



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

SÄRKINIEMEN VANHAN KAIVOS- ALUEEN AVOLOUHOKSEN VEDEN LAATU JA VESIENKÄSITTELYN TES- TAUS TEOLLISUUDEN SIVUTUOT- TEILLA

TEKIJÄ: Jere Leskinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Jere Leskinen			
Työn nimi Särkiniemen vanhan kaivosalueen avolouhoksen veden laatu ja vesienkäsittelyn testaus teollisuuden sivutuotteilla			
Päiväys	15.1.2020	Sivumäärä/Liitteet	64/2
Ohjaaja(t) Yliopettaja Pasi Pajula, tuntiopettaja Aku Tuppurainen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Envineer Oy			
Tiivistelmä			
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Envineer Oy:n tilauksesta. Työn tarkoituksena oli selvittää Särkiniemen vanhan kaivosalueen avolouhoksen veden laatu sekä toteuttaa alueella vesienkäsittelyn osalta pilotointitestausta, jossa testattaisiin teollisuuden sivumateriaalien hyödyntämistä happamien kaivosvesien käsittelyssä. Tutkimusvaiheessa kohdekaivoksella vierailtiin kaksi kertaa. Vierailujen aikana vedenlaatua seurattiin kenttämittausten ja vesinäytteiden avulla.</p> <p>Aluksi kirjallisuusosiossa luotiin katsaus Suomen kaivosteollisuuden tunnuslukuihin, suurimpiin toimijoihin metallimalmiteollisuudessa, erilaisiin kaivostyyppeihin, kaivosten elinkaareen ja sen vaiheisiin sekä kaivosten ympäristövaikutuksiin. Lisäksi kirjallisuusosiossa käsiteltiin happamien kaivosvesien syntymekanismi sekä yleisimmin kaivoksilla käytettyjä happamien kaivosvesien käsittelymenetelmiä. Käsittelymenetelmät jaettiin aktiivisiin, passiivisiin menetelmiin. Kirjallisuusosiossa esiteltiin myös Särkiniemen kaivosalueen yleistiedot sekä toimintahistoria. Lisäksi perehdyttiin alueen suurimpiin ympäristökuormittajiin.</p> <p>Vesienkäsittelyn pilotointitestausta suoritettiin lentotuhkalla, betonimurskalla, näiden sekoituksella lisäksi testattiin seisovan veden käsittelyä lentotuhkalla. Vedenlaadussa tapahtuneita muutoksia havainnointiin kenttämittausten ja vesinäytteiden avulla. Tuloksista laadittiin kuvaajat ja taulukot, joilla havainnointiin tapahtuneita muutoksia veden laadussa.</p> <p>Tutkimustuloksia tullaan hyödyntämään kaivoksen jälkihoidon suunnittelussa. Työn tuloksena saatiin kenttämittausten ja vesinäytteiden eri mittausparametrien pitoisuuksia ja arvoja eri syvyyksillä. Pilotoinnin tuloksien perusteella parhaiten vesienkäsittelyyn soveltui betonimurska. Testauksien perusteella todettiin, että lentotuhka ei sovellu virtaavan veden käsittelyyn. Lisäksi avolouhoksen vedestä mitattuja tuloksia voidaan vertailla aikaisempiin tutkimustuloksiin, joilla voidaan selvittää vedenlaadussa tapahtuneita muutoksia. Tulosten perusteella saatiin selville, että Särkiniemen avolouhoksen vedenlaadun muutokset ovat olleet pieniä viimeisten vuosien aikana. Mittauksissa todettiin veden olleen hapanta ja metallipitoista pintakerroksessa, kun taas syvemmillä avolouhoksessa metallien pitoisuudet olivat matalammat ja veden pH oli lähellä neutraalia.</p>			
Avainsanat Avolouhos, kenttämittaukset, vesinäytteet, vedenlaatu, pilot-testaus, teollisuuden sivutuotteet			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author Jere Leskinen			
Title of Thesis Water quality of the old Särkiniemi open-pit mine and water treatment testing with industrial by-products			
Date	15 January 2020	Pages/Appendices	64/2
Supervisor(s) Mr. Pasi Pajula, Principal Lecturer and Mr. Aku Tuppurainen, Lecturer			
Client Organisation /Partners Envineer Oy			
<p>Abstract</p> <p>This thesis was commissioned by Envineer Oy. The objective of the thesis was to determine the water quality of the Särkiniemi old open-pit mine and to carry out pilot testing of water treatment in the mining area, which would test the utilization of industrial by-products in the treatment of acidic mine waters. The site was visited twice during the research phase. During the visits, water quality was monitored through field measurements and water samples. The study also utilized the results of previous environmental surveys of the mining area.</p> <p>First, in the literature part, the key figures, biggest metal mining operators, different kinds of mines, mine life spans, operational phases and environmental impacts of the Finnish mining industry were reviewed. In addition, in the literature part, the mechanism of the acid mine drainage and its most common treatment methods were studied. The treatment methods were categorized into active and passive treatments. The literature section also introduced general information and history of the Särkiniemi mining area. In addition, the major environmental polluters in the area were studied.</p> <p>As a result of this work the values of various measurement parameters of field measurements and water samples at different depths were obtained. The results were compiled into tables and graphs to illustrate changes in water quality at different depths. In addition, the results can be compared with previous research findings to determine changes in water quality. The results showed that changes in the water quality of the Särkiniemi open-pit mine have been minor in recent years. The measurements showed that the water was acidic and metal-rich in the surface layer, whereas in deeper the metal concentrations were lower and water was close to neutral.</p> <p>Pilot testing of water treatment was carried out with fly ash, crushed concrete, and a mixture of these also standing water treatment with fly ash was tested. Changes in water quality were observed through field measurements and water samples. The results were gathered into tables and graphs to observe changes in water quality. The results showed that crushed concrete was best suited for acidic water treatment. Testing showed also that fly ash is not suitable for flowing water treatment. The results of the thesis will be used in the planning of the mine's aftercare.</p>			
<p>Keywords Open-pit mine, field measurements, water samples, water quality, pilot testing, industrial by-products</p>			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	KAIVOSTOIMINTA SUOMESSA	7
2.1	Suomen kaivosteollisuus ja sen historia	7
2.2	Kaivosteollisuus nykypäivänä	7
2.3	Suomen suurimmat kaivostoimijat metallimalmiteollisuudessa	9
2.4	Kaivostyypit	10
2.4.1	Avolouhos	10
2.4.2	Maanalainen kaivos	11
2.5	Kaivoksen elinkaari ja sen vaiheet	12
2.5.1	Malminetsintävaihe	13
2.5.2	Kaivoksen rakentamisvaihe	14
2.5.3	Tuotantovaihe	14
2.5.4	Jälkihoitovaihe	15
2.6	Kaivostoiminta ja ympäristö	15
3	HAPPAMIEN KAIVOSVESIEN SYNTY JA KÄSITTELYMENETELMÄT	17
3.1	Happamien kaivosvesien synty	17
3.2	Vedenkäsittelymenetelmien luokittelu	17
3.3	Sulfaatin pelkistäjäbakteerit	18
3.4	Kosteikot	18
3.5	Neutralointi kalkkikivellä tai lentotuhkalla	19
4	SÄRKINIEMEN KAIVOS	21
4.1	Yleistä	21
4.2	Kaivoksen nykyinen ympäristökuormitus	22
5	VUODEN 2019 TUTKIMUKSET SÄRKINIEMEN KAIVOKSELLA	23
5.1	Tutkimukset huhtikuussa 2019	23
5.1.1	Yleistä	23
5.1.2	Avolouhoksen vesitutkimukset	23
5.1.3	Murskekasojen tutkimukset	23
5.2	Tutkimukset toukokuussa 2019	26
5.2.1	Yleistä	26
5.2.2	Avolouhoksen vesitutkimukset sekä syvyysluotaus	26

5.2.3	Sivukivialueen katselmus ja tutkimukset	27
5.2.4	Tarkemittaukset ja ilmakuvaukset	28
6	VUODEN 2019 TUTKIMUSTEN TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELO	30
6.1	Avolouhoksen syvyysmalli ja mittaustulokset ja niiden tulkinta	30
6.2	Sivukivialueen havainnot ja mittaustulokset ja niiden tulkinta	34
6.3	Mursketestauksien tulokset ja niiden tulkinta	37
6.4	Epävarmuustarkastelu	41
7	SÄRKINIEMEN KAIVOKSEN AVOLOUHOSVEDEN KÄSITTELYTESTAUS	43
7.1	Kaivoksen jälkihoidon periaatteet sekä kenttätestauksen tarkoitus	43
7.2	Testattavien materiaalien aiemmat tutkimukset	43
7.2.1	Reduktiotestaus	43
7.2.2	Neutralointi betonimurskalla ja lentotuhkalla	45
7.3	Kenttätestauksen käytännön järjestelyt	47
7.3.1	Testattavat materiaalit ja niiden arvioidut määrät	47
7.3.2	Pilotointilaitteisto	47
7.3.3	Kenttämittaukset ja näytteenotto	50
8	VESIENKÄSITTELYN TULOKSET JA NIIDEN TULKINTA	52
8.1	Lentotuhkakontti	52
8.2	Betonimurskakontti	53
8.3	Lentotuhkan ja betonimurskan sekoituskontti	56
8.4	Kaivosveden ja lentotuhkan sekoituskontti	56
8.5	Epävarmuustarkastelu ja haasteet	58
9	JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTESTAUKSEN TARVE	60
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	62

Liitteet:

Liite 1. Särkiniemen avolouhoksen poikkileikkaus

Liite 2. Syvyysprofiilimittausten ja laboratorioanalyysien tuloksien kuvaajat

1 JOHDANTO

Leppävirralla sijaitsevan käytöstä poistetun Särkiniemen kaivoksen ja sen murske- ja sivukivialueiden on todettu aiheuttavan metallikuormitusta ympäristöön. Alueelta on olemassa tutkimusaineistoa, jota on täydennetty vuoden 2019 aikana. Lisätutkimusten tarkoituksena on ollut hankkia tietoa kaivoksen sulkemis- ja jälkihoitotoimenpiteiden suunnittelua varten.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan yleisellä tasolla kaivostoiminnan historiaa sekä nykytilannetta Suomessa sekä perehdytään suurimpiin kaivostoimijoihin metallimalmiteollisuudessa Suomessa. Lisäksi työssä esitetään kaivoksen elinkaaren vaiheet sekä tunnetuimmat sekä uudemmat, vähemmän tunnetut menetelmät happamien kaivosvesien käsittelyssä. Näiden jälkeen esitellään tarkemmin kohdekaivosta ja sen historiaa. Nämä osiot perustuvat suurimmilta osin kirjallisuustarkasteluihin.

Näiden jälkeen työssä kuvataan vuonna 2019 kohteessa tehdyt maastotutkimukset avolouhoksen ja sivukivialueeseen vesien osalta sekä verrataan tuloksia aikaisempien tutkimuskertojen tuloksiin ja tehdään johtopäätökset vedenlaadusta. Kohdekaivoksen sivukivimurskeilla sekä kaivosvesillä on tehty aikaisemmin laboratoriotutkimuksia Lassila & Tikanoja Oyj:n toimesta, joiden tuloksia ei ole dokumentoitu, joten tässä työssä dokumentoidaan myös laboratoriotestien suoritus sekä tulokset, sillä ne ovat tärkeä palanen suunniteltaessa alueen jälkihoidollisia toimenpiteitä.

Viimeisenä osana työssä dokumentoidaan alueella tehty pilot-koejärjestely, jossa testataan erilaisien jättemateriaalien soveltuvuutta kaivosvesien käsittelyyn. Koejärjestelyssä testataan näiden teollisuuden sivutuotteiden neutraloivaa potentiaalia sekä esitetään koetoiminnan tulokset sekä johtopäätökset. Testauksilla ja sen tuloksilla on tärkeä osa suunniteltaessa alueen jälkihoidollisia toimenpiteitä.

Opinnäytetyön tarkoituksena on dokumentoida avolouhoksen viimeisimpien tutkimusten tulokset ja havainnot ja peilata tuloksia koko avolouhosalueen havaintohistorian tuloksiin. Lisäksi kohteessa suoritetaan paikan päällä vesienkäsittelyn koejärjestely, joka voisi toimia alueen vesienkäsittelyn ratkaisuna kaivoksen jälkihoitovaiheessa. Jättemateriaalien hyödyntäminen vesienkäsittelyssä lisäisi myös jätteiden hyötykäyttöä.

2 KAIVOSTOIMINTA SUOMESSA

Tässä luvussa perehdytään kaivostoiminnan historiaan ja nykytilanteeseen Suomessa sekä suurimpiin kaivostoiminnan toiminnanharjoittajiin. Lisäksi käydään läpi koko kaivostoiminnan elinkaari malmin etsinnästä aina jälkihoitoon saakka.

2.1 Suomen kaivosteollisuus ja sen historia

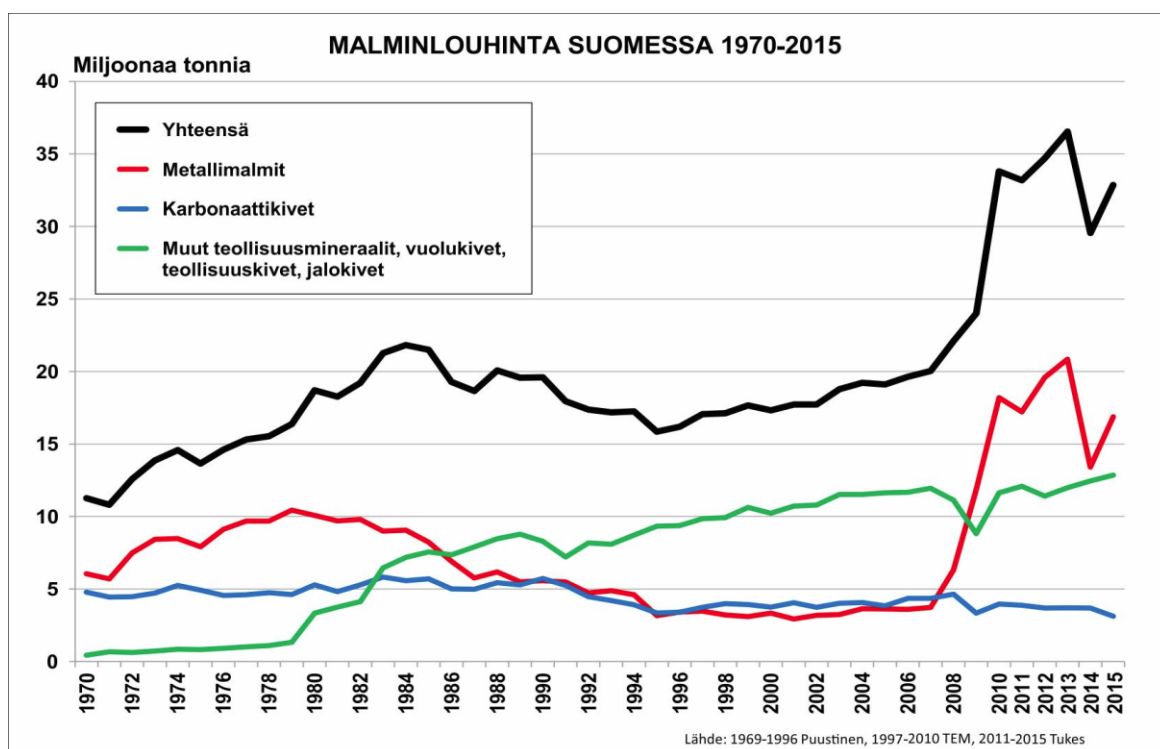
Kaivostoiminnalla tuotetaan yhteiskunnan käyttöön kallioperässä esiintyviä raaka-aineita. Kaivosteollisuudella tarkoitetaan yleensä metallimalmien ja teollisuusmineraalien tuotantoa. Suomessa Kaivannaisteollisuus käsittää kaivosteollisuuden, kiviainesteollisuuden ja luonnonkiviteollisuuden. (TEM 2013, 12.) Suuremmissa mittakaavassa tarkasteltuna kaivannaisteollisuus käsittää varsinaiset metalli- ja teollisuusmineraalikaivokset, rakennuskivi- ja soralouhokset, kaivosteollisuuden laitteiden valmistajat sekä kaivannaisteollisuutta tukevat palvelut, kuten esimerkiksi urakoitsijat (Meriläinen 2007).

Kaivostoiminnalla tiedetään olevan pitkät perinteet Suomessa, sillä ensimmäinen kaivos, Lohjan Ojamon rautakaivos, aloitti toimintansa jo ennen vuotta 1530. Nykypäivään mennessä Suomessa on toiminut jo yli 1000 erilaista kaivosta. Ruotsi-Suomi aikakaudella malmin hyödyntämistä hallinnoi kruunu, mutta kruunun luovuttua regaalioikeudesta vuonna 1723, alettiin Suomessa säätämään ensimmäisiä kaivoslakeja, joissa esitettiin tietyiksi määräksi ainakin malmin löytäjän ja maanomistajan oikeuksista, kaivospiireistä sekä maa-alueiden valtaamisesta. (Heikkinen 2005, 17.) Suomessa astui vanha kaivoslaki voimaan vuonna 1965, joka oli voimassa aina vuoteen 2011, jolloin voimaan astui uusi kaivoslaki (Finlex.fi).

Kaivostoiminnan historian aikana Suomessa suurimmat malmiesiintymät ovat olleet Siilinjärven apatiittimalmi ja Kemin kromimalmi, jotka suuruusluokaltaan ovat maailmanluokkaa. Euroopan mittakaavassa merkittäviä esiintymiä Suomessa ovat olleet esimerkiksi Outokummun ja Vihannin kupari-kobolttimalmit sekä Pyhäsalmen ja Vihannin sinkki-kobolttimalmit. (Heikkinen 2005, 18.)

2.2 Kaivosteollisuus nykypäivänä

Vuonna 2013 Suomessa louhittiin malmeja 37 miljoonaa tonnia (Mt), joka oli enemmän kuin koskaan aikaisemmin (kuva 1). Malmien louhinta alkoi kasvaa Suomessa merkittävästi vuonna 2008, koska Suomeen perustettiin muutaman vuoden sisällä useita eri metallimalmikaivoksia, joihin myös Särkiniemen nikkeli- ja kupari-kaivos lukeutuu. Suomen kokonaismalmilouhinta putosi 29,5 Mt:iin vuonna 2014, koska louhinta keskeytettiin Talvivaaran kaivoksessa. Louhinnan käynnistyttyä uudelleen Talvivaarassa syyskuussa 2015, kasvoi metalli- ja teollisuusmineraalien yhteenlasketut louhintamäärät takaisin noin 33 Mt:iin. (Kaiva.fi (a).)

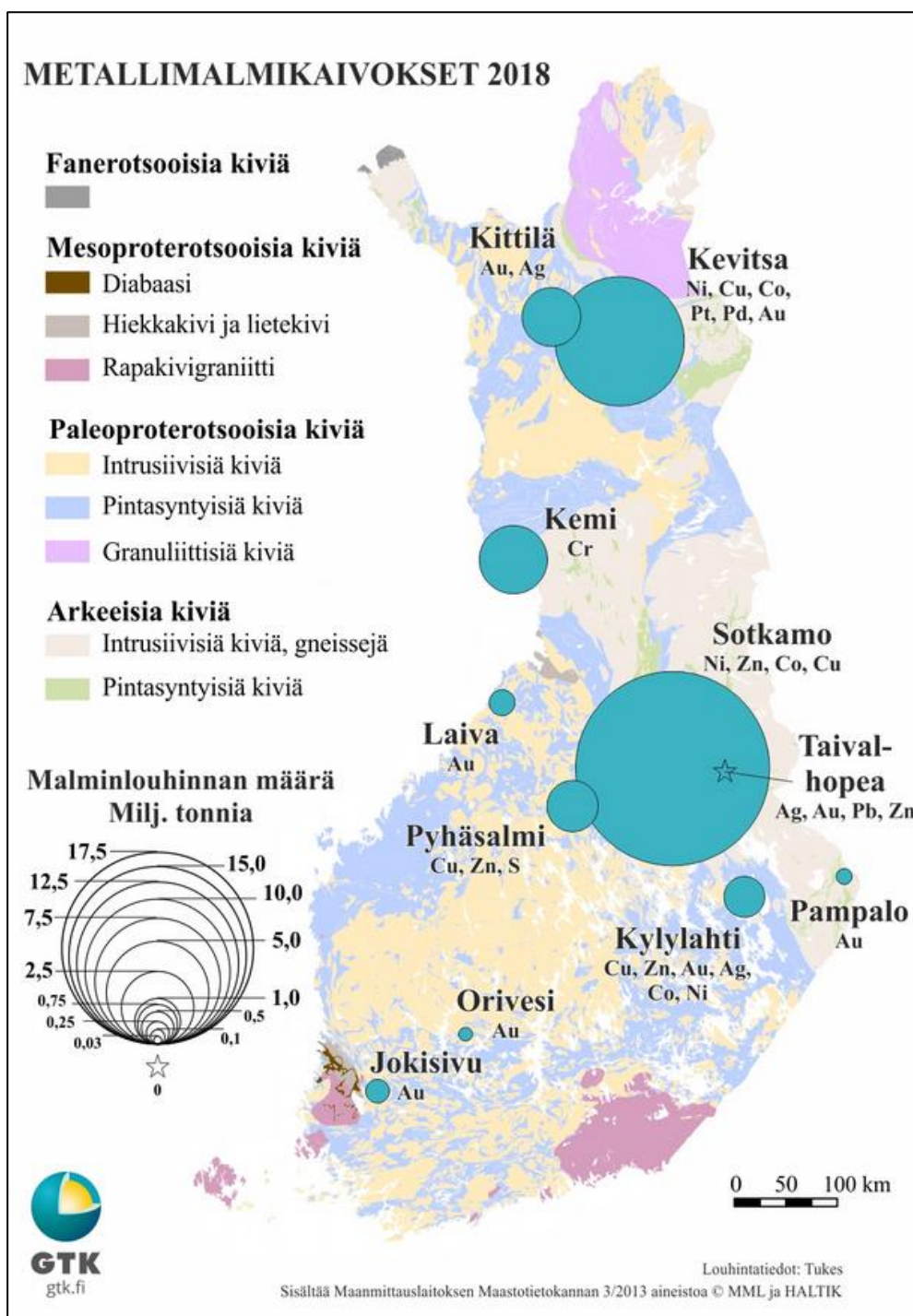


Kuva 1. Malminlouhinnan kehitys Suomessa 1970-2015 (Kaiva.fi (a).)

Vuonna 2018 Suomessa oli yhteensä 11 metallimalmikaivosta ja niistä louhittiin yli 32 miljoonaa tonnia metallimalmeja. Kuvassa 2 on esitettyä Suomessa vuonna 2018 toiminnassa olleet metallikaivokset. Metallimalmikaivoksista eniten malmeja louhittiin vuonna 2018 Terrafamen Sotkamon kaivoksesta (17,9 Mt) ja Kevitsan kaivoksesta (7,9 Mt). Louhintamäärissä yli miljoonaa tonniin ylsivät myös Kemin (2,2 Mt), Kittilän (1,6 Mt) ja Pyhäsalmen (1,3 Mt) kaivokset. Metallimalmikaivoksien lisäksi Suomessa oli vuonna 2018 14 karbonaattikaivosta, 14 muuta teollisuusmineraalikaivosta sekä 7 teollisuuskivikaivosta ja muuta kaivosta. (Turvallisuus- ja Kemikaalivirasto (Tukes) 2018, 1.)

Suurin kaivostoiminta-ala kokonaiskiven määrässä mitattuna oli vuonna 2018 metallimalmikaivokset (95,2 miljoonaa tonnia). Seuraavaksi suurimmat alat olivat muut teollisuusmineraalikaivokset (29,4 miljoonaa tonnia) ja karbonaattikivet (5,2 miljoonaa tonnia). Nostetun kiven kokonaismäärä Suomessa oli vuonna 2018 yhteensä 130,1 miljoonaa tonnia, josta malmia tai hyötykiveä oli 49,0 miljoonaa tonnia ja sivukiveä 81,1 miljoonaa tonnia. (Tukes 2018, 1.) Tässä yhteydessä kokonaiskiven määrällä tarkoitetaan louhitun malmin tai hyötykiven sekä sivukiven yhteenlaskettua kokonaismäärää.

Nostetun kiven kokonaismäärässä mitattuna Suomen kolme suurinta kaivostoimijaa vuonna 2018 olivat Terrafame Oy (42,3 miljoonaa tonnia), Boliden Kevitsa Mining Oy (41,4 miljoonaa tonnia) ja Yara Suomi Oy (25,0 miljoonaa tonnia) (Tukes 2018, 1).



Kuva 2. Suomen metallimalmikaivokset vuonna 2018 (Geologian Tutkimuskeskus, Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2018.)

2.3 Suomen suurimmat kaivostoimijat metallimalmieteollisuudessa

Terrafame Oy tuottaa nikkeliä, sinkkiä, kobolttia ja kuparia Sotkamossa sijaitsevalla Talvivaaran kaivoksella, jossa louhinta alkoi vuonna 2008. Alkuvuosina toiminnasta vastasi Talvivaara Sotkamo Oy. Terrafame Oy osti kaivosoikeudet Talvivaara Sotkamo Oy:ltä vuonna 2015. (Pöyry Finland Oy 2017, 7 - 8.) Suomen Malmijalostus Oy omistaa 77,3 % Terrafame Oy:stä. Suomen Malmijalostus Oy on kokonaan Suomen valtion omistuksessa. Suomen Malmijalostus oli aikaisemmin nimeltään Terrafame Group. (Terrafame.fi.)

Boliden Oy:llä on Suomessa kaksi kaivosta, Kevitsassa ja Kylylahdessa. Kevitsan avolouhos tuli osaksi Bolidenia vuonna 2016. Kevitsan kaivos ja rikastamo on otettu käyttöön vuonna 2012. Kaivoksella työskentelee nykyisellään noin 450 henkilöä. Avolouhoksen syvyys on noin 500 metriä. Vuonna 2018 kaivoksella rikastettiin 7,5 miljoonaa tonnia rikastetta. Kevitsan kaivoksella louhitaan pääasiallisesti nikkeliä ja kuparia. Rikaste sisältää esimerkiksi nikkeliä, kuparia, kultaa ja platinaa. (Boliden.fi (a).)

Bolidenin pienempi kaivos Kylylahden kaivos sijaitsee Polvijärvellä. Kaivos on ollut Bolidenin omistuksessa vuodesta 2014 lähtien ja se on otettu käyttöön vuonna 2012. Kaivos on maanalainen ja sen syvyys on noin 800 metriä. Kaivoksen päätuotteita ovat kupari-, kulta- ja sinkkirikaste, jotka rikastetaan Kaavin Luikonlahdessa sijaitsevalla rikastamolla noin 40 kilometrin päässä kaivoksesta. (Boliden.fi (b).)

Outokumpu Chrome Oy:llä on yksi kaivos Suomessa. Heidän omistamansa kaivos sijaitsee Kemin kaupungin pohjoispuolella Keminmaan kunnan alueella. Kemin kaivos on ainoa Euroopan unionin alueella oleva kromikaivos. Kemin kaivos on tärkeä osa Outokummun omistamaa ferrokromin ja rustumattoman teräksen valmistusketjua Kemi-Tornio alueella. Kemin kaivos avattiin vuonna 1968. Kromimalmia louhittiin avolouhintana vuoteen 2005 asti. Vuodesta 2003 alkaen avolouhinnan rinnalla tehtiin maanalaista louhintaa. Vuodesta 2005 alkaen kaivoksella on tehty enää vain maanalaista louhintaa. (Outokumpu.com.)

Agnico Eagle Finland Oy harjoittaa kaivostoimintaa Kittilän kaivoksella. Kyseinen kaivos on Euroopan suurin kultakaivos ja vuodessa siellä louhitaan noin 1,6 miljoonaa tonnia ja vuotuinen kullantuotanto on noin 6000 kilogrammaa. Agnico Eagle työllistää 460 henkilöä ja välillisesti 300-400 työntekijää. Kittilässä malmion louhinta alkoi vuonna 2008, jolloin louhintoja tehtiin kahdesta avolouhoksesta. Maanalainen louhinta kaivoksella aloitettiin vuonna 2010. Nykyisellään kaivoksella louhitaan vain maanalaisena louhintana, sillä avolouhostoiminta lopetettiin loppuvuodesta 2012. (Agnicoeagle.fi.)

2.4 Kaivostyypit

Suomessa kaivostyypit luokitellaan pääasiassa kahteen ryhmään louhintatekniikan mukaan. Kaivostyyppejä ovat avolouhokset ja maanalaiset kaivokset. Louhintatekniikalla voidaan vaikuttaa muun muassa oleellisesti kaivoksen toiminnan kannattavuuteen.

2.4.1 Avolouhos

Avolouhoksessa louhinta tapahtuu maan päällä ja se aiheuttaa merkittäviä muutoksia maisemassa. Avolouhos on yleensä aina halvempi vaihtoehto verrattuna maanalaiseen louhintaan, mutta mitä syvemmälle mennään sitä enempi, louhitaan myös sivukiveä. Ennen louhinnan aloittamista kallionpinta paljastetaan. Tavallisin avolouhintamenetelmä on pengerialouhinta, jossa edetään tasapaksuina penkereinä tasoittain ylhäältä alaspäin. Tavallisesti tasot yhdistetään ajotein, joita pitkin malmi ja sivukivi kuljetetaan jatkojalostukseen. Kun ensimmäistä tasoa on louhittu riittävästi, avataan uusi

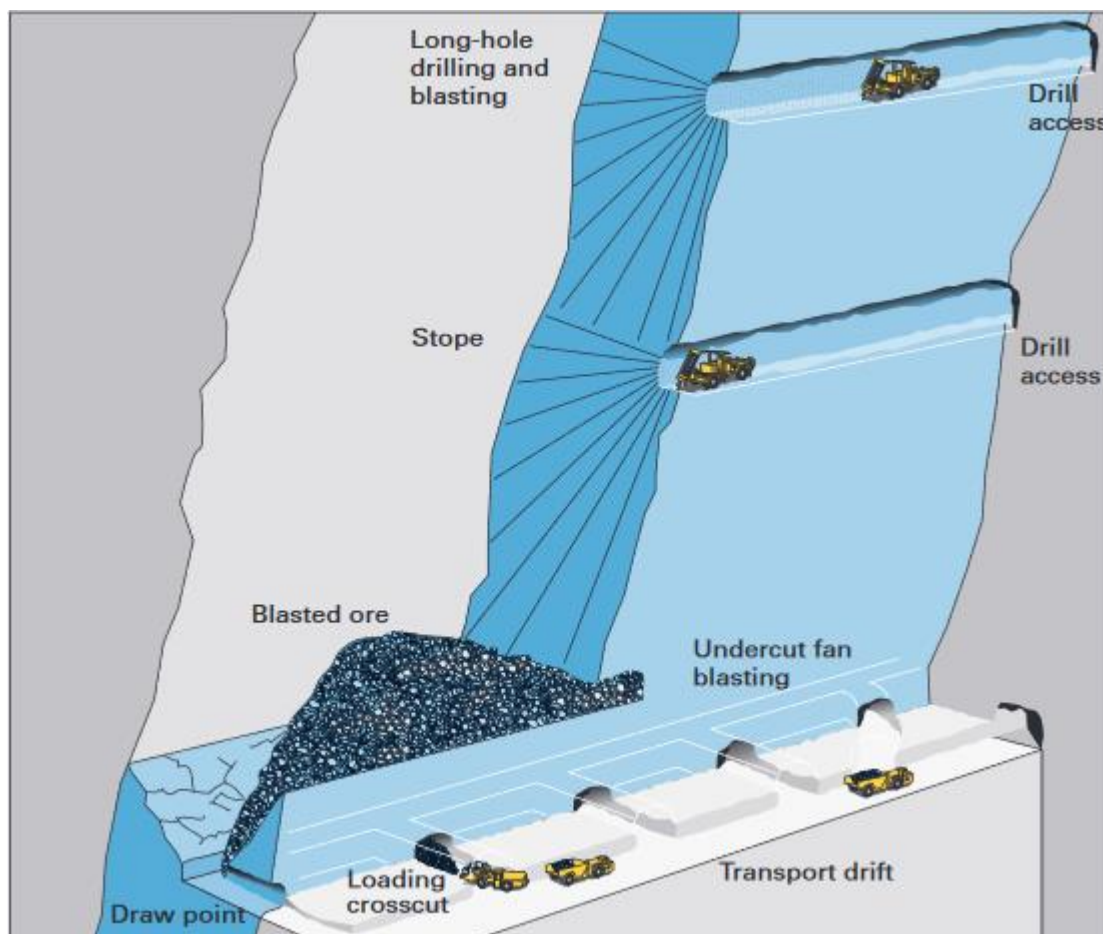
taso, jota lähdetään louhimaan. Kuvassa 3 on esimerkki avolouhoksesta, jossa on tehty pengerlouhintaa. Avolouhos tarvitsee toimintaansa suuremman pinta-alan kuin maanalainen louhinta ja avolouhinta tuottaa enemmän sivutuotteita kuin maanalainen louhinta. (Kaiva.fi (b).)



Kuva 3. Kevitsan kaivoksen avolouhos (Honkanen 2018-10-19)

2.4.2 Maanalainen kaivos

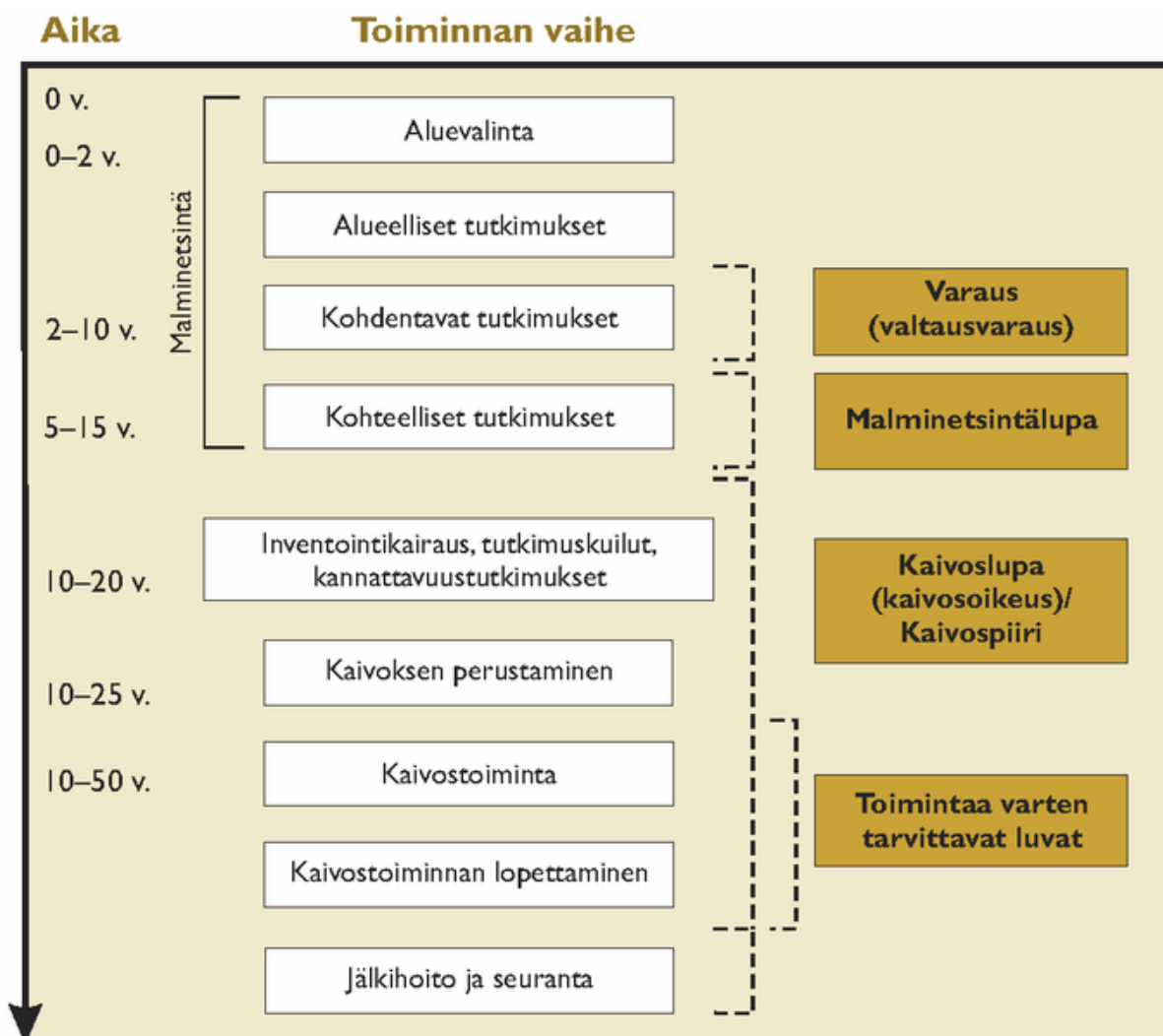
Maanalaisessa louhinnassa louhinta tapahtuu maanpinnan alapuolella, joten se ei aiheuta maisemamuutoksia. Maanalaisissa kaivoksilla louhintakapasiteetti on yleensä pienempi kuin avolouhoksilla, mutta maanalaisessa louhinnassa sivukiven määrä on louhittua malmiyksikköä kohti pienempi kuin avolouhoksissa. (Härmä 2005.) Maanalaisien kaivoksien suosituin louhintamenetelmä Suomessa on välitasolouhinta. Välitasolouhinnassa (kuva 4) louhinta tapahtuu 15-40 metrin tasovälein malmiin ajetuista tasoperistä. Louhinta etenee tasoittain pohjatasolta eteenpäin. Yhdellä kertaa räjäytetään yksi tai useampia käytäviä ja louhinta tapahtuu pitkittäin tai poikittain suhteessa malmiesiintymän suuntaan riippuen esiintymän paksuudesta. Maanalaisessa kaivoksessa sortumavaara on suuri riski verrattuna avolouhokseen. (kaiva.fi)



Kuva 4. Välitasolouhinnan periaate (Atlas Copco 2007, 33.)

2.5 Kaivoksen elinkaari ja sen vaiheet

Kaivoksen elinkaari voidaan jakaa pääpiirteissään neljään vaiheeseen, joita ovat malminetsintävaihe, kaivoksen avaamisvaihe, tuotantovaihe ja jälkihoitovaihe. Kaivoksen perustamisen edellytyksenä on taloudellisesti hyödynnettävän malmiesiintymän löytyminen. Malmiesiintymän etsiminen kestää yleensä useita vuosia. Kuvassa 5 on esitettyä kaivoksen elinkaaren vaiheet sekä eri vaiheiden suuntaa antava kesto aika.



Kuva 5. Kaivoksen elinkaari sekä arviot eri vaiheiden kestoista (Heikkinen & Noras 2005, 13.)

2.5.1 Malminetsintävaihe

Malminetsintävaiheessa aloitetaan aluevalinnalla sekä alueellisilla tutkimuksilla, joissa kartoitetaan malmipotentialisia alueita pääasiassa olemassa olevien karttojen ja tutkimusten perusteella. Tutkimuksissa hyödynnetään etenkin geologisilla, geokemiallisilla ja geofysikaalisilla menetelmillä aikaansaatuja materiaaleja. Malminetsintätyötä voidaan tehdä osittain pelkän ilmoitusmenettelyn avulla.

Alueellisten tutkimusten tulosten perusteella etsinnät kohdennetaan alueille, jotka ovat osoittautuneet potentiaalisiksi. Samalla tästä alueesta tehdään esiintymän sijaintikunnan viranomaiselle kirjallinen valtausvaraus, jolla varataan ennakoita oikeus varsinaisen valtauksen tekemiselle sekä oikeus tehdä tarkentavia tutkimuksia alueella. Jos kohde osoittautuu kohdentavissa tutkimuksissa potentiaalisiksi, kohde rajataan kohteellisia tutkimuksia varten ainoastaan siihen osaan, jota voidaan hyödyntää. Tämän jälkeen alueelle haetaan valtausoikeus ja siellä aloitetaan tekemään kohteellisia tutkimuksia, joihin voi sisältyä esimerkiksi kallioperän syväkairausta, tutkimuskaivantoja sekä usein myös koelouhintaa, jolla selvitetään esiintymän hyödynnettävyys tai kannattavuus, sekä usein testataan ja kehitetään rikastusmenetelmiä. (Heikkinen & Noras 2005, 11.)

Kaivoksille tulee tehdä myös lainmukainen ympäristövaikutusten arviointi, kun toiminta sitä edellyttää. Kaivokselle on laadittava ympäristövaikutusten arviointi ennen kuin siellä voidaan ryhtyä ympäristön kannalta merkittäviin toimiin. Ympäristövaikutusten arviointi edesauttaa päätöksen teossa ja suunnittelussa. Sen tarkoituksena on kartoittaa toiminnan mahdolliset ympäristövaikutukset sekä löytää toiminnasta aiheutuvat mahdolliset riskit ympäristölle. Ympäristövaikutusten arviointiprosessin tulee olla valmis ennen kuin kaivoksella voidaan aloittaa tuotantoa tai sille voidaan myöntää ympäristölain mukainen ympäristölupa. (TEM 2015, 16–18)

2.5.2 Kaivoksen rakentamisvaihe

Kun kaivoksen malminetsintävaihe on saatu päätökseen ja on varmistettu toiminnan kannattavuudesta, alkaa kaivoksen rakentamisvaihe. Rakentamisvaihe on yleensä kaksiosainen. Ensimmäisessä vaiheessa alueelle suunnitellaan ja rakennetaan vaadittavat toiminnot, kuten tiestö ja sähköverkko. Lisäksi rakennusvaiheessa rakennetaan sivukiven läjitysalue sekä rikastushiekka-altaat, sekä varmistetaan näiden turvallinen varastointi muun muassa erilaisin kenttärakentein, jotta mahdolliset ympäristöriskit voidaan minimoida. Rakentamisvaiheessa alueelle rakennetaan myös välttämättömät toimistorakennukset, jotka ovat usein väliaikaisia ja ne korvataan myöhemmässä vaiheessa pysyillä rakennuksilla (Geologia.fi)

Ennen kuin malmin varsinainen louhinta voidaan aloittaa kaivoksella, on kaivoksella tehtävä valmistelevia toimenpiteitä. Näihin toimenpiteisiin lukeutuvat muun muassa avolouhosalueilla tehtävät maanpinnan poisto ja sivukiven poisto, joilla paljastetaan kallionpinta varsinaista louhintaa varten. Maanalaisilla kaivoksilla rakentaminen alkaa yleensä maanalaisen vinotunnelin, nostokuilun ja maanalaisten huolto- ja varastotilojen louhinnalla. Kaivoksilla syntyvää sivukiveä pyritään mahdollisuuksien mukaan hyödyntämään esimerkiksi alueen tie- ja kenttärakenteissa. (Geologia.fi)

2.5.3 Tuotantovaihe

Tuotantovaiheessa malmi irrotetaan kallioperästä louhimalla joko avolouhintana tai maanalaisena louhintana. Monesti tuotanto aloitetaan avolouhintana ja toiminnan jatkuessa pitkään ja siirryttäessä koko ajan syvemmälle avolouhinnassa, vaihdetaan louhintatapaa maanalaiseen louhintaan, jossa sivukiven määrä on suhteessa pienempi louhitun kiven määrään. Kun kivet on räjäytetty irti kallioperästä ja ylisuuret kivet murskattu pienemmäksi tarvittaessa, kuljetetaan malmikivet louhoksesta murskaamolle kuorma-autoilla tai hihnakuljettimella. Louhitusta kivistä erotetaan hyödynnettävät arvoaineet tai mineraalit rikastamalla, joka toimii joko kaivosalueella tai sitten se kuljetetaan muualle rikastettavaksi. (GTK 2015, 13.)

Ennen rikastusta malmi hienonnetaan murskaamalla, seulomalla ja jauhamalla. Murskaus käsittää itsessään useamman vaiheen, joita ovat esimurskaus, välimurskaus ja hienomurskaus. Esimurskaus tehdään usein maanalaisessa kaivoksessa maan alla, jotta vähennetään ympäristöön aiheutuvia pöly- ja meluhaittoja. Murskattu malmi hienonnetaan jauhatuksessa niin hienoon raekokoon, että

malmin sisältämät arvomineraalit saadaan erotettua rikastusprosessissa. Rikastusprosessissa voidaan myös hyödyntää erilaisia kemikaaleja, joiden avulla varmistetaan ja tehostetaan arvoaineksen erottumista muusta kivistä. Rikastusprosessin loppuvaiheessa rikaste kuivataan esimerkiksi suotimen avulla. Rikastusprosessin lopputuotteena syntyy kuiva, hienoksi jauhettu mineraaliaines, joka sisältää arvometallit. Lopulta nämä lopputuotteet varastoidaan kasoihin, joista ne lastataan tavarajuniin tai kuorma-autoihin ja toimitetaan asiakkaille. (GTK 2015, 13–14)

Tuotantovaiheen kesto riippuu esiintymän suuruudesta, laadusta sekä käytettävästä louhintateknikasta. Markkinahinnat vaikuttavat myös tuotannon kannattavuuteen ja onkin hyvin tavallista, että toiminta kaivoksella saattaa keskeytyä pitkäksi aikaa, mikäli markkinahinnat ovat alhaisia. Kun markkinahinnat lähtevät takaisin nousuun, voidaan toiminta käynnistetään uudelleen. Tavallisesti toiminta kestää 10 - 50 vuotta, mutta mahdollisesti paljon kauemminkin. (Heikkinen & Noras 2005, 13.)

2.5.4 Jälkihoitovaihe

Kun esiintymä on kokonaan hyödynnetty, aloitetaan kaivoksen alasajo. Toiminnan päätyttyä alue ennallistetaan mahdollisuuksien mukaan esimerkiksi maisemoimalla. Jälkihoitotoimenpiteiden avulla varmistetaan kaivosalueen olevan turvallinen ja terveellinen, niin ihmisille kuin ympäristöllekin. (Heikkinen, 2005 13.) Toiminnan loputtua alueelta poistetaan kaikki tarpeettomat rakennukset ja huolehditaan siitä, ettei jäljelle jäävistä rakenteista aiheudu haittaa ympäristölle eikä ihmisille. Sulkemisen yhteydessä tehdään kaivosalueen tulevaisuuden käyttötarpeita palvelevia suunnitelmia ja tutkimuksia. Sulkemisen suunnittelu aloitetaan mahdollisuuksien mukaan jo mahdollisimman aikaisessa vaiheessa kaivoksen elinkaarta. Näin voidaan välttää haitallisia ympäristövaikutuksia ja pienentää sulkemistoimenpiteistä aiheutuvia kustannuksia. (GTK 2015, 15.)

Kaivosalueen kunnostamiseksi laaditaan kaikille alueen toiminnoille (sivukivi- ja rikastushiekka-alueet, louhosalueet ja teollisuusalue) sulkemissuunnitelma, joka sisältää tiedot tavoitteista ja määrittää toimenpiteet niiden saavuttamiseksi. Sulkemistoimenpiteet mitoitetaan tapauskohtaisesti ottaen huomioon muun muassa kaivosalueen erityispiirteet, kuten esimerkiksi louhittava malmityyppi ja louhintatapa sekä kohteen maankäyttö ja luonnonolosuhteet. Käytännön esimerkki sulkemisen tavoitteesta on pinta- ja pohjavesikuormituksen estäminen ja toimenpide, jolla tähän päästään on avolouhosten ylivuotovesien keräys ja käsittely eri menetelmin. Viimeisenä vaiheena on seuranta-vaihe, jossa tarkkaillaan ympäristön tilaa alueella ja varmistetaan asetettujen tavoitteiden saavuttaminen. Seuranta vaativia asioita voivat olla esimerkiksi sivukivialueen pintarakenteiden kunto sekä kaivosalueen vesientarkkailu (GTK 2015, 16.)

2.6 Kaivostoiminta ja ympäristö

Kaivostoiminta muokkaa monella tapaa ympäristöä. Muutosten laajuus ja laajuus riippuvat monesta tekijästä. Siihen vaikuttavat esimerkiksi louhittava malmityyppi sekä millä tavoin sitä louhitaan ja käsitellään. Myös esiintymän koko, alueen geometria ja sijainti vaikuttavat oleellisesti. Eniten

vaikutuksia ympäristöön aiheutuu kaivoksen elinkaareissa yleensä perustamis- ja toimintavaiheessa. Kun aluetta tutkitaan ja malmia etsitään, ei yleensä aiheudu haitallisia päästöjä, mutta esimerkiksi koelouhinnasta alueella voi aiheutua pöly- ja melupäästöjä. Tällä toiminnalla voi olla myös vaikutuksia pinta- ja pohjaveden laatuun sekä veden pintojen korkeuteen. Jälkihoitotoimenpiteiden tarkoituksena on minimoida haittavaikutukset ympäristöön toiminnan päätyttyä ja saattaa alue turvalliseen tilaan. Mikäli kaivosalueen jälkihoitotoimenpiteet laiminlyödään toiminnan päättyessä, voi kaivoksen haitallinen ympäristönkuormitus jatkua vielä useita kymmeniä vuosia toiminnan jo loputtua. (Heikkinen ym. 2005, 14.)

Ympäristövaikutustensa perusteella malmit voidaan luokitella eri ryhmiin, joita ovat sulfidi- ja oksidimalmit ja teollisuus- ja luonnonkivimalmit. Ympäristön kannalta suurin haitta liittyy yleensä sulfidimalmien louhintaan ja käsittelyyn. Louhinnan ja murskauksen yhteydessä sekä materiaalin varastoinnin yhteydessä malmin sisältämät sulfidimineraalit hapettuvat reagoidessaan ilman hapen ja sadeveden kanssa, jolloin veteen vapautuu rikkihappoa ja metalli-ioneja. Happaman valunnan vedelle tyypillisiä piirteitä ovat erittäin matala pH, korkea redox-potentiaali, korkea sähkönjohtavuus sekä tiettyjen aineiden, kuten raudan, sulfaatin ja raskasmetallien kohonneet pitoisuudet. Hapan kaivosvalunta aiheuttaa muutoksia maaperän ja pohja- ja pintavesien laadulle sekä aiheuttaa rajoituksia veden talous- ja virkistyskäytölle (Heikkinen ym. 2005, 14; Toropainen 2006, 29–30.)

Oksidi- ja teollisuusmineraalituotannossa suurin ympäristövaikutus on pölyäminen, jota syntyy louhinnan aikana sekä sivukiven ja rikastushiekan varastoinnin yhteydessä. Luonnonkivien louhinnan suurin ympäristövaikutus on meluaminen. Uraanimalmien rikastus ja louhinta voivat kohottaa merkittävästi maaperän ja vesien uraani- ja radonpitoisuuksia. (Heikkinen ym. 2005, 14.)

Louhintatapa ja niihin liittyvät toiminnot muokkaavat maisemaa sekä vaikuttavat alueen maankäyttöön ja kasvillisuuteen. Etenkin avolouhoksen perustaminen vaatii merkittäviä maamassojen poistoja, jotta kallionpinta saadaan paljastettua. Jotta maanalaisen kaivostoiminnan vaatimat rakenteet voidaan louhia, vaatii se perustamisvaiheessa suurta määrää sivukivien poistamista. Tämä sivukivi on läjitettävä kaivosalueelle. Sivukivien läjitysalueella voi syntyä myös haitallista hapanta kaivosvaluntaa. (Heikkinen ym. 2005, 14.)

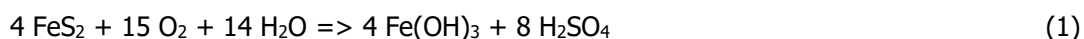
Toiminnan aikana malmin louhinta, murskaus ja kuljetus voivat aiheuttaa lähialueilla pöly- ja melupäästöjä sekä tärinää. Etenkin pölyn leviäminen ympäristöön voi aiheuttaa esimerkiksi pintavesien liettymistä sekä kemiallista muutosta vedelle. Lisäksi kaivostoiminta edellyttää koneita ja laitteita, joiden huollon yhteydessä voi päästä esimerkiksi öljyä maaperään. Louhinnan aikana kaivostilat on kyettävä pitämään kuivina, jolloin edellytetään kertyvien vesien pois pumppaamista. Tämä pumppaus aiheuttaa usein pohjavesipinnan alenemista sekä talousvesikaivojen kuivumista. Myös kaivokselta ulos johdettavat vedet voivat sisältää kiintoaineen ja malmista peräisin olevien haitta-aineiden lisäksi jäämiä kemikaaleista, jotka voivat vaikuttaa alapuoleisen vesistön tilaan (Heikkinen ym. 2005, 15.)

3 HAPPAMIEN KAIVOSVESIEN SYNTY JA KÄSITTELYMENETELMÄT

Tässä luvussa esitellään happamien kaivosvesien syntymekanismi sekä perinteiset menetelmät happamien kaivosvesien käsittelyssä sekä uudet mahdollisuudet käsittelyn saralla.

3.1 Happamien kaivosvesien synty

Kaivosten ympäristövaikutukset ovat sidoksissa louhittavaan malmityyppiin. Suomessa hyödynnetyt malmit voidaan jaotella ympäristövaikutusten haitallisuuden perusteella kahteen eri ryhmään. Näitä ovat sulfidipitoiset malmit ja malmit, jotka eivät sisällä ollenkaan sulfideja. Ympäristön kannalta suurimmat ja vakavimmat riskit aiheutuvat sulfidipitoisten malmien louhimisesta ja rikastamisesta. Näiden malmien ympäristöriskit liittyvät sulfidimineraalien määrään ja rapautumisherkyyteen. Yleisen sulfidimineraali pyriitin hapettumista voidaan kuvata seuraavalla yhtälön 1 mukaisella reaktioyhtälöllä. (Eloranta, Pietilä, Räisänen, Tornivaara, Törmänen ja Väisänen 2014, 3 – 4.)



Sulfidimineraalien joutuminen kosketuksiin ilman hapen ja veden (yhtälö 1) kanssa johtaa niiden hapettumiseen. Hapettumisreaktiossa jo liuenneet rauta(III)-ionit saostuvat rauta (III)-hydroksidina lisäksi reaktiossa muodostuu rikkihappoa, minkä vuoksi veden pH:n on alhainen noin 3-4. Veden pH:n lasku liuottaa edelleen metalleja myös muista kiviaineksen sisältämistä mineraaleista. Sulfidimineraalien altistumista rapautumiselle voi tapahtua louhosten seinämissä, rikastusprosessissa, rikasteen varastokasoissa, sivukivikasoissa, rikastushiekka-alueilla sekä alueilla, joihin on levinnyt sulfidipitoista pölyä. Sulfidimineraalien hapettumisen hallinta kaivostoiminnan aikana ja sen päätyttyä on yksi keskeisimmistä haasteista metallikaivosten ympäristökuormituksen vähentämisessä. (Eloranta ym. 2014, 4.)

3.2 Vedenkäsittelymenetelmien luokittelu

Kaivosveden käsittelymenetelmät jaetaan kolmeen ryhmään: aktiivisiin menetelmiin, passiivisiin menetelmiin ja puolipassiivisiin menetelmiin. Aktiivisilla menetelmillä tarkoitetaan menetelmiä, jotka vaativat toimiakseen koulutettua henkilökuntaa prosessin säätämiseen ja erityistä valvontajärjestelmää. Aktiivisten käsittelymenetelmien prosessit tarvitsevat myös käyttöenergiaa ja erityistä laitteistoa kuten esimerkiksi pumppuja, jotta menetelmän toimivuus voidaan taata. Aktiivisten menetelmien käytöstä aiheutuu suuria kustannuksia esimerkiksi laitteistojen huolloista, tarvittavien prosessikemikaalien hankkimisista sekä henkilökunnan muodossa. Tästä huolimatta aktiiviset menetelmät ovat erittäin suosittuja vaihtoehtoja, kun happamia kaivosvesiä aletaan käsitellä. Suosituimpia aktiivisia vedenkäsittelymenetelmiä ovat alkalointi ja erilaiset saostusmenetelmät. (Figuroa & Gusek 2009, 84–85.)

Aktiivisten käsittelymenetelmien vaihtoehtona ovat passiiviset vedenkäsittelymenetelmät, jotka perustuvat luonnon omiin kemiallisiin prosesseihin. Virtaus passiivisissa menetelmissä tapahtuu painovoiman vaikutuksessa ja niissä käytetään vain hyvin vähän tai ei ollenkaan kemikaaleja. Lisäksi ne eivät vaadi jatkuvaa seurantaa ja huoltoa, joten passiiviset menetelmät ovat huomattavasti edullisempi vaihtoehto kuin aktiiviset menetelmät. Passiivisia käsittelymenetelmiä ovat esimerkiksi luonnolliset kosteikot ja kalkkikivialtaat. Vaikka passiiviset menetelmät eivät vaadikaan säännöllisiä huoltotoimenpiteitä, osa materiaaleista kuten esimerkiksi kalkki vaatii säännöllisen vaihtamisen, jotta sen neutraloiva vaikutus säilyy. (Figueroa & Gusek 2009, 114.)

Puolipassiivisilla vedenkäsittelymenetelmillä tarkoitetaan menetelmiä, joissa veteen annostellaan kertaluonteisesti kemikaalia ilman mekaanista suodatusta sekä tarvittavin väliajoin tehostetaan reaktiota lisäämällä reagenssia veteen painovoiman avulla. Puolipassiivia menetelmiä voidaan käyttää yhdessä passiivisten menetelmien rinnalla. Puolipassiivisten menetelmiin voidaan lukea esimerkiksi kuivien reagenssien lisääminen veteen sekä kalkkikiven lisääminen. (Figueroa & Gusek 2009, 139–140.)

3.3 Sulfaatin pelkistäjäbakteerit

Sulfaatin pelkistäjäbakteerien toiminnassa vedellä täyttynyttä avolouhosta hyödynnetään bioreaktoriina. Käytännön testauksessa avolouhokseen lisätään bakteerilähdettä, joka voi tyypillisesti olla eläinperäistä lantaa tai jätevedenpuhdistamon lietettä. Happamien kaivosvesien puhdistamisessa käytettävien bakteerien sekä mahdollisen orgaanisen hiilen sekä ravinteiden on täytettävä kolme ehtoa. Sulfaatinpelkistäjien on kyettävä hyödyntämään bakteerilähteessä olevaa hiiltä, jotta sen toiminta varmistetaan. Lisäksi bakteerilähteen tulisi olla halpaa ja helposti saatavissa. Parhaiten soveltuu käytettäväksi sellainen bakteerilähde, joka sisältää suuren määrän sulfaatinpelkistäjiä. Louhokseen lisätään bakteerilähdettä sekä tarvittaessa sopivia orgaanisen hiilen ja ravinteiden lähteitä, jotka käynnistävät sulfaatinpelkistäjien toiminnan ja ajan kuluessa ne pelkistävät vedessä olevan sulfaatin ja alentavat metallipitoisuutta vedessä. Käsittelyn aikana avolouhoksen pohjalle muodostuu aktiivisesti toimiva sulfaatinpelkistäjäkanta, joka saa ravinteensa lisäystä substaarista ja näin parantaa vedenlaatua. Avolouhoksen pohjalle muodostuu parhaassa tapauksessa mikrobikanta, joka voi elättää itse itsensä. Suomessa avolouhoksia on hyödynnetty bioreaktoreina muun muassa Hammaslahden kaivoksella sekä Kotalahden kaivoksella sijaitsevassa Vehkan kuilussa. (Mroueh ja Vestola 2008, 21.)

3.4 Kosteikot

Kosteikot ovat ekologisia käsittelymenetelmiä, joissa kaivosvesi johdetaan kosteikon yläreunaan ja jaetaan mahdollisimman tasaisesti koko kosteikon alueelle, joko reiällisen putken tai kivien avulla. Kosteikkoon on istutettu kasvillisuutta, joiden juuret ylettyvät kosteikon pohjan orgaaniseen kerrokseen. Kosteikot alapuoleiseen päähän on asennettu poistoputki, jota pitkin vedet voidaan johtaa ulos kosteikkoalueelta. Kosteikot voidaan jakaa kahteen ryhmään niiden käyttötarkoituksensa perusteella.

Aerobisten kosteikkojen tarkoituksena on maksimoida vedessä tapahtuvat hapettumisreaktiot ja niissä voidaan hyödyntää myös erilaisia bakteereja hapetustoiminnan tehostamiseksi. Aerobisten kosteikkojen pääidea on kerätä vesi ja saada aikaan mahdollisimman pitkä viipymä kosteikoilla, jolloin hapetusreaktion seurauksena kaivosveden sisältämät metallit saostuvat hydroksideina ja lopulta sedimentoituvat kosteikon pohjalle. (Figuroa & Gusek 2009, 114.)

Anaerobisissa kosteikoissa hyödynnetään mikrobitoimintaa vedenpuhdistuksessa. Yleensä puhdistukseen käytetään sulfaatinpelkistäjäbakteereita ja kosteikkoon lisätään jotain hiililähdettä kuten esimerkiksi kompostia tai eläimen lantaa, joka mahdollistaa bakteerikannan elossa pysymisen ja sitä kautta toimivuuden. Anaerobisia kosteikkoja käytetään yleensä saostamaan kaivosveteen liuenneita metalleja ja niiden on havaittu olevan tehokkaita saostamaan esimerkiksi nikkeliä. Aerobisia kosteikkoja käytetään yleensä käsittelemään happamia kaivosvesiä, kun taas anaerobisia käytetään enemmän, kun käsitellään emäksisiä kaivosvesiä. (Figuroa & Gusek 2009, 119–120.; GTK 2015, 149.)

3.5 Neutralointi kalkkikivellä tai lentotuhkalla

Happamia kaivosvesiä voidaan myös neutraloida kalkkikiven avulla. Kaivosveteen voidaan lisätä alkalista ainetta kuten esimerkiksi kalkkikiveä, kalkkia tai natriumhydroksidia. Kemikaalin ansiosta veden pH lähtee nousuun, jolloin vedessä olevat haitta-ainemetallit saostuvat hydroksideina ja karbonaateina. Kemiallinen käsittely soveltuu kaikille kaivosvesille happamuudesta tai metallipitoisuuksista riippuen. Lisäksi neutralointia voidaan suorittaa usein eri menetelmin joko lisäämällä kaivosveteen suoraan pH:ta nostavaa materiaalia tai esimerkiksi suodattamalla kaivosvettä neutraloivan massan läpi. Neutraloinnissa voi syntyä suuria määriä saostunutta metallisakkaa, jonka poistaminen ja hävittäminen voi aiheuttaa suuria kustannuksia. (GTK 2015, 149.)

Lentotuhka on jätemateriaalia, jota syntyy kivihiilen polton sivumateriaalina. Se luetaan nykyään pääasiassa jätemateriaaliksi ja sen hyödyntämistä on varsin pieni. Esimerkiksi Etelä-Afrikka tuottaa nykyisellään noin 28 miljoonaa tonnia lentotuhkaa vuodessa, joka pääasiassa loppusijoitetaan, koska sille ei ole käyttökohteita. Lentotuhka itsessään on hienojakoinen aine, joka koostuu pääasiassa pallomaisista hiukkasista. Suomen mittakaavassa lentotuhkaa hyödynnetään jonkin verran esimerkiksi maanrakentamisessa esimerkiksi pihojen ja kenttien päällysrakenteen alaosassa ja alusrakente-kerroksissa. (Akinyemi, Gitari ja Petrik 2008, 80.)

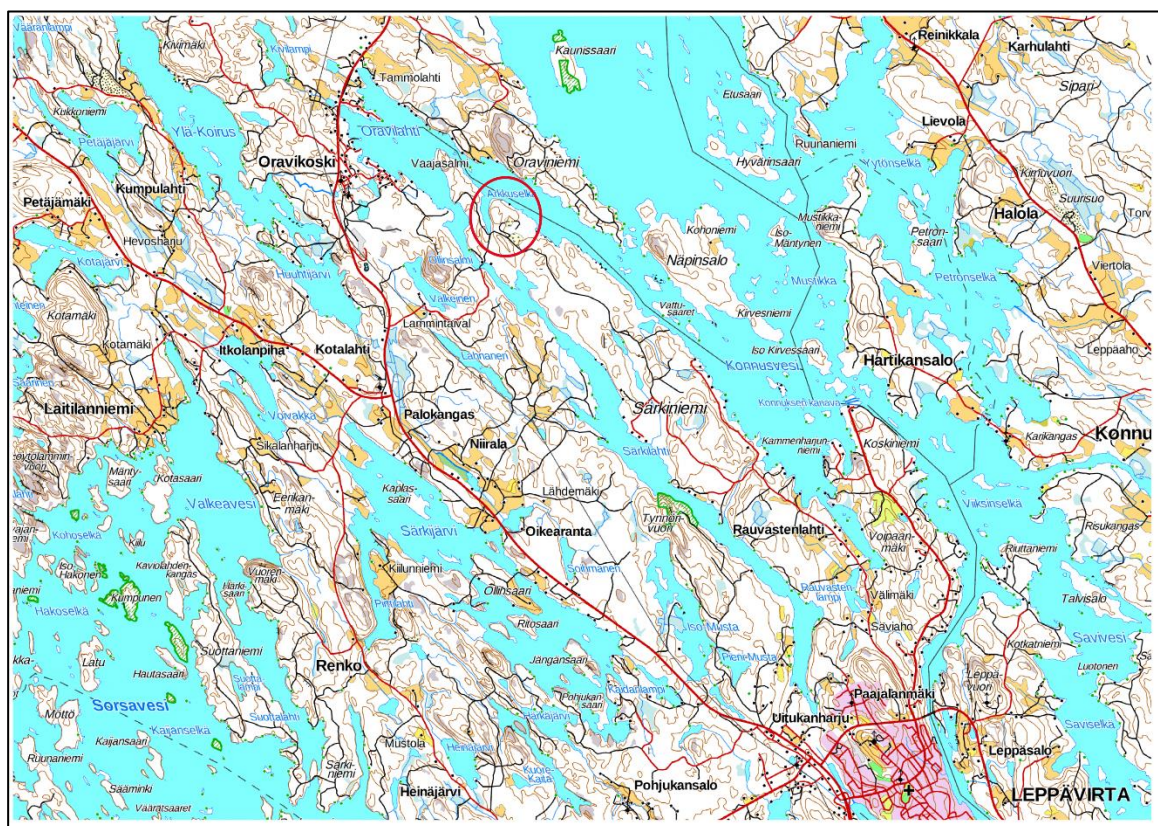
Lentotuhkan hyödyntämistä vesienkäsittelyssä on testattu ainakin Etelä-Afrikassa. Tutkimusten mukaan lentotuhkan on todettu toimivan happamien vesien käsittelyssä. Monissa eri tutkimuksissa on todettu lentotuhkan poistavan vedestä muun muassa raskasmetalleja, kuten nikkeliä, rautaa ja kuparia. Lentotuhkan toimivuuteen ja eri haitta-aineiden reduktiokykyyn vaikuttavat käytettävän lentotuhkan pitoisuudet, sillä eri voimalaitosten lentotuhkat ovat erilaisia. Usein tutkimuksen ovat laboratoriomittakaavan tutkimuksia, joten käytännön kenttätestauksessa tulokset eivät välttämättä ole samanlaisia. Vaikka lentotuhka on vaihtoehto käsittelyyn, ovat tutkimukset osoittaneet, ettei aina saavuteta parhainta reduktiota metallien suhteen eikä saavuteta haluttua pH-tasoa. Tutkimukset ovat osoittaneet, että korkeammat alumiini- ja piipitoisuudet tuhassa itsessään vähentävät lentotuhkan

käsittelytehoa. Tästä syystä lentotuhkaa usein modifioidaan käsittelemällä se esimerkiksi emäksisen liuoksen kanssa, jolloin saavutetaan suurempi reagoiva pinta-ala sekä pienemmät alumiinin ja piin pitoisuudet. Sahaon tekemissä tutkimuksissa normaalilla lentotuhkalla pystyi saavuttamaan pH:n 5,3, kun taas modifioidulla lentotuhkalla saavutettiin pH. 11,5. (Saha & Sinha 2018, 517–519.)

4 SÄRKINIEMEN KAIVOS

4.1 Yleistä

Särkiniemen kaivosalue sijaitsee Leppävirran kunnassa noin 10 kilometriä Leppävirran taajama-alueesta luoteeseen. Kaivosalue itsessään sijaitsee kapealla Arkkuselän ja Särkilahden välisellä maanaksella (kuva 6). Itä-Suomen Ympäristölupavirasto myönsi Finn Nickel Oy:lle vuonna 2005 ympäristöluvan, joka oikeutti nikkelimalmiin louhintaan ja toiminnan aloittamiseen Särkiniemessä. Kaivostoiminta Särkiniemessä alkoi vuonna 2007 ja toiminta päättyi lopulta vuonna 2008 Finn Nickel Oy:n toiminnan ajaututtua konkurssiin.



Kuva 6. Särkiniemen kaivoksen sijainti punaisella ympyröitynä (MML taustakartta)

Toiminta käynnistyi kesällä 2007. Vuonna 2007 tuotantoa oli yhteensä 105 päivänä, joiden aikana malmia louhittiin noin 61 000 tonnia ja sivukiveä 127 000 tonnia. Kaivostoiminta päättyi vuoden 2008 lopulla, jonka jälkeen avolouhos ja maanalainen vinotunneli ovat täyttyneet vedellä. Vuonna 2008 kaivoksesta louhittiin malmia noin 63 000 tonnia ja sivukiveä noin 38 000 tonnia. Kun toiminta vuonna 2008 keskeytettiin, purettiin kaivokselta kaikki kiinteät rakenteet, jotka olisivat vaurioituneet veden alla, lopetettiin kuivanapitovesien pumppaus ja maisemoitiin sivukivialue ja sen ympärille rakennettiin suoto-ojat. Myöhemmin Vulcan Kotalahti Oy osti kaivosoikeudet itselleen. Särkiniemen kaivosalueella ei ole vuoden 2008 jälkeen ollut toimintaa. (Ramboll Finland Oy 2015b, 1 – 2.)

4.2 Kaivoksen nykyinen ympäristökuormitus

Nykyisin kaivosalueen suurimmat ympäristökuormitukset aiheutuvat puutteellisesti maisemoidusta sivukivialueesta, sivukivimurskealueesta sekä avolouhoksen vedestä. Sivukivialueen kivissä on todettu vuonna 2015 tehdyissä tutkimuksissa olevan kohonneita haitta-ainepitoisuuksia. Kohonneita pitoisuuksia esiintyy muun muassa kromin, nikkelin, kuparin ja arseenin osalta. Kairaustulosten perusteella on arvioitu sivukivikasan peitemateriaalin paksuudeksi noin 1,5 metriä, mutta kohonneita haitta-ainepitoisuuksia on esiintynyt myös sivukivikasan pinnassa. Finn Nickel Oy:n vuonna 2008 tekemän maisemointisuunnitelman mukaisesti sivukivien läjitysalue olisi tullut muotoilla maisemoinnin yhteydessä niin, ettei alueen päälle muodostu vettä kerääviä painanteita. Elokuussa 2015 sivukiven ja maa-aineksen läjitysalueen pinnassa havaittiin reikiä, erityisesti alueen reunoilla. Läjitysalueen peite ei ole ehyt ja sadevettä valuu sivukivikasan sisään. (Ramboll Finland Oy 2015b, 6 - 7.)

Särkiniemen kaivosalueelle on varastoitu sivukivimursketta noin 7000 m³. Näille murskeille on tehty aikaisemmin hapon muodostusta kuvaavat testit sekä murskenäytteistä on määritetty metallipitoisuudet. Tulosten perusteella on osoitettu, että kaikki alueelle varastoidut sivukivimurskeet ovat happoa tuottavia ja aiheuttavat alueella hapanta kaivosvalumaa, joka happomoittaa vesistöjä sekä muuta ympäristöä, kun murskeet reagoivat ilman hapen ja sadeveden kanssa. Lisäksi murskenäytteiden haitta-ainepitoisuudet ovat ylittäneet Valtioneuvoston asetuksessa 214/2007 niin sanotut PIMA-metalleille asetetut ohjearvot. (Ramboll Finland Oy 2015b., 8 – 10.)

Avolouhos on nykyisellään täyttynyt vedellä ja sen vesi sisältää suuria pitoisuuksia haitta-ainemetalleja sekä pH on hyvin matala. Ajoittain avolouhoksesta pääsee ylivaluntana vettä ympäröivään maastoon ja alapuoliseen vesistöön, Arkkuselkään, jossa on todettu kohonneita pitoisuuksia muun muassa nikkeliä ja rautaa. (Ramboll Finland Oy 2015b, 16 – 18.)

Vuoden 2019 kaivosalueen maastoselvityksissä otettiin vesinäytteitä ja tehtiin mittauksia kaivoksen avolouhoksesta, otettiin näytteitä alueella varastossa olevista murskekasoista liukoisuustestauksia varten sekä havainnoitiin sivukivialueen nykytilaa sekä vesien suotautumista ja kulkeutumista. Lisäksi alueella tehtiin avolouhoksen luotauksia sekä alueen ilmakuvaus- ja tarkemittauksia suunnittelun lähtöaineistoksi.

5 VUODEN 2019 TUTKIMUKSET SÄRKINIEMEN KAIVOKSELLA

5.1 Tutkimukset huhtikuussa 2019

5.1.1 Yleistä

1.4.2019 Särkiniemen kaivosalueen näytteenotossa otettiin vesinäytteet avolouhoksesta kolmelta eri syvyydeltä. Samalla avolouhoksen veden kerrostuneisuutta mitattiin YSI Professional DSS -kenttäanalyysointilaitteella. Lisäksi otettiin näytteitä alueelle varastoiduista sivukivimurskekasoista liukoisuustestauksia varten. Murske- ja vesinäytteenotosta vastasi Envineer Oy. Lassila & Tikanoja Oyj vastasi murske- ja vesinäytteiden testauksista ja analyseistä laboratoriossa.

5.1.2 Avolouhoksen vesitutkimukset

Avolouhoksen syvimältä kohdalta (n. 20 m) havainnoitiin vesipatsaan kerrostuneisuutta mittamalla yhden metrin välein veden lämpötila, pH, sähkönjohtokyky ja happipitoisuus YSI Professional DSS -kenttäanalyysointilaitteella. Lisäksi avolouhoksen syvimästä kohdasta otettiin vesinäytteet kolmelta eri syvyydeltä: metri pinnan alapuolelta, vesisyvyyden puolivälistä (10 m) ja metri pohjan yläpuolelta (19 m). Näytteet otettiin jäältä käsin Limnos-vesinäytteenottimella. Louhosvesinäytteistä analysoitiin laboratoriossa (Savo-Karjalan Ympäristötutkimus Oy) sulfaattipitoisuus ja metalleista rauta, liukoinen rauta, liukoinen kupari, liukoinen sinkki, liukoinen kadmium, liukoinen lyijy, liukoinen nikkeli ja liukoinen elohopea.

Vesinäytteenoton yhteydessä otettiin avolouhoksesta vettä murskenäytteiden liukoisuustesteihin (kohta 5.1.3). Liukoisuustesteihin vettä otettiin vesikerroksesta, jossa veden pH todettiin kenttämittauksilla alhaisimmaksi (1 - 2 m). Näytteet otettiin pumpaamalla kanistereihin.

5.1.3 Murskekasojen tutkimukset

Näytteitä otettiin kahdesta eri murskekasasta ("kasa 1" ja "kasa 2"; kuvat 7 - 9). Suuremmasta kasasta (kasa 1) kiviainesnäytteet otettiin kahdesta eri kerroksesta (pintakerros ja syvempi kerros), jotta voitiin havainnoida mahdollisia eroja liukoisuudessa veden ja hapen kanssa reagoineen pintakerroksen sekä keskiosassa kasaa olleen kiviaineksen välillä.

Kasasta 1 (kuva 7) pintanäytteet otettiin pintakerroksesta, noin 0 - 50 cm kerrosta edustavina näytteinä, kolmesta eri pisteestä eri puolilta kasaa. Sisäkerrosnäytettä varten kasa avattiin kaivinkoneella. Murskekasaa avattaessa havaittiin sen sisällä tiivistynyt (hienorakeisempi) kerros (kuva 8). Kerros on ilmeisesti muodostunut sen yläpuolelta rapautuneen ja sadeveden kuljettaman hienoaineksen rikastumisesta kasan ensimmäisen täyttövaiheen pintakerroksen päälle. Sisäkerrosnäyte otettiin tiivistyneen kerroksen alapuolelta mahdollisimman keskeltä kasaa noin 150 cm:n syvyyteen saakka.

Kasasta 2, joka on hienompi rakeinen murskekasa (kuva 9), otettiin ainoastaan pintanäyte. Näyte otettiin kokoomanäytteenä murskekasan pinnasta eri puolilta murskekasaa. Näytteiden ottamisen jälkeen murskekaset muotoiltiin ennalleen.



Kuva 7. Suurempi murskekasa (kasa 1) (Nevalainen 2019-04-01)



Kuva 8. Kasassa 1 pintakerroksen alla esiintynyt kovettunut kerros näkyy harmaana kerroksena. (Nevalainen 2019-04-01.)



Kuva 9. Pienempi murskekasa (kasa 2.) (Nevalainen 2019-04-01.)

Murskenäytteiden ja louhosveden jatkokäsittelystä vastasi Lassila & Tikanoja Oyj. Näytteiden laboratoriotestaukset tehtiin Kokemäenjoen vesiensuojeluyhdistys ry:n (KVY ry) laboratoriossa. Koejärjestelyillä pyrittiin simuloimaan haitta-aineiden liukoisuutta tilanteessa, jossa sivukivimurske sijoitettiin avolouhokseen vedenpinnan alle.

Laboratorioanalyysiin valittiin kasan 1 (isompi kasa) pintaosaa ja syvempää kerrosta edustaneet näytteet ("Kasa 1 pinta" ja "Kasa 1 syvä"). Laboratoriossa murskenäytteistä määritettiin metallien sekä rikin kokonaispitoisuudet kuningasvesiliuotuksen avulla. Lisäksi murskenäytteille tehtiin ABA-testit ja sulfidisen rikkipitoisuuden määrittäminen. Murskenäytteiden liukoisuustestaukset tehtiin standardin SFS-EN 14405 mukaisilla läpivirtaustesteillä, joissa nesteinä käytettiin louhosvettä. Testaus tehtiin erikseen murskekasojen pintakerrosta sekä isomman kasan sisäosaa edustaneille näytteille. Louhosveden metalli- ja sulfaattipitoisuus määritettiin ennen liukoisuustestauksia. Lisäksi louhosvesi analysoitiin uudelleen noin 1,5 kuukauden säilytyksen jälkeen, jolla selvitettiin veden mahdollista muuntumista säilytyksen aikana.

Metallien pitoisuudet analysoitiin kahdeksasta eri nestefraktiosta ($L/S = 0,1 \dots 15$). Fraktioiden L/S -suhde tarkoittaa murskeen ja läpivirranneen veden määrien suhdetta. Nestefraktioista määritetyistä kokonaispitoisuuksista vähennettiin alkuperäisen louhosvesinäytteen "taustapitoisuus", jolloin tuloksista saatiin näkymään murskeen liukoisuuden aiheuttama haitta-aineen lisäys veteen.

5.2 Tutkimukset toukokuussa 2019

5.2.1 Yleistä

13.5.2019 toteutetuissa kenttätöissä oli tarkoitus mm. havainnoida louhoksen kevätkaikasta veden laatua, luodata louhoksen pohjan profiili sekä havainnoida louhosympäristön ja sivukivialueen nykytilaa ja vesien kulkeutumista. Lisäksi kenttätöiden yhteydessä hankittiin jatkosuunnittelua varten tarkemmittoja alueen vesipinnoista sekä nykytilaa edustava ilmakehä- ja maastomalliaineisto drone-lennoilla. Louhokseen asennettiin pysyvä mittapaalu vedenpinnantason seuranta varten. Kenttätöitä toteutettiin Envineer Oy:n sekä Inno-Cad Oy:n toimesta.

5.2.2 Avolouhoksen vesitutkimukset sekä syvyysluenta

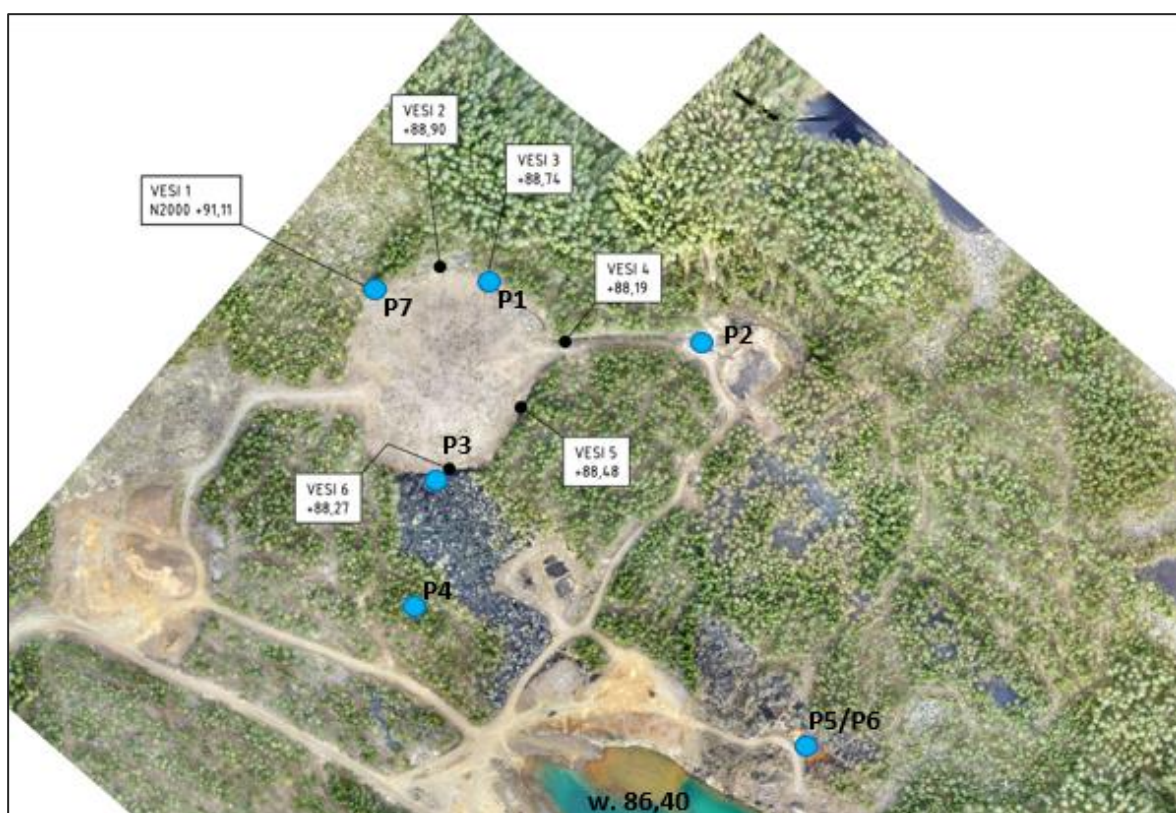
Toukokuun kenttätutkimuksissa avolouhoksen vedestä tehtiin kerrostuneisuushavainnot ja näytteenotot likimäärin samasta pisteestä kuin huhtikuussa. Näytepisteen sijainti täsmätettiin louhokseen syvimpään kohtaan (n. 21 m) kaikuluotaimen avulla. Kyseisestä pisteestä havainnoitiin vesipatsaan kerrostuneisuutta mittaamalla yhden metrin välein veden lämpötila, pH, sähkönjohtokyky ja happipitoisuus YSI Professional DSS -kenttäanalysaattorilla. Vesinäytteet otettiin Limnos-vesinäytteenottimella neljästä eri syvyydestä: 1 m, 12 m, 16 m sekä 20 m. Vesinäytteistä analysoitiin laboratoriossa (Savo-Karjalan Ympäristötutkimus Oy) sulfaattipitoisuus ja metalleista raudan, liukoisen raudan, liukoisen kuparin, liukoisen sinkin, liukoisen kadmiumin, liukoisen lyijyn, liukoisen nikkelin ja liukoisen elohopean pitoisuudet.

Avolouhoksen syvyyskartoitus suoritettiin nauhoittavalla kaikuluotainlaitteistolla (Lowrance HDS GEN3 + C-Map Genesis), jolla kerätty aineisto käsiteltiin ReewMaster Software- ja Microstation-ohjelmistoilla. Syvyyskartoitus toteutettiin lukuisilla eri suuntaan tehdyillä koko louhoksen alueella toteutetuilla yliajoilla, jotta aineistosta saatiin riittävän tarkka pohjan korkomalli.

5.2.3 Sivukivialueen katselmus ja tutkimukset

Sivukivialueella ja sen lähiympäristössä tehtiin maastokatselmus, jossa tarkasteltiin sivukivialueen nykyisen pintarakenteen kuntoa sekä tarkasteltiin veden suotautumista sivukivialueen helmoista. Lisäksi suoritettiin YSI-mittauksia (lämpötila, pH, liuennut happi ja sähkönjohtavuus) ja pintavesinäytteenottoa sivukivialueen ympäristön pintavesistä sekä avolouhoksen vuotoaltaasta.

YSI-mittaukset tehtiin yhteensä seitsemästä pisteestä (P1-P7; kuva 10). Vesinäytteitä otettiin kolmesta pisteestä: suoto-ojan alkuosasta (P1), kosteikkoaltaan yläpuolisesta ojasta (P2) sekä louhoksen vuotoaltaaseen pulppuavasta vedestä (P6) (kuva 11). Vesinäytteistä analysoitiin laboratoriossa (Savo-Karjalan Ympäristötutkimus Oy) sulfaattipitoisuus ja metalleista raudan, liukoisen raudan, liukoisen kuparin, liukoisen sinkin, liukoisen kadmiumin, liukoisen lyijyn, liukoisen nikkelin ja liukoisen elohopean pitoisuudet.



Kuva 10. Sivukivialueen pintavesien havaintopisteet sekä pintavesien korkoja 13.5.2019 (N₂₀₀₀)



Kuva 11. Kenttämittaukset ja näytteenotto avolouhoksen vuotoaltaalla (P5/P6) 13.5.2019 (Kolehmainen 2019-05-13.)

5.2.4 Tarkemittaukset ja ilmakuvaukset

Maastotyöpäivän aikana alueella suoritettiin ilmakuvauus. Keskeinen kaivosalue (avolouhos, murskekat ja sivukivialue) ilmakuvattiin 150 metrin korkeudelta. Ilmakuvista määritettiin myöhemmin etäisyyksiä sekä pinta-aloja ulommaisten lentolinjojen sisäpuoliselta alueelta.

Maastotyöpäivän aikana avolouhokseen rakennettiin pysyvä korkomittausasema (kuva 12). Korkopaaluna on teräsbetoninen lyöntipaalu 300 x 300 mm. Lyöntipaalun yläpään korko sekä lyöntipaalun vedenpinnan yläpuolinen pituus on määritetty RTK -GPS:llä (Real-time kinematic). Vastaavalla menetelmällä määritettiin myös avolouhoksen vedenpinnan korko sekä sivukivialueen ympäristön vedenpinnan korkoja (N_{2000} ; kuva 10).

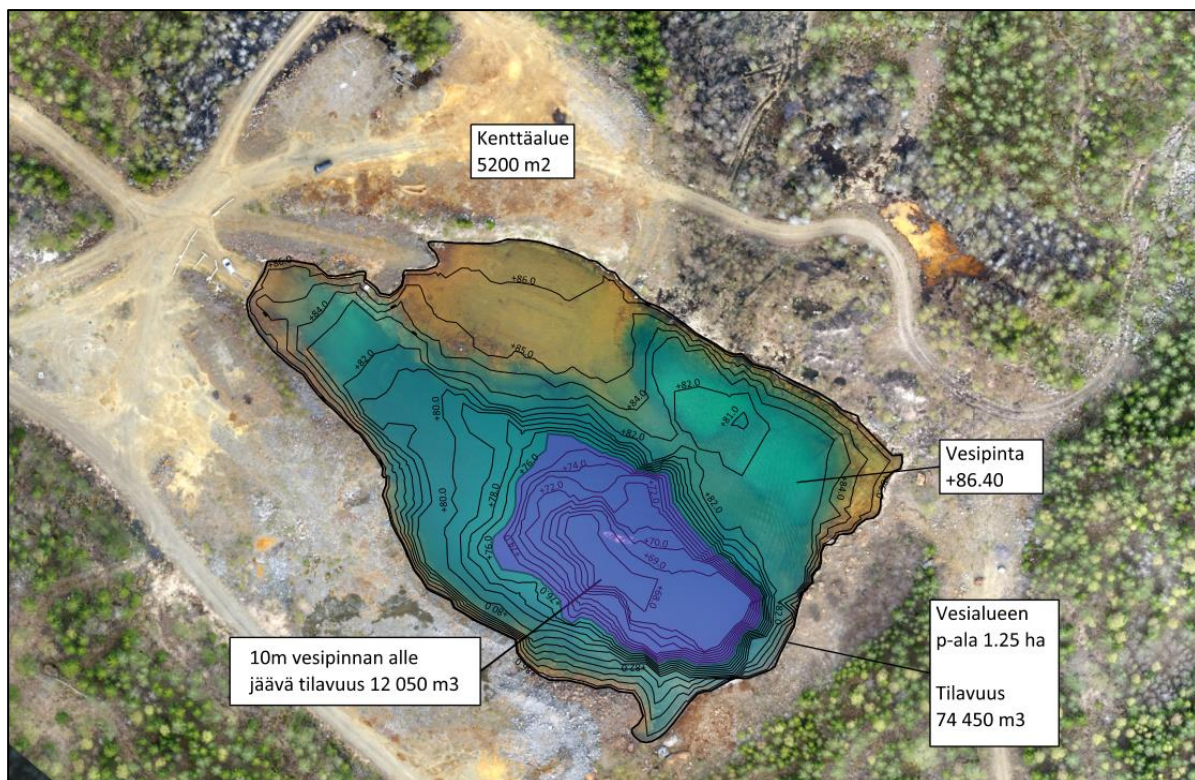


Kuva 12. Toukokuussa 2019 asennettu teräsbetoninen korkomittauspaalu avolouhoksen pohjoisosassa (Kolehmainen 2019-5-13).

6 VUODEN 2019 TUTKIMUSTEN TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

6.1 Avolouhoksen syvyysmalli ja mittaustulokset ja niiden tulkinta

Louhoksen syvyysmalli on esitetty kuvassa 13 ja louhoksesta laadittu pituuspoikkileikkaus liitteessä 1.



Kuva 13. Avolouhoksesta laadittu syvyysmalli

Huhtikuun 2019 YSI-mittausten tulokset (lämpötila, pH, sähkönjohtavuus sekä happipitoisuus) on esitetty taulukossa 1 ja toukokuun 2019 mittaustulokset taulukossa 2. Laboratorioanalyysien tulokset vastaavilta ajankohdilta on esitetty taulukoissa 3 ja 4. Mittaustuloksista laaditut syvyysprofiilikuvaajat sekä laboratoriotuloksien kuvaajat koko seurantahistorian ajalta on esitetty liitteessä 2.

Taulukko 1. Huhtikuun 2019 YSI-kenttämittauksien tulokset.

DEP m	°C	pH	Liennut happi mg/l	Johtokyky mS/m
1	3,1	3,47	8,91	131
2	3,4	3,47	8,94	131
3	3,4	3,47	8,94	131
4	3,5	3,48	8,91	131
5	3,8	3,61	9,13	132,3
6	3,5	3,55	8,86	130,4
7	3,5	3,54	8,9	130,6
8	3,4	3,54	8,69	129,6
9	3,5	3,58	8,13	129,3
10	3,6	3,60	7,07	129,3
11	3,6	3,62	6,48	129,2
12	4,1	3,97	2,3	124,3
13	4,2	4,17	1,18	122,4
14	4,3	4,28	0,63	122
15	4,3	4,45	1,12	124,7
16	4,6	6,05	0,6	131,3
17	5,3	6,40	0,24	142,8
18	5,3	6,54	0,38	145,2
19	5,7	6,63	0,32	150,6
20				

Taulukko 2. Toukokuun 2019 YSI-Kenttämittauksien tulokset.

DEP m	°C	pH	Liennut happi mg/l	Johtokyky mS/m
1	9,3	3,36	9,13	106,6
3	8,2	3,3	8,60	130,1
5	7,4	3,36	8,81	128,9
8	6,3	3,39	8,06	130
10	5,5	3,41	7,15	130,6
11	5,5	3,52	4,70	129,2
12	5,4	3,71	1,20	126
13	5,0	4,04	1,15	123,3
14	5,1	4,08	1,41	124,4
15	5,6	4,12	1,82	123,8
16	6,5	5,99	1,77	133,3
17	5,9	6,02	1,25	137
18	6,0	6,16	1,45	139,5
19	6,1	6,31	1,30	143,2
20	6,1	6,46	0,73	153,4
21	6,1	6,53	0,90	156,9

Taulukko 3. Särkiniemen kaivoksen näytteiden laboratoriotulokset 1.4.2019.

	Syvyys	Sulfaatti	Rauta liuk	Kupari liuk	Kupari	Sinkki liuk	Sinkki	Cd liuk	Lyijy liuk	Ni liuk	Hg liuk
Pvm	m	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
1.4.2019	1	700	3 000	80	-	350	-	0,37	1,1	4 300	<0,005
1.4.2019	10	700	3 000	65	-	360	-	0,35	0,91	4 300	<0,005
1.4.2019	20	850	120 000	0,73	-	6,2	-	<0,01	<0,05	220	<0,005

Taulukko 4 Särkiniemen kaivoksen vesinäytteiden laboratoriotulokset 13.5.2019

	Syvyys	Sulfaatti	Rauta	Rauta liuk	Kupari liu	Sinkki liu	Cd liuk	Lyijy liuk	Ni liuk	Hg liuk
Pvm	m	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
13.5.2019	louhos 1	430	3 100	3 100	130	250	0,46	0,59	3 700	<0,005
13.5.2019	louhos 6	710	14 000	12 000	19	330	0,2	0,4	4 400	<0,005
13.5.2019	louhos 16	740	67 000	59 000	0,81	120	0,062	0,093	2 100	<0,005
13.5.2019	louhos 20	830	130 000	120 000	0,44	52	0,044	<0,05	710	<0,005
13.5.2019	Ojapiste P1	400		1 700	400	270	1,1	0,22	4 600	<0,005
13.5.2019	Ojapiste P2	360		230	310	360	1,1	0,17	5 200	<0,005
13.5.2019	Ojapiste P6	1100		210 000	91	110	0,46	<0,05	1 700	<0,005

Tulosten perusteella avolouhoksen päällysvedessä tapahtuneet muutokset ovat viimeisimpien vuosien aikana olleet melko vähäisiä (liite 2). Toukokuussa 2019 sulfaattipitoisuus oli reilusti pienempi kuin aikaisemmillä kerroilla, mutta yhden aiempiin mittauksiin verrattuna eri vuodenaikaan toteutetun mittauksen perusteella ei voida tehdä johtopäätöstä, onko pitoisuus laskussa. Sulfaattipitoisuudet 10 metrin ja 20 metrin syvyydessä ovat joka tapauksessa puolittuneet aikaisempien vuosien pitoisuuksista. Tämä voi johtua siitä, että sulfaattipitoinen kuormitus alueella on vähentynyt. Kaivoksessa on syvällä pelkistävät olosuhteet ja mahdollisesti jonkin verran sulfaatinpelkistäjäbakteerien toimintaa. (Ramboll Finland Oy 2015a, 6.)

Viimeisimpien vuosien aikana liukoinen nikkeli-, sinkki- ja kuparipitoisuus on pysynyt likimäärin samassa ja on pintakerroksessa ja 10 metrin syvyydessä hieman suurempi kuin pohjan läheisyydessä. Liukoisen kuparin osalta on syytä huomioida 7.8.2017 mittauskerta, jolloin liukoisen kuparin määrä oli poikkeuksellisen suuri 10 metrin syvyydessä. Tulos voi selittyä laboratoriomäärityksessä tai tulosten kirjauksessa tapahtuneella virheellä.

Hapettavissa olosuhteissa sulfidit hapettuvat, jolloin rautaa liukenee veteen. Liennut rauta saostuu ja laskeutuu louhoksen pohjalle, missä se pelkistävissä oloissa liukenee taas veteen. Pintakerroksessa vesi on hyvin hapanta, koska sulfidit ovat hapettuneet ja samalla pH on laskenut. Pintakerroksessa vesi on hyvin hapekasta, joka mahdollistaa sulfidien hapettumisen. Likimäärin 10 - 12 metrin syvyydellä sijaitsevan harppauskerroksen alapuoleisessa vedessä ei ole juurikaan happea, joten olosuhteet ovat siellä pelkistävät. Louhoksen koillispuolella sijaitsevan vuotoaltaan hapekkaissa olosuhteissa kaivoksesta porareikien kautta nousseessa vedessä oleva liukoinen rauta saostuu ruskeana hydroksidina altaan pohjalle. (Kolehmainen 2019-9-16.)

Happipitoisuuden havaitaan louhosveden profiilimittauksissa tippuvan selvästi kymmenen metrin syvyyden jälkeen. Merkittävää eroa mittausajankohtien välillä ei ole ilmennyt. Happipitoisuus on 12.6.2018, 1.4.2019 ja 13.5.2019 mittauskerroilla noussut noin 15 - 16 metrin syvyydessä hieman, kunnes on sitten pudonnut lähelle nollaa syvemmällä. Samoin lämpötila on noussut samassa syvyydessä hieman lämpimään vuodenaikaan (12.6.2018 ja 13.5.2019). Edellä mainitut muutokset 15 - 16 metrin syvyydessä voivat johtua kallioruhjeesta, josta avolouhokseen vuotaa hapekkaampia valumavesiä (Kolehmainen 2019-9-16). Mittauksessa 7.2.2018 ei havaittu muutosta 15 - 16 metrin syvyydessä, mikä tukee edellä esitettyä teoriaa. Ruhjeesta oletetusti tulevien valumavesien määrä keskitalvella on ollut hyvin vähäinen.

Pohjanläheisessä vesikerroksessa ilmenneet vastaavat pienet muutokset happipitoisuudessa ja lämpötilassa lämpimään vuodenaikaan voivat selittyä niin ikään pohjan läheisyydessä tai maanalaisessa kaivoksessa sijaitsevasta ruhjeesta tulevista happipitoisista valumavesistä. Särkiniemen kaivoksen avolouhoksen luontainen pintavaluma-alue ja avolouhoksen veden vaihtuvuus ovat pienet. Tätä vasten peilaten pienikin kalliooperän kautta tuleva vesimäärä voi näkyä kyseisen kerroksen veden laadussa. (Viitasalo 2019-8-23.)

Avolouhoksen syvyysprofiilin lämpötilat poikkeavat vuodenaikojen välillä selvästi (liite 2) verrattuna muihin mitattuihin parametreihin (sähkönjohtavuus, happi ja pH). Huhtikuussa 2019 ja edellisen vuoden (2018) helmikuussa lämpötila nousi vähitellen pinnasta pohjaa kohden. Toukokuussa 2019 ja edellisen vuoden kesäkuussa lämpötila aleni pinnasta syvemmälle mentäessä tasaantuen sitten noin 10 metrin syvyydessä. Muutos muistuttaa luonnonjärvien kerrostuneisuuskausia sillä poikkeuksella, että talvinen pohjanläheinen vesikerros on poikkeuksellisen lämmin (selvästi yli 4 astetta) ja pysyy lähes saman lämpöisenä ympäri vuoden. (Kolehmainen 2019-9-16.)

Tulokset viittaavat siihen, etteivät kevät- ja syyskiertot sekoita täysin avolouhoksen syvimpiä vesikerroksia. Kiertojen vajoitus johtuu todennäköisesti avolouhoksen morfologiasta (pieni vesipinta-ala suhteessa jyrkkiin muotoihin ja suureen syvyyteen), syvänteen tuulensuojaisesta sijainnista ja syvimpien vesikerrosten korkeasta suolaisuudesta (sulfaattipitoisuus). Sulfaattipitoisuuden pitkän aikavälin seurantalosten perusteella on oletettavaa, että syvimät vesikerrokset eivät ole sekoittuneet täyskiertojen aikaan myöskään aikaisempina vuosina, vaan pohjalla on vallinnut pysyvä suolakerrostuneisuus. Liitteessä 1 on esitetty avolouhoksen pituusleikkaus ja syvyysprofiilitulkinta. (Kolehmainen 2019-9-16.)

Keskinäiset erot sähkönjohtavuusprofiilissa vesimassan pintakerroksessa viittaavat sään vaikutuksille alltiimpien kerrosten olevan alle 10 metrin syvyydessä. Notkahdus sähkönjohtavuudessa 10 - 15 metrin syvyydessä johtunee tulosten (happipitoisuuden romahtaminen ja pH-arvon nousu ylempiin kerroksiin verrattuna) valossa ensisijaisesti hapetusasteen pienenemisestä, mikä vähentää sulfidien hapettumista ja muita happamoittavia prosesseja kyseisessä syvyydessä. 15 - 16 metriä syvemmässä vesikerroksissa esiintyvä pysyvä suolakerrostuneisuus sen sijaan pitää sulfaattipitoisuuden ja sähkönjohtavuuden korkealla. Sulfaattipitoisuus korreloi tuloksissa odotetusti sähkönjohtavuuden kanssa (liite 2). (Ramboll Finland Oy 2015a, 5.)

Avolouhoksen vesi oli vuoden 2019 mittauksissa pinnassa selvästi hapan ja pohjan lähellä lähempänä neutraalia, mikä on näkynyt tuloksissa myös aiempina vuosina. Avolouhoksessa korkeimmat pH-arvot esiintyvät odotetusti vähähappisissa vesikerroksissa. Kuten aikaisempinakin vuosina on todettu, esiintyvät suurimmat metallipitoisuudet ja korreloivat suoraan happipitoisuuden ja veden hapamuuden kanssa (liite 2).

Ensimmäinen selvempi muutos pH:ssa tapahtuu 10 - 13 metrin syvyydessä. Muutos johtunee hapetusasteen pienenemisestä seuraavasta happamoittavien prosessien hiipumisesta. Toinen selvä muutos pH:ssa tapahtuu noin 15 metrin syvyydessä ja johtuu tulosten valossa pysyvästi suolakerrostuneen vesimassan vakiintuneista voimakkaasti pelkistävästä olosuhteista.

Seurantahistorian tulosten mukaan avolouhoksen harppauskerros on siirtynyt vuosien varrella syvemmälle (liite 1). Kesäaikainen lämpötilan ja happipitoisuuden harppauskerros on tulosten (Liite 2) mukaan ollut kesäkuussa 2010 ja 2014 alle 10 metrin syvyydessä ja kesäkuussa 2013 alle seitsemän metrin syvyydessä. Lisäksi kesäkuussa 2014 harppauskerroksen syvyys rajattiin YSI-mittauksilla 6 - 10 metrin syvyyteen. Viime vuosina harppauskerros on ollut noin 10 - 13 metrin syvyydessä. 10 metrin näytteistä vuosina 2017-2019 tutkittu veden laatu on muistuttanut päällysvesikerroksen (1 m) vettä toisin kuin aiemmin. Tulokset viittaavat veden laadusta aiheutuneeseen pysyvämpään muutokseen. Ei voida kuitenkaan täysin sulkea pois mahdollisuutta, että muutos harppauskerroksen syvyydessä olisi tilapäinen ja johtuisi sääolojen esimerkiksi valumavesimääriin tai kiertojen keston aiheuttamasta vuosittaisesta vaihtelusta. (Ramboll Finland Oy 2015a, 5.)

Aistinvaraisten havaintojen mukaan avolouhoksen vesi oli vuoden 2019 näytekeroilla kirkasta noin 12 metriin asti, jonka jälkeen oli 2-3 metriä paksu sameampi vesikerros. Noin 15 metrin syvyydessä vesi kirkastui jälleen. Todennäköisesti veden sameus harppauskerroksessa johtuu veden hapetusasteen muutoksen rajapinnassa tapahtuvasta aineiden saostumisesta (Viitasalo 2019-8-23). Avolouhoksen vedessä ei esiinny vierasperäistä hajua.

6.2 Sivukivialueen havainnot ja mittaustulokset ja niiden tulkinta

Sivukivialueen pintarakennetta koskevat havainnot on esitetty liitteenä 5 olevassa katselmuspöytäkirjassa ja sivukivialueen ympäristön vesipinnan tasot 13.5.2019 on esitetty kuvassa 10. Sivukivialueen pintavesipisteistä P1 - P7 tehtyjen YSI-mittausten tulokset on esitetty taulukossa 5 ja pintavesinäytteiden laboratoriotulokset taulukossa 4.

Maastossa toukokuussa 2019 havaittujen painanteiden (pisteet P4 ja P7) vesi ei tulosten mukaan ole peräisin sivukivialueelta, koska näissä pisteissä veden sähkönjohtavuudet ovat reilusti yli kymmenen kertaa pienempiä kuin muissa mittauspisteissä. Sivukivialueen vaikutukset eivät tulosten valossa kohdistu sivukivialueen luoteispuolelle. Sivukivialueen eteläpuolisella tulvivalla alueella sivukivialueen vaikutus ei tulosten valossa yllä merkittävästi puustovaurioituneen alueen ulkopuolelle.

Taulukko 5. Sivukivialueen pintavesipisteiden YSI-mittauksien tulokset 13.5.2019.

Näytepiste	°C	pH	Liennut happi mg/l	Johtokyky mS/m	muuta
P1	6,1	3,84	3,3	95	Suoto-ojan alku, Näyte, väh, virtaus 0,1 l/s
P2	8,1	4,12	12,34	74,2	Oja ennen kosteikkoallasta, Näyte
P3	11,6	3,67	10,42	67,5	Sivukivialueen vierestä tulviva alue
P4	6,1	4,67	6,53	5,01	Painanne metsässä tulva-alueen reunassa
P5	16,6	3,9	8,67	125,8	Ylivuotoallas
P6	11,4	6,04	3,29	174,4	Porareiästä pulppuava vesi, Näyte
P7	4,8	5,63	8,95	2,02	Painanne sivukivialueen luoteispuolella

Taulukossa 6 on esitetty kooste avolouhoksen koillispuolella sijaitsevien porareikien vierustan ja porareiästä pulppuavan veden (piste P5/P6) kenttä- ja laboratorioanalyysituloksista vuosilta 2014, 2017 ja 2019.

Taulukko 6. Avolouhoksen vuotoaltaasta (porareiästä tai sen vierestä) tehtyjen analyysien tuloskooste

	Yksikkö	13.5.2019	7.8.2017	27.8.2014
LABORATORIOANALYYSIT:				
Sulfaatti	mg/l	1 100	1 700	2 100
Rauta	µg/l		360 000	320 000
Rauta liuk.	µg/l	210 000		
Kupari liuk.	µg/l	91		
Kupari	µg/l		0,26	37
Sinkki liuk.	µg/l	110		
Kadmium liuk.	µg/l	0,46		
Lyijy liuk.	µg/l	<0,05		
Nikkeli liuk.	µg/l	1700		
Nikkeli	µg/l		690	1 100
Elohopea liuk.	µg/l	<0,005		
YSI-MITTAUKSET:				
pH		6,04	6,2	5,5
Sähkönjohtavuus	mS/m	174,4	241	269
Happi	mg/l	3,29	0,8	2,7
Lämpötila	°C	11,4	15,7	16,1

Tuloksia tarkastellessa on huomioitava, että toukokuun 2019 mittauskerralla näyte otettiin suoraan yhdestä porareiästä pulppuavasta vedestä. Aiemmillä mittauskerroilla näyte on otettu seisovasta vedestä porareikien ympäriltä. Myös mittauksien ajankohta todennäköisesti vaikuttaa tuloksien eroavaisuuteen.

Porareikien kautta avolouhoksen koillispuoliseen vuotoaltaaseen purkautuvan veden pH on lähellä neutraalia ja vesi on vähähappista sekä nikkeli-, sulfaatti- ja rautapitoista. Porareikien kautta tuleva vesi on ollut laadultaan lähellä avolouhoksen syvänteen vedenlaatua. Lisäksi avolouhoksen pinnasta tulee ajoittain ylivalumaa vuotoaltaaseen. Maastonmuotojen perusteella vuotoaltaasta vedet valuvat pohjoiseen ja imeytyvät suoalueelle. (Ramboll Finland Oy 2015a, 6.)

Taulukossa 7 on esitetty kooste sivukivialueen suoto-ojan alkupäästä (P1) otettujen vesinäytteiden kenttä- ja laboratorioanalyysituloksista vuosilta 2014, 2017 ja 2019.

Taulukko 7. Sivukivialueen suoto-ojan alkuosan (P1) tutkimustulokset vuosina 2019, 2017 ja 2014.

	Yksikkö	13.5.2019	7.8.2017	27.8.2014
LABORATORIOANALYYSIT:				
Sulfaatti	mg/l	400	830	990
Rauta	µg/l		50 000	9 300
Rauta liuk.	µg/l	1 700		
Kupari liuk.	µg/l	400		
Kupari	µg/l		120	280
Sinkki liuk.	µg/l	270		
Kadmium liuk.	µg/l	1,1		
Lyijy liuk.	µg/l	0,22		
Nikkeli liuk.	µg/l	4 600		
Nikkeli	µg/l		11 000	12 000
Elohopea liuk.	µg/l	<0,005		
YSI-MITTAUKSET:				
pH		3,84	4,3	3,4
Sähkönjohtavuus	mS/m	95	131,4	134
Happi	mg/l	3,3	0,1	2,4
Redox	mV	-	308	380
Lämpötila	°C	6,1	12,1	13,1

Kolmen yksittäisen mittauksen perusteella ei voida esittää pitkälle meneviä johtopäätöksiä veden laadun kehittymisestä. Vuonna 2019 laboratorioissa määritettiin metallien liukoiset pitoisuudet, kun taas aiemmin on analysoitu kokonaispitoisuudet. Aiemmat mittaukset on suoritettu elokuussa ja vuonna 2019 mittaukset suoritettiin toukokuun alkupuolella, mikä voi selittää erot veden laadussa.

Mittauksista voidaan päätellä, että sivukivialueelta purkautuvat vedet ovat pääasiassa happamia ja sisältävät korkeita rauta- ja nikkelpitoisuuksia. Sivukivialueelta valuu vesiä sekä itään että etelään. Etelään suotautuvat vedet imeytyvät maastoon tulvivalla metsäalueella. Idässä sivukivialueen

helmoista suotautuva vesi kulkeutuu ojia pitkin vanhaan heinittyneeseen jälkiselkeytsaltaaseen (kosteikko) tai imeytyy jo sitä ennen maaperään. Kosteikkoaltaaseen johtavassa ojassa sekä tulvivalla metsäalueella vesi on hapekasta, koska siihen pääsee liukenemaan ilmasta happea. Kosteikkoaltaaseen laskevassa ojassa vesi on hyvin hapanta ja nikkeli- ja kuparipitoisuudet ovat korkeat. (Ramboll Finland 2015a, 7 – 8.)

Maastossa toukokuussa 2019 havaittujen painanteiden (pisteet P4 ja P7) vesi ei tulosten mukaan ole peräisin sivukivialueelta, koska näissä pisteissä veden sähkönjohtavuudet ovat alle kymmenesosan verrattuna muiden pisteiden sähkönjohtavuuksiin. Sivukivialueen vaikutukset eivät tulosten valossa kohdistu sivukivialueen luoteispuolelle. Sivukivialueen eteläpuolisella tulvivalla alueella sivukivialueen vaikutus ei tulosten valossa yllä merkittävästi puustovaurioituneen alueen ulkopuolelle.

6.3 Mursketestauksien tulokset ja niiden tulkinta

Murskenäytteistä tehtyjen metallien kokonaispitoisuusanalyysien tulokset on esitetty taulukossa 8 ja liukoisuustestauksiin käytetystä louhosvedestä tehtyjen analyysien tulokset on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 8. Murskenäytteiden kokonaispitoisuusanalyysien tulokset.

Määrittäminen	Yksikkö	Kasa 1 pinta	Kasa 1 syvä
Uraani	mg/kg ka	1,3	1,9
Seleeni	mg/kg ka	1,8	1,5
Sinkki	mg/kg ka	90	130
Vanadiini	mg/kg ka	120	100
Antimoni	mg/kg ka	0,11	<0,1
Rikki	g/kg ka	21	21
Lyijy	mg/kg ka	8,8	8,7
Nikkeli	mg/kg ka	740	540
Molybdeeni	mg/kg ka	3	2,6
Rauta	g/kg ka	89	88
Kupari	mg/kg ka	360	500
Kromi	mg/kg ka	220	230
Kadmium	mg / kg ka	0,16	0,31
Barium	mg/kg ka	240	230
Arseeni	mg/kg ka	9,7	12
Elohopea	mg/kg ka	<0,005	0,005
Kosteus	%	0,91	1,1

Taulukko 9. Liukoisuustestaukseen käytetyn louhosveden analyysitulokset

Määrittäminen	Yksikkö	Kaivosvesi 2.4.2019	Kaivosvesi 23.5.2019
*Uraani	µg/l	5,1	5,7
*Barium	µg/l	17	17
*pH		3,6	3,6
*Sähkönjohtavuus	mS/m	125	127
*Sulfaatti	mg/l	700	700
*Rauta	µg/l	2700	2500
*Antimoni	µg/l	<0,3	<0,3
*Arseeni	µg/l	0,6	0,65
*Lyijy	µg/l	0,94	0,98
*Kadmium	µg/l	0,4	0,4
*Sinkki	µg/l	350	350
*Nikkeli	µg/l	4400	3900
*Kupari	µg/l	71	78
*Kromi	µg/l	<1	1
*Molybdeeni	µg/l	<0,2	<0,2
*Seleen	µg/l	<0,2	<0,2
*Elohopea, Hg	µg/l	<0,005	<0,005

Taulukoissa 10 ja 11 on esitetty koosteet murskenäytteiden liukoisuustestausten tuloksista. Tuloksista on vähennetty louhosveden lähtöpitoisuudet (taulukossa 9 esitettyjen analyysitulosten keskiarvot).

Taulukko 10. Kooste näytteen KASA 1 pinta liukoisuustestauksen tuloksista. Tulokset edustavat murskenäytteistä liuenneita pitoisuuksi. Liuksen lähtöpitoisuudet on vähennetty kokonaisliukoisuuksista.

	Yksikkö	Fraktio 1 L/S 0,1	Fraktio 2 L/S 0,2	Fraktio 3 L/S 0,5	Fraktio 4 L/S 1	Fraktio 5 L/S 2	Fraktio 6 L/S 5	Fraktio 7 L/S 10	Fraktio 8 L/S 15
pH		3,8	3,8	3,6	3,8	3,8	3,5	3,5	3,5
Sähkönjoht	mS/m	146	160	150	135	132	134	133	134
Sulfaatti	mg/l	160	250	130	80	60	20	10	20
Uraani	µg/l	10,6	14,6	9,6	4,5	1,4	-0,4	-0,4	-0,6
Barium	µg/l	123	59	30	21	13	5	1	-2
Rauta	µg/l	9 400	20 400	18 400	18 400	16 400	2 800	-400	-1 100
Antimoni	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Arseeni	µg/l	2,78	2,98	2,18	0,88	0,68	0,36	0,19	0,2
Lyijy	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Kadmium	µg/l	2,9	4	2,2	1	0,37	0,05	-0,02	-0,1
Sinkki	µg/l	520	600	360	300	170	90	40	50
Nikkeli	µg/l	9 900	12 900	7 900	3 500	1 900	550	-50	-50
Kupari	µg/l	840	620	66	-26	-52	-68	-57	-65
Kromi	µg/l	2,8	2,2	< 2	<2	<2	<2	<2	<2
Molybdeen	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Seleeni	µg/l	3,1	4,4	2,2	1,3	<1	<1	<1	<1
Elohopea	µg/l	0,035	0,018	0,011	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Taulukko 11. Kooste näytteen KASA 1 syvä liukoisuustestauksen tuloksista. Tulokset edustavat murskenäytteistä liuenneita pitoisuuksia. liuksen lähtöpitoisuudet on vähennetty kokonaisliukoisuuksista.

	Yksikkö	Fraktio 1 L/S 0,1	Fraktio 2 L/S 0,2	Fraktio 3 L/S 0,5	Fraktio 4 L/S 1	Fraktio 5 L/S 2	Fraktio 6 L/S 5	Fraktio 7 L/S 10	Fraktio 8 L/S 15
pH		3,7	3,6	3,6	3,6	3,6	3,4	3,4	3,5
Sähkönjoht	mS/m	306	339	298	220	165	141	136	131
Sulfaatti	mg/l	1 500	1 900	1 500	800	260	80	30	20
Uraani	µg/l	58	73	64	33	14	5,6	2	1,3
Barium	µg/l	83	49	23	25	13	5	2	-1
Rauta	µg/l	4 800	8 400	7 400	8 400	2 300	-200	-300	-900
Antimoni	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Arseeni	µg/l	4,2	3,9	3,7	1,9	0,7	0,12	-0,1	0,05
Lyijy	µg/l	0	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Kadmium	µg/l	14,6	17,6	12,6	5,6	2	0,57	0,17	0,11
Sinkki	µg/l	1 650	1 850	1 350	650	310	150	50	60
Nikkeli	µg/l	19 900	23 900	18 900	10 900	4 350	950	150	250
Kupari	µg/l	2 300	2 100	335	-17	-57	<-70	<-70	<-70
Kromi	µg/l	9,2	7,9	3,7	<2	<2	<2	<2	<2
Molybdeen	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Seleeni	µg/l	5,3	6,4	3,7	1,6	<1	<1	<1	<1
Elohopea	µg/l	0,05	0,013	0,015	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Tehtyjen liukoisuustestausten tuloksista voidaan havaita, että murskeesta liukenee erityisesti nikkeliä, mutta myös runsaasti rautaa sekä kuparia ja sinkkiä. Rautaa lukuun ottamatta liukoisuudet ovat murskekasan sisäosaa edustaneessa näytteessä selvästi suuremmat, kuin pintaosaa edustaneessa näytteessä. Tämä johtunee siitä, että kasan pintakerros on ollut alltiina vedelle ja ilmalle, jolloin on

tapahtunut sulfidikiven hapettumista, rapautumista, sulfaatin ja metallien liukenemista ja pintavalunnan mukana kulkeutumista ympäristöön. Kasan sisäosan materiaali ei ole ollut yhtä paljon kosketuksissa veden ja hapen kanssa, jolloin kiviaineksen rapautuminen ei ole yhtä pitkällä ja haitta-aineita ei ole päässyt samassa määrin liukenemaan.

Molempien näytteiden liukoisuustestaustuloksissa on havaittavissa selvä liukoisuuksien lasku fraktion 5 (L/S 2) jälkeen. Tämän perusteella murskeen sen hetkessä tilassa herkkäliukoisin aines lähtee liikkeelle, kun murskeainekseen nähden kaksinkertainen vesimäärä läpäisee materiaalin. Tämän jälkeen liukoisuus alenee huomattavasti. Testaus ei kuitenkaan kerro haitta-aineiden mahdollista pitkäaikaista liukenemista, joka aiheutuu tilanteessa, jossa kiviaineksen rapautuminen jatkuu. Testauksen viimeisimpien fraktioiden aikana nikkelin, kuparin ja raudan pitoisuudet vedessä alenivat alemmalle tasolle kuin mitä alkuperäisessä louhosvedessä oli. Tämän arvioidaan johtuvan analytiikan mit-tausepävarmuudesta ja /tai metallien saostumisesta kolonniin. Taulukoissa 12 ja 13 on esitetty eri alkuaineiden liuenneiden pitoisuuksien osuus murskenäytteiden kokonaispitoisuuksista. Liuennut kokonaisuus on laskettu summaamalla yhteen liukoisuustestauksien eri fraktioissa liuenneet pitoisuudet (taulukot 10 ja 11).

Taulukko 12. Liuenneiden pitoisuuksien osuudet kokonaispitoisuuksista näytteessä Kasa 1 pinta.

	Kokonaispitoisuus mg/kg	Liuennut kokonaisuus mg	Liennut osuus %	Liukenematon osuus %
Uraani	1,3	0,04	3,02	96,98
Barium	240	0,25	0,10	99,90
Rauta	89000	84,30	0,09	99,91
Arseeni	9,7	0,01	0,11	99,89
Lyijy	8,8	0,00	0,00	100,00
Kadmium	0,16	0,01	6,50	93,50
Sinkki	90	2,13	2,37	97,63
Nikkeli	740	36,55	4,94	95,06
Kupari	360	1,26	0,35	99,65
Kromi	220	0,01	0,00	100,00
Molybdeeni	3	0,00	0,00	100,00
Seleeni	1,8	0,01	0,61	99,39

Taulukko 13. Liuenneiden pitoisuuksien osuudet kokonaispitoisuuksista näytteessä Kasa 1 syvä.

	Kokonaispitoisuus mg/kg	Liennut kokonaismäärä mg	Liennut osuus %	Liukenematon osuus %
Uraani	1,9	0,25	13,21	86,79
Barium	230	0,20	0,09	99,91
Rauta	88000	29,90	0,03	99,97
Arseeni	12	0,01	0,12	99,88
Lyijy	8,7	0,00	0,00	100,00
Kadmium	0,31	0,05	17,18	82,82
Sinkki	130	6,07	4,67	95,33
Nikkeli	540	79,30	14,69	85,31
Kupari	500	4,66	0,93	99,07
Kromi	230	0,02	0,01	99,99
Molybdeeni	2,6	0,00	0,00	100,00
Seeleni	1,5	0,02	1,13	98,87

Tulosten perusteella voidaan todeta, että murskeen sisältämistä haitta-aineista pääosin vain pieniosa liukeni kaivosveteen testijakson aikana. Suhteellisesti eniten murskeesta liukeni kadmiumia, uraania ja nikkeliä molemmissa näytteissä. Kasan sisäosaa edustaneessa näytteessä liuenneet määrät olivat kokonaispitoisuuksiin verrattuina suhteellisesti suuremmat, johtuen todennäköisesti siitä aiemmin mainitusta seikasta, että kyseinen aines ei toistaiseksi ole ollut pintakerroksen veroisesti alttiina sadevesien ja hapen rapauttavalle vaikutukselle.

6.4 Epävarmuustarkastelu

Kaikki Särkiniemen kaivosalueella tehdyt mittaukset lukuun ottamatta kahta mittauskertaa on suoritettu kesäkuun ja elokuun välillä, mikä heikentää tulosten yleistämistä koko vuotta koskeviksi. Esimerkiksi tulosten perusteella ei voi luotettavasti arvioida avolouhoksen olosuhteissa talviaikaan mahdollisesti tapahtuvaa vaihtelua. Tarkkaa tietoa ei myöskään ole avolouhoksen kerrostuneisuuden vuosien välisestä vaihtelusta eikä siitä, minkä verran eri kerrokset sekoittuvat vuosittain voimakkuudeltaan vaihtelevien täyskiertojen seurauksena. Lisätietoa talvikerrostuneisuudesta saataisiin mittamalla syvyysprofiili syyskierron aikana tai välittömästi sen jälkeen loka-marraskuussa.

Avolouhokseen mahdollisesti vettä syöttäviä ruhjeita ei tunneta eikä täysin louhoksen muitakaan vedenalaisia olosuhteita. Esimerkkinä tästä on avolouhoksen vedessä 15 - 16 metrin syvyydessä tapahtuva pieni liuenneen hapen määrän ja lämpötilan nousu. Ei voida varmuudella sanoa johtuuko se mahdollisesti hapekkaasta vedestä, jota purkautuu louhokseen ruhjeen kautta. Kyseinen ilmiö toistuu vuosittain tehdyissä mittauksissa aikaan, jolloin valumavesiä oletettavastikin ruhjeissa liikkuu. Avolouhoksesta purkautuvien vesien määrää ja vesien purkautumisreitit vesistöön ei tunneta.

Sivukivialueen epävarmuustekijöihin kuuluvat suotoveden vedenlaatutietojen vähäisyys ja tiedon puute siitä, mikä osa sivukivialueelta tulevasta kuormituksesta pidättyy ympäristöön ennen vesistöön pääymistä. Sivukivialueelta suotautuvien vesien kaikkia purkautumisreitit ei tiedetä täysin.

Murskeiden osalta ei onnistuneista testeistä huolimatta ole täyttä varmuutta, kuinka murske käyttäytyisi, jos se sijoitetaan avolouhokseen. Vuoden 2019 testaukset on tehty ainoastaan kasan 1 näytteille, joskin aikaisemmassa vuoden 2015 tutkimuksissa erot kasojen kokonaispitoisuuksissa olivat vähäisiä, joten tähän liittyvä epävarmuus arvioidaan pieneksi. Tehdyt liukoisuustestaukset eivät täysin kuvasta haitta-aineiden pitkäaikaista liukoisuuspotentiaalia, sillä testaus ei tunnista kiviaineksen pitkän ajan rapautumista ja siitä aiheutuvaa haitta-aineiden liukenemistä.

7 SÄRKINIEMEN KAIVOKSEN AVOLOUHOSVEDEN KÄSITTELYTESTAUS

7.1 Kaivoksen jälkihoidon periaatteet sekä kenttätestauksen tarkoitus

Olemassa olevan aineiston perusteella alueen merkittävimmät kuormittajat ovat varastossa olevat murskekatat sekä sivukivialue. Ympäristöön kohdistuvan kuormituksen olennaiseksi vähentämiseksi alueen jälkihoidotoimenpiteeksi on suunniteltu alueella varastoituna olevien sivukivimurskeiden sekä murskevarastokentällä sekä avolouhoksen ympärillä olevan vastaavan kiviaineksen sijoittamista vedenpinnan alapuolelle hapettomiin olosuhteisiin, jossa aineksen rapautuminen ei pääse etenemään ja haitta-aineiden liukoisuudet pysyvät alhaisina. Tarvittaessa murskeita käsitellään ja/tai sijoitetaan louhokseen yhdessä neutraloivien materiaalien kanssa. Sivukivialueelta vanhaan jälkiselkeytysaltaaseen johtava oja tukitaan ja sivukivialueen vedet johdetaan uusilla ojalinjoilla tai pengerryksillä avolouhokseen, josta vedet puretaan hallitusti käsiteltyin kohti Arkkuselkää. Näillä toimenpiteillä kaivosalueen kokonaiskuormituksessa arvioidaan saavutettavan olennaisesti nykytasoa parempi tilanne.

Kenttäkokeen tarkoituksena on selvittää eräiden jätemateriaalien soveltuvuus avolouhoksen happaman ja metallipitoisen veden käsittelyyn. Testattavat materiaalit ovat lentotuhka, jätebetoni sekä niiden seos, joita testataan materiaalin läpi johdettavan veden puhdistukseen. Lisäksi testataan lentotuhkan soveltuvuutta seisovan veden neutralointiin, mikäli sivukivimurskeet tullaan sijoittamaan avolouhokseen. tulee avolouhoksen vedenpintaa laskea reilusti. Muuten murskeet nostaisivat vedenpintaa ja aiheuttaisivat veden runsasta virtausta pois altaasta.

7.2 Testattavien materiaalien aiemmat tutkimukset

7.2.1 Reduktio-testaus

Lassila & Tikanoja on suorittanut aikaisemmin laboratoriossa Särkiniemen kaivoksen louhosvedelle reduktio-testauksen, jossa testattiin erilaisten materiaalien kykyä saostaa louhosvedestä nikkeliä, sulfaattia, rautaa ja kuparia. Testattavina materiaaleina olivat alumiini, pii, kipsi, lentotuhka sekä betonimurska. Testattavista materiaaleista alumiini ja pii ovat yleisesti käytettäviä materiaaleja, kun vedestä halutaan saostaa metalleja. Sen sijaan kipsi, lentotuhka ja betonimurska ovat emäksisiä aineita ja niin sanottuja jätemateriaaleja, joille pyritään löytämään kiertotaloudellisia käyttökohteita. Testauksessa louhosvedestä on määritetty metalli- ja sulfaattipitoisuudet sekä pH lähtötilanteessa. Tämän jälkeen louhosveteen on sekoitettu saostavaa materiaalia. Myöhemmin reaktion jälkeen louhosvedestä on määritetty uudestaan metalli- ja sulfaattipitoisuudet sekä veden pH. Alla olevassa taulukossa (taulukko 14) on esitetty louhosveden reduktio-testauksen tulokset.

Taulukko 14. Kaivosveden nikkeli-, kupari-, rauta- ja sulfaattipitoisuus ennen ja jälkeen reduktiotes-
tausten.

Nikkelin reduktiotestaus						
	kaivosvesi	Al-saostus	Si-saostus	kipsisaostus	tuhkasaostus	betonisaostus
Ni (ug/l)	4296	526	2616	4256	937	2176
reduktio (%)		87,8	39,1	0,9	78,2	49,3
pH-arvo	3,5	7,1	7,4	3,7	8,7	7,8
Kuparin reduktiotestaus						
	kaivosvesi	Al-saostus	Si-saostus	kipsisaostus	tuhkasaostus	betonisaostus
Cu (ug/l)	90	14	10	137	10	10
reduktio (%)		84,4	88,9	-52,2	88,9	88,9
pH-arvo	3,5	7,1	7,4	3,7	8,7	7,8
Raudan reduktiotestaus						
	kaivosvesi	Al-saostus	Si-saostus	kipsisaostus	tuhkasaostus	betonisaostus
Fe (ug/l)	3123	20	20	37	20	20
reduktio (%)		99,4	99,4	98,8	99,4	99,4
pH-arvo	3,5	7,1	7,4	3,7	8,7	7,8
Sulfaatin reduktiotestaus						
	kaivosvesi	Al-saostus	Si-saostus	kipsisaostus	tuhkasaostus	betonisaostus
SO4 (mg/l)	690	2100	840	1800	880	680
reduktio (%)		-204,3	-21,7	-160,9	-27,5	1,4
pH-arvo	3,5	7,1	7,4	3,7	8,7	7,8

Tuloksissa näkyvät saostustehokkuus sekä pH-arvon vaikutus tuloksiin, sillä molemmat vaikuttavat tuloksiin. Nikkelin osalta tehokkain reduktio on saavutettu alumiinisaostuksella. Myös tuhkasaostuksella on päästy lähes 80 % reduktioon nikkelin osalta. Kipsisaostus on vähentänyt kaivosveden nikkeli-
pitoisuutta alle yhden prosentin, syynä tähän on erityisen matala pH, sillä pH:n ollessa matala kasvaa myös haitta-ainemetallien liukoisuus. Kuparin saostuminen on tuloksien perusteella erittäin pH-riippuvaista. Reduktio on lähes 90 %, kun pH on yli 7,4. Rauta saostui hyvin kaikilla testatuilla materiaaleilla. Millään materiaalilla ei ollut kykyä pidättää sulfaattia. Betonia lukuun ottamatta ai-
neet sisältävät itsessään liukoista sulfaattia, joka näkyy sulfaattipitoisuuden nousuna. Erityisesti alu-
miini- ja kipsisaostus lisäävät liukoisen sulfaatin määrää.

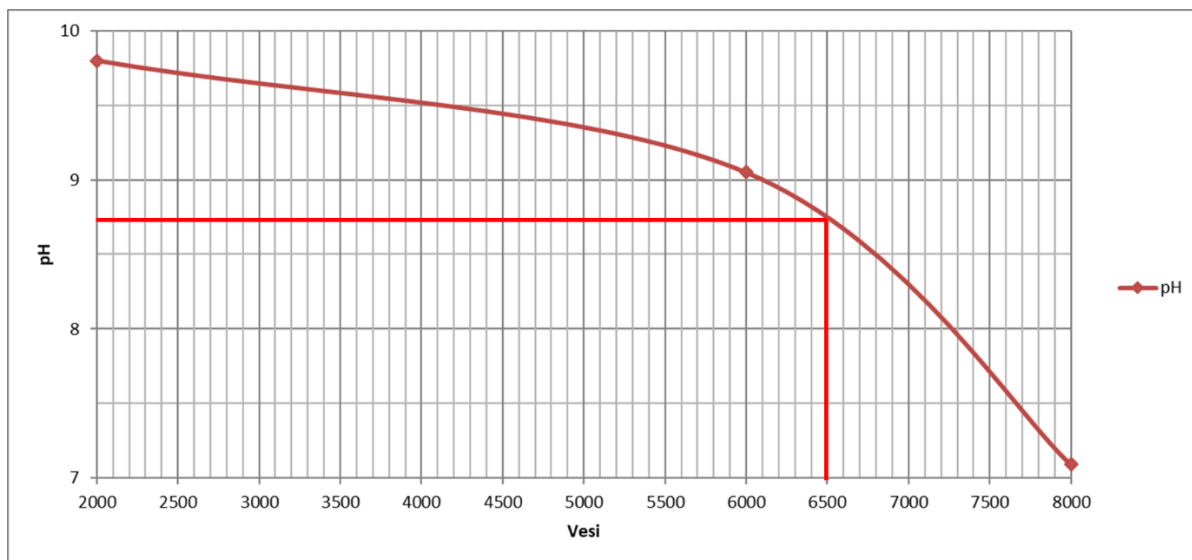
Näiden testauksien perusteella valittiin kaksi menetelmää tarkempaan neutralointitestaukseen. Neut-
ralointitesteihin valittiin lentotuhka ja betoni. Betoni itsessään ei ollut tehokkain reduktiossa esimer-

kiksi nikkelin kohdalla, mutta betoni on halvempi vaihtoehto louhosvesien neutralointiin suurem-
massa mittakaavassa kuin alumiinisaostus. Betoni ei myöskään nosta veden sulfaattipitoisuutta toi-
sin kuin esimerkiksi alumiini- ja piisaostus.

7.2.2 Neutralointi betonimurskalla ja lentotuhkalla

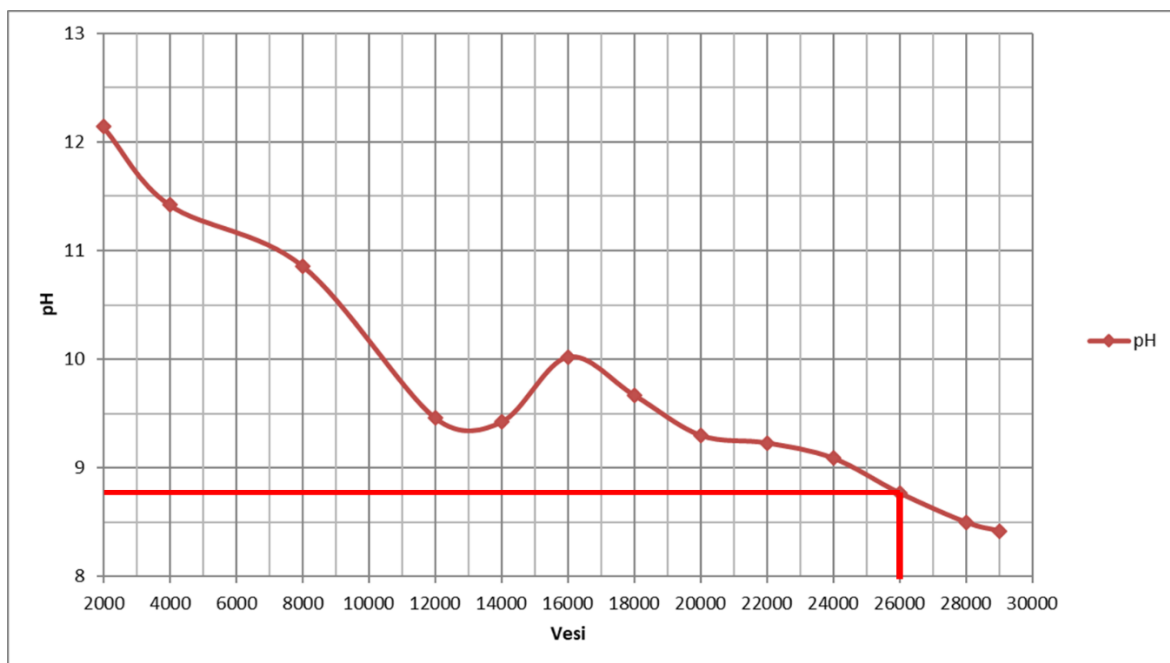
Avolouhoksen neutralointitestauksessa testattiin betonimurskeen ja lentotuhkan neutraloivaa vaiku-
tusta kaivosveteen. Testauksessa 25 g betonimurskeeseen lisättiin Särkiniemen kaivosvettä. Veden
pH:ta tarkkailtiin jatkuvalla mittauksella. Tavoitteena oli saavuttaa pH arvo 8,7. Neutraloinnin tulok-
sista laadittiin kuvan 14 mukainen kuvaaja. Kuvaajassa on esitettyä pH:n muutos, kun betonimurs-
keeseen lisätään Särkiniemen kaivosvettä. Kuvaajasta huomataan, että 25 g käytettyä betonimurs-
kaa riittää neutraloimaan (pH noin 8,7) 6,5 litraa kaivosvettä.

Kuva 14. Betonimurskeen ja veden pH:n muutos, kun 25 grammaan betonimursketta lisättiin Särki-
niemen avolouhoksen vettä.



Lisäksi kaivosvettä neutraloitiin Stora Enson Varkauden K6 -lentotuhkalla. 50 grammaan lentotuhkaa
lisättiin Särkiniemen kaivosvettä, jolloin pH:n muutoksesta saatiin kuvan 14 mukainen kuvaaja. Ku-
vaajan perusteella 50 grammaa K6 -lentotuhkaa riittää neutraloimaan (pH 8,77) 26 litraa kaivosvettä
(kuva 15).

Testauksissa käytettävä menetelmä ei ole noudattanut mitään standardia, vaan sillä on saatu selville
alustavia tietoja kyseisten materiaalien neutralointipotentiaalista, joita hyödynnettiin muun muassa
kenttätestauksen suunnittelussa.



Kuva 15 Lentotuhkan ja veden seoksen pH:n muutos, kun 50 grammaan lentotuhkaa sekoitettiin Särkiniemen kaivosvettä.

Taulukossa 15 on esitetty neutralointikokeista laadittujen kuvaajien tulosten perusteella kuinka paljon kaivosvettä (m³) pystytään neutraloimaan, kun tuhkaa ja betonimursketta on 1000 kg. Edellä määritetyn tuloksen perusteella voidaan laskea myös materiaalmäärä, joka tarvitaan neutraloimaan koko avolouhoksen vesitilavuus. Stora Enson lentotuhkaa tarvitaan 143,2 tonnia, joka vastaa noin kahta säiliöautollista tuhkaa. Betonimurskaa tarvitaan noin kaksi kertaa lentotuhkaa enemmän. Tässä työssä tehtävässä louhosveden neutralointitestissä neutralointi tehdään 1000 litran IBC-astioissa, jolloin tarvittava lentotuhkan määrä edelleen testien mukaan noin 2 kg, jotta saavutetaan testauksessa aiempien testauksien mukainen pH 8.7.

Taulukko 15. Tarvittavat materiaalmäärät avolouhoksen veden sekä IBC-astian (1000 l) veden neutralointiin.

	Lentotuhka	Betonimurske
Testattu määrä (g)	50	25
Vesimäärä (l)	26	6,5
vesimäärä (m3), kun 1000kg materiaalia	520	260
Avolouhoksen tilavuus (m3)	74 450	74 450
Avolouhoksen neutralointiin tarvittava määrä (tonnia)	143,2	286,3
1000 litraan vettä tarvittava materiaalmäärä (kg)	1,92	3,85

Neutralointikokeiden tulosten ja materiaalien laskennallisten tiheyksien avulla pystyttiin määrittämään materiaalmäärä (kg), joka konteissa on, kun tilavuudesta $\frac{3}{4}$ on täytetty. Tiedossa olevan neutralointipotentiaalın ja massan avulla saatiin määritettyä vesimäärä, joka konteista voitaisiin johtaa lävitse, jotta pH pysyisi edelleen halutulla tasolla. Viikon aikana lentotuhkakontista pystyisi johta-

maan noin 500 m³ vettä lävitse, niin että pH pysyisi likimain arvossa 8,7 ja vastaavasti betonimurskakontista noin 510 m³ vettä. Jos vesimäärä jaettaisiin tasan vuorokausille, tarkoittaisi se noin 3 m³/h virtaamaa kontista.

7.3 Kenttätestauksen käytännön järjestelyt

7.3.1 Testattavat materiaalit ja niiden arvioidut määrät

Kenttätestauksissa alueelle asennettiin neljä 1000 litran IBC-konttia, joista kolme konttia täytettiin noin 75 prosenttisesti testattavalla materiaalilla. Testattavia materiaaleja olivat lentotuhka, betonimurska sekä edellä mainittujen materiaalien sekoitus, jossa konttiin sekoitettiin noin 10-15 senttimetrin paksuin kerroksin lentotuhkaa ja betonimurskaa vuoron perään. Yhteensä neljänteen konttiin tuli kaksi kerrosta lentotuhkaa sekä kaksi kerrosta betonimurskaa. Neljäs kontti täytettiin täyteen avolouhoksen vedellä, johon sekoitettiin lentotuhkaa neutralointiin tarvittava laskennallinen määrä. Tarvittava lentotuhkamäärä on saatu laskettua aikaisemman neutralointitestauksen tulosten perusteella, jossa 50 grammaa lentotuhkaa riitti neutraloimaan (pH 8,7) 26 litraa Särkiniemen kaivosvettä, jolloin voitiin laskea, että noin 2 kg riittää neutraloimaan 1000 litraa kaivosvettä. Muiden kolmen testattavan kontin materiaalimäärät laskettiin materiaalien tiheyksien ja tilavuuden avulla. Testaukseen tarvittavat materiaalimäärät ovat esitettyinä taulukossa 16.

Taulukko 16. Vesienkäsittelytestaukseen tarvittavat materiaalimäärät.

Kenttätestaukset	Betonimurska (kg)	Lentotuhka (kg)
Kontti 1.Lentotuhka	-	1050
Kontti 2.Betonimurska	noin 2000kg	-
Kontti 3.sekoitus	noin 1350kg	350
Kontti 4.Vesi+tuhka	-	2
Yhteensä	3350	1402

Testaukseen tarvittava betonimurska hankittiin L&T Oyj:ltä Riikinnevan jätelaitokselta Varkaudesta ja lentotuhka Stora Enson Varkauden tehtaalta. Betonimurskaa murskattiin pienempään raekokoon testausta varten (raekoko noin 30 - 40 mm).

7.3.2 Pilotointilaitteisto

Vesienkäsittelytestaus tehtiin neljässä erillisessä 1000 litran IBC-kontissa, joista kolme modifioitiin testaukseen sopivaksi. Ennen testauksen aloittamista konttien yläreuna avattiin kokonaan, jotta materiaalit saataisiin asennettua helposti kaivinkoneella kontteihin. Samassa yhteydessä konttien muovipohja poistettiin lähes kokonaan, jotta varmistuttiin, että vettä poistuu kontista koko pohjan alalta, jolloin vältyttäisiin paremmin mahdolliselta kontissa tapahtuvalta tulvimiselta. Koska kontin pohja avattiin lähes kokonaan, asennettiin kontin pohjalle teräsverkkoa, jonka tarkoituksena oli vahvistaa

pohjaa, jotta se kestäisi päällä olevan materiaalin massan. Lisäksi teräsverkon päälle asennettiin kerros suodatinkangasta, jotta välttyttiin hienomman materiaalin karkaamiselta kontista (kuva 16).

Tämän jälkeen kontit asennettiin mahdollisimman tasaiselle maaperälle, jotta välttäisiin veden kerääntymiseltä johonkin nurkkaan kontissa. Kolmen kontin alle asennettiin kevytpeitteet, joita pitkin vesi poistui kontin alaosaan hallitusti kohti kaivettua poistouomaa. Vesien koottu poistaminen mahdollisti kenttämittauksien tekemisen sekä näytteenoton. Lopulta vedet johdettiin alapuoliseen maastoon purkuojaa pitkin, jotta mahdollinen veden takaisinvirtaus louhokseen estettäisiin ja näin välttäisiin tuloksien vääristymältä. Kuvassa 17 näkyvät valmiit käsittelykontit, joissa on materiaalit sisällä sekä kaivinkoneella kaivettu käsiteltyjen vesien poistouoma.



Kuva 16. Modifioitu kontinpohja, jota vahvistettu teräsverkolla sekä päälle on asennettu suodatinkangas. (Leskinen 2019-10-31.)



Kuva 17. Valmiit käsittelykontit ja vesien poistouoma (Leskinen 2019-10-31.)

Kontteihin pumpattiin kuvassa 16 taustalla näkyvän avolouhoksen pintavettä, koska aikaisempien tutkimusten perusteella avolouhoksen pintavedessä esiintyvät suurimmat metallipitoisuudet sekä alhaisin pH. Lisäksi mikäli avolouhoksen vedenpintaan joudutaan laskemaan, poistetaan vettä todennäköisimmin avolouhoksen pintakerroksesta. Kontteihin vesi pumpattiin kolmella uppopumpulla, joiden virtausta saatiin säädelyä letkun päähän asennetulla palloventtiilillä. Pumput kiinnitettiin kiinni Styrox-levyihin, jotta pumppujen vajoaminen louhoksen pohjalle saatiin estettyä.

Jotta vesi saatiin tulemaan suoraan ylhäältä päin kontteihin sisään, rakennettiin paikan päällä erilliset telineet, joihin vesiletkut saatiin kiinnitettyä ja vesi virtaamaan suoraan ylhäältä päin kontteihin (kuva 18). Lisäksi kaikkiin kontteihin asennettiin päälle metallilevyt, joissa oli pieniä reikiä. Näiden avulla ylhäältä päin tuleva vesi jakautui tasaisemmin materiaalin pintaan. Testauksen aikana pumpuille tarvittava sähkövirta tuotettiin paikan päälle tuodun aggregaatin avulla. Neljännessä kontista avattiin ainoastaan yläreuna ja sinne pumpattiin noin 1000 litraa vettä. Konttiin punnittiin tarvittava määrä lentotuhkaa, joka kaadettiin konttiin ja sekoitettiin veden kanssa.



Kuva 18. Telineiden avulla vesi saatiin pumpattua kontteihin suoraan ylhäältä päin (Leskinen 2019-10-31.)

7.3.3 Kenttämittaukset ja näytteenotto

Ennen käsittelyn aloittamista lähtötilanteen dokumentoimiseksi avolouhoksen pintavedestä tehtiin kenttämittaukset YSI Professional DSS -kenttäanalysaattorilla, joissa määritettiin vedestä lämpötila, pH, happipitoisuus, lämpötila sekä sähkönjohtavuus. Lisäksi pintavedestä otettiin vesinäytteet, joista analysoitiin metalli- ja sulfaattipitoisuudet akkreditoidussa laboratoriossa (ALS Finland Oy). Näytteestä analysoitiin liukoisten metallienpitoisuudet standardin SFS-EN ISO 17294-2 mukaisesti ja sulfaattipitoisuus standardin SFS-EN ISO 10304-1 mukaisesti.

Vesien käsittelyä seurattiin pääosin kenttämittauksilla, joilla seurattiin käsittelyyn tulevan ja kustakin käsittelykontista poistuvan veden laatua päivittäin suoritettavin mittauksin. Olennaisimmat kenttämittauksin seurattavat parametrit olivat pH ja sähkönjohtavuus. Lisäksi seurattiin lämpötilaa sekä happipitoisuutta. Käsitellystä vedestä otettiin näytteitä aina kun lähtevän veden laadussa havaittiin kenttämittauksissa tapahtuneen muutoksia, mutta näytteitä otettiin kuitenkin vähintään joka toinen päivä. Lentotuhkakontista sekä lentotuhkan ja betonimurskan sekoituskontista saatiin otettua kuitenkin ainoastaan yhden näytteen testausjakson aikana materiaalin liettymisen takia.

Kontista, jossa avolouhosveteen sekoitettiin tuhkaa, otettiin vesinäyte välittömästi sekoituksen jälkeen sekä sen jälkeen joka toinen päivä. Näytteet otettiin vesikerroksen pintaosasta. Näytteet säilöt-

tiin asianmukaisiin pulloihin ja pidettiin kylmässä. Lopulta testauksen aikaisista näytteistä laboratorioon lähetettiin kaksi betonikontin näytettä, yksi lentotuhkakontin näyte, kolme näytettä kontista, jossa kaivosvedeen sekoitettiin tuhkaa sekä kaksi näytettä avolouhoksen vedestä.

8 VESIENKÄSITTELYN TULOKSET JA NIIDEN TULKINTA

8.1 Lentotuhkakontti

Ensimmäisenä testauspäivänä lentotuhkakontin läpi saatiin johdettua vettä kohtalaisella vedenläpäisevyydellä, sillä viipymä kontissa ei ollut silmämääräisesti kovin suuri. Lentotuhkakonttiin tuleva virtaama määritettiin paikan päällä volymetrisesti viiden mittauksen keskiarvona. Lentotuhkakontin lävitse saatiin käsiteltyä louhosvettä vain yhtenä päivänä, koska testauksen aikana lentotuhkan opti-mivesipitoisuus, joka on tavallisesti noin 20-50 % ylittyi (Tuhkien käyttö maanrakentamisessa – Metsä- ja energiategollisuuden tuhkamateriaalit - RTS 17-56.). Tämä pitoisuuden ylitys sai aikaan lentotuhkan liettymisen, jonka jälkeen lietemäisen lentotuhkan vedenläpäisevyys oli olematon. Taulukossa 17 on esitettyinä konttiin tulevan ja kontista lähtevän veden kenttämittausten tulokset.

Taulukko 17. Lentotuhkakontista saadut kenttämittausten tulokset

	Tuleva vesi	Poistuva vesi	Ero
pH	4,25	11,47	7,22
Sähkönjohtavuus $\mu\text{S}/\text{cm}$	1200	2194	994
Lämpötila $^{\circ}\text{C}$	4,7	3,2	-1,50
happi mg/l	11,72	12,31	0,59

Tuloksista huomataan pH:n voimakas nousu, joka selittyy sillä, että lentotuhkakontissa oli ylimäärin neutralointiin tarvittava määrä lentotuhkaa. Sähkönjohtavuuden suuri kasvu selittyy sillä, että lentotuhka itsessään lisää liukoista sulfaattipitoisuutta. Myös liukoisen kaliumin, natriumin ja kalsiumin pitoisuudet ovat huomattavasti kasvaneet louhosveden normaalitasoon verrattuna.

Tulevassa vedessä oli myös runsaasti lentotuhkan kiintoainesta, koska kontissa oleva suodatinkangas ei kyennyt estämään tuhkan poistumista kontista. Tämä näkyi lähtevässä vedessä tummana sameutena. Volymetrisesti määritetty virtaama, jonka materiaali läpäisi ilman, että vedenpinta kontissa alkoi nousta, oli 0,08 l/s. Kenttättestauspäivinä louhosveden pumppausta suoritettiin noin 7 tuntia päivässä. Tuhkakontissa käsiteltiin näin ollen testauspäivän aikana noin 2 m³ louhosvettä. Aikaisempien neutralointitestausten perusteella laskettiin, että päivän aikana kontissa tulisi käsitellä noin 3 m³/h vettä, jotta neutralointikyky alkaisi laskemaan, mutta lähellekään tällaisia käsittelymääriä ei päästä, koska materiaalin vedenläpäisevyys ei riitä.

Tuhkakontista otetusta vesinäytteestä analysoitiin akkreditoitussa laboratoriossa liukoiset metallipitoisuudet ja sulfaattipitoisuus. Saatuja tuloksia verrattiin avolouhosvedestä määritettyjen liukoisten metallien pitoisuuteen sekä sulfaattipitoisuuteen ja niistä laskettiin aineiden reduktiot prosentteina. Tulokset ovat esitettyinä taulukossa 18. Näytteet, joissa pitoisuus on esitetty pienempi kuin -merkin avulla, alittavat laboratorion määritysrajan.

Taulukko 18. Lentotuhkakontista tulevasta vedestä määritettyjen liukoisten metallien ja sulfaatin pitoisuudet.

Parametri	Yksikkö	Louhos	Lentotuhkakontti	Reduktio %
SO₄	mg/L	623	994	-59,6
Cd	µg/L	0,3595	<0,020	noin 100 %
Cu	µg/L	75,65	<1,0	noin 100 %
Fe	µg/L	1500	<2,0	noin 100 %
Hg	µg/L	0,0053	0,0118	-122,6
Zn	µg/L	307	2	99,3
Ni	µg/L	3525	<2,00	noin 100 %
Pb	µg/L	0,813	<0,500	noin 100 %

Tuloksista huomataan, että lentotuhkakontin lävitse kulkeutuneesta vedestä saostuu kaikki liukoinen nikkeli, kupari, rauta, kadmium ja lyijy pois. Näiden metallien saostuminen onkin hyvin pH riippuvaista, sillä emäksissä olosuhteissa ne saostuvat parhaiten. Sulfaatin osalta voidaan todeta sama tulos kuin aikaisemmassakin neutralointitestauksessa, jonka mukaan lentotuhka materiaalina lisää liukoista sulfaattipitoisuutta. Tämä voitiin todeta myös sähkönjohtavuuden avulla. Liukoinen sulfaattipitoisuus kasvoi noin 60 % verrattuna louhosveden normaalitasoon. Myös liukoisen elohopean määrä vedessä lisääntyi noin 122 %. Tämä johtunee todennäköisesti, siitä että lentotuhka itsessään sisältää jonkin verran elohopeaa ja lentotuhkan osalta kriittisiä liukoisia aineita ovat esimerkiksi elohopea ja kromi.

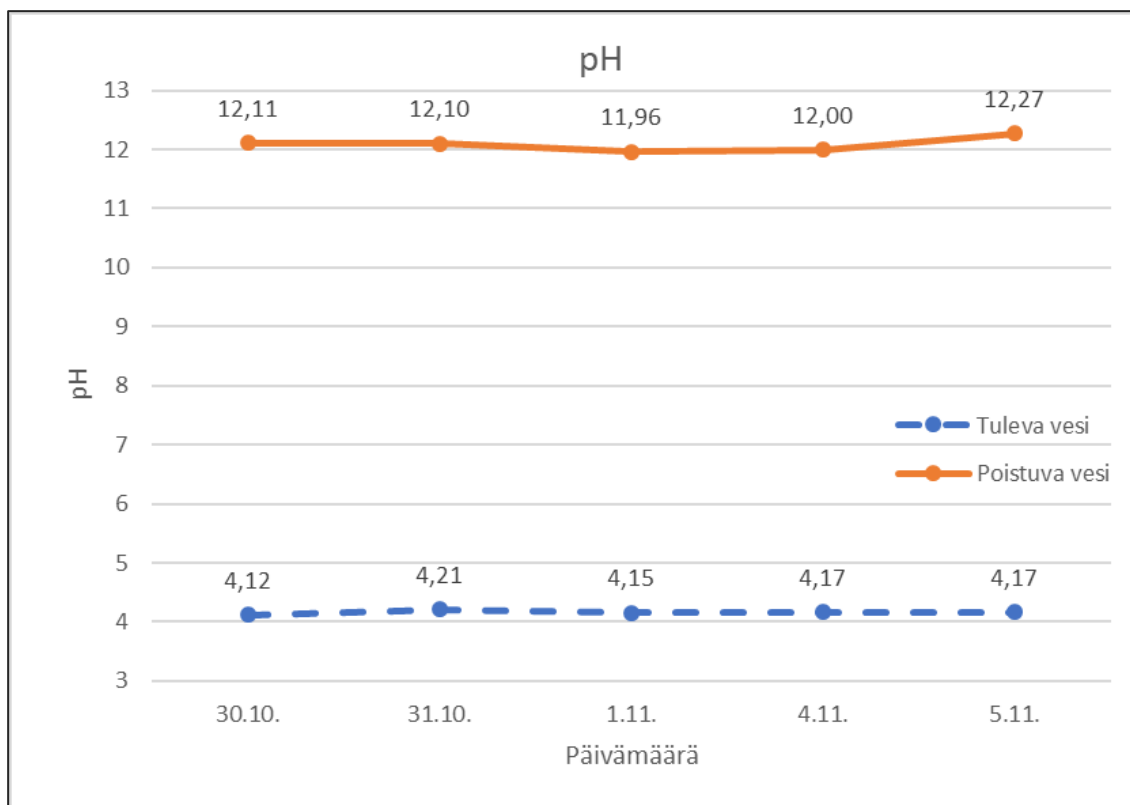
8.2 Betonimurskakontti

Betonimurskakontin lävitse saatiin pumpattua louhosvettä kaikkina viitenä päivänä, jolloin pumpausta saatiin suoritettua. Myös betonikonttiin tulevan veden virtaama määritettiin päivittäin volyymetrisesti. Virtausta jouduttiin säätelemään hieman päivittäin, sillä materiaalin jäätyminen pienensi vedenläpäisevyyttä. Taulukossa 19 on esitettyä virtaamat, jotka jokaisena pumppauspäivänä konttiin saatiin pumpattua ilman havaittavia eroja vedenpinnannoususta. Yhteensä viiden päivän aikana betonimurskakontissa saatiin käsiteltyä noin 21,7 m³ vettä.

Taulukko 19. Päivittäin määritetyt virtaamat, jotka kontissa käsiteltiin

Päivä	Virtaama l/s	m ³ /d (7h)
1	0,22	5,5
2	0,21	5,3
3	0,16	4,0
4	0,16	4,0
5	0,11	2,8
Yhteensä		21,7

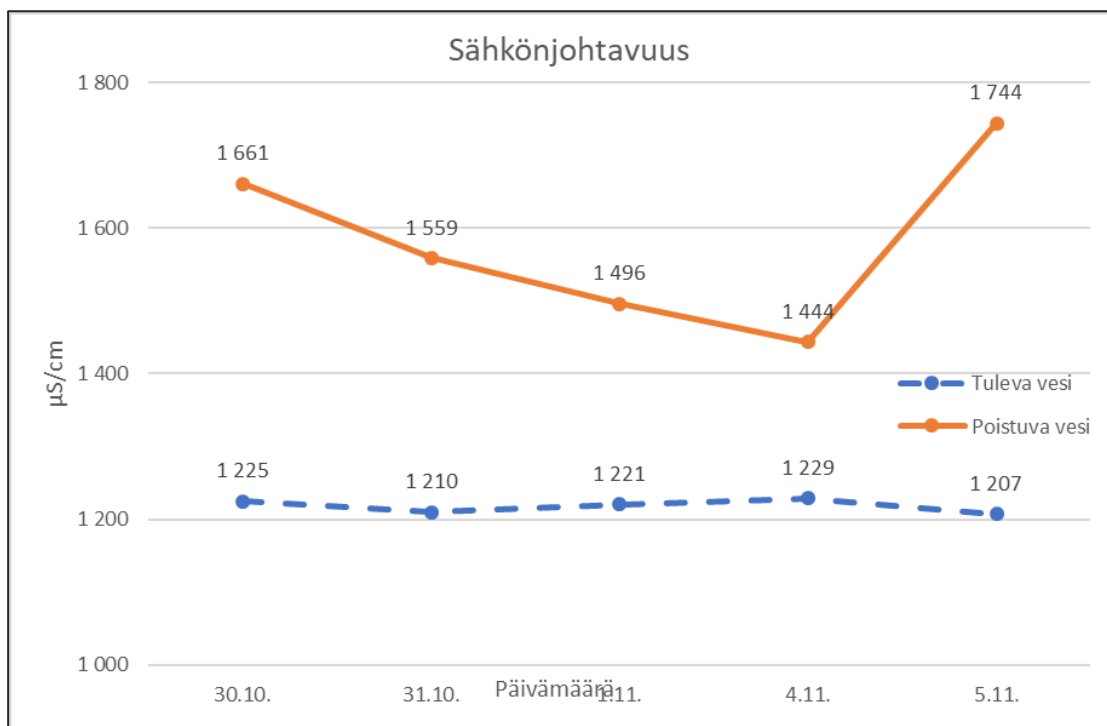
Kontin tulevasta ja lähtevästä vedestä tehtyjen kenttämittauksien pH:n tulokset ovat esitettyinä kuvassa 19.



Kuva 19. Betonimurskakontissa käsitetellyn veden pH:n muutos

Kuvasta voidaan tehdä sama huomio kuin lentotuhkan osalta, jonka mukaan materiaalia oli ylimäärin verrattuna läpivirranneeseen veden määrään nähden, jolloin pH:n muutos oli suuri eikä neutraloivassa potentiaalissa havaittu muutoksia testausjakson aikana.

Kuvassa 20 on esitettyä betonimurskan vaikutus veden sähkönjohtavuuteen. Tuloksista huomataan, että myös betonimurska kohottaa veden jo ennestään korkeaa sähkönjohtavuutta. Laboratoriotulosten perusteella liukoisen kaliumin, natriumin ja kalsiumin pitoisuudet vedessä ovat kasvaneet. Nämä metallit ovat tyypillisiä metalleja, jotka hapettuvat vedessä ja muodostavat positiivisia ioneja eli kationeja. Näiden vaikutuksesta myös veden sähkönjohtavuus kasvaa. Viimeisen päivän näytteessä liukoisen kalsiumin pitoisuus on kasvanut, joka selittää hieman suuremman sähkönjohtavuuden. Aistinvaraisten havaintojen perusteella kontin läpäissyt vesi oli kirkasta eikä siinä esiintynyt vierasperäistä hajua.



Kuva 20. Betonimurskakonttiin tulevan veden ja sieltä lähtevän käsitellyn veden sähkönjohtavuus.

Näytteistä analysoitiin laboratoriossa liukoisten metallien pitoisuudet sekä liukoinen sulfaattipitoisuus. Betonimurskakontista otettiin vesinäytteitä yhteensä neljä kappaletta, joista kaksi lopulta analysoitiin laboratoriossa. Taulukossa 20 on vertailtu näytteiden tuloksia tulevan veden pitoisuuteen.

Taulukko 20. Betonimurskakontin liukoisten metallien ja liukoisen sulfaatin reduktio.

Parametri	Yksikkö	Louhos	Betonikontti Päivä 1.	Reduktio %	Betonikontti Päivä 5.	Reduktio %
SO ₄	mg/L	623	579	7,1	491	21,2
Ni	µg/L	3525	28	99,2	4,33	99,9
Pb	µg/L	0,8	<0,500	Noin 100	<0,500	Noin 100
Cd	µg/L	0,36	<0,020	Noin 100	<0,020	Noin 100
Cu	µg/L	75,7	274	-262,2	49,2	35,0
Fe	µg/L	1500	2,2	99,9	<2,0	100
Hg	µg/L	0,0053	0,0117	-120,75	0,0054	-1,89
Zn	µg/L	307	<2,0	Noin 100	<2,0	Noin 100

Taulukosta huomataan, että liukoisen sulfaatin reduktio on kasvanut testausjakson aikana. Myös liukoista metalleista nikkelin, lyijyn, kadmiumin, raudan ja sinkin reduktiot ovat lähelle 100 %, mikä tarkoittaa, että kyseiset metallit ovat saostuneet kontin lävitse suotautuessaan. Ensimmäisessä näytteessä betonista on liennut kuparia veteen ja pitoisuus on kasvanut noin 260 %, mutta toisessa näytteessä liukoisen kuparin pitoisuus on puolestaan pienentynyt 35 % verrattuna avolouhoksen normaaliin pitoisuuteen. On mahdollista, että kyseinen purkubetoni sisälsi alun perin korkean pitoisuuden kuparia, joka liukeni veteen käsittelyn yhteydessä nopeasti. Lopulta liukoisen kuparin määrä laski, koska kaikki betonin sisältämä kupari oli jo liennut veteen heti testauksen alkuvaiheessa. Suuri muutos liunneen elohopen määrässä selittyy samalla ilmiöllä kuin kuparin kohdalla.

8.3 Lentotuhkan ja betonimurskan sekoituskontti

Lentotuhkan ja betonimurskan sekoituskontissa havaittiin sama ilmiö kuin lentotuhkakontin kohdalla. Vesi meni aluksi siitä läpi koepumppauksien aikana, joita suoritettiin ennen varsinaisia pumppauksia. Kun varsinaiset pumppaukset aloitettiin, oli lentotuhkan vesipitoisuus ylittynyt ja se liejuuntui. Näin ollen materiaalin vedenläpäisevyys oli erittäin huono ja kontista saatiin suoritettua ainoastaan yhden mittauksen ja otettua yksi näyte. Näytettä ei kuitenkaan analysoitu laboratorioissa tarkemmin johtuen veden huonosta laadusta kenttämittauksissa sekä kontin materiaalin huonosta vedenläpäisevyydestä.

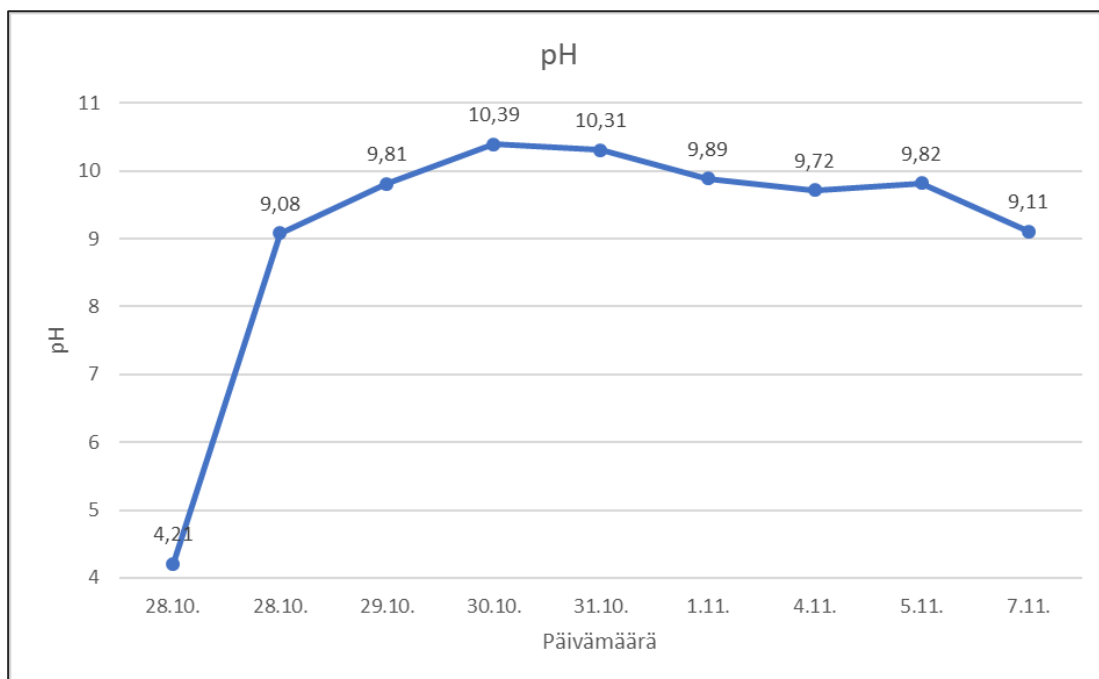
Materiaalin liettymisestä huolimatta kontista tuli hieman vettä ulos. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että lentotuhkan määrä oli huomattavasti pienempi kuin pelkässä lentotuhkakontissa. Mittausten perusteella (taulukko 21) pH oli kontin läpäisseessä vedessä erittäin korkea ja sähkönjohtavuus todella suuri, mikä johtui sekä betonin että lentotuhkan neutraloivasta vaikutuksesta. Sähkönjohtavuus selittyy myös suurilla sulfaatti-, kalsium-, natrium- ja kaliumpitoisuuksilla. Lisäksi vesi oli hyvin sameaa sekä sisälsi runsaasti kiintoainesta, joka oli lentotuhkaa.

Taulukko 21. Betonimurska ja lentotuhkakontista poistuneen veden laatu verrattuna tulevaan veteen

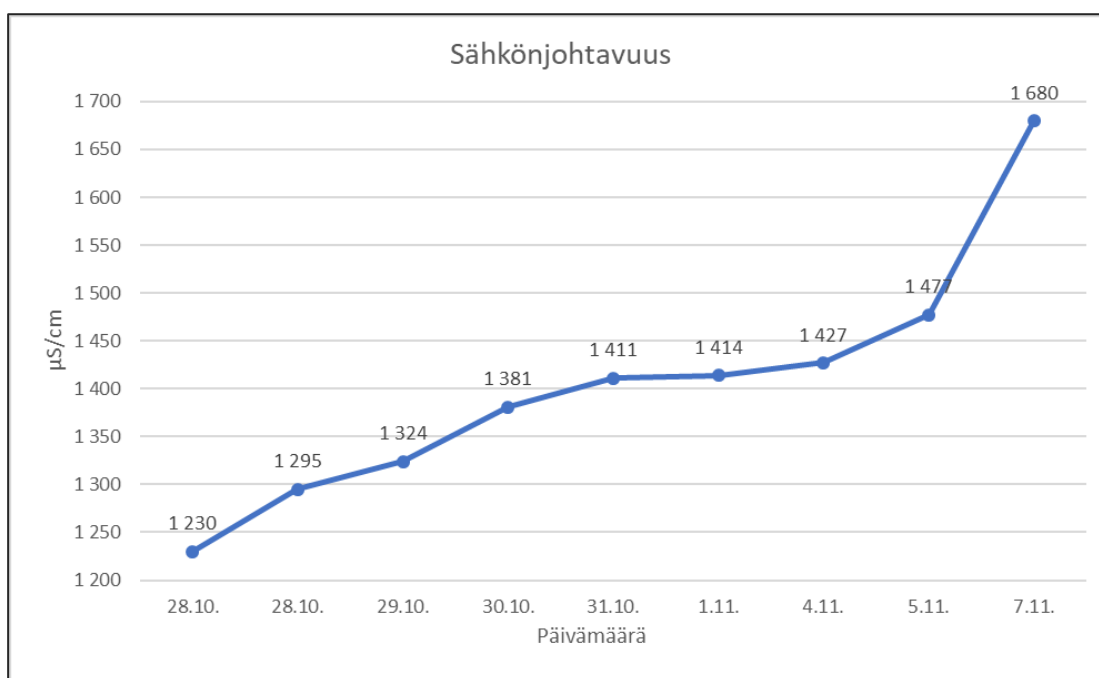
Kenttämittaus	Tuleva vesi	Poistuva vesi	Eroavaisuus
pH	4,19	12,64	8,45
Sähkönjohtavuus $\mu\text{S}/\text{cm}$	1212	4211	2999
Lämpötila $^{\circ}\text{C}$	4,2	2,6	-1,6
happi mg/l	11,78	11,9	0,12

8.4 Kaivosveden ja lentotuhkan sekoituskontti

Neljänten konttiin sekoitettiin noin 1000 litraan avolouhos vettä kaksi kilogrammaa lentotuhkaa. Ensimmäisenä testauspäivänä tehtiin kontin vedelle kenttämittaukset ennen kuin lentotuhka sekoitettiin sekä uudestaan noin 30 minuuttia sekoittamisen jälkeen. Lisäksi otettiin vesinäytteet, jotka edustavat näitä hetkiä. Tämän jälkeen kenttämittauksia tehtiin päivittäin ja vesinäytteitä otettiin joka toinen päivä. Veden pH:n ja sähkönjohtavuuden muutokset päivittäisellä tasolla ovat esitettyinä kuvissa 21 ja 22.



Kuva 21. Vesi ja lentotuhkakontin pH:n muuttuminen.



Kuva 22. Vesi ja lentotuhkakontin sähkönjohtavuuden muuttuminen

Tulosten perusteella voidaan todeta, että veden pH saatiin hetkessä nousemaan aikaisempien neutralointitutkimusten mukaiseen 8,7:ään. Lentotuhka laskeutui kontin pohjalle noin päivässä, jonka jälkeen vesi oli kirkasta eikä siinä esiintynyt vierasperäisiä hajuja. Tuhka asettui kontin pohjalle kiinteäksi kerrokseksi. Veden pH nousi hieman yli kymmeneen ollen korkeimmillaan 10,39. Tämän jälkeen pH lähti laskuun asettuen lopuksi noin arvoon 9. Kontin sähkönjohtavuus kasvoi tasaisesti koko testauksen ajan. Sähkönjohtavuuden kasvu selittyy laboratoriotulosten avulla, sillä veden liukoisen sulfaatin-, magnesiumin-, kalsiumin-, natriumin- ja kaliuminpitoisuudet vedessä kasvoivat myös tasaisesti. Nämä anionit ja kationit aiheuttavat pääasiassa vedelle sen sähkönjohtavuuden. Näytteiden laboratoriotulokset ovat esitettyinä taulukossa 22.

Taulukko 22. Vesi ja lentotuhkakontin näytteiden laboratoriotulokset.

Parametri	Yksikkö	Louhosvesi	Näyte 1. 28.10.	Reduktio %	Näyte 2. 30.10.	Reduktio %	Näyte 3. 7.11.	Reduktio %
SO ₄	mg/L	684	716	-4,7	763	-11,550	808	-18,129
Cd	µg/L	0,407	<0,020	noin 100	<0,020	noin 100	<0,020	noin 100
Cu	µg/L	85,1	<1,0	noin 100	<1,0	noin 100	<1,0	noin 100
Fe	µg/L	2380	<2,0	noin 100	<2,0	noin 100	<2,0	noin 100
Hg	µg/L	0,0121	0,0105	13,2	0,0099	18,2	<0,0050	noin 100
Zn	µg/L	352	2,4	99,3	<2,0	noin 100	2,1	99,4
Ni	µg/L	4120	1160	71,8	1540	62,6	1490	63,8
Pb	µg/L	1,1	<0,500	noin 100	<0,500	noin 100	<0,500	noin 100

Tulosten perusteella huomataan, että liukoisen sulfaatin määrä vedessä on lisääntynyt, mutta ei niin voimakkaasti kuin lentotuhkakontissa johtuen vähemmästä määrästä lentotuhkaa. Lähes kaikkien metallien reduktiot ovat 100 %. Nikkelin osalta reduktio ei ole niin suuri kuin aikaisempien neutralointikokeiden perusteella olisi olettanut, vaikka reduktio onkin noin 60-70 % jokaisessa näytteessä. Vähäinen reduktio voi johtua lentotuhkan jämähämisestä pohjaan.

8.5 Epävarmuustarkastelu ja haasteet

Mittauksien aikana kohdattiin haasteita muun muassa oikeanlaisten vesiletkujen löytämisessä. Vesiletkujen piti sopia testaukseen eivätkä ne saisi mennä kierteille, mikä voisi aiheuttaa epätasaisen virtauksen. Lisäksi haasteita testaukseen toivat pakkaset, jotka aiheuttivat muun muassa letkujen ja avolouhoksen jäätymistä. Myös konteissa olevat materiaalit jäätyivät, mikä pienensi eri materiaalien vedenläpäisevyyttä. Lisäksi ajankäyttö ja resurssipula aiheutti haasteita, sillä pumppausta ei ollut mahdollista tehdä ympärivuorokautisena, vaan koe oli panosluonteinen ja pumppausta suoritettiin noin 7 tuntia päivässä.

Virtaamaamittauksen epävarmuustekijöitä olivat muun muassa yksin tehtävä volymetrinen mittaus, sillä samaan aikaan joutui täyttämään astiaa sekä käyttämään sekuntikelloa, joten virhemarginaalia syntyi. Lisäksi volymetrisiä mittauksia olisi voinut tehdä useampia, jolloin virhemarginaali olisi pienentynyt. Tulevaan virtauksen tasaisuuteen vaikutti myös letkun päähän asennettu palloventtiili, joka aiheutti suihkumaisen virtauksen. Betonimurskakontti asennettiin rinteeseen, joten kontti oli kallistunut. Näin ollen vesi kontissa kerääntyi suurimmaksi osaksi toiseen laitaan ja kontti oli lähellä tulvia välillä, jolloin virtausta jouduttiin pienentämään. Jos kontti olisi ollut tasaisella maaperällä, olisi sen läpi todennäköisesti voitu johtaa vettä suuremmalla virtauksella.

Näytteenotto ja kenttämittaukset tapahtuivat kontin alle asennetun kevytpeitteen reunasta. Etenkin sateisina päivinä poistuvaan käsiteltyyn veteen saattoi sekoittua sulamisvesiä sekä sadevesiä, jotka saattoivat vaikuttaa mittaus- ja laboratoriotuloksiin muun muassa laimentaen vettä. Sateisia päiviä

oli testauspäivistä kuitenkin vain yksi, joten tämän vaikutus tuloksiin arvioitiin pieneksi ja todellisuudessa, kun vesiä tullaan käsittelemään kaivosalueella, on vesi sekä käsiteltävät materiaalit sääilmälle alttiina. Lentotuhkakontista veteen sekoittunut kiintoainees vääristänee hieman tuloksia, sillä vesinäytteeseen sekoittui myös kontista poistuvaa kiintoainesta, joten lentotuhka ja vesi pääsivät reagoimaan keskenään vielä näytteenoton jälkeenkin. Mikäli näyte olisi suodatettu kenttäoloissa olisi

tämä voitu välttää. Koska pumppausta voitiin suoritetta vain 7 tuntia päivässä ja kontin läpivirranneet vesimäärät olivat pieniä, ei testauksen aikana saatu selville, kuinka suuri vesimäärä materiaalien lävitse voidaan johtaa, että pH laskisi noin 8 - 9 tasolle ja mitä tapahtuisi metallien reduktiolle tällöin.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTESTAUKSEN TARVE

Särkiniemen vanhan kaivosalueen suurimpia ympäristökuormittajia ovat alueen happoa tuottavat ja raskasmetallipitoiset sivukivimurskeet, joita on alueelle varastoituna kolmeen suureen murskekasaan yhteensä noin 7000 m³. Alueen kenttärakenteet ja tiet ovat myös tehty tästä sivukivimurskeesta. Muita merkittäviä ympäristökuormittajia ovat puutteellisesti muotoiltu sivukivialue, jonka päällä on vettä kerääviä painanteita. Sivukivialueen peittomateriaalissa on havaittu reikiä, joista vesi pääsee suotautumaan sivukivikasan sisälle. Myös vanhasta avolouhoksesta pääsee ajoittain ylivuotoa ympäristöön.

Vuoden 2019 maastotutkimusten perusteella avolouhoksen vedenlaatu ei ole muuttunut juurikaan viimeisten vuosien aikana. Avolouhoksen vesi on pintakerroksessa hapanta ja liukoisten metallien ja sulfaatin pitoisuudet ovat suuria. Tämä johtuu sulfidipitoisten mineraalien hapettumisesta vedessä hapekkaissa olosuhteissa. Hapettumisen seurauksena sulfidit hapettuvat rikkihapoksi, joka laskee veden pH:ta. Happamissa olosuhteissa myös raskasmetallien liukoisuus kasvaa, jonka seurauksena pintavedessä liukoisten metallien pitoisuudet ovat korkeat. Syvemmillä louhoksessa vallitsee hapetomat pelkistävät olosuhteet. Lisäksi veden pH pohjalla on lähellä neutraalia. Tulosten perusteella avolouhoksessa noin 15 – 16 metrin syvyydellä vallitsee pysyvä suolakerrostuneisuus.

Vesienkäsittelyn kenttätestauksen testattavia materiaaleja olivat lentotuhka, jätebetoni sekä niiden seos, joiden avulla testattiin materiaalin soveltuvuutta läpi johdettavan veden puhdistukseen. Lisäksi testattiin lentotuhkan soveltuvuutta seisovan veden neutralointiin, sillä mikäli sivukivimurskeet tullaan sijoittamaan avolouhokseen jälkihoitovaiheessa, tulee avolouhoksen vedenpintaa laskea reilusti, sillä murskeet tulevat nostamaan vedenpintaa, jolloin tulee aiheutumaan haitallista ylivuotoa.

Testauksien perusteella lentotuhka ei soveltunut vesienkäsittelyn testaukseen, sillä materiaalien optiivisipitoisuuden ylittyessä materiaali liettyi eikä enää läpäissyt vettä. Tulosten perusteella lentotuhka kuitenkin nosti veden pH:ta sekä sähkönjohtavuutta, sillä sulfaatin ja muiden sähkönjohtavuuteen vaikuttavien metallien pitoisuudet nousivat vedessä. Lentotuhka vähensi pääasiassa kaikkien liukoisten raskasmetallien pitoisuuksia vedessä. Lentotuhkan hienoaines poistuu käsittelyn mukana aiheuttaen käsiteltyyn veteen runsasta sameutta.

Betonimurskan ja lentotuhkan sekoituskontti ei myöskään ollut toimiva ratkaisu vesienkäsittelyssä, sillä myös tässä kontissa lentotuhka liettyi ja materiaalien vedenläpäisevyys oli olematon. Sekoituskontista poistuva vesi oli sameaa ja sisälsi runsaasti lentotuhkaa. Myös sähkönjohtavuus oli noin 2 kertaa suurempi kuin lentotuhkakontissa itsessään johtuen betonin ja lentotuhkan yhteisestä kohottavasta vaikutuksesta. Betonimurskaa voitaisiin hyödyntää alueen vesienkäsittelyssä esimerkiksi rakentamalla poistouomaan niin sanottu reaktiivinen seinämä, jonka läpi purettava vesi suotautuisi tai levittämällä betonimurskaa poistouomaan.

Betonimurska soveltui testauksen mukaan hyvin happamien kaivosvesien käsittelyyn, sillä materiaalin vedenläpäisevyys oli hyvä, sillä sen lävitse saatiin pumpattua vettä kohtalaisen suurella virtaamalla ilman että vedenpinta kontissa alkoi nousta. Lähtevä vesi oli pääosin kirkasta eikä sisältänyt kiintoainesta. Laboratoriotulosten perusteella betonimurska vähensi tehokkaasti liukoisten raskasmetallien pitoisuutta ja vähensi myös liukoisen sulfaatin määrää vedessä.

Seisovan veden kontissa lentotuhka lentotuhka laskeutui kontin pohjalle noin päivässä ja vesi oli kirkasta. Mittausten perusteella veden pH asettui halutulle tasolle (noin 9), koska tällä pH-alueella metallien saostuminen on kaikista tehokkainta vedessä. Kenttämittausten perusteella veden sähkönjohtavuus kasvoi tasaisesti, joka näkyi myös sähkönjohtavuuteen vaikuttavien metallien ja sulfaatin pitoisuuksien nousussa. Lähes kaikkien raskasmetallien pitoisuuksien reduktio oli noin 100 %. Nikkelin osalta testauksessa päästiin noin 60 – 70 % reduktioon. Ennen testausta asetettiin tavoitteelliseksi pitoisuudeksi nikkelin osalta noin 500 µg/l, jotta jälkihoitovaiheessa ennen kuin murskeet si-joitetaan avolouhoksen pohjalle, avolouhoksen pintaa voitaisiin laskea pumpaamalla pintavettä ympäristöön ilman erillistä lisävesienkäsittelyä. Testauksessa saavutettiin nikkelin osalta pitoisuus 1500 µg/l. Reduktiota voitaisiin kuitenkin mahdollisesti lisätä esimerkiksi sekoittamalla vettä, jolloin lentotuhkan vaikutus voisi tehostua ja säilyä pidempään.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää avolouhoksen veden laatu ja siihen vaikuttavia tekijöitä sekä suunnitella ja toteuttaa paikan päällä vesienkäsittelyn testaus teollisuuden sivumateriaaleilla sekä selvittää näiden materiaalien vedenläpäisevyyttä ja materiaalien neutralointikapasiteettia. Opinnäytetyössä päästiin lähes kaikkiin tavoitteisiin ainoastaan materiaalien neutralointikapasiteettia ei saatu selvitettyä. Tämä johtuu siitä, että testauksessa materiaalia oli ylimäärin konteissa eikä testauksen aikana saatu käsiteltyä niin suuria vesimääriä, että lähtevän veden pH:ssa olisi havaittu suurempia muutoksia kenttämittauksissa.

Materiaalien osalta tarvitsee tehdä jatkotestauksia vesienkäsittelyn osalta. Materiaaleilla olisi syytä tehdä pidempiaikainen yhtäjaksoinen vesienkäsittelyntestaus, jossa käsiteltävät vesimäärät olisivat suuremmat. Näin ollen voitaisiin havaita muutoksia materiaalien neutraloivassa kapasiteetissa ja saataisiin selville kuinka suuria vesimääriä eri materiaaleilla, pystytään todellisuudessa jälkihoitovaiheessa käsittelemään ilman että vedenlaatu heikkenee. Lentotuhkan rakeistamisella voitaisiin mahdollisesti estää materiaalin liettyminen ja saada aikaan parempia tuloksia vesienkäsittelyssä. Rakeistamisessa pölyävä lentotuhka voitaisiin esimerkiksi muovata tasakokoisiksi rakeiksi. Seisovan veden käsittelyssä voitaisiin myös testata rakeistettua lentotuhkaa. Hienon lentotuhkan osalta olisi syytä testata käsittelyä, jossa materiaalia sekoitettaisiin, jolloin voitaisiin estää lentotuhkan liettyminen pohjalle kiinteäksi lietteeksi.

Vesienkäsittelyssä voitaisiin testata myös kaksiosaista menetelmää, jossa ensimmäisessä vaiheessa seisovaan louhosveteen lisättäisiin lentotuhkaa, jolloin metallipitoisuuksia saataisiin laskettua nopeasti, jonka jälkeen vettä johdettaisiin käsittelyaltaaseen. Käsittelyaltaassa vettä voitaisiin käsitellä betonimurskan avulla. Tällä menettelyllä voitaisiin mahdollisesti pidentää betonimurskan neutralointipotentiaalin säilymistä.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

AGNICOEAGLE.FI [verkkoaineisto]. [Viitattu 2019-09-19] Saatavissa: <http://agnicoeagle.fi/fi/tietoa-meista/toiminta/>

AKINYEMI, Segun A., GITARI, Wilson Muger ja PETRIK, Leslie F 2008. Treatment of Acid Mine Drainage with Coal Fly Ash: Exploring the Solution Chemistry and Product Water Quality [verkkojulkaisu] Saatavissa: <https://www.intechopen.com/books/coal-fly-ash-beneficiation-treatment-of-acid-mine-drainage-with-coal-fly-ash/treatment-of-acid-mine-drainage-with-coal-fly-ash-exploring-the-solution-chemistry-and-product-water>

ATLAS COPCO, 2007. Mining Methods in Underground Mining [verkkojulkaisu]. [Viitattu 2019-12-02]. Saatavissa: https://miningandblasting.files.wordpress.com/2009/09/mining_methods_underground_mining.pdf

BOLIDEN.COM (a) [verkkoaineisto]. [Viitattu 2019-09-19]. Saatavissa: <https://www.boliden.com/fi/operations/mines/boliden-kevitsa>

BOLIDEN.COM (b) [verkkoaineisto]. [Viitattu 2019-09-19]. Saatavissa: <https://www.boliden.com/fi/operations/mines/boliden-kylylahti>

ELORANTA, Taina, PIETILÄ, Raija, RÄISÄNEN, Marja-Liisa, TORNIVAARA, Anna, TÖRMÄNEN, Tuomo ja VÄISÄNEN, Ulpu. 2014. Rikkiyhdisteiden vaikutusten arviointi – Sulka-hankkeen loppuraportti. Rovaniemi: Geologian Tutkimuskeskus Pohjois-Suomen yksikkö.

FIGUEROA, Linda A. ja GUSEK, James J. 2009. Mitigation of Metal Mining Influenced Water volume 2. Society for Mining, Metallurg y, and Exploration, Inc. Littleton Colorado USA.

FINLEX.FI [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2019-09-19] Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110621>

GEOLOGIA.FI [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2019-09-18] Saatavissa: <http://www.geologia.fi/index.php/2018/07/03/kaivostoiminta-ja-kaivoksen-elinkaari/>

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS, 2015. Tutkimusraportti 222. Hyviä käytäntöjä kaivoshankkeiden ympäristövaikutusten arvioinnissa [Verkkoaineisto]. Saatavissa: http://tupa.gtk.fi/julkaisu/erikoisjulkaisu/ej_053.pdf

HEIKKINEN, P.M ja NORAS, P (toim.) 2005. Kaivoksen sulkemisen käsikirja. Vammala. Vammalan Kirjapaino Oy.

HONKANEN, Jarmo, 2018. Yle.fi uutiset: Kaivosyhtiö ostaa uusia kiviautoja 87 miljoonalla – 17 autoa Sodankylään. Julkaistu 19.10.2018 [Digikuva]. [Viitattu 2019-09-19] Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10466597>

HÄRMÄ, Tiina 2005. Ekotehokkuus teollisuudessa -seminaari – Kaivosteollisuuden materiaalivirrat Saatavissa: <https://docplayer.fi/5839217-Kaivosteollisuuden-materiaalivirrat.html>

KAIVA.FI (a) [verkkoaineisto]. [Viitattu 2019-09-17] Saatavissa: <https://kaiva.fi/kaivannaisala/kai-vostoiminta/>

KAIVA.FI. (b) Kaivos- ja louhintatekniikka [verkkoaineisto]. [Viitattu 2019-09-15] Saatavissa: https://kaiva.fi/wp-content/uploads/2014/12/Kaivos-ja-louhintatekniikka-kaiva_fi.pdf

KAIIVOSVASTUU.FI [verkkoaineisto]. [Viitattu 2019-09-17] Saatavissa: <https://www.kaivosvastuu.fi/yrityskortti/outokumpu-chrome-oy/>

KOLEHMAINEN, Ari [2019-05-13] Särkiniemen sivukivialue ja sen ympäristö [digikuva]. Särkiniemen Kaivos, Oravikoski

KOLEHMAINEN, Ari [2019-09-16]. Johtava asiantuntija. [palaveri]. Kuopio: Envineer Oy

LESKINEN, Jere [2019-10-31]. Särkiniemen kaivoksen vesienkäsittelytestaus [digikuvat] Särkiniemen kaivos, Oravikoski

MERILÄINEN, Jyri 2007. Suomalainen kaivannaisklusteri ja nikkelin tuotanto [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2019-09-17] Saatavissa: http://www.gtk.fi/export/sites/fi/ajankohtaista/viestintamateriaalit/geoloytaja/arkisto/Etsiva_loytaa_2_2007.pdf

MROUEH, Elina ja VESTOLA, Elina 2008. VTT Tiedotteita 2422. Sulfaattipelkistyksen Hyödyntäminen happamien kaivosvesien käsittelyssä – opas louhoskäsittelyn hallintaan. Helsinki. Edita Prima Oy.

NEVALAINEN, Saana [2019-04-01]. Särkiniemen murskekasat [digikuvat]. Särkiniemen kaivos, Oravikoski.

PÖYRY FINLAND OY, 2017. Terrafame Oy – Sulkemissuunnitelma [verkkoaineisto]

RAMBOLL FINLAND OY, 2015a. Särkiniemen kaivosalueen hydrologinen selvitys. 27.3.2015. Kuopio

RAMBOLL FINLAND OY, 2015b. Särkiniemen kaivosalueen ympäristöselvitys. 23.9.2015. Kuopio.

SAHA, Sukla ja SINHA, Alok 2018. A review on treatment of acid mine drainage with waste materials: A novel approach. Department of Environmental Science & Engineering. Indian Institute of Technology (ISM) Dhanbad. Jharkhand, India. [Verkkoaineisto] Saatavissa: https://journal.gnest.org/publication/gnest_02610

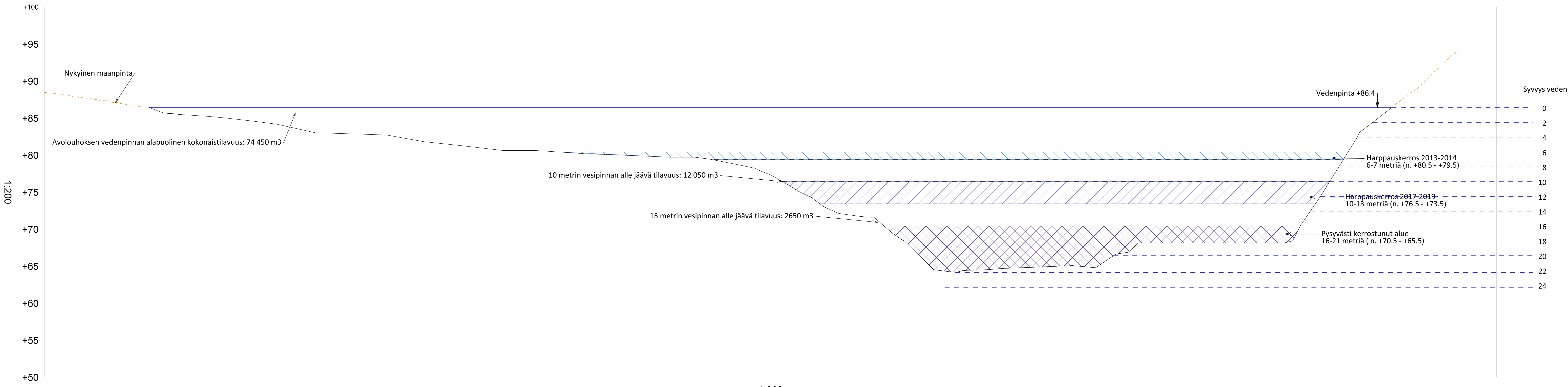
TEM, 2015. Opas: Ympäristövaikutusten arviointimenettely kaivos Hankkeissa [verkkoaineisto]. Työ- ja elinkeinoministeriö Helsinki.

TERRAFAME.FI [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2019-09-18]. Saatavissa: <https://www.terrafame.fi/terrafame-oy.html>

TUHKIEN KÄYTTÖ MAARAKENTAMISESSA - METSÄ- JA ENERGIATEOLLISUUDEN TUHKAMATERIAALIT. RTS 17-56. [online]. Helsinki: Rakennustieto [viitattu 2019-12-03]. Saatavissa: https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/5fIPeDhrH/NjY0Vs4V1/Tuhkaohjekortti_RTS_17-56.pdf

TURVALLISUUS- JA KEMIKAALIVIRASTO (TUKES), 2018. Tilastotietoja vuoriteollisuudesta 2018 [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2019-09-18] Saatavissa: <https://tukes.fi/documents/5470659/6373016/Vuoriteollisuustilasto+2018/f217a5f4-02d3-461e-6092-0e6fcf740ed/Vuoriteollisuustilasto+2018.pdf>

VIITASALO, Matias [2019-08-23]. Vanhempi asiantuntija. [palaveri]. Kuopio: Envineer Oy



Syvyys vedenpinnasta (m)

0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24

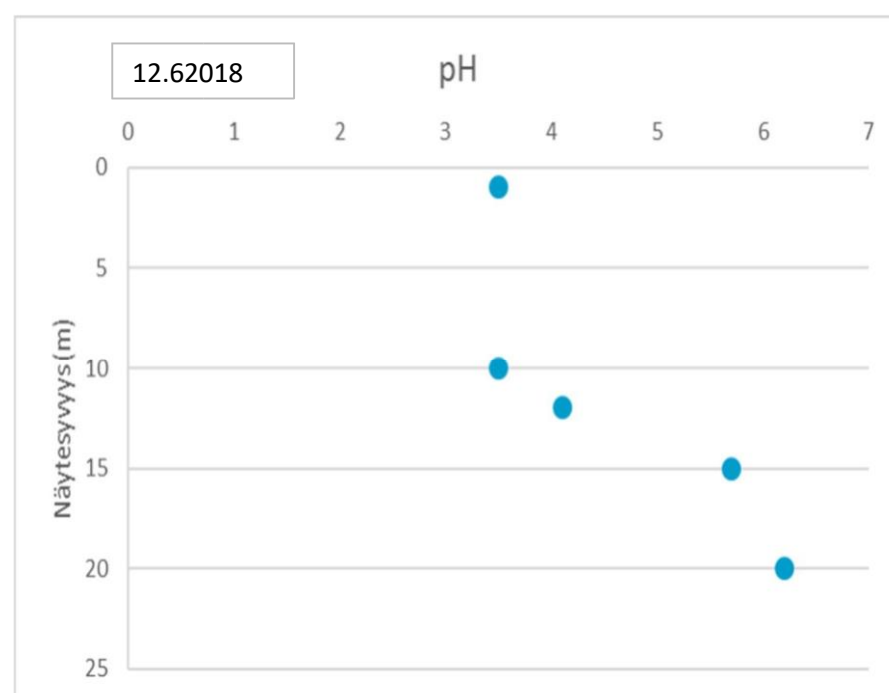
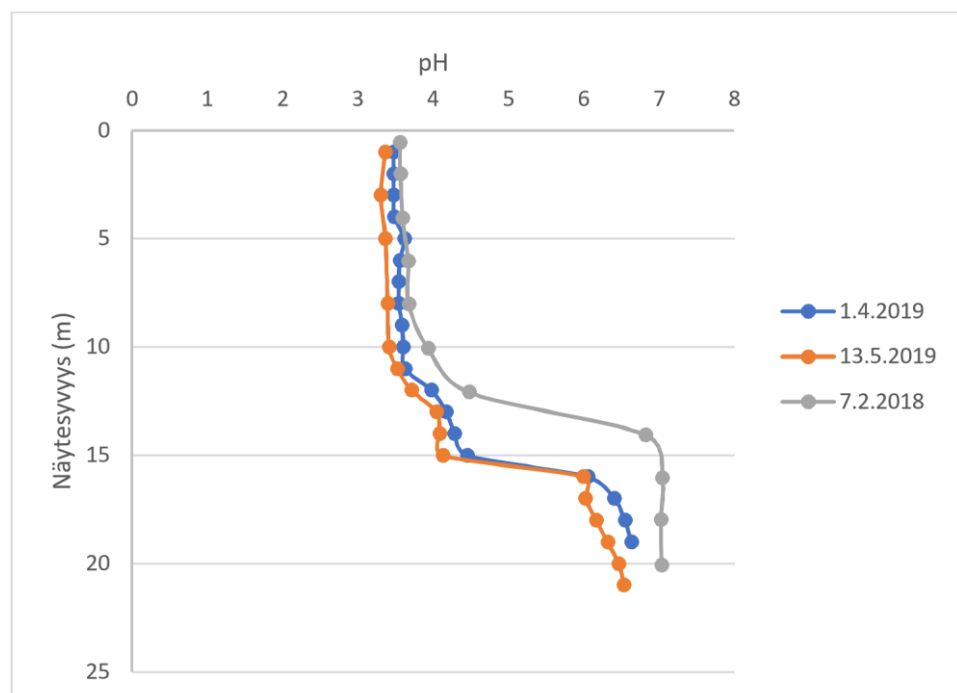
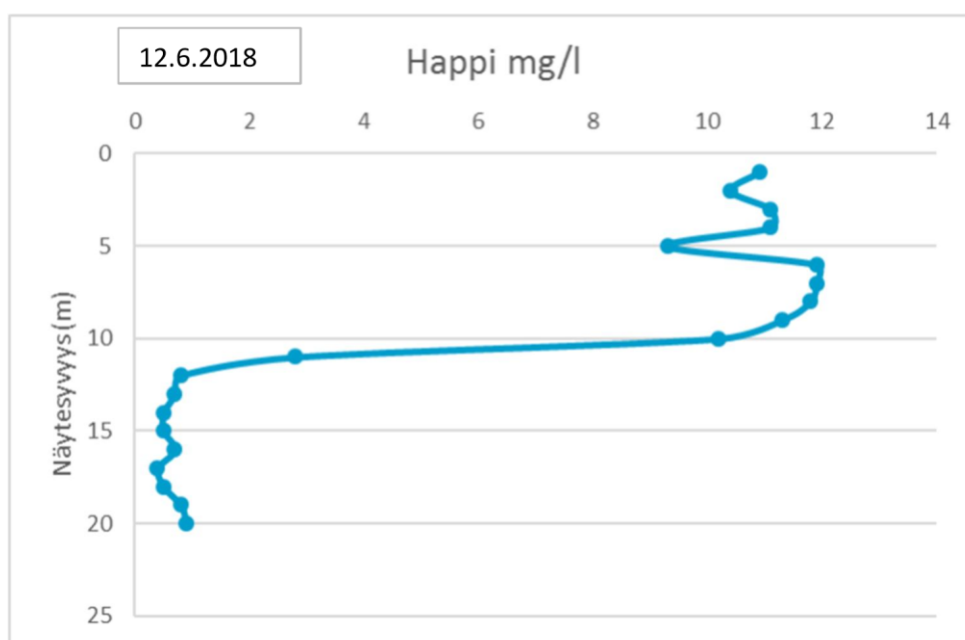
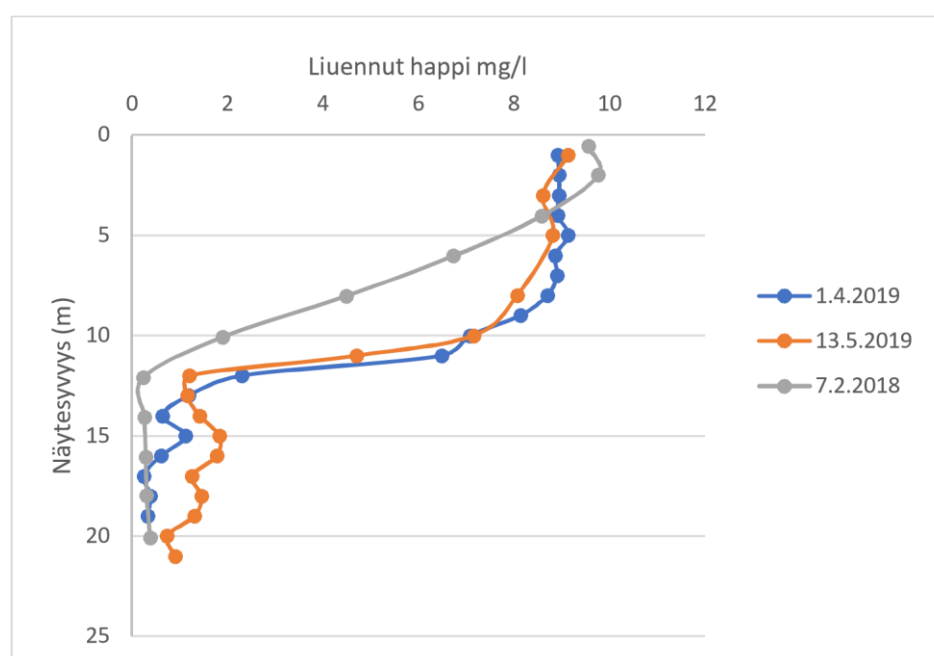
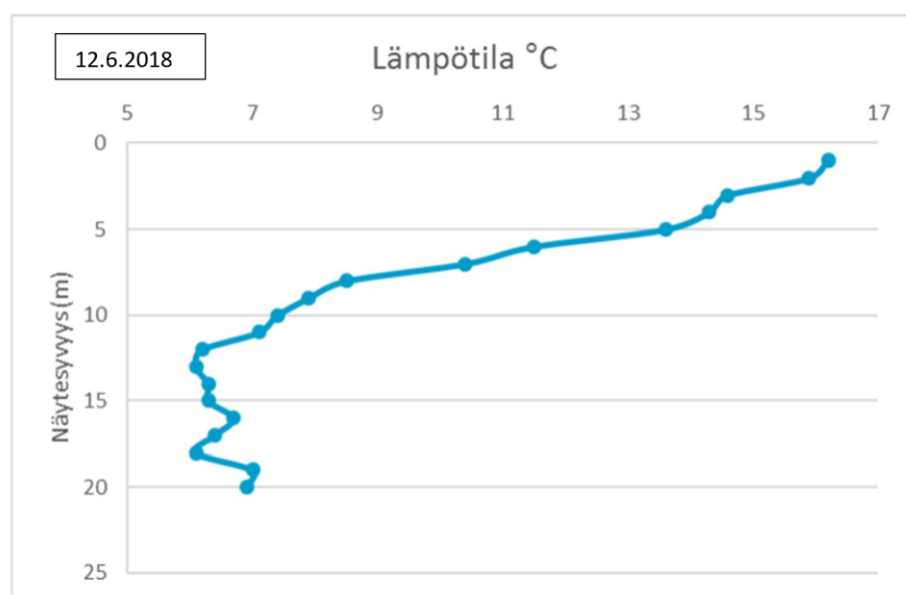
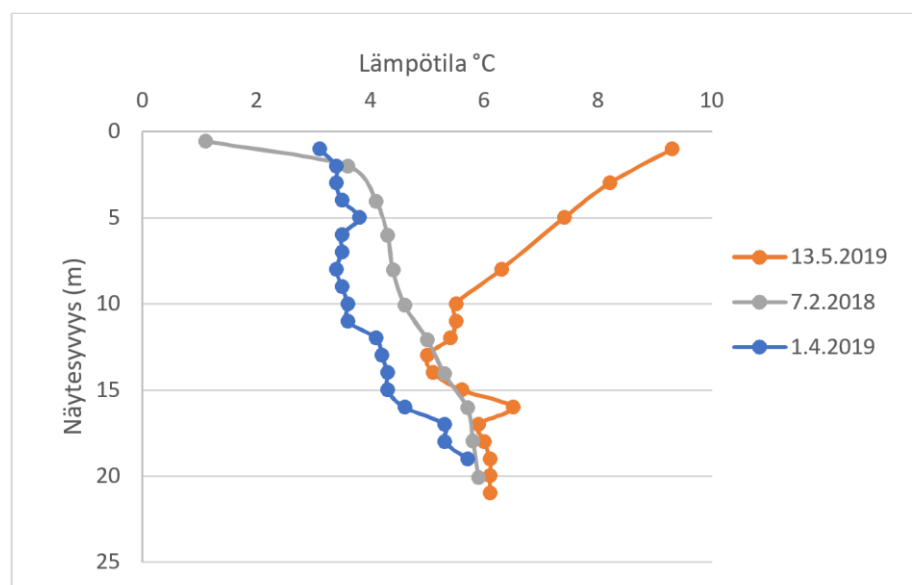
Rev	Pvm	Tekijä	Erittely

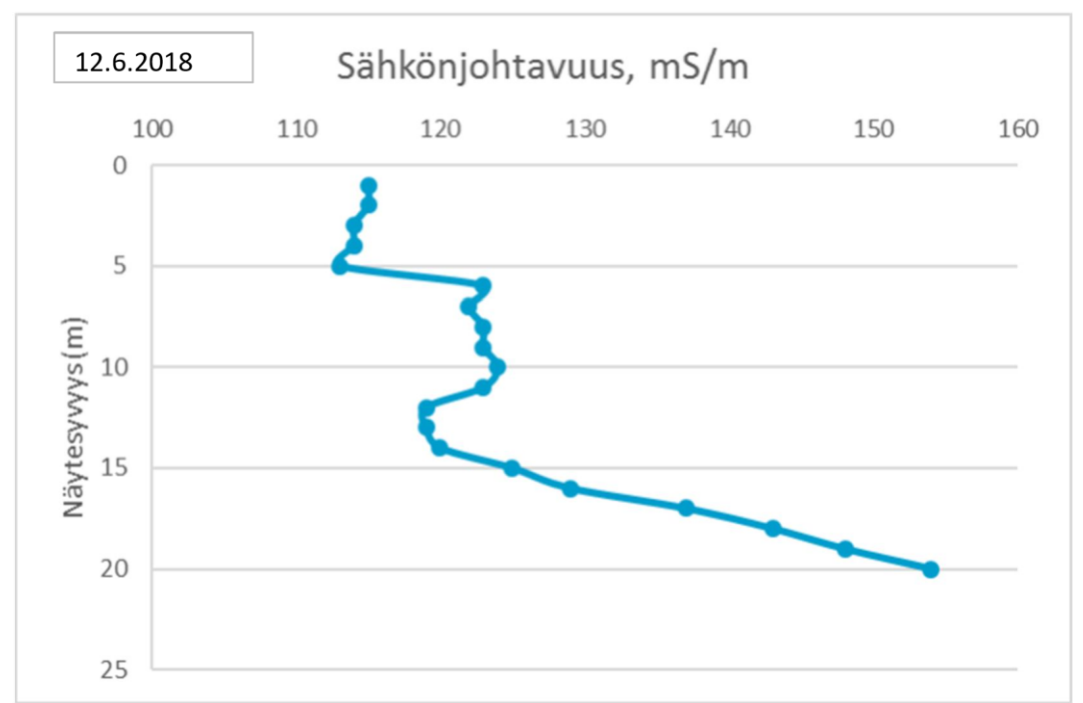
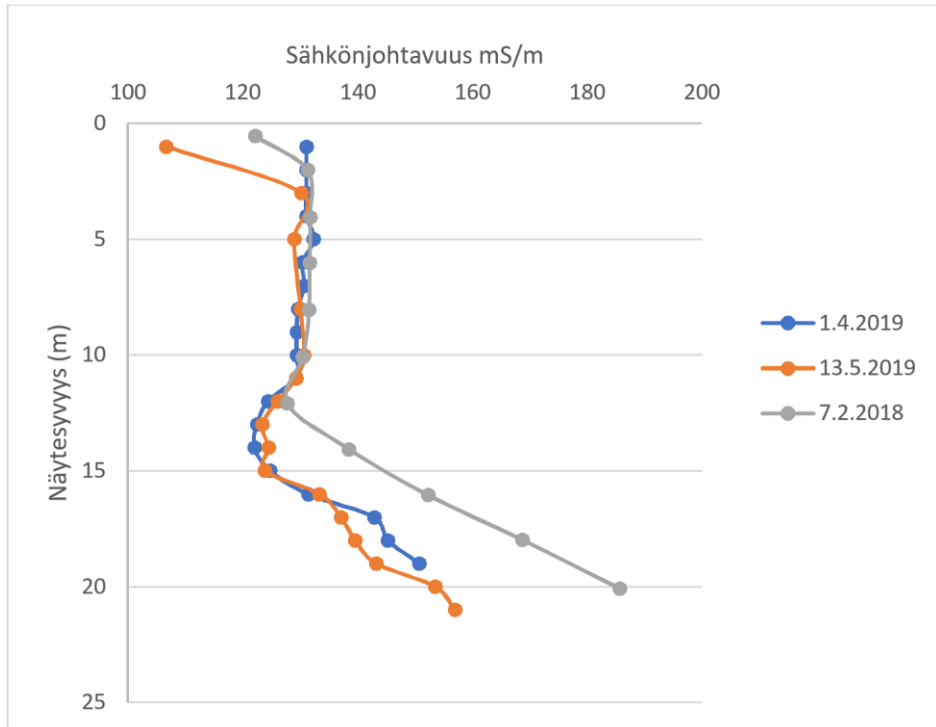
K.osa / kylä	Kortteli / tila	Tonitti / m ²	Viranomaisen merkinnät
Rakennustoimenpide	Piiustusloji		
Rakennuskohteen nimi / osoite	Piiustuksen sisältö	Mittakaava	
Pohjois-Savon ELY-keskus Särkiniemen vanha kaivos Leppävirta	Avolouhoksen syvyysprofiili perustuen syvyyslotausaineistoon. Louhoksen veden syvyysprofiili- mittausten mukainen kerrostuneisuus.	1:200	
Suun.ala	Työnumero	Piiustusnumero	
	YMP 10093-002	2	
Tiedosto	Muutos		
Suunnittelut	Piirtänyt	Hyväksynyt	Pvm
Jere Leskinen	JLe	LVa/MVi	9.8.2019

1:200

Liite 2. Avolouhoksen syvyysprofiilimittausten ja -analyysien kuvaajat

YSI-MITTAUKSIEN 2018-2019 SYVYYSPROFIILIT





NÄYTTEIDEN LABORATORIOTULOKSET 2009-2019 JA KUVAAJAT

	Syvyys	Sulfaatti	Rauta	Rauta liuk	Kupari liu	Kupari	Sinkki liu	Sinkki	Cd liuk	Lyijy liuk	Ni liuk	Ni	Hg liuk	Lämpötila (YSI)	Happi (YSI)	pH (YSI)
Pvm	m	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	°C	mg/l	
12.5.2009	1	112	0,020	-	-	140	-	-	-	-	-	17000	-	10,5	-	4,4
21.6.2010	1	900	7	-	-	250	-	2000	-	-	21000	21000	-	-	9	3,3
6.6.2013	1	790	5,6	-	-	110	-	-	-	-	-	7100	-	22,5	8	3
10.6.2014	1	830	5,6	-	-	100	-	-	-	-	-	5800	-	17,9	8,5	3,3
7.8.2017	1	670	1,9	-	64	-	1,1	-	-	-	4100	-	-	18,9	8,1	3,5
12.6.2018	1	680	-	-	120	-	320	-	-	-	4100	-	-	16,2	10,9	3,5
1.4.2019	1	700	-	3,0	80	-	350	-	0,37	1,1	4300	-	<0,005	3,1	8,91	3,5
13.5.2019	1	430	3,1	3,1	130	-	250	-	0,46	0,59	3700	-	<0,005	9,3	9,13	3,4
	Syvyys	Sulfaatti	Rauta	Rauta liuk	Kupari liu	Kupari	Sinkki liu	Sinkki	Cd liuk	Lyijy liuk	Ni liuk	Ni	Hg liuk	Lämpötila	Happi	pH
Pvm	m	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	°C	mg/l	
21.6.2010	10	1500	230	-	-	11	-	1000	-	-	17000	17000	-	5,2	0	5
6.6.2013	7	1800	380	-	-	1	-	-	-	-	-	5500	-	7	0	-
10.6.2014	10	1600	320	-	-	2	-	-	-	-	-	4500	-	6,8	0,2	5,4
7.8.2017	10	780	4,1	-	<0,1	-	5,2	-	-	-	4900	-	-	8,4	7,5	3,5
12.6.2018	10	760	-	-	59	-	410	-	-	-	4600	-	-	7,4	10,2	3,5
1.4.2019	10	700	-	3	65	-	360	-	0,35	0,91	4300	-	<0,005	3,6	7,07	3,6
13.5.2019	12	710	14	12	19	-	330	-	0,2	0,4	4400	-	<0,005	7,4	8,81	3,4
	Syvyys	Sulfaatti	Rauta	Rauta liuk	Kupari liu	Kupari	Sinkki liu	Sinkki	Cd liuk	Lyijy liuk	Ni liuk	Ni	Hg liuk	Lämpötila	Happi	pH
Pvm	m	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	°C	mg/l	
12.5.2009	12,3*	0,3	0,020	-	-	27	-	-	-	-	-	22000	-	4,5	-	4,8
21.6.2010	19	1600	310	-	-	4	-	240	-	-	7000	7000	-	5,2	0	5,7
6.6.2013	20	1900	420	-	-	0,75	-	-	-	-	-	1400	-	6,1	0	-
10.6.2014	19	1800	420	-	-	1	-	-	-	-	-	4500	-	6,2	0,2	5,9
7.8.2017	20	1200	250	-	0,1	-	5,2	-	-	-	190	-	-	6,4	0,6	6,2
12.6.2018	20	990	-	-	0,3	-	3,5	-	-	-	180	-	-	6,9	0,9	6,2
1.4.2019	19	850	-	120	0,73	-	6,2	-	<0,01	<0,05	220	-	<0,005	5,7	0,32	6,6
13.5.2019	16	740	67	59	0,81	-	120	-	0,062	0,093	2100	-	<0,005	6,5	1,77	6
13.5.2019	20	830	130	120	0,44	-	52	-	0,044	<0,05	710	-	<0,005	6,1	0,73	6,5

*avolouhos ei ollut vielä täyttynyt vedellä

