fosforin käyttäytyminen Mustin ja Raasion rikastushiekka-alueilla osoittaa selkeitä eroja sekä pitoisuustasojen että kehityssuuntien osalta. Mustin rikastushiekka-alueella, jossa läjitystoiminta on aktiivista ja laajamittaista, fosforipitoisuudet ovat tarkkailutulosten perusteella osoittaneet nousevaa trendiä useilla pisteillä. Erityisesti Korpiniityn alueella fosforipitoisuuden nousu on ollut voimakasta, ja samankaltaista kehitystä on havaittu myös Mustinsuo 1 ja 2 -pisteissä. Näillä alueilla fosforipitoisuus on noussut tarkkailun alusta lähtien ja ohittanut muiden pisteiden tasot viime vuosien aikana. Tämä viittaa siihen, että Mustin alueella rikastushiekka sisältää mahdollisesti fosforia vapautumista edistäviä komponentteja, ja myös biologinen aktiivisuus tai materiaalin hienojakoisuus saattaa edistää fosforin vapautumista. Viime vuosina syötteessä on ollut aiempaa suurempi osuus hiertynyttä malmia. Tämä saattaa vaikuttaa rikastushiekan hienojakoisuuteen ja edelleen mahdollisesti apatiitin määrään rikastushiekassa.

Raasion rikastushiekka-alueella fosforipitoisuuksien kehitys on ollut huomattavasti rauhallisempaa. Alueen käyttö on ollut satunnaista ja läjitysmäärät selvästi pienempiä, mikä näkyy myös suotovesien fosforipitoisuuksissa. Tarkkailupisteissä ei ole havaittu merkittäviä nousutrendejä, ja pitoisuudet ovat pysyneet tasaisina koko tarkkailujakson ajan. Tämä tukee käsitystä siitä, että Raasion alueen rikastushiekka on jo stabiloitunut eikä enää aiheuta merkittävää fosforikuormitusta.

Kosteuskammiotestien perusteella fosforin liukoisuus rikastushiekassa on hieman alhaisempi kuin sivukivissä. Testijakson alussa havaittiin tyypillinen "first flush" -ilmiö, mutta sen jälkeen fosforin liukoisuus vakiintui tasaiselle, matalalle tasolle, eikä selkeää nousua tai laskua ollut havaittavissa. Tämä tukee kenttähavaintoja siitä, että fosforin vapautuminen rikastushiekasta tapahtuu pääosin läjityksen alkuvaiheessa ja tasaantuu ajan myötä.

Yhteenvetona voidaan todeta, että Mustin rikastushiekka-alueella fosforipitoisuudet ovat nousussa erityisesti aktiivisilla läjitysalueilla, kun taas Raasion alueella pitoisuudet ovat pysyneet matalina ja vakaina. Fosforikuormituksen kehitys liittyy selvästi läjityksen tuoreuteen, materiaalin koostumukseen ja mahdolliseen biologiseen toimintaan. Mustin alueen osalta kuormituspotentiaali on edelleen olemassa, kun taas Raasion alueella se on jo arvion mukaan pääosin hiipunut.

### **4.8.3 SULFAATTI**

Sulfaatin käyttäytymistä rikastushiekka-alueilla on arvioitu sekä laboratoriotutkimusten että kenttätarkkailun perusteella. Rikastushiekka sisältää malmista peräisin olevia sulfideja ja pH:n säätöön käytettyä rikkihappoa, jotka voivat lisätä sulfaattipitoisuuksia suotovesissä. Mustin ja Raasion rikastushiekka-alueiden suotovesien sulfaattipitoisuuksien kehitystä on tarkasteltu erityisesti kosteuskammiotestien ja laskennan avulla.

Pitkän aikavälin tarkastelussa rikastushiekka-alueiden sulfaattipitoisuuksien kehityksessä on havaittu selkeitä muutoksia, jotka heijastavat läjitysmateriaalin ikääntymistä ja alueen aktiivisuutta. Testitulosten perusteella sulfaattipitoisuus on korkeimmillaan läjityksen alkuvaiheessa, minkä jälkeen pitoisuudet laskevat ja tasaantuvat. Tämä kehitys näkyy erityisesti Mustin alueella, jossa tuoreesta rikastushiekasta mitatut pitoisuudet olivat aluksi selvästi koholla, mutta laskivat ajan myötä. Vastaavasti vanhemmalla materiaalilla, kuten Raasion alueen rikastushiekalla, sulfaattipitoisuudet pysyivät koko tarkastelujakson ajan matalina ja vakaina, mikä viittaa siihen, että merkittävä osa sulfaatista on jo liennut aikaisemmin.

Tarkkailutulokset tukevat tätä havaintoa Kenttätarkkailussa Mustin alueen tarkkailupisteissä on havaittu sekä laskevia että nousevia sulfaattipitoisuustrendejä. Joillakin pisteillä pitoisuudet ovat laskeneet tarkkailujakson aikana, kun taas toisilla alueilla, kuten Oja Pitkälampeen 2:ssa, on havaittu nousua. Tämä viittaa siihen, että sulfaattipitoisuuksien kehitys riippuu läjityksen ajankohdasta, materiaalin iästä ja mahdollisista maisemointitoimenpiteistä. Raasion alueella sulfaattipitoisuudet ovat pysyneet matalina ja vakaina, mikä tukee käsitystä siitä, että alueen kuormituspotentiaali on jo tasaantunut.

Tulevaisuuden arvioiden perusteella sulfaattipitoisuuksien kehityksen odotetaan jatkuvan nykyisellä linjalla: aktiivisilla läjitysalueilla pitoisuudet voivat vielä nousta, mutta ajan läjitystoiminnan lakkaamisen myötä niiden odotetaan tasaantuvan ja vähenevän. Tämä kehitys on erityisen todennäköinen, mikäli läjitystoiminta vähenee ja alueita ryhdytään sulkemaan suunnitelmallisesti. Mallinnuslaskennan perusteella Raasion rikastushiekka-alueen sulfaattipitoisuus ei todennäköisesti enää kasva merkittävästi, mikäli alueen käyttö pysyy nykyisellä tasolla.

Yhteenvetona voidaan todeta, että sulfaattipitoisuuksien kehitys rikastushiekka-alueilla on ennustettavissa laboratoriotulosten ja mallinnusten perusteella. Mustin alueella kuormituspotentiaali on edelleen olemassa, erityisesti aktiivisilla osa-alueilla, kun taas Raasion alueella sulfaattikuormitus on jo vakiintunut. Tulevaisuudessa sulfaattipitoisuuksien arvioidaan tasaantuvan tai laskevan, mikäli läjitystoiminta vähenee ja alueita suljetaan suunnitelmallisesti.

# 5 Tulosten yhteenveto, epävarmuustarkastelu ja jatkosuositukset

## 5.1 TULOSTEN YHTEENVETO

Sulfaattikuormitus muodostaa merkittävän osan kaivannaisjätteiden ympäristövaikutuksista. Sivukivien osalta sulfaattipitoisuudet liittyvät erityisesti läjitetyn jätteen suureen määrään ja kivilajien sisältämään rikkiin. Sivukiven rikkipitoisuus on itsessään pieni, mutta läjitetyn sivukiven suuri määrä kumuloi rikkipitoisuutta, mikä edelleen aiheuttaa sulfaattipitoisuuden kumuloitumisen suotovesissä. Tarkkailutulokset osoittavat, että sulfaattipitoisuudet suotovesissä ovat kasvaneet erityisesti aktiivisesti käytössä olevalla Ansanmäen ja Itäläjityksen alueilla. Kuormituspotentiaali kasvaa läjitysmäärän mukana ja voi jatkua pitkään läjityksen päättymisen jälkeen. Rikastushiekka-alueella sulfaattikuormitus aiheutuu rikastushiekan sisältämästä rikistä, joka on arvion mukaan pääosin peräisin rikkihapon käytöstä rikastusprosessissa. Suotovesien sulfaattipitoisuuksissa on havaittavissa sekä nousevia että laskevia trendejä eri tarkkailupisteissä. Sulfaatti on herkin komponentti läjitysmateriaalin laadulle, määrälle ja iälle, ja sen kuormituspotentiaali on merkittävä erityisesti aktiivisilla läjitysalueilla.

Typen kuormitus sivukivialueilla liittyy ensisijaisesti räjähdeainejäämiin, jotka jäävät sivukiven pintaan louhinnan ja läjityksen yhteydessä. Sivukivistä itsestään ei liukene merkittäviä määriä typpeä. Kuormitus on suurimmillaan heti läjityksen jälkeen ja huuhtoutuu nopeasti valumavesien mukana, mutta suurten läjitysmäärien vuoksi typpikuormitus voi jatkua pitkään läjityksen päättymisen jälkeen. Laboratoriotesteissä havaittiin selvä alkuhuutouma, jossa nitraattityppi oli hallitseva muoto. Ammonium- ja nitriittitypen pitoisuudet olivat selvästi matalampia ja usein alle määritysrajan. Testijakson edetessä pitoisuudet laskivat nopeasti ja pysyivät matalina.

Rikastushiekka-alueilla typen käyttäytyminen poikkeaa selvästi sivukivialueista. Rikastushiekka on hienojakoista ja kosteaa, mikä edistää typen liukenemistä ja kulkeutumista. Kuormituspotentiaali on suurimmillaan läjityksen alkuvaiheessa ja tasaantuu ajan myötä, mutta voi jatkua vuosia. Mustin rikastushiekka-alueella typpipitoisuudet ovat selvästi korkeampia ja osoittavat nousevaa trendiä erityisesti aktiivisilla läjitysalueilla. Raasion alueella pitoisuudet ovat matalia ja vakaita, koska alueella läjitys on nykyisin vähäistä.

Fosforin osalta kuormituspotentiaali on selvästi vähäisempi verrattuna sulfaattiin ja typpeen. Sivukivien fosforin liukoisuus on ollut alhainen ja tasainen koko tarkkailujakson ajan. Kosteuskammiotestien ja lysimetrikokeiden perusteella fosfori ei liukene merkittävästi. Suotovesitarkkailussa fosforipitoisuus osoittaa lievää laskevaa trendiä. Rikastushiekassa fosforipitoisuuksissa on havaittavissa sekä nousevia että laskevia trendejä eri tarkkailupisteissä. Pitoisuudet ovat yleisesti alhaisin. Fosforin liukoisuuteen voivat vaikuttaa myös patojen

rakentamiseen käytetyt maa-ainekset ja pohjamaan laatu. Fosfori käyttäytyy rauhallisesti ja sen kuormituspotentiaali kasvaa hitaasti läjityksen myötä.

## **5.2 TUTKIMUSTEN TULOKSET JA NIIDEN TULKINTA**

Sivukiville ja rikastushiekalle toteutetut staattiset ja kineettiset kokeet tukevat olemassa olevaa tutkimustietoa sivukivien ja rikastushiekan geokemiallisesta käyttäytymisestä. Tulokset ovat johdonmukaisia sekä keskenään että suhteessa aiemmin tutkittuihin ja esitettyihin tietoihin. Tutkimusten tulokset eivät muuta aiemmin tehtyä kaivannaisjätteiden luokittelua, eikä tutkimuksen tulosten perusteella havaittu tarvetta lisäselvityksille kaivannaisjätteiden luokitteluun liittyen.

Tutkittujen näytteiden rajallinen määrä aiheuttaa kuitenkin epävarmuuksia, jotka vaikuttavat sekä kaivannaisjätteiden käyttäytymisen kokonaiskuvan muodostamiseen että yksittäisten tulosten tulkintaan. Tutkittu näytemäärä on rajallinen ja edustaa vain osaa kaivannaisjätealueiden laajuudesta ja iästä, joka ei kata koko kaivannaisjätteiden läjitysalueiden vaihtelua kivilajisuhteiden, raekoon, kemikaalijäämien, hapettumisen ja materiaalin iän suhteen. Näytemäärän vähäisyys tuo epävarmuutta kaivannaisjätteiden käyttäytymisen vaihtelun tarkkaan kvantifiointiin ja laadittujen ennusteiden tarkkuuteen.

Tilastollisesti tarkasteltuna pienempi näytemäärä suurentaa tulkittujen ja ennustettujen tulosten keskivirhettä, jolloin tulokset ovat herkempiä yksittäisille poikkeaville havainnoille. Staattiset ja kineettiset kokeet antavat kuitenkin yhteneväisen kuvan siitä, että happaman valuman muodostumisen riski on pieni, suotovesien pH pysyy neutraalina, sulfaatti- ja typpikuorma ovat selitettävissä ja metallien liukoisuus suotoveeseen on vähäinen. Tulokset ovat myös loogisia apatiittimalmion geologisen luonteen perusteella, sulfidipitoisuus on vähäinen ja karbonaattien määrä selittää hyvän neutralointikyvyn. Kaivoksen tarkkailutulokset tukevat myös laboratoriotuloksia, sillä suotovesissä havaitaan neutraali pH, koholla oleva sulfaatti ja ajoittaiset nitraattipiikit.

## **5.3 EPÄVARMUUSTEKIJÖIDEN TARKASTELU**

### **5.3.1 KINEETTISTEN TESTIEN SKAALAUUS**

Kineettisten kokeiden tulosten perusteella on tehty arviointia kaivannaisjätteiden pitkäaikaiskäyttäytymisestä sekä kuormituspotentiaalnin arvioinnista. Arvioinnin laatimiseksi kineettisten testien, kosteuskammiokeiden, tuloksia on suhteutettu laboratoriomittakaavasta kenttäolosuhteisiin.

Menetelmä on yleisesti käytetty, mutta siihen liittyy merkittäviä epävarmuuksia. Korjauskertoimet perustuvat tässä tapauksessa kirjallisuuteen ja suotovesien laadun tarkkailutulosten sovittamiseen kosteuskammiotesteissä tuotetun tiedon kanssa. Korjauskertoimet eivät suoraan ota huomioon kaivannaisjätteiden raekkoa ja ominaispinta-alaa, kaivannaisjätealueen hydrologiaa, sekundäärisaostumia tai biologisia prosesseja, jotka voivat merkittävästikin vaikuttaa kenttäolosuhteissa muodostuvan suotoveden laatuun.

Tämän takia korjauskertoimet voivat ali- tai yliarvioida todellisuudessa muodostuvia pitoisuuksia ja kuormia. Epävarmuutta onkin pyritty hallitsemaan esittämällä kuormituskehityksen ennusteiden rinnakkaisia skenaarioita, jotka ilmentävät korjauskertoimen herkkyyttä. Epävarmuutta voidaan jatkossa pienentää kalibroimalla korjauskertoimia esimerkiksi lysimetreistä saatavalla seurantatiedolla. Tällöin voidaan luotettavammin osoittaa korjauskertoimen sovittaminen kentällä vallitseviin olosuhteisiin. Tämä kuitenkin vaatii useamman vuoden seuranta.

Kuormituskehityksen laskennassa tehtiin oletus, että luvanmukaiset läjitysalueiden tilavuudet on käytetty kokonaisuudessaan vuoden 2035 loppuun. Tämä todennäköisesti lisää vuosittaisen haitta-ainekuorman potentiaalin määrää ja yliarvioi kuormituspotentiaalin vuositason kehittymistä. Mikäli läjitysalueita täytetään hitaammin, pienenee myös läjitysalueilta aiheutuva kuormitus ja pitoisuustasot nyt arvioituun nähden. Jättemäärän ollessa arvioinnissa käytettyä vähäisempi, myös läjityksen aiheuttama kuormitus ja pitoisuustasot ovat pienempiä. Jos läjitystilavuutta ei ole kokonaisuudessaan käytetty vuoden 2035 loppuun mennessä, tulee kuormituksen maksimitaso siirtymään myöhemmäksi, mikäli läjitystä jatketaan. Läjityksen päättyessä kuormitus tulee laskemaan arvioinnissa esitetyllä tavalla. Pitoisuustaso voi kuitenkin olla matalampi, josta lasku alkaa.

Lisäksi epävarmuutta kosteuskammiokeiden tulosten sovittamiseen aiheuttaa iäkkäämmän jättemateriaalin vaikutus kuormituspotentiaaliin. Kuormituspotentiaalin arvioinnissa onkin annettu suhteessa enemmän painoarvoa kosteuskammiokeiden alkuvuikkojen tuloksille, jossa haitta-aineiden liukoisuus on muita viikkoja suuremaa, joten arviota voidaan pitää konservatiivisena.

### **5.3.2 RAKENNEMATERIAALIEN JA MIKROBITOIMINNAN VAIKUTUS**

Tehdyillä tarkkailuilla, staattisilla ja kineettisillä testeillä sekä ennusteilla ei voitu ottaa kantaa kaivannaisjätealueiden pohja-, pato- ja pintarakenteiden materiaalien vaikutukseen. Myös näiden ominaisuudet voivat jossain määrin vaikuttaa suotovesien laatuun ja siten tuoda epävarmuutta tulosten tulkintaan.

Läjitysalueiden pohjamaat voivat myös vaikuttaa muodostuvan suotoveden puskurikykyyn, redox-olosuhteisiin ja denitrifikaation ja metallien pelkistymiseen. Myös jo maisemoitujen alueiden peittorakenteessa käytetty pintamaa voi sisältää sulfaattia, orgaanista hiiltä ja ravinteita, joka vaikuttaa muodostuvan suotoveden laatuun. Maisemointiin käytettävien maiden ominaisuuksia tutkitaan nykyisin ja maiden käyttö hyväksytetään valvontaviranomaisella. Patorakenteissa käytetty moreeni ja/tai murske vaikuttaa myös suotovedenlaatuun. Lisäksi tiedetään, että osassa patorakenteita suotovesi on lähes hapetonta, joka ilmentää muutosta redox-olosuhteissa ja antaa viitettä yhdessä tryptofaanimittausten kanssa patorakenteissa tapahtuvasta mikrobitoiminnasta, jota ei ole arvioinnissa voitu luotettavasti huomioida.

Näiden tekijöiden arvioidaan tuovan jonkin verran epävarmuutta erityisesti sulfaatti-, typpi- ja metallikuormituksen tulkintaan. Kokonaisuudessaan epävarmuuden vaikutus on kuitenkin vähäinen, sillä muodostuvan suotoveden laatu määräytyy pääosin suuren jättemäärän ominaisuuksien perusteella.

## 5.4 TARKKAILUN KEHITTÄMINEN

Rikastushiekan laadun tarkempi tarkkailu on aloitettu vuoden 2025 toisella kvartaalilla. Vuosittain kerätään jokaiselta kvartaalilta kokoomanäyte, ja ne analysoidaan ulkopuolisessa laboratoriossa. Näytteistä analysoidaan kokonaispitoisuudet, hapon muodostuspotentiaali sekä liukoisuus 7-vaiheisella läpivirtaustestillä.

Vastaavaa karakterisointia ollaan suunnittelemassa myös sivukivien tarkemmaksi tutkimiseksi. Sivukivien kokoomanäytteiden säännöllinen kerääminen ja analysointi aloitetaan vuoden 2026 alussa. Tällä tarkkailulla voidaan parantaa näytteiden edustavuutta ja ajantasaisuutta sekä selvittää mahdolliset koostumuksen ajalliset vaihtelut. Tarkkailun avulla voidaan myös tarkentaa jätteiden käyttäytymisen arviointia.

Säännöllinen tarkkailu tukee riskienhallintaa ja mahdollistaa kuormituskehityksen seurannan aiempaa yksityiskohtaisemmin. Jo suunnitellun tarkkailun lisäksi suositellaan kosteuskammiokeiden tulosten perusteella kertaluonteisesti tai tarvittaessa puolivuositain määritettäväksi vanadiinin, bariumin ja strontiumin pitoisuudet suotovesistä. Lysimetriseurannan perusteella suositellaan myös molybdeenin analysointia sivukivialueiden suotovesistä. Molybdeenin tarkkailu aloitetaan vuoden 2026 alussa, vanadiinin, bariumin ja strontiumin analysointi toteutetaan kertaluonteisesti vuoden 2026 aikana ja tulosten perusteella arvioidaan tarve tarkkailun jatkamiselle puolivuositain. Näiden täydentävien määritysten avulla voidaan tarkentaa laboratoriossa tehtyjen liukoisuutta mittaavien testien ajoittamista ja skaalausta läjitysten ikääntymiseen nähden ja edelleen parantaa tehtäviä kuormitusennusteita.

## 5.5 JATKOTOIMENPIDESUOSITUKSET

Jatkotoimenpiteenä suositellaan suotovesien ja kaivannaisjätteiden tarkkailun jatkamista ja sen kehittämistä edellä kuvatulla tavalla. Tarkkailun tavoitteena on varmistaa alueen ympäristövaikutusten seurannan jatkuvuus sekä mahdollistaa havaittujen muutosten ja kehityssuuntien arviointi luotettavasti.

Lisäksi suositellaan mikrobitoiminnan selvittämistä erityisesti patopenkereissä ja alueen suotovesissä. Mikrobitoiminnan merkityksen parempi ymmärtäminen on tärkeää, sillä se voi vaikuttaa sekä aineiden liukoisuuteen että kuormituksen muodostumiseen alueella. Patomateriaalien sekä peittorakenteissa käytettävien materiaalien ominaisuuksien tarkempi tutkiminen on myös suositeltavaa. Näiden materiaalien käyttäytyminen voi vaikuttaa merkittävästi suotovesien laatuun ja sitä kautta kuormituksen muodostumiseen.

Malmitappiona sivukivialueelle päätyvän malmin ominaisuudet tulisi tutkia samalla tarkkuudella kuin muidenkin sivukivilajien. Näin varmistetaan, että eri materiaalien ympäristövaikutukset ja niiden mahdollinen kuormituspotentiaali tunnetaan riittävällä tasolla.

Vanhojen rikastushiekkojen ja sivukivien ja niiden ikääntymisen vaikutusta kokonaiskuormitukseen voitaisiin selvittää näiden materiaalien systemaattisella tutkimuksella. Tämä voitaisiin toteuttaa esimerkiksi kohdennetulla näytteenotolla tai kairaustutkimuksilla, joiden avulla saadaan edustavaa

tietoa eri ikäisten materiaalien koostumuksesta ja reaktiivisuudesta. Sivukivialueiden kairaaminen ja edustava näytteistäminen on kuitenkin todettu erittäin vaikeaksi toteuttaa, joka heikentää tutkimusten toteuttamiskelpoisuutta lisätiedon tuottamisessa.

Lysimetrikokeiden jatkaminen on tarpeellista, jotta voidaan seurata sivukivien pitkäaikaista käyttäytymistä luonnonolosuhteita vastaavissa olosuhteissa. Lisäksi voidaan toteuttaa pienimuotoisia lysimetrikokeita eri kivilajien ja hiekan käyttäytymisen tarkemmaksi arvioimiseksi. Näiden kokeiden avulla saadaan arvokasta tietoa materiaalien pitkäaikaisreaktioista ja niiden mahdollisista vaikutuksista kuormitukseen. On kuitenkin huomioitava, että kokeet ovat pitkäkestoisia, sillä niiden tavoitteena on simuloida kenttämittakaavan prosesseja ja olosuhteita mahdollisimman realistisesti. Nykyinen lysimetrikenttä on kuitenkin osa nykyistä sivukiven läjitysalueita ja lysimetrikenttä voi tuhoutua läjityksen edetessä. Mikäli nykyinen lysimetrikenttä tuhoutuu läjitystoiminnan myötä, voidaan lysimetrikokeita suorittaa tarvittaessa uudelleen uusin koejärjestelyin.

Lisäksi kosteuskammiokeiden perusteella havaittiin, että sekä rikastushiekka-alueen ja sivukivialueiden suotovesien tarkkailussa voitaisiin kertaluontoisesti ja tarvittaessa puolivuositain tutkia vanadiinin, bariumin ja strontiumin pitoisuudet. Vastaavasti lysimetristä saatujen tulosten perusteella sivukivialueen tarkkailussa voitaisiin tutkia molybdeenin esiintymisen suotovesistä.

Ennen uusien tutkimusten käynnistämistä on suositeltavaa laatia selkeä ja perusteltu tutkimussuunnitelma, jossa määritellään tutkimusten tavoitteet edellä mainitut epävarmuudet ja tietotarpeet huomioiden, keskeiset tutkimuskysymykset sekä menetelmät. Tutkimuskysymysten tulee perustua tunnistettuihin tietotarpeisiin, kuten kuormitusmekanismien ymmärtämiseen, materiaalien käyttäytymisen arviointiin tai peittorakenteiden toimivuuden seurantaan. Tutkimuksen suunnitteluvaiheessa tulisi määritellä, miten tutkimustuloksia hyödynnetään osana kokonaisvaltaista ympäristönhallintaa ja riskienhallintaa.

# Lähteet

ASTM. 2018. Standard Guide for Interpretation of Standard Humidity Cell Test Results. ASTM Standard D8187 – 18.

Envineer Oy. 2023. Siilinjärven kaivoksen vesi- ja ainetasemalli. Yara Suomi Oy. 5.12.2023.

Morin, K.A., 2013. Scaling Factors of Humidity-Cell Kinetic Rates for Larger-Scale Predictions. MDAG Internet Case Study #38.

Punkkinen, H., Juvankoski, M., Kaartinen, T, et al, (2024), Humidity cell testing, Mine Closure web pages of GTK, Saatavilla: <https://mineclosure.gtk.fi/humidity-cell-testing/>

Price, W. A. 1997. Draft guidelines and recommended methods for the prediction of metal leaching and acid rock drainage at minesites in British Columbia. British Columbia Ministry of Employment and Investment, Energy and Minerals Division, Smithers, BC.

Vesi-Eko Oy. 2024. Tryptofaanimittaukset, Yara. 21.11.2024

Yara Suomi Oy. 2020. Siilinjärven kaivos. Kaivannaisjätteen jätehuoltosuunnitelma. päivitys 30.1.2020.

Yara Suomi Oy. 2024. Siilinjärven kaivoksen laajennus – Ympäristövaikutusten arviointiselostus.

Ympäristöministeriö. 2019. Jätteen luokittelu vaaralliseksi jätteeksi – päivitetty opas 02/2019.



**ENVINEER**

[envineer.fi](http://envineer.fi)