

LIITE 11: YHTEENVETO KAIVANNAISJÄTTEIDEN KARAK-
TERISOINNISTA SEKÄ KAIVOSALUEEN VESIEN LAATUAR-
VIOINNISTA, AFRY FINLAND OY 2023



AA Sakatti Mining Oy

Sakatin kaivoshanke

Yhteenveto kaivannaisjätteiden karakterisoinnista sekä
kaivosalueen vesien laatuarvioinnista

101017183-001

10.2.2023

Raporttihistoria

Rev	Kuvaus	Tarkistettu	Hyväksytty
01	Alkuperäinen yhteenveto	14/02/2022	15/02/2022
02	Täydennetty yhteenveto Uutta: tarvekilouhoksen veden laadun arviointi	02/06/2022	03/06/2022
03	Täydennetty yhteenveto Uutta: maanalaisen kaivoksen veden laadun arviointi (tarkastelu 2)	28/10/2022	29/10/2022
04	Tarkastuskierros lähderaporttien viimeisten päivitysten jälkeen	16/12/2022	22/12/2022
05	Maanalaisen kaivoksen veden laadun arvioinnin päivitys (tarkastelu 2)	13/01/2023	13/01/2023
06	Tarkennuksia	10/02/2023	10/02/2023

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	10
1.1	Tausta	10
1.2	Tarkasteltavat YVA-vaihtoehdot.....	10
1.3	YVA-vaihtoehtojen vaikutus kaivannaisjätteiden laatuun ja määrään sekä vesien laatuun	11
2	Toiminnan kuvaus	12
2.1	Kaivostoiminnan pääpiirteet ja mittakaava	12
2.2	Malmin louhinta	12
2.3	Malmin esimurskaus ja kuljetus.....	12
2.4	Rikastus ja siinä käytettävät kemikaalit	13
2.5	Esiintymät ja mineralisaatio	18
3	Kaivannaisjätteen muodostuminen ja määrä.....	19
3.1	Yleistä.....	19
3.2	Pintamaa	19
3.3	Sivukivi	19
3.4	Rikastushiekka	20
3.5	Vesienkäsittelyn sakat ja selkeytysaltaiden pohjalietteet	20
4	Kaivannaisjätteiden karakterisointimenetelmät.....	22
4.1	Lainsäädäntö karakterisointimenetelmien perusteluna	22
4.2	ABA-testi	24
4.3	NAG-testi ja NAG-uutteen tutkimus.....	24
4.4	Ravistelutestit	25
4.5	Kuningasvesiuutto alkuainepitoisuuksien arvioinnissa.....	26
4.6	Nelihappouutto alkuainepitoisuuksien arvioinnissa	27
4.7	Kosteuskammio koe	27
4.8	Monoliitin uuttokoe.....	28
4.9	Mineraloginen analyysi.....	29
4.10	Kuitumineraalien määrittäminen	29
4.11	Prosessiveden analyysi	30
4.12	Fysikaaliset tutkimusmenetelmät.....	31
5	Pintamaan karakterisointitiedot	33
5.1	Aineiston kuvaus ja edustavuus.....	33
5.2	Fysikaaliset ominaisuudet.....	33

5.3	Geokemialliset ominaisuudet	34
5.4	Pintamaan pitkäaikaikäkäyttäytyminen.....	38
6	Sivukivien karakterisointi.....	39
6.1	Mineralogiset karakterisointitiedot	39
6.1.1	Sivukiven näytteenotto ja edustavuus mineralogisessa tutkimuksessa.....	39
6.1.2	Sivukivien kivilajikoostumus ja mineralogia	39
6.2	Sivukivien geokemialliset karakterisointitiedot, 2017-2019 tulokset	43
6.2.1	Sivukiven näytteenotto ja edustavuus geokemiallisessa tutkimuksessa.....	43
6.2.2	Sivukivien geokemialliset ominaisuudet.....	54
6.2.3	Sivukivien pitkäaikaikäkäyttäytyminen.....	63
6.3	Sivukivien geokemialliset karakterisointitiedot, staattiset testit 2021-2022	76
6.3.1	Yhteenveto geokemiallisen karakterisoinnin näytteistä 2021-2022	76
6.3.2	Sivukivien geokemialliset ominaisuudet.....	77
6.4	Vinotunnelivaihtoehtojen vaikutus sivukivilaatuun	89
6.4.1	Vinotunnelilinjojen kivilajijakaumat	89
6.4.2	Vinotunnelilinjojen geokemiallinen vertailu	91
7	Rikastushiekkojen karakterisointi.....	92
7.1	Rikastushiekkojen karakterisointihistoria.....	92
7.1.1	Koerikastusten ja rikastushiekkojen karakterisoinnin historia	92
7.1.2	Sakatin hankkeen vanhojen rikastuskokeiden rikastushiekkalaadut	92
7.2	Rikastushiekkojen karakterisointi, prosessivaihtoehto 1.....	93
7.2.1	Prosessivaihtoehto 1, näytteenotto ja edustavuus.....	93
7.2.2	Prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekkojen mineralogia	94
7.2.3	Prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekkojen fysikaaliset ominaisuudet.....	95
7.2.4	Prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekkojen geokemialliset ominaisuudet.....	97
7.2.5	Prosessivesi prosessivaihtoehdossa 1.....	105



7.2.6	Prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekkojen pitkäaikaiskäyttäytyminen	106
7.2.7	Prosessivaihtoehdon 1 monoliitin uuttokoe.....	110
7.3	Rikastushiekkojen karakterisointi, prosessivaihtoehto 2.....	115
7.3.1	Prosessivaihtoehto 2, rikastushiekkojen näytteenotto ja edustavuus.....	115
7.3.2	Prosessivaihtoehdon 2 rikastushiekkojen mineralogia ...	116
7.3.3	Prosessivaihtoehdon 2 rikastushiekkojen fysikaaliset ominaisuudet.....	118
7.3.4	Prosessivaihtoehdon 2 rikastushiekkojen geokemialliset ominaisuudet.....	118
7.3.5	Prosessivesi ja kemikaalijäämät prosessivaihtoehdossa 2	133
7.3.6	Prosessivaihtoehdon 2 rikastushiekkojen pitkäaikaiskäyttäytyminen, kosteuskammio koe	134
7.3.7	Prosessivaihtoehdon 2 monoliitin uuttokoe.....	145
7.4	Viimeisimmät rikastuskokeet ja meneillään oleva karakterisointityö	149
7.5	Eri prosessivaihtoehtojen rikastushiekkojen geokemiallisten tulosten vertailu	149
7.5.1	Prosessivaihtoehtojen 1 ja 2 rikastushiekkojen vertailu .	149
7.5.2	Pastatäyttöjen vertailu käytettäessä raaka-aineena prosessivaihtoehtojen 1 ja 2 rikastushiekkoina.....	150
8	Poimintoja malmin ominaisuuksista	152
8.1	Malmin mineralogia ja arvoaineiden sitoutuminen eri mineraaleihin	152
8.2	Rikastamon syötteen vaihtelu ja sen vaikutus rikastushiekkoihin	154
9	Kuitumineraaliselvitykset.....	157
9.1	Asbestin määritelmä.....	157
9.2	Työterveyslaitoksen työhygieeninen esiselvitys	157
9.2.1	Asbestin vapautuminen ilmaan TTL:n tutkimuksessa	158
9.2.2	Kiviainesnäytteiden asbesti TTL:n tutkimuksessa	158
9.3	Kuitumineraalit malmin ja sivukiven mineralogisissa tutkimuksissa	158
9.4	Kuitumineraalit rikastushiekoissa	159

10	Jätevesien puhdistuksessa syntyvät sakat ja maanalaisen kaivoksen kuivanapitovesien selkeytysaltaiden lietteet.....	160
11	Kaivannaisjätteiden ja jätealueiden luokitus.....	161
11.1	Luokitus kaivannaisjäteasetuksen mukaan	161
11.2	Luokittelu jäteluettelon mukaan	162
11.3	Jätteen vaaraominaisuuksien arviointi	163
11.4	Kaivannaisjätteen jätealueen määritelmä ja luokittelu.....	164
11.5	Pintamaan jäteluokitus	165
11.6	Sivukivien jäteluokitus	165
11.7	Rikastushiekkojen jäteluokitus	165
11.8	Jätevesien puhdistuksessa syntyvien sakkojen ja maanalaisen kaivoksen kuivanapitovesiä koskevien selkeytysaltaiden lietteiden jäteluokitus	168
11.8.1	Jätevesien puhdistuksessa muodostuvat sakat	168
11.8.2	Maanalaisen kaivoksen kuivanapitovesiä koskevien selkeytysaltaiden pohjalietteet.....	168
12	Yleiskuvaus kaivannaisjätteiden jätealueista	169
12.1	Pintamaan sijoitusalueet	169
12.2	Sivukivien sijoitusalueet.....	169
12.3	Rikastushiekka-alueet.....	170
12.3.1	Matalarikkisen rikastushiekka-alue	170
12.3.2	Korkearikkisen rikastushiekan varastoallas	173
12.4	Vesienkäsittelyn sakkojen läjitysalue.....	175
13	Kaivannaisjätealueiden vesien laadut.....	176
13.1	Pintamaan sijoitusalueen suotovesien laatu	176
13.2	Sivukiven sijoitusalueiden suotovesien laatu	176
13.2.1	Sivukivialueiden suotovesien arviointimenetelmät.....	176
13.2.2	Sivukivialueiden suotovesien laatu kaivoksen toiminnan aikana	178
13.3	Matalarikkisen rikastushiekka-alueen vesien laatu eri hankevaihtoehdoissa	179
13.3.1	Matalarikkisen rikastushiekka-alueen suotovesien arviointimenetelmät, prosessivaihtoehto 1	179
13.3.2	Matalarikkisen rikastushiekka-alueen suotovesien laatu, prosessivaihtoehto 1	181

13.3.3 Matalarikkisen rikastushiekka-alueen suotovesien arviointimenetelmät, prosessivaihtoehto 2	182
13.3.4 Matalarikkisen rikastushiekka-alueen suotovesien laatu, prosessivaihtoehto 2	183
13.4 Korkearikkisen rikastushiekan varastoaltaan ylitevesien laatu ..	186
14 Maanalaisen kaivoksen veden laadun arviointi.....	187
14.1 Maanalaisen kaivoksen veden laadun arviointimenetelmä, tarkastelu 1	187
14.2 Maanalaisen kaivoksen veden laatu, tarkastelu 1	191
14.3 Maanalaisen kaivoksen veden laadun arviointimenetelmä, tarkastelu 2	194
14.4 Maanalaisen kaivoksen veden laatu, tarkastelu 2	198
14.5 Maanalaisen kaivoksen tarkastelujen 1 ja 2 tulosten keskeiset erot	201
15 Tarvekilouhoksen veden laatu	202
15.1 Tarvekilouhoksen veden laadun arviointimenetelmä	202
15.2 Tarvekilouhoksen veden laatu.....	205
16 Pohdintaa vedenlaatumallinnuksen herkkyyksistä ja epävarmuuksista	208
17 Viitteet	210

Termit

ABA-testi	<i>acid base accounting test</i> - hapon ja emäksen tasapainon laskentamenetelmä, hapontuottopotentiaalin laskenta kokonais- ja sulfidirikistä ja neutraloimispotentiaalin laskenta karbonaattihiilen pitoisuudesta
ABCC	<i>acid buffering characteristic curve</i> , haponpuskurointikuvaaja
Amyylialkoholi	pentanoli, hajoamistuote amylyksantaatista
AP	hapontuottopotentiaali
BAT	<i>best available technology</i> , paras käyttökelpoinen tekniikka
BMA	<i>bulk mineral analysis</i> , mineraloginen analyysi
cut-off -pitoisuus	arvoaineen pitoisuusraja, joka erottaa malmin ja sivukiven ja jätteen luokittelussa alin luokituksessa huomioitava haitta-ainepitoisuus
Dekanttivesi	rikastushiekkänäytteen tiivistyessä, rikastushiekkänäytteen pinnalle kertyvästä vedestä otettava vesinäyte
GAI-arvo	geochemical abundance index - arvo, joka ilmaisee alkuaineen pitoisuutta vertailutason ollessa keskipitoisuus maankuoressa (0 = sama pitoisuus kuin maankuoren keskipitoisuus, 6 = noin 96-kertainen pitoisuus verrattuna maankuoren keskipitoisuuteen)
HTP-arvo	haitalliseksi tunnettu pitoisuus (STM)
hydroksisulfidi	sulfidimineraali, jonka kiderakenteessa on myös OH-ryhmä
IPEC	isopropyl ethyl thionocarbamate - isoprobyylietyyliionokarbaatti, kokoojakemikaali vaahdotuksessa
IPETC	<i>isopropyl ethyl thionocarbamate</i> - isoprobyylietyyliionokarbaatti, kokoojakemikaali vaahdotuksessa
Jalkapuoli	malmiesiintymän alapuolella oleva kallio
kairasydän	timanttikairauksessa saatava kartiomainen näyte
kairasydän	timanttikairauksessa kivistä saatava näyte, jonka tunnistetta ovat kairanreikännumero sekä kairausmetrit maanpinnasta
kattopuoli	malmiesiintymän yläpuolella oleva kallio
kineettinen testaus	kaivannaisjätteen pitkäaikaikäyttäytymistä tutkiva koe, jossa mineraalien luonnolliset reaktiot mahdollistuvat, voi kestää kuukausia tai vuosia
konseptualisointi	käsitteellistäminen, vuorovaikutusten, reaktioiden tai virtausten kuvaaminen -ei-numeerisesti
kontaktivesi	vesi, joka on kosketuksissa kaivannaisjätteen, rapautuvan louhosseinämän tai muun mahdollisesti haitta-aineita vapauttavan materiaalin kanssa
kosteuskammiokoe	<i>humidity cell test</i> , koe, jolla selvitetään kaivannaisjätteen (tai louhosseinämän) pitkäaikaikäyttäytymistä, kokeessa syötetään näytteeseen useiden kuukausien ajan tehostetusti ilmaa ja huuhdotaan ilmasyöttöjen välissä
louhostäyttö	maanalaisen kaivoksen täyttö, jota tehdään rakenteellisista syistä osana louhintatekniikkaa

monoliitti	rikastushiekasta ja sideaineista (Sakatin tutkimuksissa sementin ja kuonan seos) valmistettu louhostilojen pastatäyttöä edustava kappale
NAF	<i>non acid forming</i> - ei happoa tuottava
NAG-testi	<i>net acid generation test</i> - nettohapontuottokoe, vetyperoksidiuutto
NMR	<i>nuclear magnetic resonance spectroscopy</i> - ydinmagneettinen resonanssi spektroskopia, perustuu ilmiöön, jossa voimakkaassa magneettikentässä atomydin absorboi energiaa sähkömagneettisesta kentästä
NNP	nettoneutraloimisipotentiaali, NNP=NP-AP
NP	neutralointipotentiaali
NPR	neutraloimisipotentiaalisuhde, NPR=NP/AP
näytejakso	osa kairasydäntä pituussuunnassa (esimerkiksi 20-23 m), näytejakso ei ole sama kuin syvyys, sillä kairareitit eivät yleensä ole pystysuoria
PAF	<i>potentially acid forming</i> - happoa tuottava
PFS-A	esikannattavuusarviointi A
prosessivesinäyte	rikastuskokeen aikana otettava vesinäyte, prosessiin palaava kiertovesi tai rikastushiekasta erottuva vesi, vastaavia näytteitä voidaan ottaa myös toiminnassa olevan rikastamon prosessista
raakkulaimennos	sivukiven sekoittuminen malmiin
scoping-vaihe	alustava kannattavuustarkastelu (ensimmäinen luonnosvaihe hankesuunnittelussa)
SEM-EDX	energiadisersiivinen röntgenmikroanalyysointilaite
SEX	<i>sodium ethyl xanthate</i> - natriumetyyliksantaatti, kokoojakemikaali vaahdotuksessa
seinämä	maanalaisen kaivoksen tai avolouhoksen seinämä, joka on rakoitettu räjäytystyön seurauksena, seinämän käsite sisältää myös "lat-tian ja katon" sekä pinnoille kertyneen hienoaineksen
seinämävaikutus	(yllä määritellyn) seinämän vaikutus seinämän kanssa kontaktissa olevan veden laatuun
skaalauskerroin	kerroin, jonka avulla käsitellään laboratorioanalyysien tuloksia vastaamaan kenttäolosuhteita (esimerkiksi raekoon tai lämpötilan korjauskerroin)
SSTP	suurin suositeltu taustapitoisuusarvo; SSTP on suurin arvo, jota ei katsota poikkeamaksi alueen taustapitoisuusjakaumasta.
staattinen testaus	analyysi, joka voidaan tehdä suhteellisen nopeasti (esim. alkuaianalyysi, ABA-koe, NAG-testi, ravistelutesti jn.)
sulfidinen rikki	se osuus rikistä, joka esiintyy osana sulfidimineraaleja
suljetun kierron rikastuskoe	<i>locked-cycle-koe</i> - rikastuskoe, jossa kiintoaine ja vesi kiertävät kuten todellisessakin prosessissa
suotovesi	kaivannaisjätteestä alakautta poistuva/tihkuva ylimääräinen vesi
TAPIR-rekisteri	Valtakunnallinen maaperän geokemiallisten taustapitoisuuksien rekisteri (GTK)
UV-Vis	<i>UV-visible spectrophotometry</i> - UV-VIS-spektrometriassa hyödynnetään ultraviolettin ja näkyvän valon aallonpituuksia, menetelmää käytetään metalli-ioneja sisältävien näytteiden,

kaksoissidoksia sisältävien orgaanisten yhdisteiden ja biologisten makromolekyylien analysointiin

XRD
ylitevesi

X-ray diffraction analysis, jauheröntgendiffraktio
allasmaisen kaivannaisjätealueen päältä tai vesialtaalta pumpattava poistovesi

1 Johdanto

1.1 Tausta

Anglo American -konserniin kuuluva AA Sakatti Mining Oy (AASM) on vuonna 2011 perustettu suomalainen liiketoimintayksikkö, joka vastaa So-dankylässä sijaitsevan Sakatin monimetalliesiintymän malminetsinnästä sekä kaivoshankkeen toteutuksesta. Monimetalliesiintymän päämetallit ovat kupari ja nikkeli, minkä lisäksi malmi sisältää platinaa, palladiumia, koboltia, kultaa ja hopeaa.

Tässä asiakirjassa esitetään Sakatin kaivoksen kaivannaisjätteiden karakterisointitiedot, tiedot kaivannaisjätealueiden suotovesistä sekä laatuarviot maanalaisen kaivoksen ja tarvekilouhoksen kuivanapitovesistä. Arviot suotovesien, maanalaisen kaivoksen ja tarvekilouhoksen vedenlaadusta esitetään sekä kaivoksen tuotantovaiheelle että kaivoksen sulkemisen jälkeiselle ajalle.

1.2 Tarkasteltavat YVA-vaihtoehdot

Sakatin kaivoshankkeen YVA-menettelyssä vaikutuksia arvioidaan kolmen päävaihtoehdon, VE1, VE2 ja VE3 kautta. Vaihtoehtojen erona on kaivoksen toimintojen sijoittuminen hankealueelle. Lisäksi jokaiseen päävaihtoehtoon kuuluu kaksi alavaihtoehtoa a ja b.

Alavaihtoehtojen a ja b väliset erot kaivannaisjätteiden ja vesijakeiden laadun muodostumisen näkökulmasta ovat:

- Maanalaisen kaivoksen vinotunnelin toteutukseen liittyvät ratkaisut. Eri alavaihtoehdot vaikuttavat muodostuvan sivukiven laatuun.
- Matalarikkisen rikastushiekan läjitystapa, joka on alavaihtoehdossa a kuivaläjitys ja alavaihtoehdossa b märkäläjitys.

Hankkeen toteuttamatta jättämisen vaikutukset arvioidaan YVA-menettelyssä omana vaihtoehtonaan, vaihtoehtona VE0.

Sakatin kaivoshankkeen YVA-menettelyssä on tarkasteltu varsinaisten hankevaihtoehtojen lisäksi kahta eri rikastusprosessivaihtoehtoa. Rikastusprosessina käytetään vaahdotusta ja magneettierotusta. Rikastusprosessin yhtenä osana on ns. ripevaihe, jolla pyritään toisaalta mahdollisimman korkeaan lopulliseen arvomineraalien talteen saantiin ja toisaalta mahdollisimman alhaiseen rikkipitoisuuteen laitoksen rikastushiekka-alueelle ohjattavassa prosessijätteessä. Ripevaiheella on kaksi mahdollista toteutustapaa: prosessivaihtoehto 1 ja prosessivaihtoehto 2. Prosessivaihtoehdot eroavat toisistaan etenkin käytettävien kemikaalien suhteen. Prosessivaihtoehdot ovat tarkastelluista hankevaihtoehdoista erillisiä ja riippumattomia.

1.3 YVA-vaihtoehtojen vaikutus kaivannaisjätteiden laatuun ja määrään sekä vesien laatuun

Päävaihtoehdot VE1, VE2 ja VE3 vaikuttavat muodostuvien kaivannaisjätteiden laatuun ainoastaan vinotunnelin sijainnin osalta: tunnelista tulevien sivukivityyppien määräsuhteissa on eroja. Prosessivaihtoehdot vaikuttavat rikastushiekkojen ja rikastushiekka-alueiden vesien laatuun. Matalarikkisellä rikastushiekka-alueella muodostuvien suotovesien laatuun vaikuttavat myös läjitystapavaihtoehdot (a ja b). Kaivannaisjätteen määriin hankevaihtoehdoilla ei ole merkittävää vaikutusta. Jätealueiden sijainti päävaihtoehdoissa VE1, VE2 ja VE3 vaikuttaa jätealueiden mittasuhteisiin vain vähäisesti.

Vaikka jätealueen mittasuhteet tyypillisesti vaikuttavat jätealueella muodostuvan veden laatuun vesi/kiintoaine-kontaktisuhteen määrittelijänä, tässä mittasuhte-eroja voidaan pitää niin vähäisinä, että vaihtoehdon VE1a mittasuhteet on valittu edustamaan kaikkia kuivaläjitysvaihtoehtoja (VE1a, VE2a ja VE3a). Vastaavasti alavaihtoehtojen VE1b, VE2b ja VE3b ei oleteta eroavan toisistaan merkittävästi.

2 Toiminnan kuvaus

2.1 Kaivostoiminnan pääpiirteet ja mittakaava

Sakatin monimetalliesiintymän päämetallit ovat kupari ja nikkeli. Rikaste-tuotannon on arvioitu olevan yhteensä keskimäärin 250 000 t/v. Kuparin ja nikkelin lisäksi talteenotettavia arvometalleja ovat myös platina, palladium, koboltti, kulta ja hopea. Esiintymän nykyisin tunnetut mineraalivarannot ovat noin 44,4 miljoonaa tonnia. Yhtiön suunnitelmissa on aloittaa malmin louhinta 1,25-2,2 miljoonan tonnin vuosikapasiteetilla, jonka mukaan kai-voksen elinkaareksi voidaan arvioida yli 20 vuotta.

Louhinta suunnitellaan toteuttavaksi maanalaisena kaivoksena. Rakentami-seen tarvittavaa kiviainesta voidaan louhia myös maanpäällisestä tarvekivi-louhoksesta.

2.2 Malmin louhinta

Malmi louhitaan maanalaisena louhintana käyttäen välitaso- ja penger-louhinnan eri sovelluksia. Käytännössä malmiesiintymä jaetaan eri tasoilla oleviin erillisiin louhoksiin. Malmi on tarkoitus louhia lyhytreikätyttölouhin-tamenetelmällä, pitkäreikälouhintamenetelmällä sekä näiden yhdistelmänä.

Lyhytreikätyttölouhinnassa malmi irrotetaan vaakasuunnassa kerroksittain aloittaen yleensä esiintymän pohjalta ja edeten ylöspäin. Malmi porataan, panostetaan, räjäytetään, lastataan kuljetusajoneuvoihin ja siirretään pois louhoksesta. Kun kerros on louhittu, louhos täytetään. Täyttö tukee louhok-sen seinämiä ja toimii työskentelytasona, kun seuraavaa kerrosta louhitaan. Louhostäyttönä käytetään pasta-kivimursketäyttöä tai pastaa.

Pitkäreikälouhintamenetelmässä malmi porataan ja räjäytetään viuhkoissa yläpuoliselta tasolta alapuoliselle tasolle, josta malmin lastaus tapahtuu. Po-raus voidaan toteuttaa joko ylhäältä alaspäin tai alhaalta ylöspäin. Louhin-nassa muodostuva avoin tila täytetään yleensä osa-alueittain, ja täyttöme-netelmät ovat vastaavat kuin lyhytreikätyttölouhinnassa. Louhinta etenee osa-alueittain ja väliin jätetään ns. malmipilareita tukemaan louhosta. Me-netelmää käytetään myös kapeiden malmilinssien louhimiseen ns. pitkittäi-senä louhintana, jolloin porareiät ovat samansuuntaiset toisiinsa nähden viuhkamaisen porauksen asemasta.

2.3 Malmin esimurskaus ja kuljetus

Louhittu malmi murskataan maanalaiseen kaivokseen rakennettavalla esimurskaamolla, joka sijaitsee noin 450 metriä maanpinnan alapuolella. Louhitun malmin ensimmäinen murskausvaihe tapahtuu maan alla kaivok- sessa, jossa malmi murskataan karkeamurskaimella alle 150 mm

raekokoon. Esimurskauksen jälkeen virrasta poistetaan mahdollisesti sivukivimateriaalia ns. *Bulk Ore Sorting* -menetelmällä, eli mekaanisella lajitte-
lulla, jossa koko materiaalivirta ohjataan sensoriohjattuna poistohihnalle. Poistohihnan kautta materiaali kuljetetaan maan alla suoraan käytettäväksi kaivostäyttöön.

Esimurskattu malmi kuljetetaan maan pinnalle. Suoravinotunnelivaihtoehdossa (VE1a ja VE1b) ja mutkavinotunnelivaihtoehdossa (VE2b ja VE3b) malmin siirto tapahtuu hihnakuljettimilla vinotunnelia pitkin. Spiraalivinotunnelivaihtoehdossa (VE2a ja VE3a) malmi nostetaan maan päälle kuulunostimella. Maan päällä malmi siirretään hihnakuljettimilla Kuusivaaran tehdasalueelle katettuun malmin välivarastoon.

Malmin välivaraston koko on arviolta noin 33 000 m². Ympäristön suojaamiseksi kentälle rakennetaan vastaava vesitiivis pohjarakenne kuin korkearikkiselle sivukivelle. Kentän reunoilla pohjatiiviste nostetaan ylöspäin matalan patorakenteen avulla estämään sadevesien pääsy alueen ulkopuolelle. Kenttärakenteen kallistuksilla saadaan vedet johdettua alueen etelälaidalle, mistä ne kerätään erilliseen altaaseen.

Välivarastosta karkeamurskattu malmi siirretään hihnasyöttimillä ja -kuljettimilla kaksivaiheiseen hienomurskauspiiriin, jossa se murskataan aluksi 45–50 mm ja sen jälkeen 10–20 mm raekokoon. Murskauspiiri sisältää myös seulomalla tehtävän luokituksen, jossa karkea ja hieno aines erotetaan toisistaan, minkä jälkeen karkea aines palautetaan piirissä taaksepäin ja hienoaines ohjataan jatkovaiheisiin. On mahdollista, että murskauspiiriin tullaan integroimaan sensoripohjainen lajittelu ja malmin jakaminen erilaisiin varastoitaviin fraktioihin. Tämän tarkoituksena on mahdollistaa rikastusprosessin syötemateriaalin laadun säätö ja vakauttaminen, jolloin piirin automatisoitu optimointi onnistuu paremmin.

2.4 Rikastus ja siinä käytettävät kemikaalit

Louhittu malmi kuljetetaan rikastamolle, missä siitä erotetaan arvokkaat mineraalit. Rikastusprosessissa käytettävät menetelmät ovat murskaus, jauhatus, luokitus, vaahdotus ja magneettierotus sekä tuotteiden vedenpoisto. Murskeelle voidaan tulla tekemään myös sensoripohjaista poimintaa (sorttaus) ja mahdollisesti rikastuspiirissä gravitatiivista erotusta. Rikastusprosessissa Sakatin malmista tuotetaan Cu-Ni-yhteisrikastetta tai rikastusprosessi viedään pidemmälle, jolloin tuotteina ovat kuparirikaste (Cu-rikaste) ja nikkelirikaste (Ni-rikaste). Lisäksi on mahdollista, että prosessissa tuotetaan myös erillistä jalometallirikastetta, muussa tapauksessa em. metallirikasteet sisältävät jalometalleja.

Murskattu malmi hienonnetaan edelleen märkäjauhatusmyllypiirissä. Murske syötetään myllyihin veden kanssa ja jauhatuslietteen kiintoainepitoisuus on noin 60 %. Jauhatusprosessin luokittimina toimivat seula ja hydrosyklonit. Luokittimien avulla ylikarkea jauhatustuote palautetaan takaisin myllyihin ja raekooltaan sopiva, alle 0,2 mm:n jauhatuksen lopullinen tuote ohjataan vaahdotukseen. Myös kuivan ns. painevalssijauhatuksen (*High Pressure Grinding Roll, HPGR*) käyttämistä primäärivaiheena märkäjauhatuksen sijaan selvitetään.

On mahdollista, että ennen vaahdotusta karkeat partikkelit ohjataan esirikastuspiiriin, jossa käytettävät menetelmät voivat sisältää magneettisen erotuksen ja vaahdotuksen lisäksi myös ominaispainoerotuksen. Ominaispainoerotuksessa partikkelit erotetaan niiden tiheyden perusteella ja tarkoituksena on poistaa jatkoprosessista ei-malmimineraaleja sisältävät kevyet partikkelit. Tähän käytetään ns. spiraaliluokittimia, jossa liete kiertää spiraalimaista rataa ja kevyet partikkelit ajautuvat ulkokehälle. Ominaispainoerotuksessa ei käytetä kemikaaleja. Esirikastuspiirin tuotteet (esikäsitellyn rikaste ja esikäsitellyn jäte) ohjataan edelleen vaahdotusprosessin eri vaiheisiin jatkoprosessoitavaksi.

Vaahdotusprosessissa käytetään sekoittimilla ja ilmansyötöllä varustettuja vaahdotuskennoja, joihin jauhatuksesta tuleva malmiliete ohjataan. Vaahdotuskennossa sekoituksen, ilman ja sinne lisättävien kemikaalien avulla synnytetään ilmakuplasto, johon arvomineraalit tarttuvat ja nousevat kennossa olevan lietteen pinnalle ja siitä edelleen kennon reunan ylitteenä vaahdotusränniin. Rännin tuote ohjataan lietepumppujen avulla seuraavaan prosessivaiheeseen.

Vaahdotuksessa käytetyt kemikaalit voidaan jakaa seuraavasti: 1) kokoojat, joiden tehtävänä on kiinnittyä rikastettavien mineraalien pintoihin, 2) vaahdotteet, jotka alentavat rikastuslietteen pintajännitystä ja edesauttavat ilman avulla luotavan vaahdotuskuplaston muodostumista, 3) säännöstelijät, aktivoijat ja painajat, joita käytetään toisaalta arvomineraalien aktivointiin ja toisaalta epätoivottujen mineraalien passivointiin ulos arvomineraalien rikastusvaahdosta sekä 4) erilaiset vaahdotuslietteen alkaalisuuteen ja happamuuteen vaikuttavat kemikaalit. Näiden lisäksi käytetään lietteiden vedenpoistovaiheessa ns. flokkulantteja, jotka edesauttavat lietteiden sakeutusta. Prosessivaihtoehtojen kemikaalinkulutukset on esitetty taulukossa 2-1.

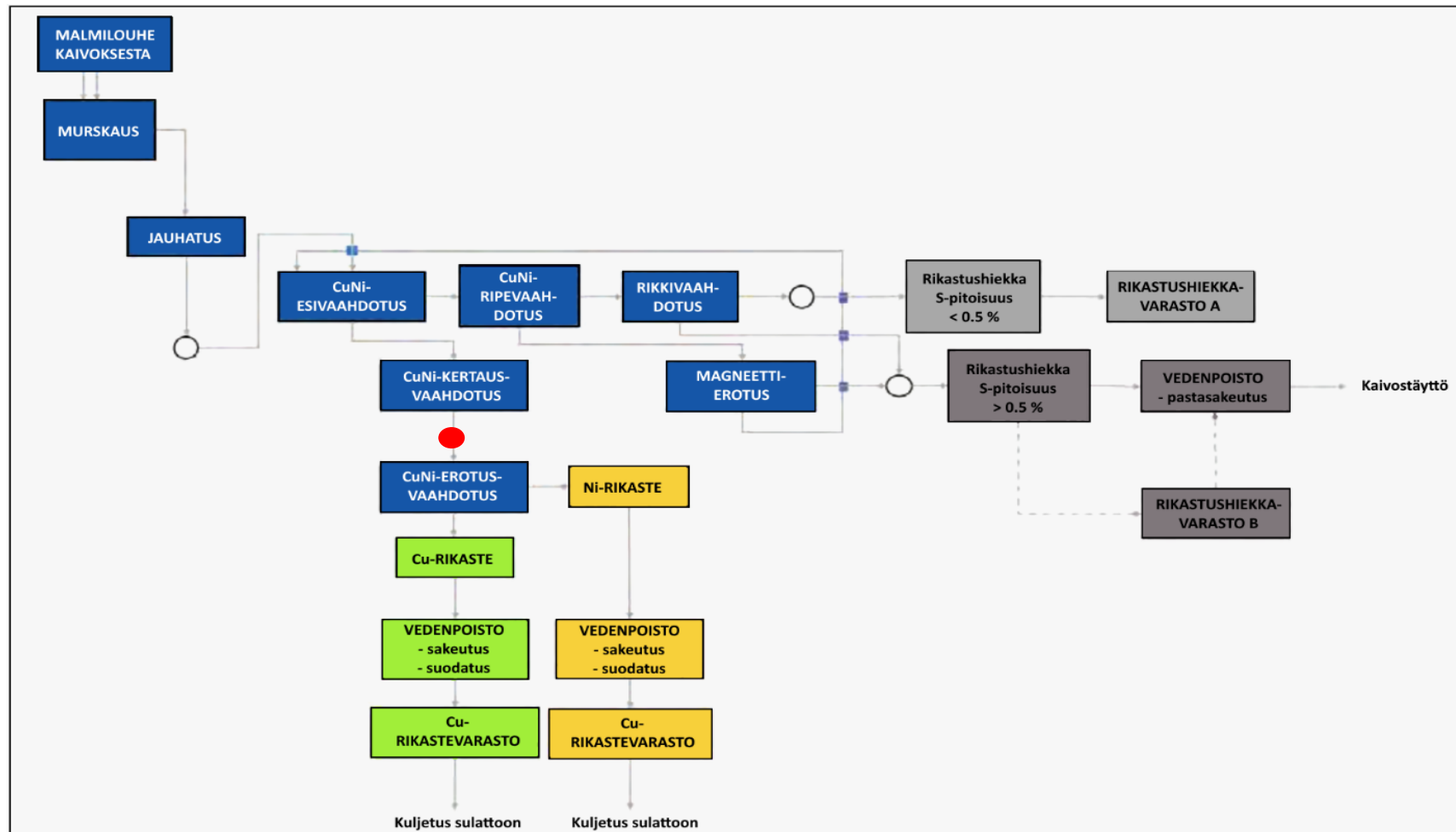
Sakatin rikastamon vaahdotuspiiri käsittää kuparin ja nikkelin yhteisesivaahdotuksen kertauksineen, josta tuotteena on kupari-nikkeli yhteisrikaste. Mahdollisesti tämä on lopputuote, mutta pääsuunnitteluvaihtoehtona on tällä hetkellä, että yhteisrikaste jaetaan kupari/nikkeli (Cu/Ni)–

erotusvaahdotuksella lopullisiksi tuotteiksi, eli erillisiksi kupari- ja nikkelirikasteiksi. Lisäksi on mahdollista, että tuotetaan pieniä määriä jalometallirikastetta. Rikaste tai rikasteet sakeutetaan ja suodatetaan noin 10 %:n lopukosteuteen ja varastoidaan kuljetettavaksi edelleen jatkojalostukseen. Yhteensä keskimääräinen rikastetuotanto on noin 0,25 milj. t/vuosi, mutta tuotannon suuruus sekä rikasteiden osuudet vaihtelevat malmin pitoisuudesta riippuen. Tällä hetkellä tiedossa oleva toiminnan aikainen vaihteluväli on 0,15–0,50 milj. t/vuosi.

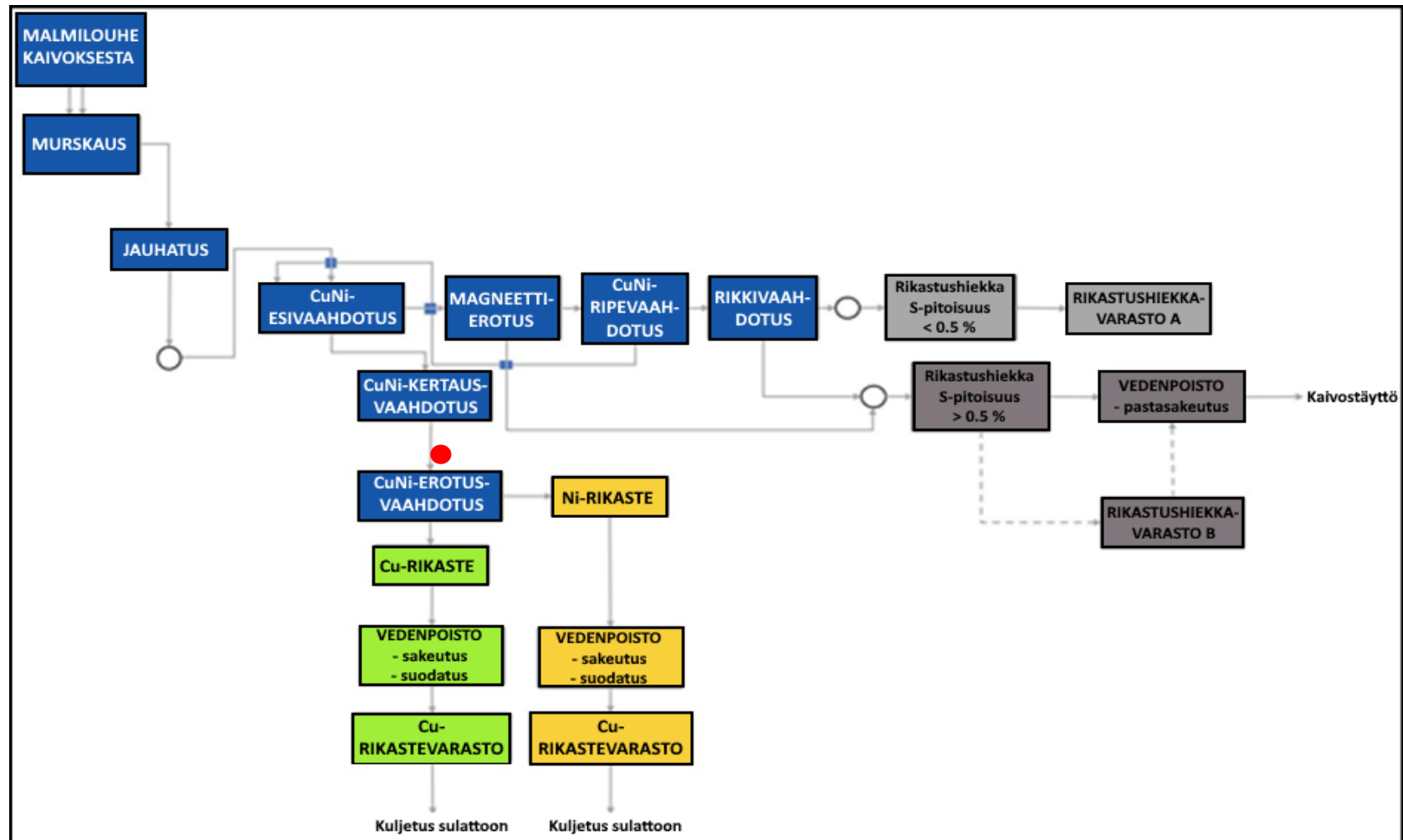
Rikastuspiiri käsittää myös ns. ripevaiheen, jolla pyritään toisaalta mahdollisimman korkeaan lopulliseen arvomineraalien talteen saantiin, ja toisaalta mahdollisimman alhaiseen rikkipitoisuuteen laitoksen rikastushiekka-alueelle ohjattavassa prosessijätteessä. Ripevaiheella on kaksi mahdollista toteutustapaa.

Prosessivaihtoehdossa 1 (Kuva 2-1) riperikastuksen ensimmäisenä vaiheena on Cu/Ni-ripevaahdotus. Tämän vaiheen rikaste ohjautuu märkämagneettierotukseen. Magneettierotuksessa prosessivirrasta erotetaan sulfidinen magneettikiisu, joka muodostaa osan korkearikkisestä rikastushiekasta. Ei-magneettinen osa palautetaan Cu/Ni-esivaahdotukseen. Cu/Ni-ripevaahdotuksen jätteelle suoritetaan vielä lopullinen rikkivaahdotus, jonka rikaste muodostaa kaivostäytteenä käytettävän korkearikkisen rikastushiekkajakeen yhdessä magneettikiisun kanssa. Rikkivaahdotusvaiheen jäte muodostaa matalarikkisen rikastushiekan, joka ohjataan läjitykseen.

Prosessivaihtoehdossa 2 (Kuva 2-2) ripepiirin ensimmäinen vaihe on suoraan märkämagneettierotus, jossa prosessivirrasta erotetaan sulfidinen magneettikiisu. Tämä, ns. LIMS-rikaste muodostaa osan Sakatin rikastamon korkearikkisestä jätteestä, josta toisen osan muodostaa viimeisenä riperikastusvaiheena vaahdotettava sulfidipitoinen riperikaste. Yhdistetty LIMS-rikaste-riperikaste sakeutetaan niin, että kiintoainepitoisuudeksi muodostuu 60–70 %.



**Kuva 2-1. Prosessivaihtoehdon 1 periaatetason prosessikaavio. Punaisella ympyrällä merkitty Cu-Ni-yhteisri-
kaste, joka on tässä vaiheessa optio.**



Kuva 2-2. Prosessivaihtoehdon 2 periaatteellinen prosessikaavio. Punaisella ympyrällä merkitty Cu-Ni-yhteisrikaste, joka on tässä vaiheessa optio.

Taulukko 2-1. Rikastuskemikaalien kulutusmäärät (annostus grammoina syötettyä malmitonnia kohden) ja kulutuksen vaihteluväli.

Kemikaalin käyttö-tarkoitus	Kemikaali	Annostuksen alaraja (g/t)	Annostuksen yläaraja (g/t)
pH-säätö	Ca(OH) ₂	0	1400
pH-säätö	Na ₂ CO ₃	0	4550
pH-säätö	NaOH	0	1920
pH-säätö	Mg(OH) ₂	0	1200
pH-säätö	Rikkihappo	0	5400
Aktivaattori	CuSO ₄	0	250
Vaahdote	MIBC	80	150
Vaahdote	Dowfroth250	19	198
Vaahdote	Flotanol C7	0	50
Si-painaja	CMC	0	350
Si-painaja ja pH-säätö	Vesilasi	0	600
Ni-painaja	Dextrine	0	475
Ni-kokooja	Aero407, Danafloat 271/371	150	300
Cu-kokooja	Aero3894A, Danafloat 262	70	170
S-kokooja	SEX	0	33
S-kokooja	SIBX	0	150

2.5 Esiintymät ja mineralisaatio

Sakatin esiintymän tunnettujen mineraalivarantojen määrä on tällä hetkellä kaikkiaan noin 44,4 miljoonaa tonnia (osoitetut ja mahdolliset mineraalivarannot, raportoitu v. 2016 käyttäen JORC-koodistoa). Esiintymä koostuu seuraavista mineralisaatiotyypeistä:

- Magneettikiisu-pentlandiittivaltainen massiivisulfidi
- Kupaikiisuvaltainen massiivisulfidi
- Kupaikiisuvaltainen juoniverkko/juonia
- NE-esiintymän karkearakeinen rikkikiisumineralisaatio
- Kupaikiisuvaltainen pirote

3 Kaivannaisjätteen muodostuminen ja määrä

3.1 Yleistä

Ympäristönsuojelulain (527/2014) 112 §:n mukaan kaivannaisjäte on kallio- tai maaperässä luonnollisesti esiintyvän orgaanisen tai epäorgaanisen aineksen irrotuksessa taikka sen varastoinnissa tai rikastuksessa syntyvää jätettä. Sakatin kaivoksen toiminnassa syntyy matala- ja korkearikkistä rikastushiekkaa, matala- ja korkearikkistä sivukiveä, pintamaata, selkeytysaltaiden pohjalietettä sekä vesienkäsittelyn sakkaa.

Kaivannaisjäteasetuksen 190/2013 4 §:n mukaan jätehuoltosuunnitelmassa tulee esittää selvitys toiminnassa syntyvistä jätteistä ja niiden määrä. Asetuksen liitteen 3 kohdan A. 1. c) mukaan kaivannaisjätteen ominaisuuksien määrittelyn jätehuoltosuunnitelmassa tulee perustua tietoon jätteen lajista ja sen suunnitelmasta hyödyntämisestä ja loppukäsittelystä. Kaivannaisjätteen jätehuoltosuunnitelma laaditaan vasta ympäristölupahakemuksen yhteydessä lopulliselle suunnitelmalle, kun taas YVA-vaiheessa kaivannaisjätteitä käsitellään vaihtoehtotarastelun ehdoilla. YVA-vaiheessa huomioidaan kuitenkin sisällöllisesti soveltuvilta osin kaivannaisjätteen jätehuoltosuunnitelman mukaiset tietotarpeet.

3.2 Pintamaa

Maanpoistoa tullaan toteuttamaan rakentamisen yhteydessä erityisesti Kuusi-vaaran tehdasalueella sekä vaihtoehdosta riippuen myös Pahanlaaksonmaalla. Kaivannaisjätealueiden maanpoistotarpeiden laajuus riippuu mm. valittavasta matalarikkisen rikastushiekan sijoituspaikasta ja läjitystavasta, jotka puolestaan vaikuttavat rikastushiekka-alueen kokoon (pinta-alaan). Maaperän ominaisuudet vaihtelevat tarkasteltavan alueen eri osissa, joten poistomaiden ominaisuudet riippuvat jossain määrin rikastamon, läjitysalueiden ja muun infrastruktuurin sijoituspaikoista.

Hankealueella vallitseva maalaji on moreeni, mutta myös lajittuneita maalajeja tavataan. Mineraalimaan päällä on laajalti turvekerrostumia. Kaivoksen rakentamisen ja muiden maarakennustöiden yhteydessä arvioidaan muodostuvan kaikkiaan noin 2,2 milj. m³ pintamaita ja muita maa-aineksia. Varastoidun pintamaan määrä vaihtelee kaivoksen toiminnan aikana, sillä syntyneitä ylijäämämaita voidaan hyödyntää rakentamisessa, meluntorjuntarakenteissa ja sulkemisessa. Humuspitoiset pintamaat varastoidaan erilleen muista maamassoista, jotta ne voidaan hyödyntää kaivoksen sulkemistyössä kasvukerroksena.

3.3 Sivukivi

Louhinnasta syntyvän sivukiven määräksi on arvioitu noin 8,8 milj. tonnia, josta noin 3,7 milj. tonnia on korkearikkistä ja 5,1 milj. tonnia matalarikkistä. Korkearikkinen sivukivi on mahdollisesti hapanta, metallipitoista valumaa

tuottavaa. Sivukiven muodostumismäärät perustuvat VE1a laskelmiin. Laskelmaan sisältyy maanalaiseen kaivokseen johtavien neljän vinotunnelin louhinnasta syntyvät sivukivimassat. Myös vaihtoehdossa VE1b on neljä vinotunnelia, mutta ne ovat pituudeltaan hieman lyhyempiä kuin vaihtoehdon VE1a tunnelit. Vaihtoehdoissa VE2a, VE2b, VE3a ja VE3b vinotunneleita on vain yksi. Jonkin verran sivukiveä muodostuu myös pystykuiluista.

Molemmat sivukivijakeet läjitetään väliaikaisesti omille sijoitusalueilleen. Sivukivi hyödynnetään kaivoksen toiminnan aikana. Korkearikkinen sivukivi pyritään hyödyntämään louhostäyttönä osana pasta-kivimursketäyttöä ja matalarikkistä sivukiveä hyödynnetään pääasiassa kaivoksen rakentamisessa. Sulkemisen jälkeen kaivosalueella ei ole enää sivukivialueita.

3.4 Rikastushiekka

Kaivoksella muodostuu kahta rikastushiekkajaeetta, matalarikkistä ja korkearikkistä. Matalarikkistä rikastushiekkaa arvioidaan muodostuvan koko toiminnan aikana 27,5-31 Mt ja korkearikkistä 3,6-5,4 Mt. Matalarikkinen rikastushiekka sijoitetaan maan pinnalle, rikastushiekka-alueelle, kuivaläjityksenä tai märkäläjityksenä. Korkearikkinen rikastushiekka välivarastoidaan pumppaamalla se lietteenä maan pinnalla sijaitsevaan varastoaltaaseen. Välivarastoaltaassa hiekka on jatkuvasti veden peittämä.

Korkearikkinen rikastushiekka tullaan hyödyntämään kokonaisuudessaan kaivostäyttöön valmistettavan pastan materiaalina. Lisäksi osa matalarikkisestä rikastushiekasta hyödynnetään pastan valmistukseen. Pasta sisältää seoksena sekä matalarikkistä että korkearikkistä rikastushiekkaa.

Kaivoksen toiminnan päätyttyä korkearikkisen rikastushiekan varastoallas puhdistetaan ja altaan rakenteet puretaan pois. Matalarikkisen rikastushiekka-alueen sulkeminen toteutetaan kuivaläjitysvaihtoehdossa vaihteittain, osittain jo kaivoksen toiminnan aikana. Suljetun matalarikkisen rikastushiekka-alueen lisäksi maanpälle ei tule jäämään muita kaivannaisjätealueita kaivoksen sulkeamisen jälkeen.

3.5 Vesienkäsittelyn sakat ja selkeytysaltaiden pohjalietteet

Kaivoksen vesienkäsittelyratkaisut vaikuttavat siihen, mitä yhdisteitä vesienkäsittelyssä muodostuviin sakkoihin päätyy. Sakassa tai sakoissa tulee kuitenkin esiintymään samoja aineita, joita kaivosalueen vesikierrossakin tavataan. Toisin sanoen sakan alkuainevalikoima heijastelee mm. kaivannaisjätteiden alkuainevalikoimaa. Sakalle tehdään tarkemmat tutkimukset, kun sitä alkaa muodostua.

Maanalaisen kaivoksen kuivatusvesistä kertyy lietettä selkeytysaltaiden pohjalle. Lieite on hienoa kiviainesta, joka erottuu kuivatusvesistä laskeutumalla.

Kunnossapidollisista syistä altaiden pohjalle kertynyt liete tullaan ajoittain poistamaan. Lietteelle tehdään tarkemmat tutkimukset, kun sitä alkaa muodostua.

Sakkojen ja lietteiden jatkokäsittelyä ei ole vielä päätetty, mutta mahdollisesti ne voidaan sijoittaa kaivostäyttöihin tai rikastushiekka-alueelle. Hyötykäytön mahdollisuutta tullaan selvittämään jatkossa, mutta tässä hankevaiheessa tarkka selvittäminen ei ole vielä mahdollista. Sakkojen hyötykäyttö ei kuulu YVA:ssa tarkasteltaviin vaihtoehtoihin.

4 Kaivannaisjätteiden karakterisointimenetelmät

Kaivannaisjätteiden ominaisuuksien kuvaamisen keskeinen tavoite on selvittää, mitkä jätteen ominaisuudet on huomioitava jätteen sijoitusta, läjitystekniikkaa, vesienhallintaa ja jälkihoitoa suunniteltaessa. Karakterisoinnissa selvitetään mineralogisia, kemiallisia, fysikaalisia ja geoteknisiä ominaisuuksia, joilla on merkitystä kaivannaisjätealueiden ympäristövaikutusten hallinnassa, hallinnan suunnittelussa ja vaikutusten ennaltaehkäisyssä. Luvuissa 5–7 esitetään pintamaiden, sivukivien ja kahden eri prosessivaihtoehdon rikastushiekkujen geokemiallisten karakterisointien tulokset. Yksityiskohtaisemmat kuvaukset tuloksista on esitetty seuraavissa luvuissa matriisi- ja tutkimuskohtaisesti.

Taulukko 4-1 kokoaa tutkimukset, mitä on tehty kullekin Sakatin materiaalille. Taulukon mukaisten menetelmien kuvaukset on esitetty luvuissa 4.2–4.12.

Taulukko 4-1. Geokemialliset karakterisointimenetelmät matriiseittain.

Menetelmä	Matriisi			
	Pintamaat	Sivukivet	Rikastushiekat, prosessivaihtoehto 1	Rikastushiekat, prosessivaihtoehto 2
Mineraloginen tutkimus		x	x	x
Kuningasvesiuutto	x	x		
Neliappouutto			x	x
ABA-testi		x	x	x
NAG-testi		x	x	x
NAG-testin loppuliuoksen testaus		x	x	x
1-vaiheinen ravistelu-testi			x	
2-vaiheinen ravistelu-testi	x	x		x
Kosteuskammiokoe		x	x	x
Monoliitin uuttokoe			x	x
Prosessiveden analyysi			(x)	x
Prosessiveden rikastuskemikaalijäämien analyysi			(x)	x
Dekanttiveden analyysi			(x)	x

Sulkeissa olevat prosessi- ja dekanttivesianalyysit eivät edusta täysin suljetun kierron rikastuskoetta.

4.1 Lainsäädäntö karakterisointimenetelmien perusteluna

Tutkimukset perustuvat kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013, Liite 3) mukaisiin vaatimuksiin. Kaivannaisjäteasetuksen 4 §:ssä esitetään vaatimukset kaivannaisjätteen jätehuoltosuunnitelman sisällöstä, johon liittyy kaivannaisjätteen ominaisuuksien määrittely asetuksen liitteen 3 mukaisesti. Tämä raportti ei

vielä ole ympäristölupavaiheeseen kuuluva kaivannaisjätteen hallintasuunnitelma, joten tiedot esitetään tässä vaiheessa soveltuvilta osin.

Ote kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013) liitteestä 3:

A. Jätteen ominaisuuksien määrittely

1. Jätteen ominaisuuksien määrittelyn on perustuttava seuraaviin tietoihin:

d) Jätteen geotekninen käyttäytyminen:

- Soveltuvien muuttujien tunnistaminen jätteen olennaisten fysikaalisten ominaisuuksien arvioimiseksi ottaen huomioon jätealueen tyyppi
- Soveltuvia muuttujia voivat olla: raekokojakauma, plastisuus, tiheys ja vesipitoisuus, tiivistymisaste, leikkauslujuus ja kitkakulma, läpäisevyys-huokoisuussuhde, kokoonpuristuvuus ja konsolidaatio

e) Jätteen geokemialliset ominaisuudet ja käyttäytyminen:

- Jätteen ja siinä mahdollisesti olevien kemikaalien ja kemikaalijäännösten kemiallisten ja mineralogisten ominaisuuksien erittely
- Arvio ajan mittaan muuttuvista suotoveden kemiallisista ominaisuuksista jätelajeittain, ottaen huomioon jätteen suunnitellut käsittelytavat, erityisesti:
 - o metallien, oksianionien ja suolojen ajan myötä tapahtuvan huuhtoutumisen selvittäminen liukoisuuden pH-vaikutustestillä, läpivirtaustestillä, aikariippuvaista liukoisuutta arvioivalla testillä ja/tai muulla soveltuvalle testillä
 - o sulfidia sisältäville jätteille, staattiset ja kineettiset testit ajan myötä tapahtuvan happaman suotoveden muodostumisen ja metallien huuhtoutumisen määrittelemiseksi

Säädösvaatimuksia kaivannaisjätteiden testaukselle on esitetty kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013) liitteessä 1.

Karakterisointitietoja tulee verrata pysyvän kaivannaisjätteen määritelmään (VNA 190/2013, Liite 1):

- o Kaivannaisjäte on pysyvää, mikäli sulfidisen rikin pitoisuus on enintään 0,1 prosenttia tai se on enintään 1 prosentti ja neutralointipotentiaalisuhde, määriteltynä neutralointipotentiaalin ja hapontuottopotentialin välisenä suhteena testimenetelmän EN 15875 staattisen testin perusteella, on suurempi kuin 3.
- o Jätteen ja siitä erottuvan hienoaineksen sisältämien ympäristölle tai ihmisen terveydelle mahdollisesti haitallisten aineiden (erityisesti arseeni, kadmium, koboltti, kromi, kupari, elohopea, molybdeeni, nikkeli, lyijy, vanadiini ja sinkki) pitoisuudet jätteessä ovat riittävän alhaiset siten, että niistä aiheutuva vaara ympäristölle ja terveydelle on merkityksetön sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä. Mainittujen aineiden pitoisuuksia pidetään riittävän alhaisina ja niistä ympäristölle tai terveydelle aiheutuvaa vaaraa merkityksettömänä, jos ne eivät ylitä maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista annetussa valtioneuvoston asetuksessa (214/2007) tarkoitettuja arviointia edellyttäviä kynnysarvoja tai alueen ympäristön maaperän taustapitoisuuksia.

4.2 ABA-testi

ABA-testi (*acid base accounting*) tehdään kaivannaisjätteelle aina, sillä kyseessä on yksi kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013) liitteen 1 mukaisista vaatimuksista (luku 4.1), joiden perusteella kaivannaisjäte luokitellaan pysyväksi tai ei-pysyväksi (luku 11). Jotta jäte voidaan luokitella pysyväksi kaivannaisjätteeksi, sulfidisen rikin pitoisuus saa olla enintään 0,1 prosenttia tai neutralointipotentiaalisuhteen ollessa >3 , enintään 1 prosentti.

ABA-testin tarkoituksena on selvittää, voiko kaivannaisjätteestä aiheutua hapanata valumaa. Määrittelypaketti ja laskennat toteutetaan standardin EN 15875 mukaisesti. Testissä saadaan tuloksena kokonaisrikki- ja kokonaishiilipitoisuudet, karbonaatti- ja ei-karbonaattihiili sekä sulfaattirikki. Laskennallisena tuloksena saadaan sulfidinen rikki (S^{2-}), josta lasketaan aineksen hapontuottokapasiteetti AP. Neutralointikapasiteetti NP lasketaan karbonaattihiilen pitoisuudesta. Testin tuloksista lasketaan myös neutralointipotentiaalisuhde NPR (kaavalla NP/AP ; *neutralization potential ratio*) sekä nettoneutraloimispotentiaali NNP (kaavalla $NP-AP$; *net neutralization potential*). Tulosten perusteella tutkittava materiaali voidaan luokitella happoa tuottavaksi (PAF; *potentially acid forming*) tai ei-happoa tuottavaksi (NAF; *non acid forming*), mutta pysyväksi jätteeksi luokittelu edellyttää tämän lisäksi riittävän alhaisia alkuainepitoisuuksia kunin-gasvesiuutolla tutkittuina (luku 4.5).

ABA-testin tuloksia sovellettaessa on syytä huomioida, että ABA-testissä tarkastellaan kokonaishapontuottokapasiteettia ja kokonaisneutralointikapasiteettia. ABA-testi ei anna kuvaa siitä, kuluvatko nämä kapasiteetit samalla nopeudella. Tästä syystä myös kaivannaisjätteiden kineettinen testaus on tärkeää. Lisäksi korkea nettoneutralointipotentiaali ei välttämättä estä metallipitoisen valuman muodostumista, sillä useat metallit ovat liukoisia neutraaleissa olosuhteissa.

4.3 NAG-testi ja NAG-utteen tutkimus

NAG-testi tehdään yleensä ABA-testin rinnakkaismenetelmänä. NAG-testillä määritetään näytteen nettohapontuotto (*net acid generation*). NAG-testi hapettaa tehokkaasti näytteessä olevia sulfidimineraaleja vapauttaen myös happamuutta, joka puolestaan reagoi karbonaattimineraalien ja reaktiivisten silikaattimineraalien kanssa.

NAG-testi tehdään ohjeen AMIRA P387A (Appendix D) mukaisesti. Analyysi perustuu näytteen hapettamiseen vetyperoksidilla, jolloin haponmuodostus ja neutralisointireaktiot tapahtuvat samanaikaisesti. Pulverisoitu kaivannaisjätteenäyte asetetaan reagoimaan vetyperoksidin kanssa ja ylimääräinen vetyperoksidi poistetaan kuumentamalla, mikä myös edistää neutralointikapasiteetin vapautumista ja neutraloinnin käynnistymistä.

Kun pH ei enää laske, on saavutettu minimi-pH eli NAG-pH. Kuumennuksen jälkeen näyte titrataan emäksellä ja titrauksessa kuluneen emäksen määrästä saadaan laskettua nettohapontuotto (NAG) yksikössä kg H₂SO₄/t. NAG-testin tuloksena saatavat NAG-pH (eli NAG-testin minimi-pH) ja nettohapontuottopotentiaali eli NAG-arvo eivät vastaa mitään todellisesta kaivannaisjätealueen suotovedestä mitattavia tekijöitä, vaan toimivat riskien tunnistamisen työkaluna ja antavat viitteellistä tietoa kaivannaisjätteen pitkäaikaikäyttyäytymisestä.

NAG-testin yhteydessä voidaan määrittää NAG-uutteen alkuainepitoisuudet. Mittaamalla NAG-uutteen pitoisuuksia saadaan selville, kuinka paljon aineita näytteestä liukenee sulfidien äärimmäisen hapettamisen seurauksena, suoraan tai välillisesti. NAG-testin ohjeen AMIRA P387A (Appendix D) mukaan testiin kuuluu kuumennusvaihe, mutta kuumennusvaihe voidaan tarvittaessa myös jättää pois, jolloin reaktioaikaa pidennetään. Kuumentaminen voidaan joutua jättämään pois siksi, että kuumennuksessa NAG-uute ajetaan liian emäksiseksi poistettaessa hiilidioksidia. Koska kuumennus voi johtaa luonnottoman korkean pH:n muodostumiseen, myös sellaisia saostumisreaktioita saattaa ilmetä, jotka haittaavat analyysituloksen tulkintaa. Lisäksi NAG-testin tulokinnassa on huomioitava, että peroksidi hajoaa katalyyttisesti (metalli-ionit liuoksessa edistävät peroksidin hajoamista) ja peroksidin liian nopean kulumisen takia NAG-testissä voi muodostua tilanne, jossa sulfidien hapettuminen jää vajaaksi.

NAG-testi on lyhytkestoinen ja hapettaa mineraaleja äärimmäisen nopeasti. NAG-uutteesta mitattavat alkuaineet tai yhdisteet pitoisuudet eivät siis edusta todellisella kaivannaisjätealueella esiintyvää veden laatua. NAG-uutteen tulokset esitetään prosentteina alkuaineiden kokonaispitoisuuksista. Näiden tulosten avulla saadaan teoreettinen tieto siitä, kuinka suuri osuus yksittäisen alkuaineen kokonaispitoisuudesta voi pitkällä aikavälillä liueta sulfidien hapettumisen seurauksena. Tieto on teoreettinen, koska todellisella kaivannaisjätealueella mineraaliaines voi olla NAG-testin näytettä huomattavasti suuremmassa rae-koossa. Todellinen kaivannaisjäte voi sisältää jopa lohkareita, joiden sisäosiin hapettumisreaktiot eivät ulotu. Todellisella kaivannaisjätealueella voi esiintyä myös vedellä kyllästyneitä vyöhykkeitä, jotka estävät hapettumisreaktioita.

Prosessivaihtoehdon 2 rikastushiekkujen testauksesta mainittakoon, että niissä tapauksissa, joissa NAG-uute oli hapan ennen ja jälkeen NAG-testin kuumennusvaiheen, alkuainepitoisuudet määritettiin uutteesta kuumennusvaiheen jälkeen. Muissa tapauksissa alkuainepitoisuudet mitattiin uutteesta sekä ennen että jälkeen kuumennusvaiheen.

4.4 Ravistelutestit

Ravistelutesti ei ole varsinaisesti kaivannaisjätteen tutkimusmenetelmä. Ravistelutesti on kuitenkin Suomessa melko vakiintunut osa kaivannaisjätteiden

testausta eikä siitä ole toistaiseksi vielä luovuttu, vaikka sen tuottama hyöty kaivannaisjätetutkimuksessa jääkin usein vähäiseksi.

Muiden jätteiden kuin kaivannaisjätteiden tarkastelussa ravistelutestejä käytetään kaatopaikalle sijoitettavan jätteen luokittelussa. Vesienkäsittelyn sakat luokitellaan pääsääntöisesti muuksi jätteeksi kuin kaivannaisjätteeksi ja niille ravistelutestiä käytetään myös luokittelun tukena. Ravistelutestin perusteella muu jäte kuin kaivannaisjäte luokitellaan loppusijoituskelpoiseksi joko pysyvän, vaarattoman tai vaarallisen jätteen kaatopaikalle (Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista, VNA 331/2013).

Kaivannaisjätteen jätealueita ei luokitella pysyvän, vaarattoman tai vaarallisen jätteen kaatopaikoksi vaan kaivannaisjätteiden jätealueet ovat joko suuronnettomuuden vaaraa aiheuttavia jätealueita tai muita kaivannaisjätealueita. Ravistelutestin perusteella ei myöskään luokitella mitään jätettä vaarattomaksi tai vaaralliseksi jätteeksi, vaan luokittelu vaaralliseksi jätteeksi tapahtuu vaaraominaisuuksien arvioinnin perusteella. Vaaraominaisuuksien arviointi käsitellään luvussa 11.3.

Kaksivaiheisessa ravistelutestissä (standardi EN 12457-3) käytetään uuttoliuoksesta deionisoitua vettä. Testi koostuu kahdesta peräkkäisestä uutosta. Ensimmäinen ravistelu tehdään L/S 2-suhteessa ja toinen L/S 8-suhteessa. L/S-suhde kuvaa nesteen ja kiinteän aineksen suhdetta. Molemmista uutteista määritetään metallit ja tarvittaessa anionit (kloridi, fluoridi ja sulfaatti), pH, sähkönjohtokyky ja liuennut orgaaninen hiili (DOC). Tulokset ilmoitetaan kuiva-ainetta kohti sekä L/S 2- että kumulatiivisessa eli laskennallisessa L/S 10-suhteessa, joista L/S 10-tuloksille tehdään raja-arvovertailu. Joillekin materiaaleille (esim. Sakatin prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekka) on tehty yksivaiheinen ravistelutesti EN 12457-4. Tämä uutto tehdään suoraan uuttosuhteessa L/S 10 deionisoidulla vedellä. Ravistelutestimenetelmän valinta riippuu mm. tutkittavan näytteen raekoosta ja uutoksen suodattuvuudesta. Yleensä kaksivaiheista ravistelutestiä pidetään ensisijaisena vaihtoehtona.

Ravistelutestillä saadaan selville, mitä aineita näytteestä voi vapautua ilman haptumisreaktioiden vaikutusta. Testi voi siis antaa kuvan siitä, mitä aineita suotovesissä voi esiintyä jo lyhyellä aikavälillä. Ravistelutestin tulos ei kuitenkaan ole koskaan suotovesilaatu. Esimerkiksi vesi-kiintoainesuhde ja raekoko laboratorio-oloissa ja kaivannaisjätealueella eivät vastaa toisiaan.

4.5 Kuningasvesiuutto alkuainepitoisuuksien arvioinnissa

Kuningasvedellä pyritään uuttamaan muut kuin vaikeasti silikaattimineraaleihin sitoutuneet metallit (Ympäristöministeriö 2014). Kuningasvesiuutto toteutetaan standardin SFS ISO 11466 mukaisella tavalla väkevän suolahapon (HCl) ja typpihapon (HNO₃) seoksella.

Kuningasvesiuutto tehdään kaivannaisjätteelle aina, sillä kyseessä on kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013) mukainen vaatimus. Toinen osa kaivannaisjätteen luokittelua pysyväksi tai ei-pysyväksi liittyy ABA-testin tuloksiin (luku 4.2). Osana kaivannaisjätteen luokittelua pysyväksi tai ei-pysyväksi jätteeksi Kaivannaisjäteasetuksen liitteen 1 mukaisesti, kuningasvesiuuton tuloksia verrataan PIMA-asetuksen (214/2007) kynnysarvoihin. Vaihtoehtoisesti tuloksia verrataan alueellisiin taustapitoisuuksiin.

4.6 Nelihappouutto alkuainepitoisuuksien arvioinnissa

Kaivannaisjätteiden karakterisoinnissa on käytetty myös nelihappouuttoa (ASTM E2941-21), joka on hajotusmenetelmänä kuningasvesiuuttoa tehokkaampi ja voi tuottaa kuningasvesiuuttoa suurempia pitoisuuksia. Nelihappouutossa käytetään suolahappoa (HCl), typpihappoa (HNO₃), vetyfluoridihappoa (HF) ja kloorihappoa (HClO₃). Nelihappouuttoa on sovellettu Sakatin prosessivaihtoehto 1:n ja 2:n rikastushiekkojen metallipitoisuuksien määrittämisessä. Näitä tuloksia verrataan jatkossa myös PIMA-asetuksen (214/2007) mukaisiin kynnys- ja ohjearvoihin, vaikka vertailu ei olekaan suoraan kaivannaisjäteasetuksen 190/2013 liitteen 1 mukainen menettely. Nelihappouuton tulosten vertaamista kuningasvesiuuttoon perustuviin raja-arvoihin voidaan kuitenkin pitää konservatiivisena lähestymistapana, sillä nelihappouutto on pääsääntöisesti uuttona "ylitehokas" tähän käyttötarkoitukseen.

Nelihappouuton käyttö kaivannaisjätteiden kokonaispitoisuuksien arvioinnissa liittyy siihen, että XRF-menetelmän lisäksi nelihappouutto on malminetsinnässä vakiintunut analyysimenetelmä, koska malminetsinnässä halutaan tietää kokonaiskoostumus eikä osittaisliuotuksen tulos kiven alkuainekoostumuksesta. Esi-merkiksi rikastushiekan ja malmin tutkiminen yhteisellä menetelmällä voi helpottaa kokonaisuuden hallintaa, sillä malmin vaihtelun vaikutusta rikastushiekan laatuun on helpompi arvioida käytettäessä yhteistä menetelmää.

4.7 Kosteuskammiokoe

Kosteuskammiokoe on ensisijainen testimenetelmä silloin, kun tarvitaan tietoa sulfidimineraalien hapettumisesta ja hapettumistuotteista pitkällä aikavälillä. Kosteuskammiokoe on kuitenkin hyödyllinen myös ei-happoa tuottavien kaivannaisjätteiden tarkastelussa, kun tuotetaan lähtötietoa suotovesien laadun arviointiin. Kaivannaisjäteasetuksen (190/2013) kaivannaisjätteen ominaisuuksien määrittelyä koskeva liite 3 edellyttää kineettistä testausta sulfidipitoiselle jätteelle.

Kosteuskammiokoe (ASTM D5744) on pitkäaikainen kineettinen koe. Kesto vaihtelee tarpeen mukaan 20 viikosta useisiin vuosiin. Kosteuskammiokokeessa näytettä altistetaan viikoittain sekä hapettumiselle että vesihuuhtelulle. Ensimmäinen huuhtelu eli alkuhuuhtelu tehdään kokeen alkaessa ja huuhtelua

jatketaan sen jälkeen viikoittain. Näytteen läpivirrannut huuhteluvesi tutkitaan viikoittain ja tuloksia tarkastellaan aikasarjana. Viikkoliuosten pitoisuuksia voidaan käyttää lähtötietona suotoveden laadun arvioinnissa. On siis muistettava, että vaikka kosteuskammiokokeen tulosta voidaan käyttää suotoveden laatuarvioinnin lähtötietona, se ei koskaan kuvaa suoraan suotoveden laatua. Todellisella kaivannaisjätealueella vesi ja kiintoaine kohtaavat eri määrasuhteissa ja eri lämpötilassa kuin laboratoriossa. Sivukivellä myös raekoko poikkeaa kosteuskammiokokeen raekoosta. Kaivannaisjätealueen ja laboratoriokokeen välillä voi olla myös muita olosuhde-eroja.

Erityisen tärkeä kosteuskammiokokeesta saatava tulos on neutralointikapasiteetin ja hapontuottokapasiteetin ajallinen suhde. Neutralointikapasiteetti voi kulua loppuun hapontuottokapasiteettia nopeammin, vaikka neutralointikapasiteetti olisi moninkertainen hapontuottoon nähden ja vaikka esimerkiksi ABA-testin perusteella näyte ei olisi happoa tuottava.

Kosteuskammiokokeen tulokset kuvaavat jätemateriaalien rapautumista (ml. hapettumisreaktiot) tehostetuissa olosuhteissa. Kosteuskammiokokeen olosuhteet eivät kuitenkaan mahdollista niitä prosesseja, jotka tapahtuvat syvemmillä rikastushiekkakerroksessa todellisissa olosuhteissa, missä hapen määrä on rajallinen. Näissä olosuhteista tapahtuvia muutoksia kaivannaisjätealueilla voidaan saada lisätietoa mm. modifioiduilla testeillä ja/tai geokemiallisella mallintamisella.

4.8 Monoliitin uuttokoe

Maanalaisen kaivoksessa tyhjien louhostilojen täyttämiseen käytettävän kaivostäytön, kuten pastan, käyttäytymistä voidaan tutkia monoliitin uuttokokeella (EN 1586:2015). Kokeen avulla saadaan tietoa siitä, miten tutkittavasta materiaalista vapautuu aineita materiaalin joutuessa kosketuksiin veden kanssa. Tulosten pohjalta voidaan arvioida, miten kaivostäytöistä voi liueta metalleja ja muita aineita ja miten ne vaikuttavat maanalaisen kaivoksen kuivanapitoveden laatuun.

Uuttokoetta varten valmistetaan kaivostäyttötä edustava kiinteä näytekappale eli monoliitti. Jos louhostäyttönä käytetään rikastushiekasta ja sideaineista valmistettavaa pastaa, monoliitti valmistetaan vastaavasta seoksesta. Monoliittia uutetaan deionisoidulla vedellä, vesi/kiintoaine-suhteen ollessa 5. Uutteesta otetaan näytteet 6 h kuluttua kokeen alkamisesta sekä 1; 2,25; 4; 9; 16; 36 ja 64 vrk kokeen alkamisesta. Näytteistä analysoidaan keskeisten alkuaineiden ja yhdisteiden pitoisuudet.

Sakatin kaivoshankkeessa monoliitin uuttokokeella tutkittiin kaivostäyttöihin käytettävää pastaa. Tutkimuksia varten rikastushiekasta ja sideaineesta valmistettiin pastatäyttötä edustava kappale. Rikastushiekkana käytettiin sekä matala-

ja korkearikkisen rikastushiekan seosta ja sideaineena sementin ja kuonan seosta.

4.9 Mineraloginen analyysi

Kaivannaisjätteiden ja malmin mineralogiaa voidaan tarkastella sekä laadullisin että määrällisin menetelmin. Laadullisilla menetelmillä, kuten XRD:llä, saadaan tunnistettua tutkittavassa materiaalissa esiintyvät mineraalit. Määrällisillä menetelmillä, kuten SEM:llä, voidaan tutkia mineraalien määrasuhteita. Joillakin SEM-tekniikoilla voidaan tuottaa tietoa myös mineraalien alkuainekoostumuksesta. Mineraalien alkuainekoostumuksen selvittäminen tukee kaivannaisjätteiden haitallisuuden ja käyttäytymisen arviointia. Haitta-aine käyttäytyy eri tavalla ollessaan sitoutuneena vaikkapa sulfidimineraaliin kuin ollessaan sitoutuneena silikaattimineraaliin. Sakatin kaivoshankkeessa kaivannaisjätejakeiden tutkimuksessa eri menetelmiä on käytetty toisiaan täydentävinä ja niitä yhdistämällä on pyritty mahdollisimman tarkan mineralogisen tiedon tuottamiseen kokonaisuutena.

Kiviaineksen petrografisissa ja petrologisissa tutkimuksissa on käytetty laadullisia tutkimusmenetelmiä. Tutkimukset käsittelevät mineraalien tunnistamista ja niiden rakennetta. XRD-menetelmä (röntgendiffraktometria, *x-ray diffractometry*) on perusmineraloginen tutkimus, jolla saadaan tietoa tutkittavan aineksen rakenteesta ja mineraalikoostumuksesta. Sakatin kaivoshankkeessa XRD-menetelmää on käytetty esimerkiksi magneettikiisun kiderakenteen tunnistamisessa, millä on merkitystä esimerkiksi sopivan rikastusmenetelmän valinnassa.

Sakatin kaivoshankkeessa määrällisiä menetelmiä on hyödynnetty sekä sivukivien tutkimuksessa että myös metallurgisten kokeiden ja mineraalien kemialliseen koostumukseen liittyvien selvitysten yhteydessä. Määrällisenä menetelmänä on käytetty pyyhkäisyelektronimikroskopiaa. Pyyhkäisyelektronimikroskopiassa on käytetty kahta eri tekniikkaa, energiadiispersiivistä spektrometriaa (EDS/EDX) ja aallonpituusdispersiivistä spektrometriaa (WDS/*electron microprobe*). WDS-menetelmää käytettiin erityisesti eri mineraalien nikkeli- ja kuparipitoisuuksien ja hivenalkuainekoostumuksen määrittämiseen, johon EDS-menetelmä ei ole riittävän tarkka. Näihin analyysieihin tarvittavat näytteet on valmistettu murskeista, jolloin näytteen edustavuus on parempi kuin palanäytteissä.

4.10 Kuitumineraalien määrittäminen

Kuitumineraalien esiintyminen kaivostoiminnassa käsiteltävässä kiviaineksessa tulee selvittää, jotta voidaan arvioida, onko työntekijällä vaara altistua asbestipölylle. Tätä edellyttää osaltaan myös työturvallisuuslain 738/2002:n 10 §, jonka mukaan *työnantajan on työn ja toiminnan luonne huomioon ottaen riittävän järjestelmällisesti selvítettävä ja tunnistettava työstä, työajoista, työtilasta, muusta työympäristöstä ja työolosuhteista aiheutuvat haitta- ja vaaratekijät*

sekä, jos niitä ei voida poistaa, arvioitava niiden merkitys työntekijöiden turvallisuudelle ja terveydelle. Valtioneuvoston asetuksessa asbestityön turvallisuudesta (VNA 798/2015) asbestilla tarkoitetaan kuitumaisia silikaatteja, joita ovat aktinoliittiasbesti, amosiittiasbesti, antofylliittiasbesti, krysotiili, krokidoliitti, tremoliittiasbesti ja erioniitti. Kaivannaisjätteisiin päätyvillä kuitumineraaleilla voi myös olla merkitystä ympäristölle (MIAC 2015).

Sivukivien ja malmin mineralogisen tutkimuksen yhteydessä on tutkittu myös asbestimineraaleja XRD-menetelmällä hankkeesta vastaavan yhtiön toimesta. Asbestimineraaleja on tutkittu myös työhygieenisen esiselvityksen yhteydessä (Työterveyslaitos 2018). Murskattavalle kiviainekselle tehtiin elektronimikroskooppitutkimus ja alkuaineanalyysi. Asbestin ilmanäytteet kiven koemurskauksessa koottiin polykarbonaattisuodattimella ja pölylle tehtiin elektronimikroskooppitutkimus ja alkuaineanalyysi (soveltaen standardia SFS 3869).

Prosessivaihtoehto 2:n korkea- ja matalarikkisten rikastushiekkojen kuitumineraalit määritettiin akkreditoidusti standardin ISO 17025 mukaisesti soveltamalla polarisaatiomikroskooppimenetelmää. Prosessivaihtoehto 2:n rikastushiekkojen määrittämissä pakettiin kuuluivat taulukon 4-2 mukaiset mineraalit.

Taulukko 4-2. Asbestimineraalityypit (Geochemic Ltd., 2020).

Asbestimineraalityypit	Yleinen nimitys
Krysotiili	Valkoinen asbesti
Amosiittiasbesti	Ruskea asbesti
Krokidoliitti	Sininen asbesti
Aktinoliittiasbesti	
Antofylliittiasbesti	
Tremoliittiasbesti	

4.11 Prosessiveden analyysi

Malmin rikastuksessa käytettävää vettä nimitetään prosessivedeksi ja se koostuu raakavedestä, kaivoksen kuivanapitovesistä sekä muista kaivosalueella muodostuvista vesijakeista. Rikastushiekan märkäläjäytyksessä prosessivettä kulkeutuu rikastushiekan mukana rikastushiekka-alueelle, josta se kierrätetään takaisin rikastusprosessiin. Sitä voidaan myös johtaa vesienkäsittelyyn muiden kaivoksen vesijakeiden kanssa. Prosessivettä jää myös rikastushiekkaan huokosvedeksi. Rikastushiekan kuivaläjäytyksessä prosessivesi poistetaan suodattamalla ennen rikastushiekan läjitystä ja näin ollen prosessivettä jää ainoastaan rikastushiekan huokosvedeksi.

Malmin rikastuksen eri vaiheet sekä käytettävät vesijakeet vaikuttavat prosessiveden laatuun. Prosessiveden laatu on keskeinen tieto määritettäessä

kaivoksen vesijakeiden laatua ja suunniteltaessa vedenkäsittelyprosesseja. Tietoja prosessiveden laadusta käytetään lähtötietoina arvioitaessa rikastushiekka-alueen ylite- ja suotovesien laatua märkäläjityksessä tai suotovesien laatua kuivaläjityksessä. Prosessiveden lisäksi rikastushiekka-alueen vesien laatuun vaikuttavat myös rikastushiekan rapautumistuotteet.

Prosessiveden näytteenottotapoja on useita. Varsinaisella prosessivesinäytteellä tarkoitetaan rikastuskokeen yhteydessä otettua vesinäytettä rikastushiekasta irtoavasta vedestä. Dekanttivesinäyte taas otetaan dekantoimalla rikastushiekan päältä lietteenä laboratorioon toimitetusta rikastushiekanäytteestä. Yleensä näyte on jo ollut säilytyksessä jonkin aikaa dekanttivesinäytettä otettaessa. Dekanttivesinäytteessä voi olla varsinaista prosessivesinäytettä enemmän rikastushiekan reaktioiden vaikutusta näytteen säilytysajasta riippuen. Prosessivaihtoehdon 1 osalta prosessivesinäyte on dekantoitu koerikastuksen yhteydessä otetun rikastushiekanäytteen pinnalle kertyneestä vedestä. Prosessivaihtoehdon 2 osalta prosessivesinäytteet on otettu suoraan suljetun kierron rikastuskokeesta (*locked cycle test*).

Kosteuskammiokokeen (luku 4.7) ensimmäisten huuhtelujen veden laadut (*first flush*) rinnastetaan joskus prosessi- tai dekanttivesinäytteisiin. Nämä voivat olla jokseenkin samansuuntaisia, sillä kosteuskammiokokeen alussa rikastushiekanäytteestä poistuu prosessivettä. Eroakin kuitenkin on. Esimerkiksi dekanttivesinäytteessä veden ja kiintoaineen kontaktisuhde voi olla vaikeasti määriteltävä, mikä vaikeuttaa tulosten tulkintaa.

Prosessivedessä on myös prosessikemikaalien jäämiä, joita ovat erityisesti pH:n säätämiseen käytettävät kemikaalit ja niiden reaktiotuotteet. Lisäksi prosessivedestä voidaan erityismenetelmillä tutkia esimerkiksi kokoojakemikaalien jäämiä. Erityismenetelmiä ovat mm. NMR-spektroskopia ja UV-Vis spektrometria eli ydinmagneettinen resonanssispektroskopia ja sähkömagneettisen spektrin ultravioletin ja näkyvän valon aallonpituuksiin perustuva spektroskopia. Näiden käyttö on kuitenkin jokseenkin haasteellista, sillä toimitusketju analyysiin on oltava nopea ja hyvin pieniä pitoisuuksia ei pystytä määrittämään.

4.12 Fysikaaliset tutkimusmenetelmät

Kaivannaisjätteen fysikaalisista ominaisuuksista keskeisin selvitettävä asia on materiaalin raekoko. Yleensä raekoot määritetään rikastushiekalle tai rakentamiseen hyödynnettäville aineksille. Raekokoanalyysijä on suoritettu rikastushiekalle ja maaperänäytteille kuivaseulontana, pesuseulontana ja hydrometrianalyysinä. Seulonnessa tutkittava materiaali ravistellaan eri kokoisia seuloja käsittävän seulasarjan läpi kuivana tai veden kera. Eri seuloille jäävät materiaallimäärät punnitaan. Hydrometrianalyysi perustuu veden ja mineraaliaineksen seoksen tutkimiseen. Painavat mineraalihiukkaset laskeutuvat vedestä nopeasti

ja pienimmät hiukkaset hitaasti. Hienoaineksen raekokojakauma selvitetään seuraamalla veden painon muutosta, mikä tapahtuu hydrometrin uppoamis-syvyyttä seuraamalla.

Rakentamisessa käytettävälle maa-ainekselle sekä rakennettavien alueiden pohjamaalle tehdään myös erilaisia geoteknisiä selvityksiä. Koska nämä eivät kuitenkaan liity kaivannaisjätteen karakterisointiin, menetelmiä ei kuvata tarkemmin tässä yhteydessä.

5 Pintamaan karakterisointitiedot

Sakatin hankealueella pintamaita koskevat tutkimukset on keskittyneet Kuusivaaran tehdasalueelle, jonne suurin osa pintamaiden poistosta tulee sijoittumaan kaivoksen rakennusvaiheessa. Pintamaat koostuvat kasvukerroksesta ja maaperän eri maalajeista. Maaperän ominaisuuksien sekä alueella esiintyviä maalajia on selvitetty koekuoppien ja maaperäkairausten avulla. Lisäksi on hyödynnetty muuta Sakatin kaivoshankkeeseen liittyvää tutkimusaineistoa. Tutkimusten avulla on saatu kattavasti tietoa Kuusivaaran alueen maaperän ominaisuuksista, joiden avulla on voitu arvioida poistettavien pintamaiden fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia sekä niiden pitkäaikaiskäyttämistä. Lisäksi alueen maaperän kerrosrakenteesta on koottu kolmiulotteinen malli.

5.1 Aineiston kuvaus ja edustavuus

Kuusivaaran alueen maaperän fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia on käsitelty vuonna 2021 valmistuneessa selvityksessä Geologinen 3D-malli ja sedimenttien geokemialliset sekä hydrogeologiset ominaisuudet Sodankylän Kuusivaarassa (Puumalainen 2021). Tässä tutkimuksessa hyödynnettiin mm. Helsingin yliopiston maatutka-aineistoa vuodelta 2020, GTK:n taustapitoisuusrekisteriä (GTK 1995), AFRY Finland Oy:n geoteknisiä tutkimuksia sekä AASM:n alueella toteuttamien maakairausten näytteenottoaineistoa. Lisäksi tutkimustyön yhteydessä Kuusivaaran alueelle tehtiin 11 koekuoppaa.

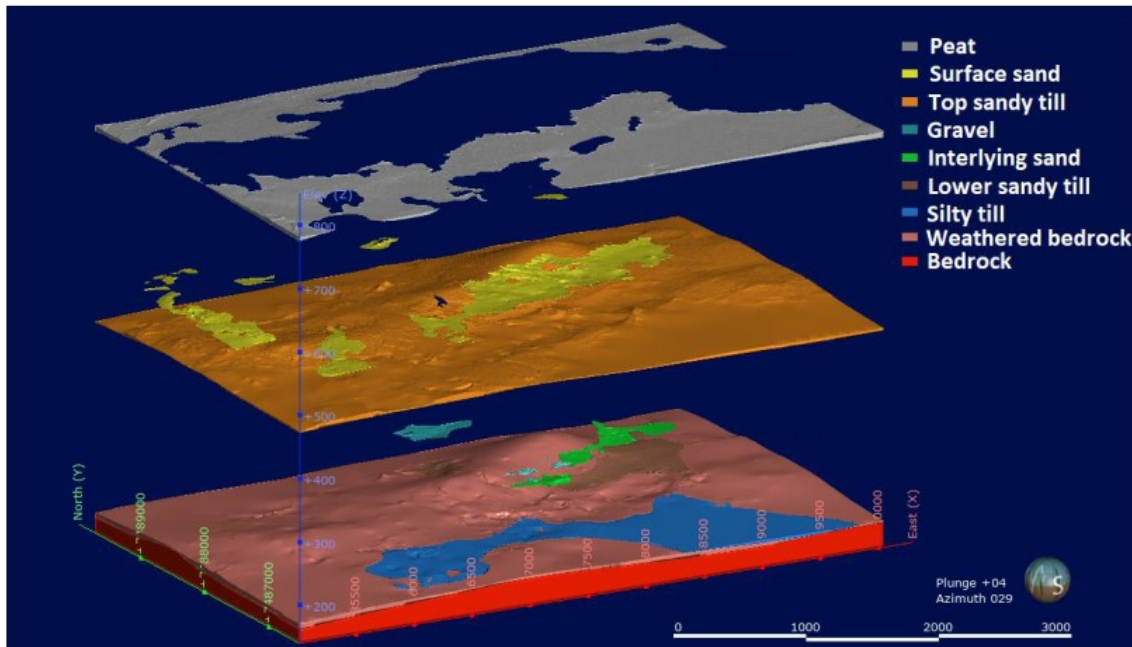
Koekuoppa- ja maakairausnäytteiden geokemiallisessa tarkastelussa valtaosa (35 näytettä) edusti ylempää hiekkamoreenikerrosta. Muut tarkastellut maalajiyksiköt olivat maan pinnalla esiintyvä hiekka, sora, välikerroksena esiintyvä hiekka, alempi hiekkamoreeni, silttimoreeni sekä rapautunut kallio. Muita kuin pinnan hiekkamoreenia edustavia maanäytteitä oli yhteensä 18 kpl (Puumalainen 2021).

Kuusivaaran alueelta on olemassa myös aikaisempaa tutkimustietoa. Salosen ym. (2018) tutkimuksessa tuotettiin perustietoa Kuusivaaran alueen maaperäkerrosten ominaisuuksista. Tutkimuksissa arvioitiin alueen soveltuvuutta rikastamon ja kaivannaisjätealueiden sijoituspaikaksi selvittämällä mm. maalajien kerrosjärjestystä ja kerrosten paksuutta.

5.2 Fysikaaliset ominaisuudet

Pintamaata poistetaan rakentamisen tieltä ensisijaisesti Kuusivaaran alueella, missä vallitseva maalaji on moreeni. Kuusivaaran maaperän eri sedimenttiyksiköitä on arvioitu luomalla 3D-malli maaperästä käyttäen LeapFrog Geo 5.1-ohjelmistoa (Puumalainen 2021). Kuusivaaran osalta maalajien esiintymistä on havainnollistettu kuvassa 5-1, jossa maaperän kerrosjärjestys on esitetty kerroksittain. Pintakerroksena esiintyy laajalla alueella turvetta. Hiekkakerroksia

esiintyy sekä ylimmän moreenipatjan päällä että moreenipatjojen välissä. Moreenin hienoainespitoisuus alueella vaihtelee, ollen pääsääntöisesti hienojakoisempaa syvemmällä. Soraa esiintyy välikerroksena pienialaisesti. Moreenien alapuolella on rapautunut pintakallio ja alimpana ehyt kallio.



Kuva 5-1. 3D-malli eri maaperäyksiköistä Kuusivaaran alueella. Kuvasa maaperää on havainnollistettu kolmessa eri kerroksessa. Ylin havainnollistamiskerros (harmaa) on turvetta. Keskimmäisessä havainnollistamiskerroksessa ovat ylemmät hiekkakerrokset (keltainen) sekä ylempi hiekkamoreenikerros (oranssi). Alimmassa havainnollistamiskerroksessa on hiekkavälikerroksia (vihreä), alempi hiekkamoreenikerros (punaruskea) sekä silttimoreenia (sininen). Alimpana ovat rapautunut ja ehyt kallio (punainen). (Puumalainen 2021).

5.3 Geokemialliset ominaisuudet

Geologian tutkimuskeskuksen ylläpitämästä TAPIR-taustapitoisuuksien tietokannasta tehtiin poiminta 15 km säteellä Sakatin esiintymästä. Poimittu tieto sisälsi keskeisten moreenissa esiintyvien alkuaineiden taustapitoisuudet sekä PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) mukaiset kynnsarvot kullekin metallille (Taulukko 5-1).

Taustapitoisuudet edustavat aineiden liuenneita pitoisuuksia, jotka on määritetty moreenista kuningasvesiuutolla. Taustapitoisuuskartoitusten tavoitteena on määrittää geokemiallisille provinsseille tai tutkimusalueelle ja eri maalajeille tavanomaisen taustapitoisuusjakauman yläraja eli suurin suositeltu taustapitoisuusarvo (SSTP). SSTP on suurin arvo, jota ei katsota poikkeamaksi alueen taustapitoisuusjakaumasta (<https://gtkdata.gtk.fi/Tapir/pages/sstp.html>).

Alueilla, joilla taustapitoisuus on kynnysarvoa korkeampi, arviointikynnyksenä pidetään taustapitoisuutta. TAPIR-taustapitoisuuksien tietokannan (GTK 2020) mukaan Sakatin lähialueiden moreenissa on luontaisesti kynnysarvot ylittäviä arseeni-, koboltti-, kromi-, nikkeli- ja vanadiinipitoisuuksia.

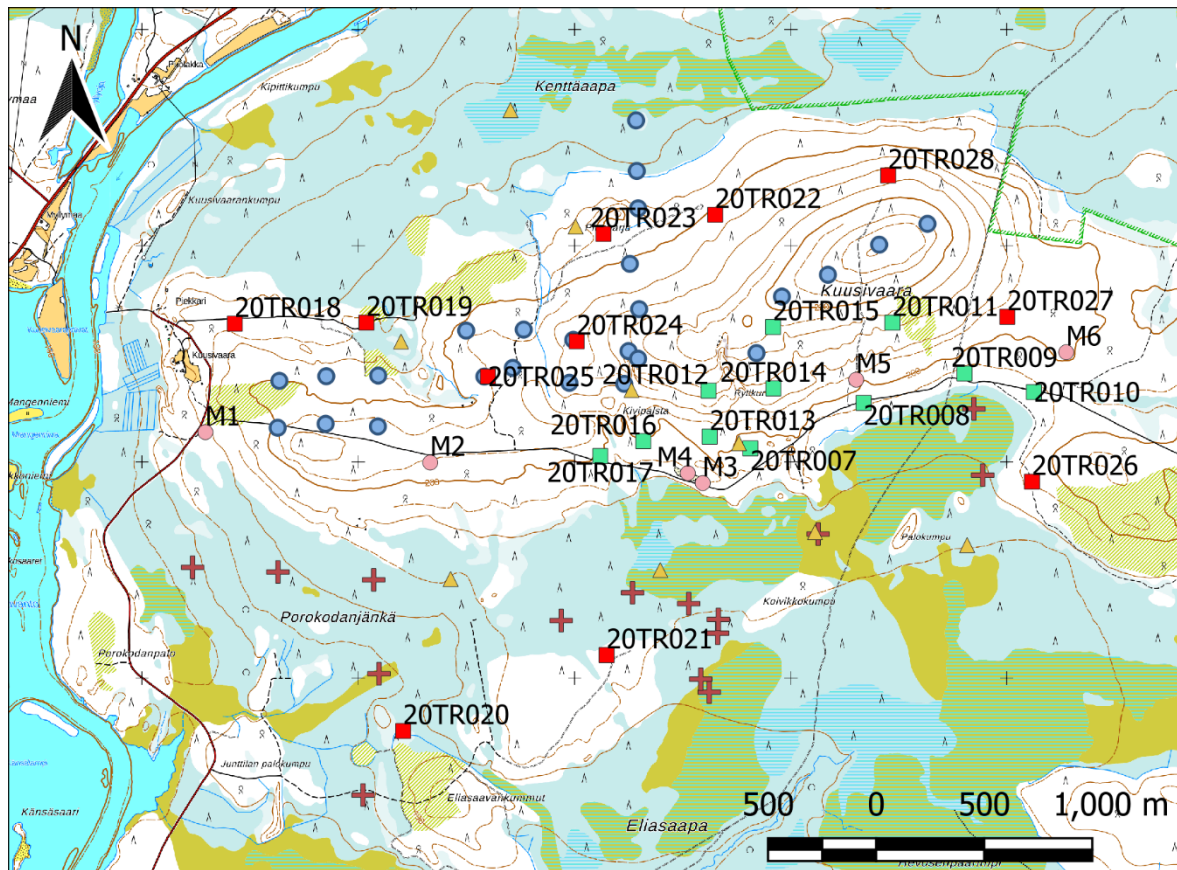
Taulukko 5-1. Moreenin kuningasvesiliukoiset taustapitoisuudet Sakatin alueella, 15 km säteellä Sakatin esiintymästä (GTK 2020). Oranssilla merkityt pitoisuudet ylittävät PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) mukaisen kynnysarvon.

Alkuaine		yk-sikkö	N	kes-kiarvo	medi-aani	mak-simi	SSTP*	Kynnys-arvo
Antimoni	Sb	mg/kg	55	0,07	0,07	0,21	0,14	2
Arseeni	As	mg/kg	55	1,93	1,56	5,65	3,4	5
Eloho-pea	Hg	mg/kg	55	0,01	0,01	0,03	0,027	0,5
Kad-mium	Cd	mg/kg	55	0,03	0,02	0,08	0,043	1
Koboltti	Co	mg/kg	217	15,44	15,24	35,9	28	20
Kromi	Cr	mg/kg	199	150,42	129,08	645	260	100
Kupari	Cu	mg/kg	216	36,82	35,67	100,15	80	100
Lyijy	Pb	mg/kg	55	2,16	2,13	4,14	3,8	60
Nikkeli	Ni	mg/kg	203	71,28	59,83	383	150	50
Sinkki	Zn	mg/kg	217	27,63	26	82,23	55	200
Vanadiini	V	mg/kg	217	63,16	61,53	124,17	99	100
Tallium	Tl	mg/kg	52	0,05	0,03	0,3	0,1	-
Boori	B	mg/kg	55	1,58	1,5	3,03	3,4	-
Barium	Ba	mg/kg	217	39,63	39,29	127,59	80	-
Molyb-deeni	Mo	mg/kg	55	0,27	0,22	0,71	0,62	-
Seleen	Se	mg/kg	55	0,27	0,23	0,64	0,62	-
Tina	Sn	mg/kg	51	0,34	0,33	0,52	0,44	-
Beryllium	Be	mg/kg	55	0,21	0,2	0,58	0,39	-
Kulta	Au	mg/kg	51	0	0	0,04	0,0036	-
Palla-dium	Pd	mg/kg	51	0	0	0	0,0003	-
Platina	Pt	mg/kg	51	0	0	0,01	0,0025	-

*) Suurin sallittu taustapitoisuus (SSTP) laskettuna 25. ja 75. persenttiin avulla:
 $SSTP = P_{75} + 1,5 \times (P_{75} - P_{25})$. SSTP-arvon laskenta perustuu SFS-ISO-standardiin 19258.

Puumalainen (2021) on laatinut koosteen Kuusivaaran alueen maaperän kemiallisista ominaisuuksista. Aineisto kattaa koekuoppien sekä maa- ja kallioperäkairausnäytteiden analyysitiedot. Koekuoppa- ja kairausnäytteiden sijoittuminen on esitetty kartalla (Kuva 5-2). Koekuoppa- ja kairausnäytteiden analyysien keskiarvo- ja mediaanipitoisuudet on esitetty taulukossa 5-2 ja maksimipitoisuudet taulukossa 5-3. Taulukoissa oranssilla värjätty arvot ylittävät PIMA-

asetuksen (VNA 214/2007) kynnysarvon ja SSTP-arvon (suurin suositeltu taustatapitoisuusarvo). SSTP-arvot on kuvattu taulukoiden kynnysarvorivillä sulkeissa.



Sisältää Maanmittauslaitoksen taustakartta-aineistoa 12/2021

© AFRY Finland Oy

- | | |
|---|--|
| ■ Koekuopat, elokuu 2020 | ● Kallioperäkairaus, 2019-2020 |
| ■ Koekuopat, AFRY Finland Oy 2020 | ▲ Maaperäkairaus, 2017-2018 |
| ● Koekuopat, Helsingin yliopisto 2017 | + Turvekairaus, 2017-2018 |

Kuva 5-2. Kuusivaaran alueen koekuopat, kallio-, maaperä- ja turvekairausnäytteet (näytepisteet koottu aineistosta Puumalainen 2021).

Taulukko 5-2. Koekuoppa- ja maakairausnäytteiden analyysi, keskiarvo- ja mediaanipitoisuudet (Puumalainen 2021). Kynnysarvorivillä suluissa olevat kromi- ja nikkelpitoisuudet ovat Kuusivaaran alueen suurimmat suositellut taustapitoisuudet (GTK 2020).

Keskiarvo, pitoisuudet	Kynnysarvo (VNA 214/2007):	2	5	0.5	1	20	100 (162)	100	60	50 (61)	200	100
[mg/kg]	Näyte (lkm.)	Sb	As	Hg	Cd	Co	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	V
Ylempi hiekka	1	0,04	1,69	0,01	0,04	7,7	43	15,7	1,7	23,2	18,9	33,5
Ylempi hiekkamoreeni	35	0,11	2,72	0,01	0,05	11,4	88,5	36,5	2,7	40,3	23,7	56,4
Sora	2	0,09	2,29	0,01	0,05	9,8	83,2	16,4	1,9	37,6	22	45,5
Välihiekkakerros	1	0,08	2,33	0,02	0,04	7,9	51,3	16,9	2,2	21,9	15,3	39
Alempi hiekkamoreeni	2	0,13	3,77	0,02	0,06	12	112,8	27,4	3,2	45,2	25,8	54,9
Siltimoreeni	4	0,08	3,24	0,01	0,22	26,2	188,3	80,9	9,4	130,2	72,2	70,5
Rapautunut pintakallio	8	0,04	1,4	0,01	0,07	40	198,4	195,8	2,2	117,7	64,9	168,2

Mediaani, pitoisuudet	Kynnysarvo (VNA 214/2007)	2	5	0.5	1	20	100 (162)	100	60	50 (61)	200	100
[mg/kg]	Näyte (lkm.)	Sb	As	Hg	Cd	Co	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	V
Ylempi hiekka	1	0,04	1,69	0,01	0,04	7,7	43	15,7	1,7	23,2	18,9	33,5
Ylempi hiekkamoreeni	35	0,09	2,28	0,02	0,04	10,8	79	26	2,6	37	22,2	52,1
Sora	2	0,09	2,29	0,01	0,05	9,8	83,2	16,4	1,9	37,6	22	45,5
Välihiekkakerros	1	0,08	2,33	0,02	0,04	7,9	51,3	16,9	2,2	21,9	15,3	39
Alempi hiekkamoreeni	2	0,1	3,24	0,02	0,07	12	112,8	27,4	3,2	45,2	25,8	54,9
Siltimoreeni	4	0,05	1,11	0,01	0,02	26,3	148,5	67,3	2,9	86,1	57,2	65,7
Rapautunut pintakallio	8	0,06	3,37	0	0,03	42,7	152,3	209,8	2,2	123,3	66,4	165

Taulukko 5-3. Koekuoppa- ja maakairausnäytteiden analyysi, maksimipitoisuudet (Puumalainen 2021). Kynnysarvorivillä suluissa olevat kromi- ja nikkelpitoisuudet ovat Kuusivaaran alueen suurimmat suositellut taustapitoisuudet (GTK 2020).

Maksimi, pitoisuudet	Kynnysarvo (VNA 214/2007)	2	5	0.5	1	20	100 (162)	100	60	50 (61)	200	100	
[mg/kg]	Näyte (lkm.)	Sb	As	Hg	Cd	Co	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	V	Näytteen yli raja-arvon
Ylempi hiekka	1	0,04	1,69	0,01	0,04	7,7	43	15,7	1,7	23,2	18,9	33,5	
Ylempi hiekkamoreeni	35	0,22	7,09	0,03	0,11	22,6	199,5	163	4,9	97,9	42,2	142	6/35 (17%)
Sora	2	0,09	2,32	0,01	0,05	10,7	91,2	16,6	1,9	37,7	23,2	49	
Välihiekkakerros	1	0,08	2,33	0,02	0,04	7,9	51,3	16,9	2,2	21,9	15,3	39	
Alempi hiekkamoreeni	2	0,2	6,01	0,02	0,08	18	158,5	38,9	4,1	66,4	36	66	1/2 (50%)
Siltimoreeni	4	0,12	5,6	0,02	0,69	35,5	431	155,5	29,4	325	136,5	135,5	2/4 (50%)
Rapautunut pintakallio	8	0,11	2,48	0,02	0,21	56,9	607	402	4,7	209	89	298	7/8 (88%)

5.4 Pintamaan pitkäaikaiskäyttäytyminen

Pintamaan pitkäaikaiskäyttäytymistä ei ole toistaiseksi tutkittu. Pääsääntöisesti pintamaan kokonaispitoisuudet ovat Puumalaisen (2021) aineistossa siinä määrin alhaisia, että merkittävää haitta-aineiden liukenemista pidemmällä aikavälillä ei voida pitää todennäköisenä. Kohonneet metallipitoisuudet ovat suuruusluokassa, joka on mahdollinen tai jopa tyypillinen alueella esiintyville silikaatti- tai oksidimineraaleille. Pintamaan sulfidimineraaleihin sitoutuneiden haitta-aineiden liukenemista ei voida sulkea kokonaan pois. Huomionarvoisimpana mainittakoon korkeimmat Puumalaisen (2021) aineistossa havaitut nikkelpitoisuudet. Nikkelpitoisuuksien tarkastelussa on huomioitava, että suurin osa Kuusi-vaaran alueen pintamaa-ainesten keskiarvo- ja mediaanipitoisuuksista on kuitenkin suhteellisen alhaisia. Nikkelin esiintymismuoto on tarvittaessa mahdollista selvittää tarkemmalla mineralogisella tutkimuksella.

6 Sivukivien karakterisointi

6.1 Mineralogiset karakterisointitiedot

Sivukivien mineralogisia ominaisuuksia on tutkittu hankesuunnittelun yhteydessä (mm. Halkoaho 2014) ja kaikista hankesuunnittelun aikana tehdyistä mineralogisista tutkimuksista on laadittu yhteenveto. Tutkimuksia on kohdistettu kairasydännäytteisiin, jotka edustavat mahdollisimman hyvin kaivoksen sivukiveä. Näytteenottoa ja sen edustavuutta on kuvattu tarkemmin luvussa 6.1.1. Määrittämisessä käytetyt menetelmät on esitelty luvussa 4.9 ja luvussa 6.1.2 on kuvattu sivukiven mineralogia.

6.1.1 Sivukiven näytteenotto ja edustavuus mineralogisessa tutkimuksessa

Kaikki tutkittavat näytteet on kerätty kairasydämistä. Ennen näytteenottoa kairasydämet on normaalin käytännön mukaisesti metritetty, niistä on silmäämällä määrätty mm. kivilaji (logattu) ja niistä on otettu näytteet alkuaineanalyyysiin. Alkuaineanalyyysin liuotusmenetelmänä on ollut nelihappouutto, mikä on tyypillistä malminetsinnän näytteille. Yleensä alkuaineanalyyysiin toimitetun kairasydännäytteen pituus on ollut noin metri. Mineralogiseen tutkimukseen toimitetut näytteet on valmistettu murskeista ja usein komposittinäytteistä, jotta ne eivät edustaisi yksittäisiä kohtia kairasydämissä eikä yksittäisiä kairasydänintervalleja. Petrografisissa tutkimuksissa, joissa on oleellista nähdä kiven alkuperäinen rakenne, kairasydännäyte on ollut lyhyempi, noin 5 cm:n pituinen pala.

6.1.2 Sivukivien kivilajikoostumus ja mineralogia

Kaivoksen louhinnassa muodostuu kahdenlaista sivukiveä: korkearikkistä sekä matalarikkistä. Sakatin pääsivukivilajit ovat emäksiset syväkivet, joita kutsutaan yhteisnimellä peridotiitti, ja emäksiset vulkaniitit, joista käytetään yhteisnimeä afaniitti. Nämä kivilajit ovat myös malmin pääisäntäkiviä, joten Sakatin malmin ja sivukiven mineralogia ovat harmemineraalien osalta keskenään hyvin samanlaiset. Suurin ero malmin ja sivukiven välillä on se, että malmissa sulfidimineraalien ja arvometallien pitoisuudet ovat suurempia kuin sivukivissä.

Pääsivukivilajien eli peridotiitin ja afaniitin ohella sivukivilajeina esiintyy breksiaa, duniittia, jalkapuolen mafisia kivilajeja, gabroa, kattopuolen vulkaniklastisia kivilajeja, mafisen sarjan kivilajeja, serpentiniittia ja vähäisessä määrin massiivisulfidia, jota esiintyy louhosten seinämissä (SRK Consulting Ltd. 2017). Sivukivilajien määräsuhteisiin vaikuttavat jossain määrin kaivoksen vinotunnelivaihtoehdot. Eri vinotunnelivaihtoehtojen vaikutuksesta sivukivien laatuun on esitetty tarkempi kuvaus luvussa 6.4.

Sakatin esiintymän ja vinotunnelilinjojen kivilajit on jaettu mafisten mineraalien määrän mukaan seuraavasti (AA Sakatti Mining Oy:n aineistot):

- Ultramafiset kivet, joissa tummien mineraalien määrä on yli 90 %, MgO pitoisuus on korkea, yli 20 %
 - Duniitti
 - Peridotiitti
 - Jalkapuolen mafiset vulkaniitit
- Mafiset kivet, joissa tummien mineraalien määrä on korkea (40-90 %). Kivissä ei ole kvartsia eikä kalimaasälpää. Magnesiumpitoisuus on melko korkea, 10-20 % (MgO)
 - Afaniitti
 - Gabro
 - Mafinen sarja
- Leukoraattiset (vaaleat) kvartsipitoiset kivet ja sedimenttikivet, joissa tummien mineraalien osuus <40 %
 - Metasedimentit
 - Breksia
 - Kattopuolen vulkanoklastiset
 - Kvartsiitit

Tyypillisiä mineraaleja ultramafisissa kivilajeissa ovat mm. serpentiini, oliviini ja kloriitti. Mafisissa kivissä näiden lisäksi esiintyy plagioklaasia, klinopyrokseenia, dolomiittia, kvartsia ja turmaliinia. Vaaleammissa kivissä ei ole mafisten ja ultramafisten kivien päämineraaleja. Vaaleampien kivien päämineraaleina on mm. plagioklaasia, albiittia, kvartsia, biotiittia, muskoviittia, talkkia sekä karbonaatteja. Keskeiset mineralogiset ominaisuudet kivilajeittain on esitetty taulukossa 6-1.

Taulukko 6-1. Sakatin esiintymän ja vinotunnelilinjojen pääkivilajit ja niiden mineralogia.

Kivilaji	Alaluokka / Synonyymi	Päämineraalit (>10 %)	Tyypillinen pitoisuus %	Aksessoriset mineraalit (1-10%)	Kemiallisia lisätietoja				
ULTRAMAFISET KIVET									
Duniitti	Duniitti / adkumulaatti	Serpentiini (±oliviini)	80-90	Kloriitti Kromiitti Flogopiitti Klinopyrokseeni	MgO > 46 %				
Peridotiitti	Mesokumulaatti	Serpentiini (±oliviini) Kloriitti	70-80	Flogopiitti Ortopyrokseeni Klinopyrokseeni Kromiitti	MgO > 36 %				
			5-10						
			Ortokumulaatti			Serpentiini	20-70	Klinopyrokseeni Flogopiitti Talkki Magneiitti	MgO > 28 %
						Sarvivälke	5-15		
						Aktinoliitti	5-15		
	Ortopyrokseeni	5-20							
	Kloriitti	10-15							
	Oliviinipyrokseeniitti	Serpentiini	5-45	Klinopyrokseeni Biotiitti Talkki					
		Sarvivälke	10-25						
		Aktinoliitti	5-15						
		Ortopyrokseeni	15-30						
Kloriitti		10-20							
Jalkapuolen mafiset	Komatiittiset vulkaaniset kivet	Sarvivälke	25-35	Plagioklaasi Ortopyrokseeni Talkki Kalsiitti Dolomitti					
		Aktinoliitti	15-35						
		Biotiitti	5-35						
		Kloriitti	5-25						
MAFISET KIVET									
Afaniitti	Afaniitti, ultramafinen vulkaaninen kivi	Plagioklaasi	10-20	Serpentiini Aktinoliitti Biotiitti Turmaliini Magneiitti	S < 0.5%				
		Sarvivälke	15-30						
		Klinopyrokseeni	5-15						
		Ortopyrokseeni	15-35						
		Kloriitti	5-15						
Gabbro	Gabbro	Plagioklaasi	20-35	Biotiitti Kloriitti Epidootti Magneiitti Ilmeniitti Kalsiitti					
		Sarvivälke	10-45						
		Aktinoliitti	5-15						
Mafinen sarja	Mafinen vulkaniitti	Plagioklaasi	10-40	Aktinoliitti Biotiitti Kloriitti					
		Sarvivälke	10-60						

Kivilaji	Alaluokka / Synonyymi	Päämineraalit (>10 %)	Tyypilli- nen pi- toisuus %	Aksessoriset mineraalit (1-10%)	Kemiallisia lisätietoja
	Mafinen tuffiitti			Kvartsi Kalsiitti	
		Plagioklaasi	20-45	Talkki	
		Kloriitti	5-20	Magnetiitti	
	Täpläkivi (Spotty Rock), komatittinen basaltti	Dolomitti	0-20	Kalsiitti	
		Kvartsi	10-30	Granaatti	
		Turmaliini	5-15	Kaoliniitti	
	Skapoliitti- kiille -kivi (2Ma)	Biotiitti	25-35		
		Kvartsi	5-25	Muskoviitti	
	Biotiitti	5-35			
LEUKORAATTISET KVARTSIPITOISET KIVET JA VAALEAT SEDIMENTTIKIVET					
Metasedi- mentit	Metasedimen- tit	Biotiitti	20-30	Muskoviitti	
		Kvartsi	10-25	Kloriitti	
		Plagioklaasi	10	Talkki	
				Magnetiitti	
				Kalsiitti	
Dolomiitti					
Kattopuolen vulkanoklas- tiset	Mafinen tuffiitti	Kvartsi	25-30	Biotiitti	
		Plagioklaasi	10-20	Turmaliini	
		Muskoviitti	10-20	Dolomiitti	
		Kloriitti	15-20		
Breksia	Breksia, Poly- miktinen kong- lomeraatti	Karbonaatti (Cal+Dol)	20-60	Biotiitti Kloriitti	
		Kvartsi	5-25	Amfiboli	
		Albiitti	10-30	Magnetiitti	
		Talkki	5-15		
Kvartsiitti	Kvartsiitti	Kvartsi	90-100	Muskoviitti Kaoliniitti	
	Albitiitti	Albiitti	50-80	Talkki	
		Kvartsi	5-20	Kalsiitti	
		Dolomitti	5-20		

Sakatin kiviläynteissä (malmi ja sivukivet) on tarkasteltu myös alkuaineiden ja kaantumista eri mineraalien kesken. Kupari esiintyy pääsääntöisesti kupari-kiisussa, mutta harvinaisempina kuparimineraaleina tavataan myös borniittia, kubaniittia ja valleriittia. Borniitti ja kubaniitti ovat kuparikiisun tavoin sulfidimineraaleja. Valleriitti on hydroksisulfidi.

Tärkein nikkelimineraali on pentlandiitti ja sen yleisenä muuttumistuloksena esiintyy violariittia. Hivennikkelimineraalina esiintyy milleriittia ja harvinaisempina nikkelimineraalina tavataan polydymiittia. Nämä ovat kaikki sulfidimineraaleja. Pienissä määrin nikkeliä esiintyy myös tavallisissa rautasulfideissa, kuten magneetikiisussa ja rikkikiisussa. Nikkeliä esiintyy myös joissakin Sakatin silikaattimineraaleissa. Esimerkiksi serpentiinissä nikkeliä on jopa 2800 ppm

(mg/kg) ja oliviinissa 2400 ppm (mg/kg). Myös esimerkiksi talkissa ja kloriitissa on yli 1000 ppm (mg/kg) nikkelpitoisuuksia.

6.2 Sivukivien geokemialliset karakterisointitiedot, 2017-2019 tulokset

Sivukivien geokemiallisia ominaisuuksia on tutkittu hankesuunnittelun yhteydessä. Kannattavuuden esiselvitysvaiheen A yhteydessä toteutettuja sivukiven karakterisointeja on kuvattu SRK Consulting Ltd:n sivukiven geokemiallista karakterisointia käsittelevissä raporteissa (SRK Consulting Ltd. 2017 ja SRK Consulting Ltd. 2018a). Sivukivinäytteenotto sisältää myös maanalaisen kaivoksen seinämäkiviksi jääviä kivilajeja.

Täydentäviä tarkasteluja on tehty myös vuosina 2021–2022 (kappale 6.3). Tällöin tarkastelu keskittyi vinotunnelivaihtoehtoihin.

6.2.1 Sivukiven näytteenotto ja edustavuus geokemiallisessa tutkimuksessa

Geokemiallisessa tutkimuksessa sivukivet analysoidaan kivilajityypeittäin. Geologisessa tutkimuksessa kaikista kairasydämistä määritetään kivilajit ja keskeinen mineralogia visuaalisesti ja lisäksi näytemateriaalia toimitetaan mm. petrografiseen tutkimukseen ja alkuaineanalyysiin. Kun sivukiven geokemiallinen tutkimus alkaa, malminetsinnän yhteydessä hankittu geologinen aineisto toimii lähtötietoina. Näytteenoton suunnittelussa geokemiallisia tutkimuksia varten on edetty tavalla, joka pääpiirteissään vastaa kaivannaisjätteen näytteenottostandardissa (CEN/TR 16365:2012) esitettyä polkua ja standardissa kuvatuista näytteenottovaihtoehtoista on sovellettu ns. tilastollisesti todennäköistä näytevalintaa.

Sivukivenä louhittava materiaali on määritelty kaivossuunnittelusta saadun geometrisen rajauksen avulla. Malmin ja sivukiven rajan määrittelyssä taas käytettiin mineraalivarantomalliraportissa (SRK Consulting Ltd. 2015a) esitettyjä cut-off-pitoisuuksia. Cut-off pitoisuudella tarkoitetaan arvoaineen pitoisuusrajaa, joka erottaa malmin sivukivestä.

Sakatin sivukiven geokemialliseen tutkimukseen valittiin näytteitä kairasydämistä siten, että näytteet edustivat kannattavuuden esiselvitysvaiheen A kaivossuunnitelman mukaisia sivukivilajien prosenttiosuuksia. Sivukiven kivilajisuhteita voidaan pitää viitteellisinä, koska kaivoksen louhintasuunnitelma kehittyy ja muuttuu joissakin määrin hankkeen edetessä ja tietojen karttuessa. Näytevalinnassa on käsitelty erikseen pääesiintymä ja satelliittiesiintymä NE.

Sekä pääesiintymän että satelliittiesiintymän NE eri kivilajien koostumuksesta tuotettiin yhteenveto, jotta voitiin valita edustava määrä näytteitä kustakin kivilajista analysoitavaksi (Taulukko 6-2, Taulukko 6-3). Näytevälien valinnassa

käytettiin apuna LeapFrog® Geo 4.0-ohjelmistopakettia. Kyseisen ohjelmiston avulla on mahdollista laatia 3D-visualisointeja kairanreikäaineistoista. 3D-visualisoinnin avulla on tarkasteltu kivilajien sijaintia sekä vaaka- että pystysuunnassa (SRK Consulting Ltd. 2017). Näytteenotto pääesiintymän ja NE-satelliitti-esiintymän alueen sivukivistä on kuvattu yksityiskohtaisemmin seuraavissa kappaleissa.

Kairasydämistä on jo malmietsinnän yhteydessä tehty alkuaineanalyysyjä ja näiden tietojen perusteella arvioitiin myös kunkin kivilajin rikkipitoisuuden vaihteluväli. Rikkipitoisuuden vaihteluväliä hyödynnettiin varmistettaessa sitä, että näytevalikoima edusti kivilajivalikoiman lisäksi myös sivukivien keskeisiä sulfidipitoisuuksia.

Pääesiintymän näytteiden valinta

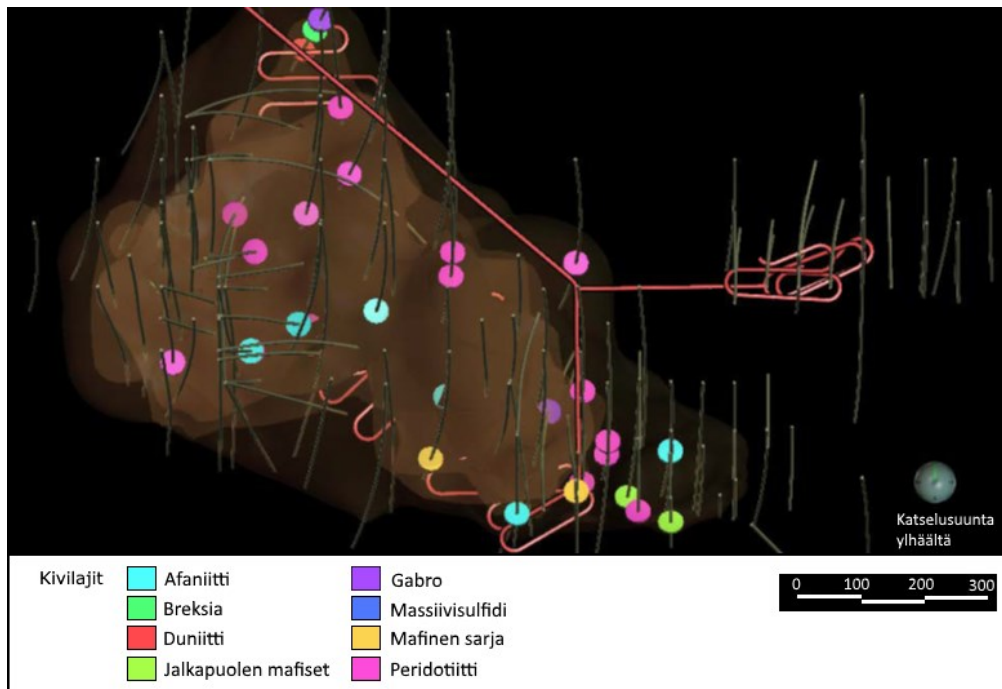
Geokemiallisten tutkimusten ensimmäiseen vaiheeseen, eli staattiseen testaukseen, valittiin Sakatin pääesiintymän alueelta yhteensä 38 näytettä. Kunkin valittu kairasydämen näytejakso edusti yksittäistä kivilajia. Näytteenotto kohdistettiin varsinaisen malmin ympärillä olevaan kallioperävyöhykkeeseen, hyödyntäen kaivossuunnittelun tietoja louhinnan geometriasta. Näytteet valittiin niistä kairasydämistä, jotka lävistävät kyseisen vyöhykkeen.

Taulukko 6-2 sisältää kivilajien suhteelliset osuudet kairasydänten kokonaispituudesta sekä kivilajeittain valitut näytemäärät. Näytejakauma on esitetty myös kuvissa 6-1 ja 6-2. Kairaustietojen mukaan peridotiitti oli yleisin tutkittujen, sivukiveä edustavien kairasydänten kivilaji. Peridotiitista valittiin 19 näytettä. Muista kivilajeista valittiin 2–7 mahdollisimman edustavaa näytettä. Näytteistä määritettiin rikkipitoisuudet. Rikkipitoisuusjakauman perusteella valittiin edustavat näytteet peridotiitista ja afaniitista. Rikkipitoisuudesta saatiin tietoa malminetsinnän aineistoista. Kivilajeille, joiden osuus pääesiintymässä on pienempi, valittiin näytteet, joiden rikkipitoisuus on tilastollisesti 50. ja 75. persenttiin välillä. (SRK Consulting Ltd. 2017)

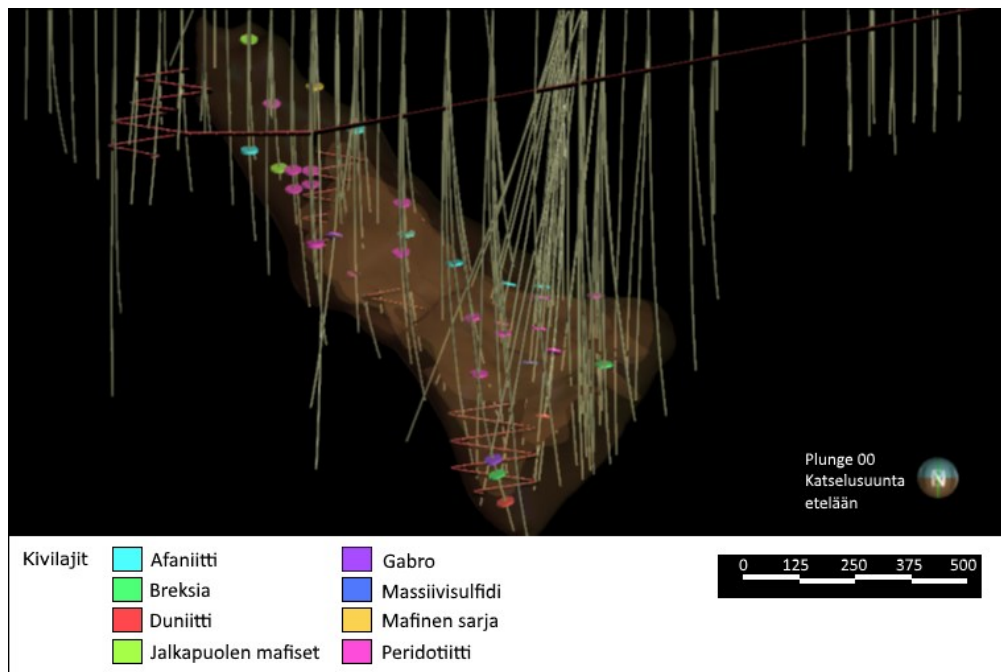
Taulukko 6-2. Pääesiintymää ympäröivien kairasydänten mitat, mää- räsuhteet ja näytteiden lukumäärä kivilajien mukaan jaoteltuna. (SRK Consulting Ltd. 2017)

Kivilaji	Kaira- sydänten määrä (m)	Osuus kaira- sydänten kokonais- määrästä (%)	Tutkittujen kai- rasydän- ten määrä (m)	Pienin Rikki- pitoisuus (%)	Keski- määräinen rikki- pitoisuus (%)	Suurin rikki- pitoisuus (%)	Karakter- isointiin va- littujen näytteiden lukumäärä
Peridotiitti	8657	73,5	6351,7	0,03	1,28	33,80	19
Afaniitti	1671	14,2	646,2	0,03	1,62	31,09	7
Massiivi sulfidi	311	2,6	171,0	7,9	29,76	45,10	2
Dunitti	301	2,6	79,2	0,05	0,66	3,29	2

Kivilaji	Kairasydänten määrä (m)	Osuus kairasydänten kokonaismäärästä (%)	Tutkittujen kairasydänten määrä (m)	Pienin Rikki-pitoisuus (%)	Keskimääräinen rikki-pitoisuus (%)	Suurin rikki-pitoisuus (%)	Karakterisointiin valittujen näytteiden lukumäärä
Jalkapuolen mafiset	253	2,1	140,9	0,03	0,62	10,54	2
Breksia	163	1,4	67,9	0,26	3,35	12,65	2
Mafinen sarja	136	1,2	85,7	0,03	0,38	1,93	2
Gabro	122	1,0	119,3	0,09	1,06	4,41	2
Määrittelemätön	118	1,0	--	-	-	-	0
Muut	52	0,44	27,5	0,05	0,8	5,73	0
Yhteensä	11784	100	7689				38



Kuva 6-1. Pääesiintymää (ruskea kappale) leikkaavat kairareiät (harmaat viivat). Katselusuunta ylhäältä. Tasomaisessa rajauksessa (himmeeä ruskea pinta) on esitetty määritelty näytteenottovyöhyke. Näytesijainnit ja niiden kivilajit on esitetty värillisinä kiekkoina. (SRK Consulting Ltd. 2017).



Kuva 6-2. Pääesiintymää (ruskea kappale) leikkaavat kairareitit (harmaat viivat) ja kairausstiheyden havainnollistaminen. Näytesijainnit ja niiden kivilajit on esitetty värillisinä kiekkoina. Katselusuunta etelää kohti. (SRK Consulting Ltd. 2017).

Geokemiallisen tutkimusten toiseen vaiheeseen eli kosteuskammiokokeeseen pääesiintymästä valittiin esiintymiseltään ja laadultaan merkittävimmät näytteet. Tässä yhteydessä huomioitiin sekä kivilajijakauma että rikkipitoisuusjakauma. Kosteuskammiokokeen näytevalinta suoritettiin yhteisesti pääesiintymän ja satelliittiesiintymän NE kiville.

Satelliittiesiintymän NE näytteiden valinta

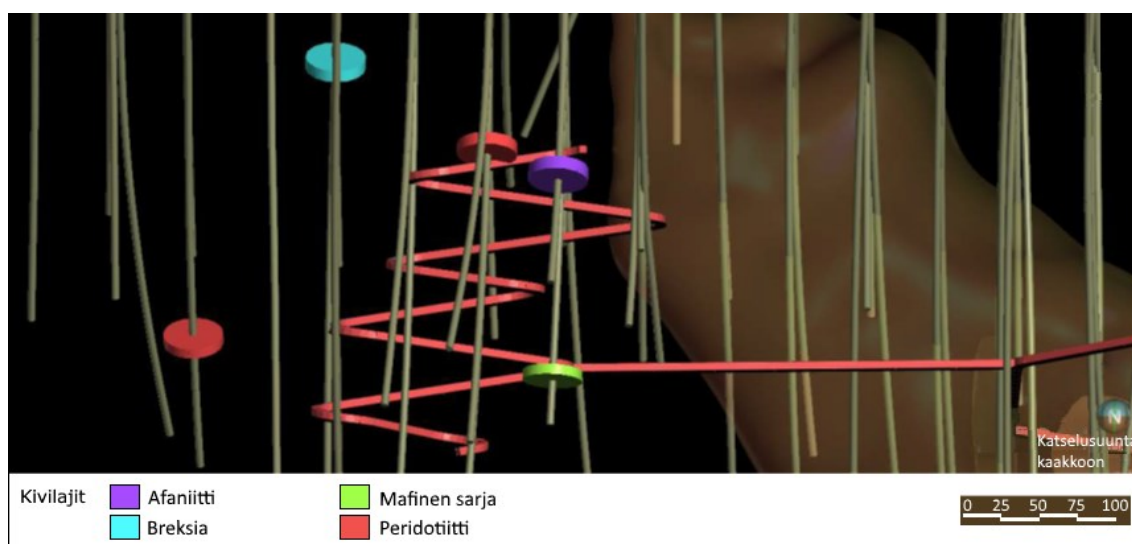
Satelliittiesiintymästä NE valittiin viisi kairasydänjaksoa ensimmäisen tutkimusvaiheen eli staattisen testauksen näytteenottoa varten. Valittujen näytteiden sijoittuminen ja kairareitit on havainnollistettu kuvassa 6-3. Kivilajien suhteelliset osuudet kairasydänten kokonaispituudesta sekä kivilajeittain valitut näytemäärät on esitetty taulukossa 6-3. Peridotiitti on yleisin kairasydämissä esiintyvä kivilaji (50,56 %). Toiseksi runsaimpana esiintyy mafisen sarjaan kivilajeja (18,73 %) ja kolmanneksi eniten esiintyy breksiaa (17,48 %).

Näytekohtien valinnassa käytettiin rikin analyysitulosten tilastollisia jakaumia. Peridotiitin osalta valittiin näytteet, joiden rikkipitoisuus valittiin edustamaan 50. persentiiliin ja 75. persentiiliin kohdalla olevaa arvoa. 50. persentiili ilmoittaa sen rikkipitoisuuden, jonka alapuolelle jakaumassa jää tapauksista 50 % ja 75. persentiili sen rikkipitoisuuden, jonka alapuolelle jää 75 % tapauksista. Afaniittia edustavan näytteen, samoin kuin mafisia kivilajeja edustavan näytteen valinta perustui siihen, että rikkipitoisuus on 50. ja 75. persentiiliin välillä.

Breksian rikkipitoisuus oli 0,14 %. Koska 92 % tämän kivilajin näytteistä rikkipitoisuus oli määritysrajalla (0,05 %) tai sen alle, ja 8 % näytteistä pitoisuus vaihteli välillä 0,06 % - 44,1 %, valittiin näyte, jossa rikin keskipitoisuus oli 0,14 %.

Taulukko 6-3. Satelliittiesiintymän NE kairanäytesyvyyydet, suhteelliset osuudet ja näytemäärät kivilajeittain. (SRK Consulting Ltd. 2017)

Litologia	Kairasydänten määrä (m)	Osuus kairasydänten kokonaismäärästä (%)	Tutkittujen kairasydänten määrä (m)	Pienin rikkipitoisuus (%)	Keskimääräinen rikkipitoisuus (%)	Suurin rikkipitoisuus (%)	Näytteiden lukumäärä
Peridotiitti	3689,40	50,56	3344,1	0,03	1,14	41,85	2
Mafinen sarja	1366,95	18,73	337,1	0,03	0,89	28,20	1
Breksia	1275,75	17,48	577,3	0,03	0,32	44,13	1
Afaniitti	544,00	7,46	317,4	0,05	0,23	0,98	1
Maaperä	157,00	2,15	0,0				0
Muut	142,40	1,95	91,0	0,03	2,32	9,46	0
Massiivisulfidi	97,05	1,33	97,1	0,97	27,13	36,07	0
Gabro	24,55	0,34	18,9	0,05	4,03	8,00	0
Yhteensä	7297,1	100	4782,8				5



Kuva 6-3. Satelliittiesiintymää NE sivuavat kairareivät (harmaat viivat). Näytesijainnit ja niiden kivilajit on esitetty värillisinä kiekkoina. Katselusuunta kaakkoon. (SRK Consulting Ltd. 2017)

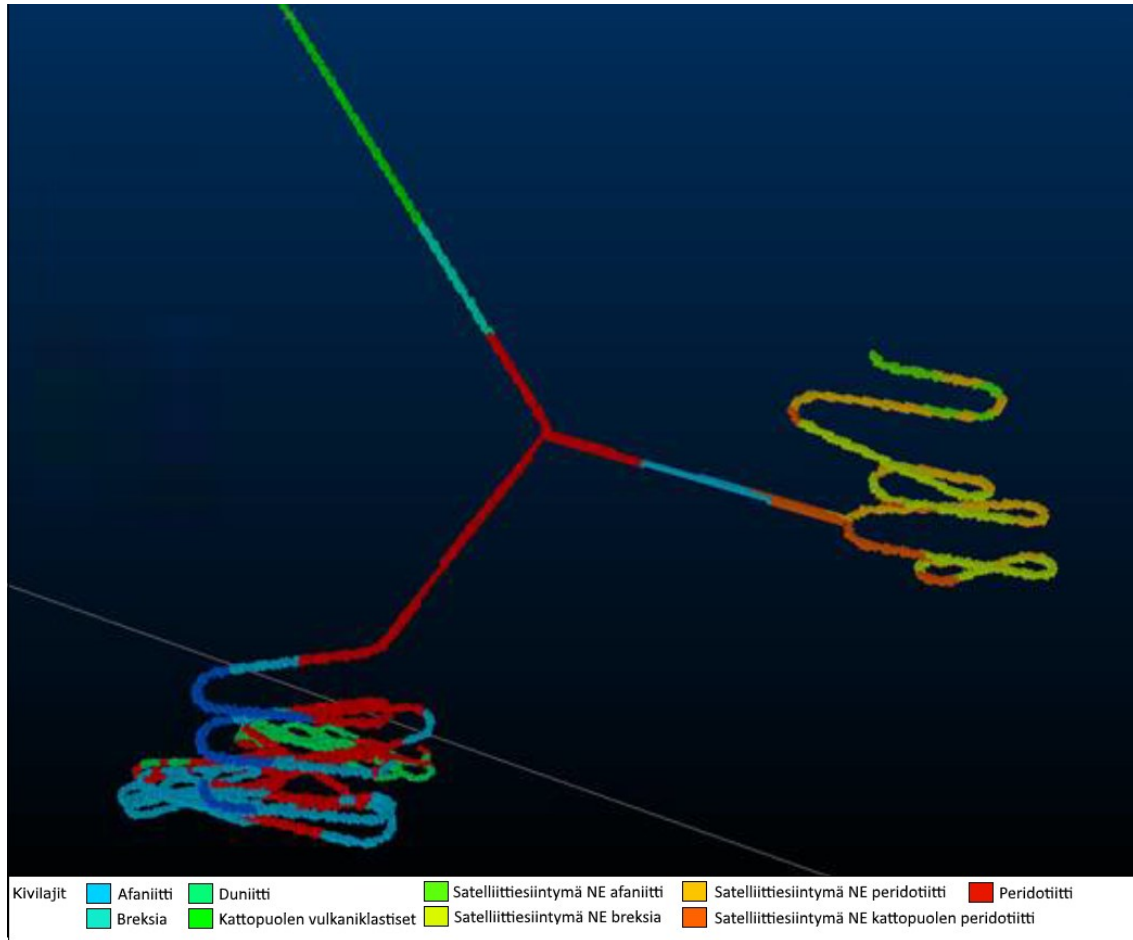
Geokemiallisen tutkimusten toiseen vaiheeseen eli kosteuskammiokokeeseen satelliittiesiintymästä NE valittiin esiintymiseltään ja laadultaan merkittävimmät näytteet. Tässä yhteydessä huomioitiin sekä kivilajijakauma että

rikkipitoisuusjakauma. Kosteuskammiokokeen näytevalinta tehtiin yhteisenä pääesiintymälle ja satelliittiesiintymälle NE.

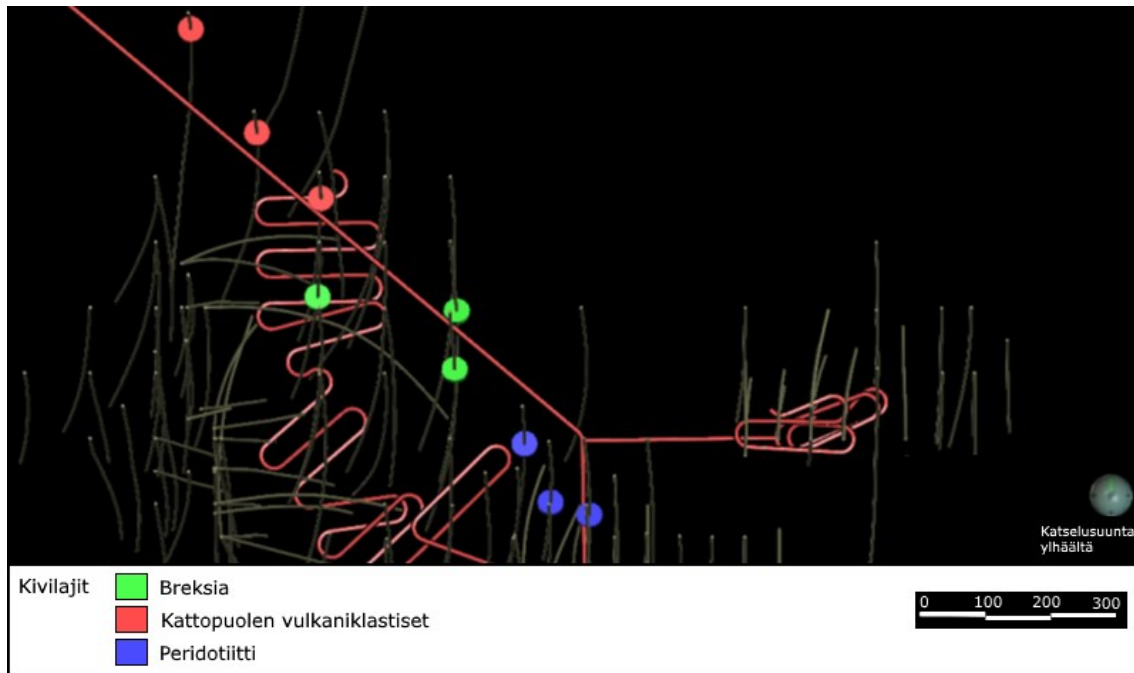
Vinotunnelin näytteiden valinta

Vuonna 2017 hankesuunnittelussa ei oltu vielä tarkasti määritelty maanalaiseen kaivokseen johtavan vinotunnelin sijaintia. Tästä syystä sivukiven karakterisointitutkimuksiin valittiin kairasydännäytteitä, jotka edustivat parhaiten mahdollista vinotunnelilinjausta. Tutkimuksiin valittiin kolme näyteväliä jokaisesta kivilajista, joita esiintyi mahdollisen vinotunnelin sijoittumisalueella tai sen läheisyydessä. Kivilajit olivat periodiitti, kattopuolen eli malmiesiintymän yläpuolen vulkaniklastiset kivet ja breksia. Näytevälien sijainnit on esitetty kuvissa 6-4, 6-5 ja 6-6.

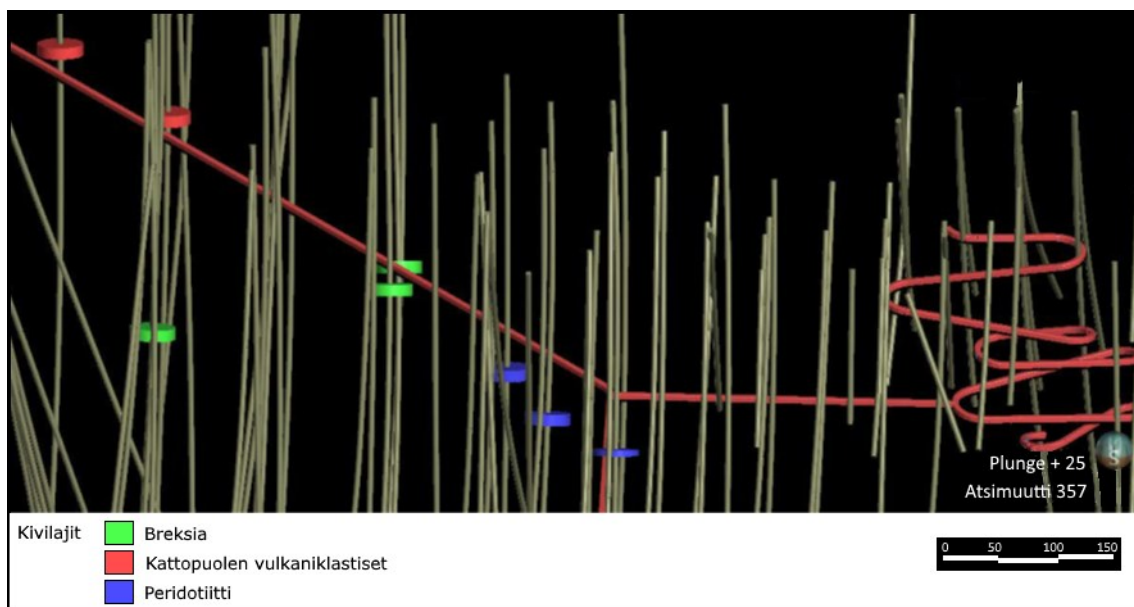
Hankesuunnittelun edetessä tarkasteluun otettiin useita eri vinotunnelin sijaintivaihtoehtoja, joista Sakatin kaivoshankeen YVA-selostukseen on valittu yhteensä kuusi vaihtoehtoa. Tutkimukset on keskittyneet hankevaihtoehdon VE1a mukaiselle vinotunnelilinjalle ja YVA-selostuksen täydennysvaiheessa tutkimuksia on tarkennettu muiden vinotunnelivaihtoehtojen osalta. Vinotunnelivaihtoehtoja ja niiden vaikutusta sivukivijakaumaan käsitellään tarkemmin luvussa 6.4.



Kuva 6-4. Likimääräinen kivilajien esiintyminen pääesiintymän (vasemmalla) ja satelliittiesiintymän NE (oikealla) vinotunnelien alueella. Kuvan yläreunasta tuleva vinotunneli on maanpäältä lähtevä vinotunneli. (SRK Consulting Ltd. 2017)



Kuva 6-5. Satelliittiesiintymän NE vinotunnelia (oikealla) leikkaavat ja sivuavat kairareiät. Kuvan keskiosassa näkyvät pääesiintymän vinotunneliverkosto ja maanpäältä lähtevä vinotunneli (vaihtoehdon VE1a mukainen linjaus). Näytesijainnit ja niiden kivilajit on esitetty värillisinä kiekkoina. Katselusuunta ylhäältä. (SRK Consulting Ltd. 2017)

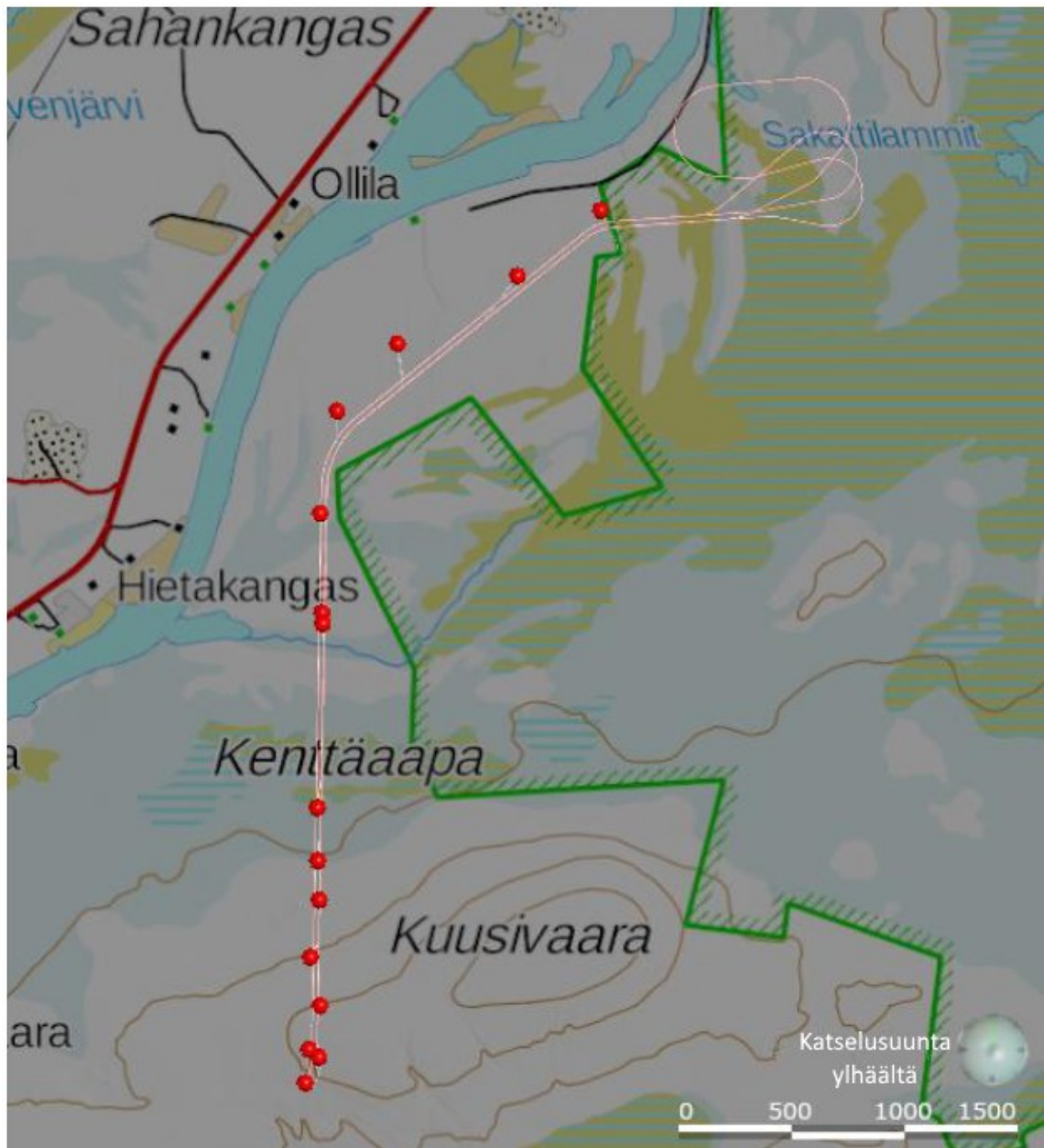


Kuva 6-6. Satelliittiesiintymän NE vinotunnelia (oikealla) leikkaavat ja sivuavat kairareiät. Kuvan vasemmasta yläkulmasta tulee maanpäältä lähtevä vinotunneli (vaihtoehdon VE1a mukainen linjaus). Näytesijainnit ja niiden kivilajit on esitetty värillisinä kiekkoina. Katselusuunta pohjoiseen. (SRK Consulting Ltd. 2017)

Vinotunnelivaihtoehto VE1a on ollut alkuperäisen näytevalinnan perustana. Siivukivialueiden suotovesien laadun mallintamisessa vinotunnelikivien osuutta lähtötiedoissa on edustanut tunnelivaihtoehto VE1a (SRK Consulting Ltd. 2017). Tunnelialueelle on kohdistettu myös uudempia tutkimuksia vuonna 2020. Tehdyjen kairareikien pituus vaihteli 60 metristä 1030 metriin. Tunnelivaihtoehdon VE1a sijainti ja vuoden 2020 kairareikätkutkimusten sijainnit on esitetty kuvassa 6-7. Kairareikäntäytteiden perusteella tutkitulla alueella esiintyy kymmentä pääkivilajia. Kivilajit ovat etelästä pohjoiseen seuraavat:

- Kuusivaaran mafiset vulkaaniset kivet, grafiittisia välikerroksia
- Konglomeraatti
- Sedimentoitunut breksia
- Kenttäaavan breksia
- Sakattiojan voimakkaasti leikkautunut komatiittinen basaltti
- Magneettiset mafiset vulkaaniset kivet ja gabrot
- Metasedimentit
- Komatiittiset laavat

Vuosina 2021–2022 on lisäksi tarkasteltu vinotunnelivaihtoehtoja VE1a–VE3a. Näitä koskevat tutkimukset on käsitelty erikseen luvussa 6.3.



Kuva 6-7. Vinotunnelin sijoittuminen hankevaihtoehdossa VE1a (punaiset viivat). Vinotunnelilinjalla ja sen lähialueella on yhteensä 15 kairareikää (punaiset pisteet). Lähteenä on AA Sakatti Mining Oy:n aineisto.

Yhteenveto kaikista geokemiallisen karakterisoinnin näytteistä

Sivukivinäytteitä valittiin staattisiin testeihin yhteensä 60, joista 38 edustaa pääesiintymää, viisi satelliittiesiintymää NE ja kolme vinotunnelia. Lisäksi kolme oli rinnakkaisnäytteitä. Loput näytteet edustavat sivukivimassaa alueelta, joka ei enää kuulu nykyiseen kaivossuunnitelmaan. Yhteenveto staattisiin testeihin valituista näytteistä esitetään alla taulukossa 6-4.

Taulukko 6-4. Yhteenvetotaulukko pääesiintymää ja satelliittiesiintymää NE ympäröivistä sekä vinotunnelin alueen staattisiin testeihin valituista sivukivinäytteistä. (SRK Consulting Ltd. 2017).

Kivilaji	Näyt- teiden luku- määrä	Näyt- teiden luku- määrä ABA testiä varten	Näytteiden lukumäärä kuningas- vesiuuttoa varten (monialku- aineana- lyysi)	Näyttei- den luku- määrä NAG Tes- tiä varten	Näytteiden lukumäärä NAG loppu- liuoksen analyysiä varten	Näytteiden määrä vesi- uuttoa var- ten ⁽¹⁾
Afaniitti	8	8	8	8	3	3
Brekia	7	7	7	7	2	2
Duniitti	2	2	2	2	1	1
Jalkapuolen mafiset	2	2	2	2	1	1
Gabro	2	2	2	2	1	1
Kattopuolen vulkanoklasti- set	3	3	3	3	2	2
Mafinen sarja	4	4	4	4	1	1
Massiivi sul- fidi	2	2	2	2	1	1
Peridotiitti	26	26	26	26	8	8
Serpentiniitti ⁽²⁾	1	1	1	1	0	0
Rinnakkais- näytteet	3	3	3	3	0	0
Yhteensä	60	60	60	60	20	20

⁽¹⁾ Kaksivaiheinen ravistelutesti EN 12457-3

Kineettiseen testaukseen eli kosteuskammiokokeeseen valittiin näytteitä staattisen testauksen perusteella siten, että määrällisesti merkittävimmät ja potenti-
aalisesti tuloksille merkitykselliset kivilajit olivat hyvin edustettuina. Näytteitä
valittiin seuraavasti:

- Kolme peridotiittinäytettä, joista kahdessa ei staattisen testauksen mu-
kaan ollut haponmuodostuspotentiaalia. Yhdessä näytteessä haponmuo-
dostuspotentiaali oli epävarma.
- Kaksi afaniittinäytettä, joista toinen luokiteltiin happoamuodostamatto-
maksi ja toinen haponmuodostuspotentiaaaliltaan epävarmaksi.
- Yksi breksianäyte ja yksi näyte kattopuolen vulkanoklastisista kivistä.
Näytteet arvioitiin happoamuodostamattomiksi.
- Kahdesta massiivisulfidiosanäytteestä muodostuva komposiittinäyte,
jonka kumpikin osanäyte luokiteltiin happoa tuottavaksi (SRK Consulting
Ltd. 2018b)

Kaivossuunnitelma ja vinotunnelilinjaus ovat kehittyneet kineettisen testauksen jälkeen. Sivukivien ja louhosseinämien kivilajit ovat kuitenkin pysyneet samoina ja näytteitä voidaan edelleen pitää edustavina.

6.2.2 Sivukivien geokemialliset ominaisuudet

Tässä kappaleessa esitetään tulokset sivukiven kuningasvesiuutosta, ABA-testistä, NAG-testistä sekä ravistelutestistä.

Kuningasvesiuutto

Sivukiven alkuainepitoisuudet tutkittiin kuningasvesiuuttoliuoksesta (luku 4.5). Tulokset on esitetty taulukossa 6-5. Osana kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013) mukaista luokittelua pysyväksi jätteeksi (luku 4.1) pitoisuuksia verrataan PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) kynnysarvoihin tai alueellisiin taustapitoisuuksiin. PIMA-asetuksen ylempiä ja alempia ohjearvoja käytetään taulukossa 6-5 vain viitteellisinä suuruusluokan kuvaajina. Niillä ei ole merkitystä kaivannaisjätteen luokittelussa.

Kaikkien sivukivilajien nikkelpitoisuus ylitti valtioneuvoston asetuksen 214/2007 kynnysarvon 50 mg/kg ja suurin osa kivilajeista ylemmän ohjearvon 150 mg/kg. Myös koboltin, kromin ja kuparin pitoisuudet ylittivät yleisesti kynnysarvot. Kattopuolen vulkanoklastisissa kivissä ainoastaan nikkelpitoisuus ylitti kynnysarvon, muiden tarkasteltavien metallien ja metalloidien pitoisuudet olivat alle kynnysarvon. Vanadiinipitoisuuksista kynnysarvo 100 mg/kg ylittyi ainoastaan serpentiniitissä, mutta mafisen sarjan ja massiivisulfidin keskimääräiset pitoisuudet ovat lähellä kynnysarvoa (mafisen sarjan 87,3 mg/kg ja massiivisulfidin 94,4 mg/kg).

Taulukko 6-5. Sivukivilajien kuningasvesiuuttoliuoksen metalli- ja metalloidipitoisuudet sekä vertailu PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) kynnys- ja ohjearvoihin (SRK Consulting Ltd. 2017). PIMA-asetuksen arvoista vain kynnysarvoja sovelletaan kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013) mukaisessa kaivannaisjätteen luokittelussa pysyväksi jätteeksi.

Sivukivilajien kuningasvesiliukoiset metalli- ja metalloidipitoisuuksien keskiarvot												
Parametri		Arseeni (As)	Kadmium (Cd)	Koboltti (Co)	Kromi (Cr)	Kupari (Cu)	Elohopea (Hg)	Nikkeli (Ni)	Lyijy (Pb)	Antimoni (Sb)	Vanadiini (V)	Sinkki (Zn)
Kivilaji	N	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg
Afaniitti	7	1,43	0,36	45,9	354	2989	<0,005	713	10,5	0,04	43,8	28,2
Brekia	7	0,78	0,03	22,8	142	64	<0,005	131	0,60	<0,01	51,5	6,58
Duniitti	2	0,3	0,03	118	373	2520	<0,005	2740	0,56	<0,01	5,02	14,7
Jalkapuolen mafiset	2	0,21	0,14	46,3	1290	2325	<0,005	512	6,28	<0,01	74,6	31,8

Sivukivilajien kuningasvesiliukoiset metalli- ja metalloidipitoisuuksien keskiarvot												
Para- metri		Ar- seeni (As)	Kad- mium (Cd)	Ko- boltti (Co)	Kro- mi (Cr)	Ku- pari (Cu)	Eloho- pea (Hg)	Nik- keli (Ni)	Lyijy (Pb)	Anti- moni (Sb)	Vana- diini (V)	Sinkki (Zn)
Kivilaji	N	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg
Gabro	2	0,71	0,13	38,2	409	1868	<0,005	550	7,92	0,03	75,1	8,72
Katto- puolen vulkano- klastiset	3	0,48	<0,01	18,1	48,8	45,5	<0,005	67,1	1,41	<0,01	24,9	31,7
Mafinen sarja	3	0,49	0,07	46,6	972	664	<0,005	483	8,13	<0,01	87,3	8,30
Massiivi- sulfidi	3	2,7	0,69	1835	26	32250	0,025	30000	2,44	0,015	94,4	31,1
Perido- tiitti	24	0,67	0,33	80,4	850	3157	0,006	1581	8,91	0,017	52,1	26,4
Ser- penti- niitti	1	0,83	0,01	67,9	15,4	267	<0,005	388	1,57	<0,01	101	13,1
Kynnys- arvo		5	1	20	100	100	0,5	50	60	2	100	200
Alempi ohjearvo		50	10	100	200	150	2	100	200	10	150	250
Ylempi ohjearvo		100	20	250	300	200	5	150	750	50	250	400

ABA-testin tulokset

Kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013) mukaisessa luokittelussa pysyväksi jätteeksi (luku 4.1) tarkastellaan alkuainepitoisuuksien lisäksi myös sekä sulfidisen rikin määrää että neutralointipotentiaalisuhdetta eli neutralointikyvyn ja hapontuottokyvyn suhdetta. Pysyvässä jätteessä sulfidisen rikin pitoisuuden tulee olla <0,1 % tai vaihtoehtoisesti sulfidisen rikkipitoisuuden on oltava 0,1-1 % ja neutralointipotentiaalisuhteen yli 3. Lisäksi ABA-testiin perustetaan kaivannaisjätteen epävirallisempi luokitus happoa tuottaviin (PAF) ja ei-happoa tuottaviin (NAF).

Sulfidisen rikin määrä näytteissä vaihteli suuresti välillä <0,01–31,7 m-%. Rikin kokonaispitoisuuden ja sulfidisen rikin pitoisuuden välillä on kohtuullinen korrelaatio (Kuva 6-8). Rikin kokonaispitoisuudet ovat yleensä hieman sulfidisen rikin pitoisuuksia suurempia, mikä tarkoittaa muiden rikkipitoisten mineraalien, kuten kipsin tai muiden sulfaattimineraalien, läsnäoloa, yleensä vähäisessä määrin.

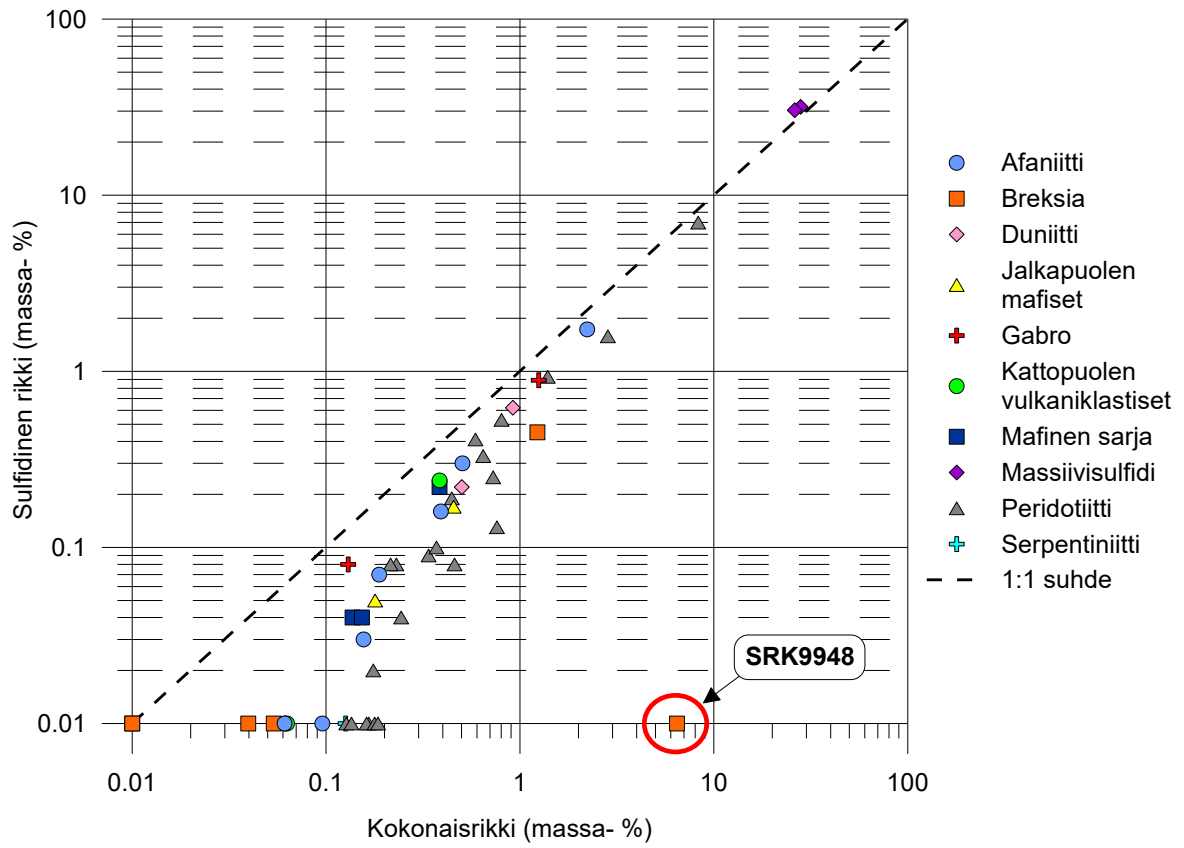
Kivilajien mukaan jaoteltuna kaikki breksia-, duniitti-, jalkapuolen (esiintymän alapuolen) mafiset ja mafisen sarjan näytteet sekä serpentiniittinäyte luokiteltiin ei-happoa tuottaviksi (NAF; NPR>3) ABA-testin perusteella. Afaniitti-, gabro- ja kattopuolen (esiintymän yläpuolen) vulkanoklastiset näytteet olivat joko ei-happoa tuottavia (NAF) tai hapontuottokyvyltään epävarmoja

($1 < \text{NPR} < 3$). Keskimäärin em. kivilajit luokitteisivat hapontuotto-ominaisuuksien osalta pysyviksi ($\text{NPR} > 3$), mutta tämä luokitteluperuste ei siis yksinään riitä luokitteluun pysyväksi kaivannaisjätteeksi (VNA 190/2013). Luokittelu VNA 190/2013 mukaan kokonaisuutena edellyttää myös metallien kokonaispitoisuuksien alittavan PIMA-asetuksen (214/2007) mukaiset kynnyksarvot.

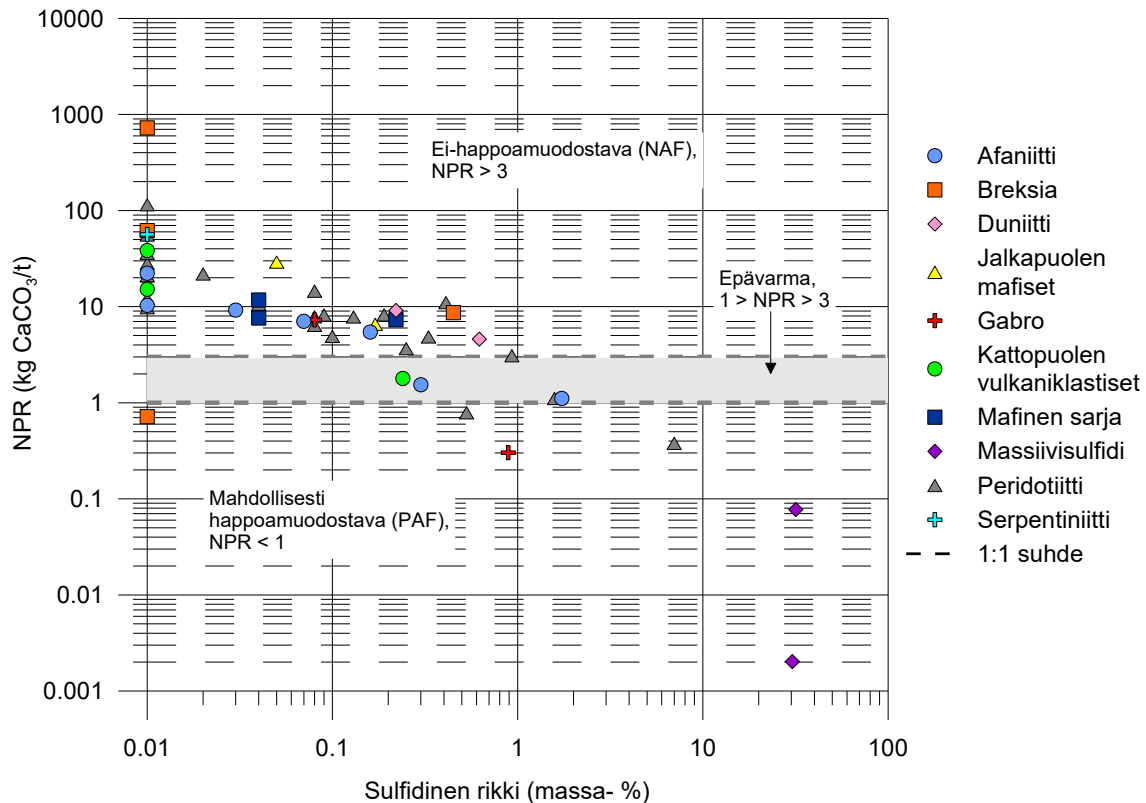
Suurin osa (85 %) peridotiittinäytteistä oli ei-happoa tuottavia (NAF), mutta kolme näytettä luokiteltiin hapontuottokyvyltään epävarmoiksi ja yksi näytteistä happoa tuottavaksi (PAF; $\text{NPR} < 1$). Molemmat massiivisulfidinäytteet olivat odotetusti mahdollisesti happoa tuottavia (PAF). Keskimääräiset ABA-testin tulokset kivilajeittain on esitetty taulukossa 6-6 sekä kuvissa 6-8 – 6-10.

Taulukko 6-6. Sivukiven keskimääräiset ABA-testin tulokset kivilajeittain. Aineisto sisältää näytteitä myös varhaisemmassa hankesuunnitelmassa mukana olleelta alueelta. Näin ollen aineisto edustaa pääesiintymää ja satelliittiesiintymää NE laajempaa aluetta. N=näytteiden lukumäärä, S_{sulf} m-%=sulfidirikkipitoisuus, AP=hapontuottopotentiaali yksikössä kg CaCO_3 ekv./t, NP=neutraloimispotentiaali yksikössä kg CaCO_3 ekv./t, NNP=nettoneutraloimispotentiaali yksikössä kg CaCO_3 ekv./t ja NPR=neutraloimispotentiaalisuhde.

Kivilaji	N	S_{sulf} m-%	AP	NP	NNP	NPR
kg CaCO_3 ekv. / t						
Afaniitti	8	0,29	9,06	50,2	41,2	72,9
Breksia	7	0,07	2,28	377	375	1060
Duniitti	2	0,42	13,1	154	140	15,2
Jalkapuolen mafiset	2	0,11	3,44	127	124	61
Gabro	2	0,49	15,2	19,8	4,64	5,61
Kattopuolen vulkaniklastiset	3	0,09	2,71	39	36,3	103
Mafinen sarja	4	0,08	2,42	50,4	48	43,6
Massiivisulfidi	2	31,1	970	43	-927	0,04
Peridotiitti	26	0,47	14,8	114	99,7	169
Serpentiniitti	1	0,01	0,31	232	232	742
Kaikkien näytteiden keskiarvo	57 kpl	1,4	43,8	127	83,5	242

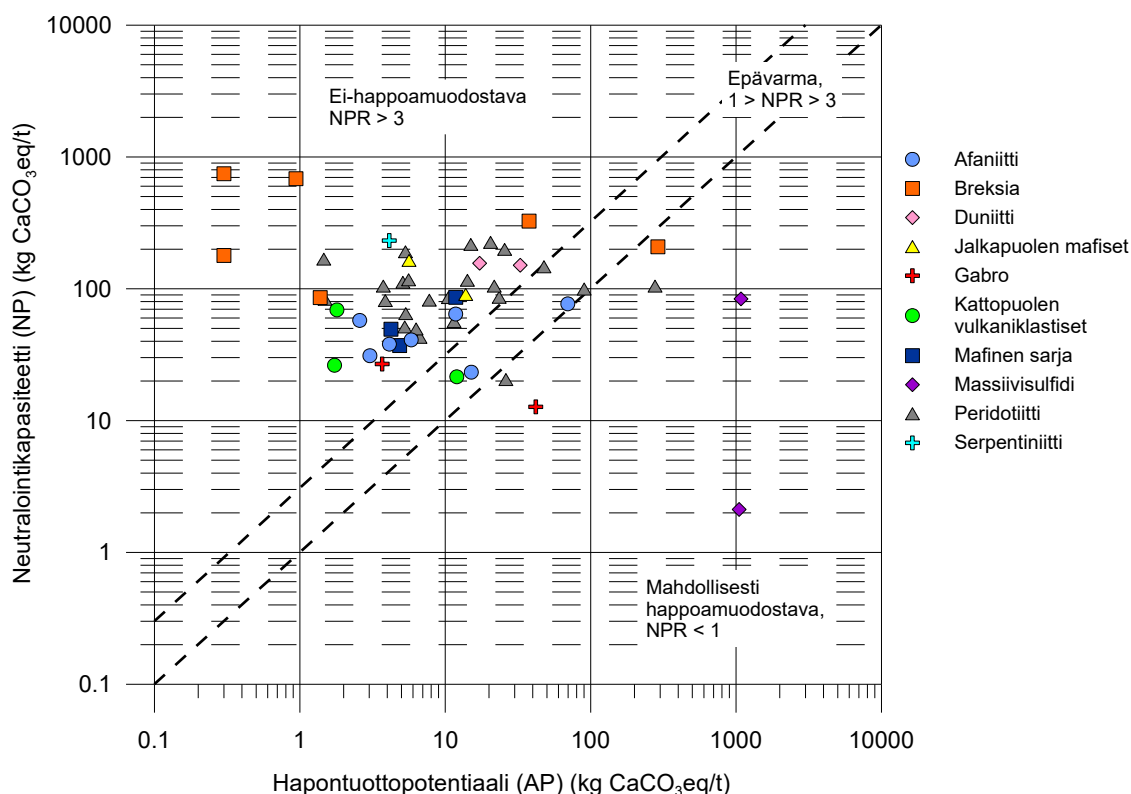


Kuva 6-8. Sulfidinen rikki rikin kokonaispitoisuuden funktiona sivukivinäytteissä. Ympyröidyssä näytteessä on epätavallisen alhainen sulfidisen rikin ja kokonaisrikin suhde. (SRK Consulting Ltd. 2017)



Kuva 6-9 Sulfidisen rikin pitoisuudet kivilajeittain NPR-suhteen funktiona. (SRK Consulting Ltd. 2017)

Tarkasteltaessa titraamalla määritetyn neutralointikapasiteetin (NAG-testaus, luku 4.3) ja epäorgaanisen hiilen määrän perusteella laskennallisesti arvioidun neutralointikapasiteetin (ABA-testaus, luku) eroa havaittiin, että titraustulokseen perustuva arvio neutralointikapasiteetista on noin puolessa tapauksista suurempi kuin epäorgaanisen hiilen pitoisuudesta laskennallisesti saatava neutralointikapasiteetti. Epäorgaaniseen hiilen perustuva neutralointikapasiteetti on useimmiten lähes kokonaan karbonaattista ja näin ollen nopeasti käytettävissä, kun taas titraamalla arvioidussa neutralointikapasiteetissa on mukana myös muita, hitaammin reagoivia mineraaleja, tyypillisesti silikaatteja. (SRK Consulting Ltd. 2017)



Kuva 6-10. Hapontuottopotentiaalin ja neutralointikapasiteetin kumulisen suhde (SRK Consulting Ltd. 2017).

NAG-testin tulokset

Nettophapontuottokoetta (NAG) käytetään ABA-testin tuloksen varmistamiseksi. Lisäksi NAG-uutteen analyysin avulla selvitettiin, mikä osuus metallien ja metallidien kokonaispitoisuudesta on pitkällä aikavälillä hapettuvissa.

Arvioitujen sivukivilaatuojen NAG-testin näytemäärät ja tulokset on esitetty taulukossa 6-7. Ainoastaan massiivisulfidin NAG-pH (eli NAG-testin minimi-pH) oli selvästi hapan indikoiden alhaista neutralointikapasiteettia. Gabron NAG-pH oli keskimäärin lievästi hapan, 6,1. Kaksi gabronäytettä käyttäytyivät toisistaan poikkeavasti; toisen loppu-pH oli selvästi hapan (pH=3,69) ja toisen selvästi emäksinen (pH=8,55). Näiden tulosten perusteella ei voida arvioida, kumpi näytteistä edustaa paremmin kivilajia. Edustavuuden tarkempi selvittäminen edellyttää lisätarkastelua tai päästölähdearviointia konservatiivisin perustein, eli varovaisuusperiaatteen pohjalta. Muiden kivilajien NAG-pH:t olivat selvästi emäksisiä. Tarkasteltaessa sulfidisen rikin pitoisuutta ja NAG-pH:ta havaitaan, että näytteissä, joissa oli korkeimmat sulfidisen rikin pitoisuudet, myös NAG-pH oli selvästi hapan ja toisaalta alle määritysrajan olleet rikkipitoisuudet tuottivat emäksisimmät NAG-pH:t.

Taulukko 6-7. Sivukivien NAG-testin tulokset ja näytemäärät kivilajeittain (SRK Consulting Ltd. 2017). Aineisto sisältää näytteitä myös varhaisemmassa hankesuunnitelmassa mukana olleelta alueelta. Näin ollen aineisto edustaa pääesiintymää ja satelliittiesiintymää NE laajempaa aluetta.

Kivilaji	N	Minimi-pH eli NAG-pH	Nettohapontuottopotentiaali / kg H ₂ SO ₄ ekv. / tn		
			Keskiarvo	Min.	Max.
Afaniitti	8	8,14	1,85	0	14,7
Brekia	7	10,4	0	0	0
Duniitti	2	8,69	0	0	0
Jalkapuolen mafiset	2	9,68	0	0	0
Gabro	2	6,09	4,9	0	9,79
Kattopuolen vulkaniklastiset	3	9,64	0	0	0
Mafinen sarja	4	10,6	0	0	0
Massiivisulfidi	2	2,53	144	89,7	199
Peridotiitti	26	9	2,08	0	46,3
Serpentiniitti	1	9,84	0	0	0

NAG-uutteen pitoisuudet

NAG-uutteen metallipitoisuuksien perusteella voidaan arvioida varsinkin sulfidimineraaleihin sitoutuneiden metallien mobilisoitumista. NAG-testin tuloksia on kuitenkin tarkasteltava varmistuen, että sulfidien hapettuminen on todellakin tapahtunut ja huomioiden, että testitilanteessa voi muodostua esim. saostumista aiheuttavia pH-olosuhteita, joita todellisessa läjityksessä ei muodostuisi (luku 4.3). Lisäksi tuloksia käytettäessä on huomioitava, että NAG-testissä sulfidimineraalit hapetetaan nopeasti, yhdellä kerralla. Kenttäolosuhteissa vastaava hapettuminen veisi vuosikymmeniä tai vuosisatoja.

Metalli- ja metalloidipitoisuudet NAG-testin loppuliouksessa on esitetty taulukossa 6-8. Ainoastaan gabron ja massiivisulfidin kupari- ja nikkelpitoisuuksia voidaan pitää huomattavan korkeina, muuten pitoisuudet olivat kauttaaltaan alhaisia. Osassa näytteistä tulokseen voi vaikuttaa mahdollinen peroksidin ennenaikainen hajoaminen kokeessa. Niissä näytteissä, joissa NAG-uute muodostui huomattavan emäksiseksi, suurempi osuus metalleista saattoi saostua liuoksesta kuin todellisuudessa saostuisi.

Sivukiven NAG-uutossa liukenevia metalli- ja metalloidimääriä on verrattu kuningasvesiuuttoon, joka tässä yhteydessä edustaa kokonaispitoisuuksia (Taulukko 6-9). Tarkastelussa on siis metallin NAG-uutossa liukenevan pitoisuuden

osuus kokonaispitoisuudesta, toisin sanoen hapettumisen seurauksena vapautuvan pitoisuuden osuus kokonaispitoisuudesta. Kuningasvesiuutto ei toki ole tehokkain mahdollinen uutto kokonaispitoisuuksien määrittämiseen, mutta se on kaivannaisjäteasetuksen (VNA 2190/2013) edellyttämä menetelmä. Hapettumisen seurauksena vapautuvan metallin osuus metallin kokonaismäärästä onkin vain suuntaa antava luku, mikä tulee muistaa tuloksia käytettäessä.

NAG-uutossa liukenevien metallien tai puolimetallien osuudet niiden kokonaismäärästä on suurimmillaan yksittäisissä kivilajeissa, kuten arseeni afaniitissa, kupari ja nikkeli gabrossa sekä nikkeli, kupari ja sinkki massiivisulfidissa. Lisäksi afaniitissa ja peridotiitissa NAG-uutossa liukenee suurempia antimonimääriä kuin kuningasvesiuutossa. Tämä saattaa olla korkean minimi-pH:n vaikutusta, sillä arseenin ja antimonin liukoisuudet kasvavat emäksissä olosuhteissa.

Taulukko 6-8. Metallien keskimääräinen vapautuminen NAG-testissä (vetyperoksidihapetuksessa). Taulukossa pitoisuudet NAG-loppuliukossa.

Parametri	N	Arseeni	Kadmium	Koboltti	Kromi	Kupari	Nikkeli	Lyijy	Antimoni	Vanadiini	Sinkki
Yksikkö		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Kivilaji											
Afaniitti	4	0,82	0,08	8,33	5,23	3,67	87,4	<0,1	0,10	0,36	<1
Breksia	2	0,03	<0,01	<0,02	1,66	0,05	<0,06	<0,1	0,36	1,55	<1
Duniitti	1	<0,01	<0,01	0,03	1,37	0,04	1,41	<0,1	<0,01	0,02	<1
Jalkapuolen mafiset	2	0,02	<0,01	<0,02	14,8	0,27	<0,06	<0,1	0,02	1,42	3,75
Gabro	1	0,02	0,01	23,9	1,92	2880	596	<0,1	<0,01	0,05	<1
Kattopuolen vulkaniklastiset	2	<0,01	<0,01	<0,02	1,54	0,05	<0,06	<0,1	0,01	0,95	2,55
Mafinen sarja	1	0,06	<0,01	<0,02	11,0	0,12	<0,06	<0,1	0,01	2,40	<1
Massiivisulfidi	1	0,15	0,20	233	0,37	13000	10200	<0,1	<0,01	0,21	36,7
Peridotiitti	8	0,03	<0,01	<0,02	10,4	0,12	0,23	<0,1	0,12	0,86	<1

Taulukko 6-9. NAG-testissä mobilisoituvien metallien prosenttiosuus kuningasvesiliukoisista metallipitoisuuksista.

Parametri	Arseeni	Kadmium	Koboltti	Kromi	Kupari	Nikkeli	Lyijy	Antimoni	Vanaadiini	Sinkki
Yksikkö	% -kuningasvesiliukoisesta pitoisuudesta									
Afaniitti	62	23	19	1,5	-	13	-	250	0,7	-
Breksia	4,1	-	-	1,2	0,09	-	-	-	3,1	-
Duniitti	-	-	0,03	0,37	<0,01	0,05	-	-	0,40	-
Jalkapuolen mafiset	7,1	-	-	1,1	-	-	-	-	1,9	12
Gabro	2,8	7,7	63	0,47	-	108	-	-	0,07	-
Kattopuolen vulkaniklastiset	-	-	-	3,1	0,10	-	-	-	3,8	8,0
Mafinen sarja	14	-	-	1,5	0,02	-	-	-	2,6	-
Massiivisulfidi	5,6	29	13	1,4	40	34	-	-	0,22	118
Peridotiitti	4,9	-	-	1,2	<0,01	0,01	-	590	1,7	-

Ravistelutesti

VNA 331/2103 mukaista pysyvän jätteen kaatopaikkaluokan kelpoisuusraja-arvoa käytetään seuraavassa vain suuruusluokan havainnollistamisessa. Kaivannaisjätettä ei luokitella ravistelutestin (EN 12457-3) tulosten perusteella. On muistettava, että ravistelutestin avulla ei voi myöskään kuvata kaivannaisjätteen pitkäaikaiskäyttäytymistä eikä analysoitavan näytteen laskennallinen vesikiintoainesuhde (L/S 10) vastaa luonnonolosuhteita. Tulos ei siis kuvaa suoto-veden laatua. Menetelmäkuvaus ravistelutestistä on esitetty luvussa 4.4.

Ravistelutestin metalli- ja metalloidipitoisuudet kumulatiivisessa eli laskennallisessa L/S 10-suhteessa on esitetty taulukossa 6-10. Arseenipitoisuus ylitti pysyvän jätteen kaatopaikalle asetetun raja-arvon (0,5 mg/kg) afaniitissa ja nikkelin raja-arvo (0,4 mg/kg) puolestaan ylittyi massiivisulfidissa. Afaniitti-, breksia-, duniitti- ja gabrouutteiden keskimääräinen sulfaattipitoisuus ylitti pysyvän jätteen kaatopaikalle asetetun sulfaattipitoisuuden raja-arvon 1 000 mg/kg. Uutteiden pH:t mitattiin L/S 2- ja L/S 8-utteista. Molemmissa L/S-suhteissa kaikkien tutkittujen sivukivinäytteiden uutteen pH oli selvästi emäksinen, kaikkien uutteen pH:n vaihteluväli oli 8,19 – 10,1.

Taulukko 6-10. Kaksivaiheisen ravistelutestin laskennalliset metalli- ja metalloidipitoisuudet suhteessa L/S 10 eri sivukivilajeissa (SRK Consulting Ltd. 2017). Tulokset on ilmoitettu kuiva-ainetta kohti. Raja-arvovertailut (VNA 331/2013) esitetään vain suuruusluokan havainnollistamiseksi. Kaivannaisjätettä ei luokitella kaatopaikka-asetuksen mukaisesti.

Alkuaine	VNA 331/2013 vertailuarvot												
	L/S 10												
	Kaato- paikka- luokka	Pysyvä	Vaara- ton	Vaara- linen	Afaniitti	Brek- sia	Duniitti	Jalka- puolen mafiset	Gabro	Katto- puolen vulka- niklasti- set	Mafi- nen sarja	Mas- siivi- sulfidi	Peri- dotiitti
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Arseeni	0,5	2	25	0,7	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,1
Barium	20	100	300	0,3	0,1	0,6	0,35	0,3	<0,06	<0,06	1	<0,06	0,7
Kadmium	0,04	1	5	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Kromi	0,5	10	70	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
Kupari	2	50	100	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,1	<0,05	<0,05
Elohopea	0,01	0,2	2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Molybdeeni	0,5	10	30	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
Nikkeli	0,4	10	40	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	4,6	<0,06
Lyijy	0,5	10	50	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Antimoni	0,06	0,7	5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Seleen	0,1	0,5	7	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,1	<0,05	<0,05
Sinkki	4	50	200	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2
Vanadiini	-	-	-	0,1	0,1	<0,05	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	0,3	<0,05	0,2
Kloridi, Cl-	800	15 000	25 000	117	40,2	3294	<4	71,7	<8	9,6	63,8	103	103
Fluoridi, F-	10	150	500	<1	<1	<1	<1	<1	3,2	<1	<1	<1	<1
Sulfaatti, SO ₄ ²⁻	1000	20 000	50 000	1201	9328	1940	71	1962	14	59	607	213	213
DOC ⁽¹⁾	500	800	1 000										
TDS ⁽²⁾	4000	60 000	100 000										

¹⁾ DOC = Liennut orgaaninen hiili

²⁾ TDS = Liuenneiden aineiden kokonaispitoisuus

6.2.3 Sivukivien pitkäaikaikäyttäytyminen

Sivukiven pitkäaikaikäyttäytymisen testimenetelmänä on käytetty kosteuskammiokoetta (luku 4.7). Kosteuskammiokoetta raportoitiin 40 viikon testauksen jälkeen toukokuussa 2018 (Taulukko 6-11). Testattavia sivukivinäytteitä oli alun perin 8 kpl, ja niistä kahden, ei-happoa muodostava peridotiitti ja ei-happoa muodostava afaniitti, koe lopetettiin 20 viikon jälkeen, koska merkittävää muutosta tai muutostrendiä suodoksessa ei ollut havaittavissa, eikä

rikkipitoisuuden valossa ollut syytä epäillä, että myöhempiä hapettumishuipuja olisi tulossa.

Kosteuskammiokoekiden tulokset

Tutkitut sivukivinäytteet olivat seuraavat:

- Kolme peridotiittinäytettä
 - Kaksi todettiin ei-happoa muodostaviksi staattisessa testauksessa. Kolmannen näytteen haponmuodostusominaisuudet olivat staattisten kokeiden perusteella epävarmoja.
- Kaksi afaniittinäytettä
 - Toinen oli ei-happoa muodostava ja toinen epävarma.
- Breksia- ja kattopuolen vulkanoklastisten näyte
 - Molemmat on arvioitu ei-happoa muodostavaksi. Molempia todennäköisesti esiintyy vinotunnelin alueella.
- Yhdistelmänäyte kahdesta massiivisulfidista
 - Staattisen testauksen perusteella kiviaines on mahdollisesti happoa muodostavaa.
 - Massiivisulfidi on tutkittu ensisijaisesti seinämäkivenä, massiivisulfidisivukiveä ei tule muodostumaan merkittäviä määriä.

Aikasarjakuviin (kuvat 6-11 – 6-27) ja taulukkoon 6-11 on koottu keskeisten parametrien käyttäytyminen kosteuskammiokoeksessa. Yleisesti näytteiden pH pysytteli lievästi emäksisinä koko kokeen ajan lukuun ottamatta massiivisulfidia, joka happamoitui heti kokeen alussa ja jonka pH vaihteli kosteiden ja kuivien jaksojen mukaan. Samoin sähkönjohtavuus oli yleisesti alle 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Tässäkin poikkeuksen muodostaa massiivisulfidi, jonka sähkönjohtavuus vaihteli välillä 1 309–3 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tarkasteltaessa hapontuottokyvyn ja neutralointikapasiteetin suhteellista kulumista kosteuskammiokoeken aikana voidaan todeta, että neutralointikapasiteetti kului lähes kaikissa näytteissä joko hapontuottokapasiteettia hitaammin tai jokseenkin samaa tahtia. 40 viikon kuluessa neutralointikapasiteetista oli kulunut alle 10 % kaikissa kivissä, paitsi massiivisulfidissa. Samalla aikajaksolla hapontuottokapasiteetista oli kulunut 5–35 %. Poikkeuksen muodostaa kuitenkin massiivisulfidi, jossa neutralointikapasiteetin suhteellinen kulutus oli hapontuottokapasiteetin kulumista huomattavasti nopeampaa. 40 viikossa neutralointikapasiteetista oli kulunut noin 35 % ja hapontuottokyvystä vain 1–2 %.

Tutkituissa näytteissä suurin sulfaatinmuodostus oli massiivisulfidinäytteessä. Staattisten testien perusteella ei-happoa muodostavaksi arvioidussa peridotiittinäytteessä sulfaatinmuodostus oli toiseksi suurinta koko kosteuskammiokoeken ajan (Kuva 6-16).

Nikkelin ja kuparin vapautumisnopeudet noudattelivat sulfaatinmuodostusta. Massiivisulfidissa metallien vapautuminen oli suurinta, mikä aiheutuu myös alhaisesta pH:sta. Metallien vähäinen saostuminen ja kersaostuminen on seurausta alhaisesta pH:sta. Toisessa peridotiittinäytteessä nikkelin ja kuparin vapautumiselle oli nouseva trendi koko kokeen ajan, vaikka näytteen pH ei muuttunut merkittävästi. Näin ollen ei voida poissulkea neutraalin metallipitoisen valuman muodostumisen mahdollisuutta. Neutraalilla valumalla tarkoitetaan tilannetta, jossa kiven puskurikyky riittää neutraloimaan sulfidien hapettumisesta aiheutuvan happamuuden. Valumaveden pH ei kuitenkaan ole riittävän korkea saostamaan kaikkia sulfidien hapettumisen seurauksena liuenneita metalleja.

Kosteuskammiokokoon reaktio, vesi-kiintoainesuhde, lämpötila ja kokeen muut olosuhteet eivät vastaa todellisen läjityksen olosuhteita. Kosteuskammiokokoon tulos ei siis ole kaivannaisjätealueen suotovesilaatu. Tulokset ilmaistaankin pääsääntöisesti liukenemisena mineraaligrammaa kohti. Arvio sivukivialueiden suotoveden laadusta muodostetaan laboratoriotuloksista laskennan ja mallinuksen keinoin. (SRK Consulting Ltd. 2017)

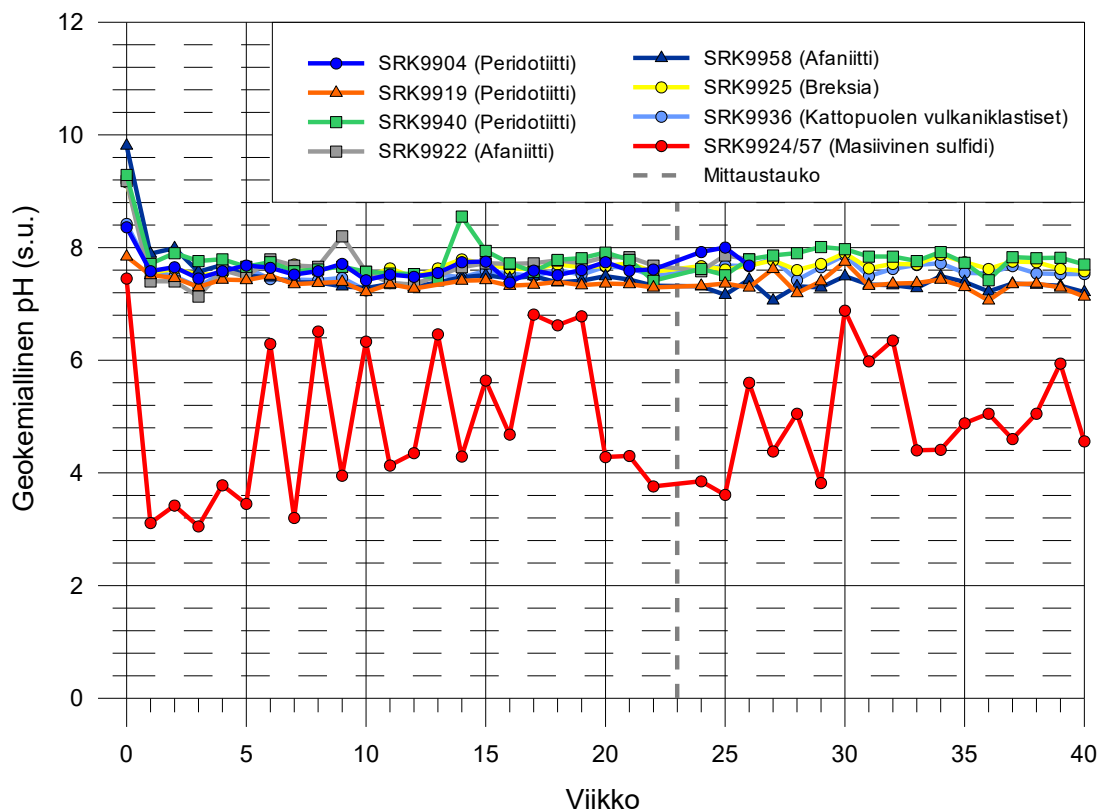
Taulukko 6-11. Sivukivien kosteuskammiokokoon tulokset keskiarvoina viikkojaksoittain (viikot 0-3, 4-20 ja 21-40) (koottu SRK Consulting Ltd:n aineistosta vuodelta 2018).

Näyte (tunnus)	Parametri	Yksikkö	Fluori	Kloridi	Alkaliteetti (CaCO ₃)	Sulfaatti-rikki	Sulfaatti (laskennallinen)	kokonais-rikki	Ei-sulfaattinen rikki (laskennallinen)
		mg/kg/vk	mg/kg/vk	mg/kg/vk	mg/kg/vk	mg/kg/vk	mg/kg/vk	mg/kg/vk	mg/kg/vk
Peridotiitti (SRK9904)	vk. 0-3	0,567	0,057	3,332	42,961	7,710	23,099	10,133	2,424
	vk. 4-20	0,469	0,047	0,107	20,934	2,437	7,302	4,391	1,954
	vk. 21-40	-	-	-	-	-	-	-	-
Peridotiitti (SRK9919)	vk. 0-3	0,567	0,057	67,267	36,611	21,610	64,744	23,806	2,196
	vk. 4-20	0,477	0,048	10,938	14,202	23,780	71,243	26,055	2,276
	vk. 21-40	0,648	0,058	1,676	11,420	30,893	92,556	30,268	-0,625
Afaniitti (SRK9922)	vk. 0-3	0,567	0,142	9,822	31,800	48,823	146,273	50,637	1,814
	vk. 4-20	0,458	0,046	0,513	18,558	3,602	10,791	4,759	1,157
	vk. 21-40	-	-	-	-	-	-	-	-
Afaniitti (SRK9958)	vk. 0-3	0,571	0,057	14,544	48,356	8,769	26,272	23,769	15,000
	vk. 4-20	0,471	0,047	0,156	16,875	4,673	14,002	8,638	3,965
	vk. 21-40	0,387	0,057	0,096	11,482	3,847	11,526	6,964	3,117
Breksia (SRK9925)	vk. 0-3	0,565	0,128	2,462	44,201	1,567	4,696	3,151	1,583
	vk. 4-20	0,460	0,047	0,040	23,438	0,435	1,303	0,756	0,321
	vk. 21-40	0,357	0,059	0,053	24,501	0,883	2,645	0,544	-0,339
Kattopuolen vulkaniklastiset (SRK9936)	vk. 0-3	0,576	0,278	1,112	34,148	1,793	5,373	1,919	0,126
	vk. 4-20	0,450	0,080	0,044	11,644	0,749	2,245	0,728	-0,021
	vk. 21-40	0,369	0,056	0,044	11,743	0,729	2,183	0,698	-0,031
Peridotiitti (SRK9940)	vk. 0-3	0,568	0,057	7,300	45,659	17,991	53,902	24,710	6,718
	vk. 4-20	0,460	0,046	0,084	19,936	6,431	19,268	12,778	6,346
	vk. 21-40	0,374	0,056	0,049	14,992	5,612	16,812	7,931	2,319
Massiivisulfidi (SRK9924/57)	vk. 0-3	0,578	0,149	11,486	22,265	99,547	298,243	758,929	659,382
	vk. 4-20	0,474	0,047	0,253	1,331	92,484	277,082	256,534	164,050
	vk. 21-40	0,386	0,141	0,378	1,247	180,998	542,269	332,849	151,852
Näyte (tunnus)	Parametri	Alumiini	Elohopea	Pii	Antimoni	Kalsium	Arseeni	Natrium	Barium
		mg/kg/vk	mg/kg/vk	mg/kg/vk	mg/kg/vk	mg/kg/vk	mg/kg/vk	mg/kg/vk	mg/kg/vk
Peridotiitti (SRK9904)	vk. 0-3	0,018	0,000006	2,525	0,000089	5,535	0,000327	14,183	0,006
	vk. 4-20	0,015	0,000005	1,387	0,000057	2,006	0,000248	2,753	0,004

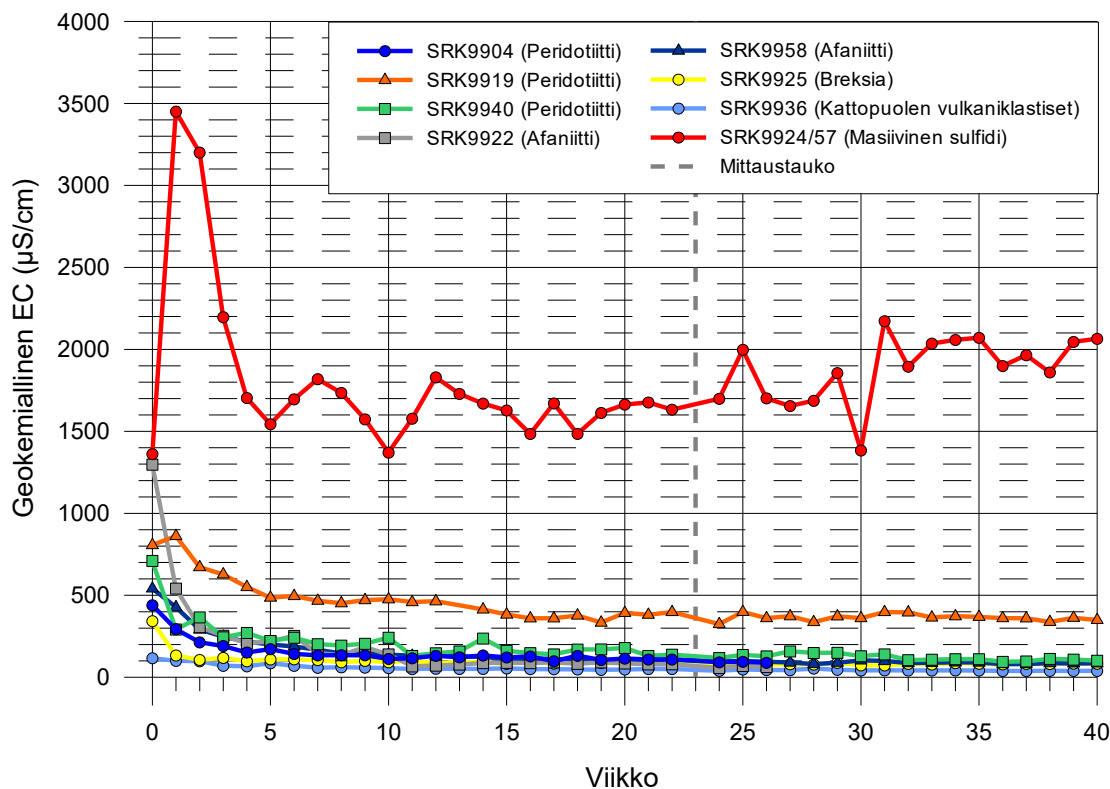
	vk. 21-40	-	-	-	-	-	-	-	-
Peridotiitti (SRK9919)	vk. 0-3	0,001	0,000006	0,657	0,000060	8,168	0,000284	4,988	0,017
	vk. 4-20	0,001	0,000005	0,280	0,000049	8,867	0,000239	0,614	0,009
	vk. 21-40	0,003	0,000006	0,094	0,000297	16,130	0,000294	0,297	0,010
Afaniitti (SRK9922)	vk. 0-3	0,002	0,000006	2,498	0,001330	9,740	0,021312	70,775	0,022
	vk. 4-20	0,004	0,000005	1,446	0,000791	0,602	0,021167	12,146	0,005
	vk. 21-40	-	-	-	-	-	-	-	-
Afaniitti (SRK9958)	vk. 0-3	0,028	0,000006	3,295	0,000118	1,409	0,002028	45,109	0,003
	vk. 4-20	0,012	0,000005	1,361	0,000058	1,773	0,000351	9,229	0,003
	vk. 21-40	0,016	0,000006	1,188	0,000239	3,838	0,000287	2,818	0,005
Breksia (SRK9925)	vk. 0-3	0,002	0,000006	8,847	0,000065	5,989	0,016366	10,418	0,007
	vk. 4-20	0,008	0,000005	3,371	0,000049	4,530	0,010259	0,669	0,006
	vk. 21-40	0,024	0,000005	1,806	0,000254	6,432	0,004892	0,466	0,006
Kattopuolen vulkaniklasti- set (SRK9936)	vk. 0-3	0,054	0,000006	0,489	0,000150	3,136	0,000288	3,701	0,003
	vk. 4-20	0,037	0,000004	0,554	0,000068	1,909	0,000276	1,174	0,001
	vk. 21-40	0,057	0,000006	0,530	0,000237	2,721	0,000285	0,204	0,000
Peridotiitti (SRK9940)	vk. 0-3	0,011	0,000006	1,675	0,000335	1,641	0,000725	53,760	0,010
	vk. 4-20	0,005	0,000005	0,719	0,000097	0,147	0,000440	18,596	0,002
	vk. 21-40	0,005	0,000006	0,217	0,000257	0,125	0,000305	14,422	0,002
Massiivisul- fidi (SRK9924/57)	vk. 0-3	0,006	0,000006	0,418	0,000058	248,072	0,000374	6,707	0,014
	vk. 4-20	0,001	0,000005	0,125	0,000062	142,746	0,000390	0,794	0,006
	vk. 21-40	0,003	0,000006	0,053	0,000227	162,961	0,000442	0,469	0,009
	Parametri	Magne- sium	Beryl- lium	Kalium	Rauta	Boori	Kadmium	Kromi	Koboltti
Näyte (tunnus)	Yksikkö	mg/kg/ vk	mg/kg/ vk	mg/kg/ vk	mg/kg/ vk	mg/kg/ vk	mg/kg/ vk	mg/kg/ vk	mg/kg/ vk
Peridotiitti (SRK9904)	vk. 0-3	4,68	0,000057	16,85	0,010765	0,005018	0,000045	0,000634	0,000094
	vk. 4-20	1,34	0,000047	8,62	0,008911	0,002632	0,000038	0,000469	0,000070
	vk. 21-40	-	-	-	-	-	-	-	-
Peridotiitti (SRK9919)	vk. 0-3	42,02	0,000057	8,80	0,010778	0,003743	0,000045	0,000747	0,000435
	vk. 4-20	18,22	0,000048	4,63	0,009066	0,002400	0,000040	0,000477	0,000490
	vk. 21-40	14,79	0,000058	4,06	0,010976	0,003890	0,000046	0,000578	0,000890
Afaniitti (SRK9922)	vk. 0-3	4,12	0,000057	4,53	0,010773	0,002835	0,000045	0,000567	0,000105
	vk. 4-20	0,29	0,000046	1,21	0,008706	0,002741	0,000037	0,000458	0,000069
	vk. 21-40	-	-	-	-	-	-	-	-
Afaniitti (SRK9958)	vk. 0-3	1,21	0,000057	2,03	0,010854	0,003838	0,000046	0,000571	0,000086
	vk. 4-20	1,36	0,000047	1,12	0,008944	0,004408	0,000038	0,000471	0,000071
	vk. 21-40	2,07	0,000057	1,16	0,010899	0,004445	0,000046	0,000574	0,000168
Breksia (SRK9925)	vk. 0-3	4,06	0,000056	3,02	0,010731	0,011989	0,000045	0,000640	0,000086
	vk. 4-20	2,03	0,000046	1,04	0,010548	0,002554	0,000037	0,000460	0,000069
	vk. 21-40	1,44	0,000054	0,89	0,010180	0,003572	0,000043	0,000536	0,000143
Kattopuolen vulkaniklasti- set (SRK9936)	vk. 0-3	1,27	0,000058	4,95	0,010942	0,002880	0,000046	0,000668	0,000086
	vk. 4-20	0,92	0,000045	1,93	0,008545	0,002249	0,000036	0,000450	0,000067
	vk. 21-40	0,93	0,000056	0,91	0,010546	0,003704	0,000044	0,000555	0,000148
Peridotiitti (SRK9940)	vk. 0-3	0,20	0,000057	2,24	0,010801	0,010376	0,000045	0,000598	0,000085
	vk. 4-20	0,03	0,000046	1,12	0,008748	0,004342	0,000037	0,000460	0,000069
	vk. 21-40	0,03	0,000056	0,99	0,010690	0,006336	0,000045	0,000563	0,000151
Massiivisul- fidi (SRK9924/57)	vk. 0-3	32,84	0,000058	10,56	0,036326	0,005803	0,000126	0,000578	0,132954
	vk. 4-20	18,57	0,000047	5,28	0,011177	0,002369	0,000085	0,000474	0,063175
	vk. 21-40	42,40	0,000057	2,91	0,536706	0,003812	0,000247	0,000574	0,419811
	Parametri	Kupari	Lyijy	Litium	Mangaani	Molyb- deeni	Nikkeli	Fosfori	Seeleni
Näyte (tunnus)	Yksikkö	mg/kg/ vk	mg/kg/ vk	mg/kg/ vk	mg/kg/ vk	mg/kg/ vk	mg/kg/ vk	mg/kg/ vk	mg/kg/ vk
Peridotiitti (SRK9904)	vk. 0-3	0,000480	0,000113	0,003190	0,002036	0,000307	0,001606	0,005771	0,000633
	vk. 4-20	0,000148	0,000101	0,001114	0,001038	0,000234	0,000231	0,005287	0,000343
	vk. 21-40	-	-	-	-	-	-	-	-
Peridotiitti (SRK9919)	vk. 0-3	0,000336	0,000113	0,004011	0,006872	0,000310	0,011379	0,005673	0,000904
	vk. 4-20	0,002277	0,000095	0,002176	0,012862	0,000241	0,010171	0,006088	0,000806
	vk. 21-40	0,005850	0,000116	0,001988	0,023500	0,000774	0,017627	0,005777	0,001211
Afaniitti (SRK9922)	vk. 0-3	0,000292	0,000113	0,000999	0,039601	0,000438	0,000403	0,005670	0,000363
	vk. 4-20	0,000137	0,000092	0,000458	0,000677	0,000798	0,000183	0,004582	0,000266
	vk. 21-40	-	-	-	-	-	-	-	-
Afaniitti (SRK9958)	vk. 0-3	0,000724	0,000114	0,002690	0,004098	0,000442	0,000321	0,007582	0,003308
	vk. 4-20	0,000397	0,000094	0,001260	0,006728	0,000360	0,000778	0,005353	0,001142
	vk. 21-40	0,000960	0,000121	0,001252	0,009573	0,000974	0,000544	0,005736	0,000904
Breksia (SRK9925)	vk. 0-3	0,000203	0,000113	0,013365	0,001018	0,000369	0,000316	0,005648	0,001807
	vk. 4-20	0,000155	0,000092	0,001673	0,000894	0,000254	0,000184	0,004600	0,001057
	vk. 21-40	0,000161	0,000107	0,000584	0,000929	0,000975	0,000227	0,005358	0,000742
	vk. 0-3	0,000663	0,000115	0,000940	0,002352	0,000308	0,000230	0,005759	0,000456
	vk. 4-20	0,000137	0,000090	0,000508	0,001138	0,000228	0,000180	0,005564	0,000244



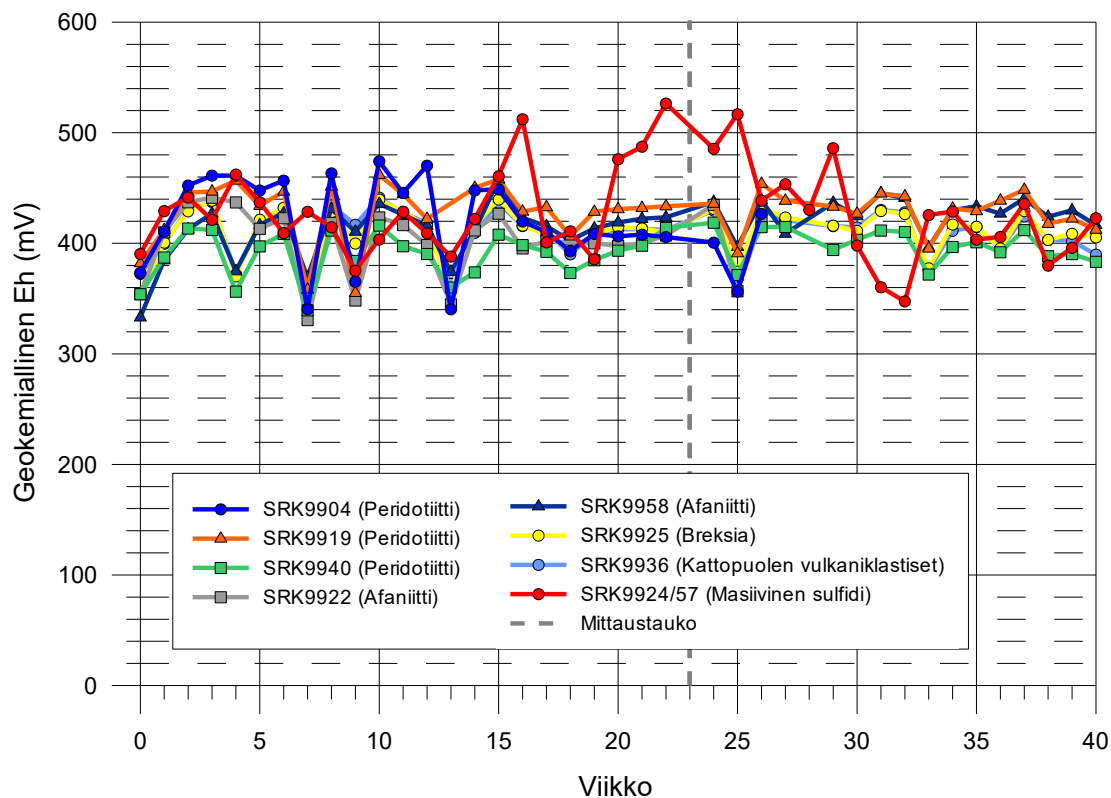
Kattopuolen vulkaniklasti- set (SRK9936)	vk. 21-40	0,000167	0,000111	0,000555	0,001253	0,000742	0,000403	0,005551	0,000392
Peridotiitti (SRK9940)	vk. 0-3	0,000410	0,000114	0,003122	0,000568	0,000360	0,000503	0,006448	0,013076
	vk. 4-20	0,000585	0,000092	0,001360	0,000542	0,000270	0,000476	0,005413	0,006402
	vk. 21-40	0,001173	0,000113	0,001024	0,000940	0,000922	0,000595	0,005626	0,003289
Massiivisul- fidi (SRK9924/57)	vk. 0-3	0,008094	0,000116	0,005616	1,122749	0,000502	6,548590	0,013216	0,015416
	vk. 4-20	0,021924	0,000095	0,000980	0,253329	0,000353	2,902665	0,004739	0,021316
	vk. 21-40	0,064456	0,000115	0,000799	0,685405	0,000929	29,096583	0,005743	0,031849
Näyte (tunnus)	Parametri	Strontium	Tallium	Uraani	Vanadiini	Sinkki	Vismutti	Hopea	
	Yksikkö	mg/kg/ vk	mg/kg/ vk	mg/kg/ vk	mg/kg/ vk	mg/kg/ vk	mg/kg/ vk	mg/kg/ vk	
Peridotiitti (SRK9904)	vk. 0-3	0,033064	0,001133	0,000283	0,007225	0,002429	0,000057	0,000283	
	vk. 4-20	0,010549	0,000938	0,000234	0,004539	0,000856	0,000047	0,000234	
	vk. 21-40	-	-	-	-	-	-	-	
Peridotiitti (SRK9919)	vk. 0-3	0,027132	0,001135	0,000284	0,000567	0,002561	0,000057	0,000284	
	vk. 4-20	0,023179	0,000954	0,000239	0,000477	0,000785	0,000048	0,000273	
	vk. 21-40	0,020426	0,001155	0,000289	0,000578	0,000611	0,000061	0,000289	
Afaniitti (SRK9922)	vk. 0-3	0,144954	0,001134	0,000283	0,001946	0,001447	0,000057	0,000283	
	vk. 4-20	0,014709	0,000916	0,000229	0,001227	0,000609	0,000055	0,000181	
	vk. 21-40	-	-	-	-	-	-	-	
Afaniitti (SRK9958)	vk. 0-3	0,015610	0,001143	0,000286	0,004238	0,001194	0,000057	0,000321	
	vk. 4-20	0,018696	0,000941	0,000235	0,000671	0,000517	0,000054	0,000235	
	vk. 21-40	0,031593	0,001147	0,000287	0,000574	0,000628	0,000059	0,000287	
Breksia (SRK9925)	vk. 0-3	0,089459	0,001130	0,000282	0,052669	0,002000	0,000056	0,000282	
	vk. 4-20	0,051494	0,000920	0,000230	0,019931	0,000846	0,000046	0,000230	
	vk. 21-40	0,036964	0,001072	0,000268	0,010797	0,000536	0,000054	0,000268	
Kattopuolen vulkaniklasti- set (SRK9936)	vk. 0-3	0,016290	0,001152	0,000333	0,000588	0,001080	0,000058	0,000288	
	vk. 4-20	0,009201	0,000899	0,000768	0,000802	0,000916	0,000045	0,000225	
	vk. 21-40	0,007975	0,001110	0,001153	0,000836	0,000555	0,000056	0,000278	
Peridotiitti (SRK9940)	vk. 0-3	0,020044	0,001137	0,000284	0,003537	0,002764	0,000057	0,000383	
	vk. 4-20	0,001830	0,000921	0,000230	0,000920	0,001034	0,000046	0,000653	
	vk. 21-40	0,001187	0,001125	0,000281	0,000604	0,000563	0,000056	0,001404	
Massiivisul- fidi (SRK9924/57)	vk. 0-3	0,143819	0,001157	0,000289	0,000578	0,003217	0,000058	0,000289	
	vk. 4-20	0,055076	0,000948	0,000237	0,000474	0,001914	0,000047	0,000237	
	vk. 21-40	0,069655	0,001149	0,000287	0,000574	0,003079	0,000057	0,004882	



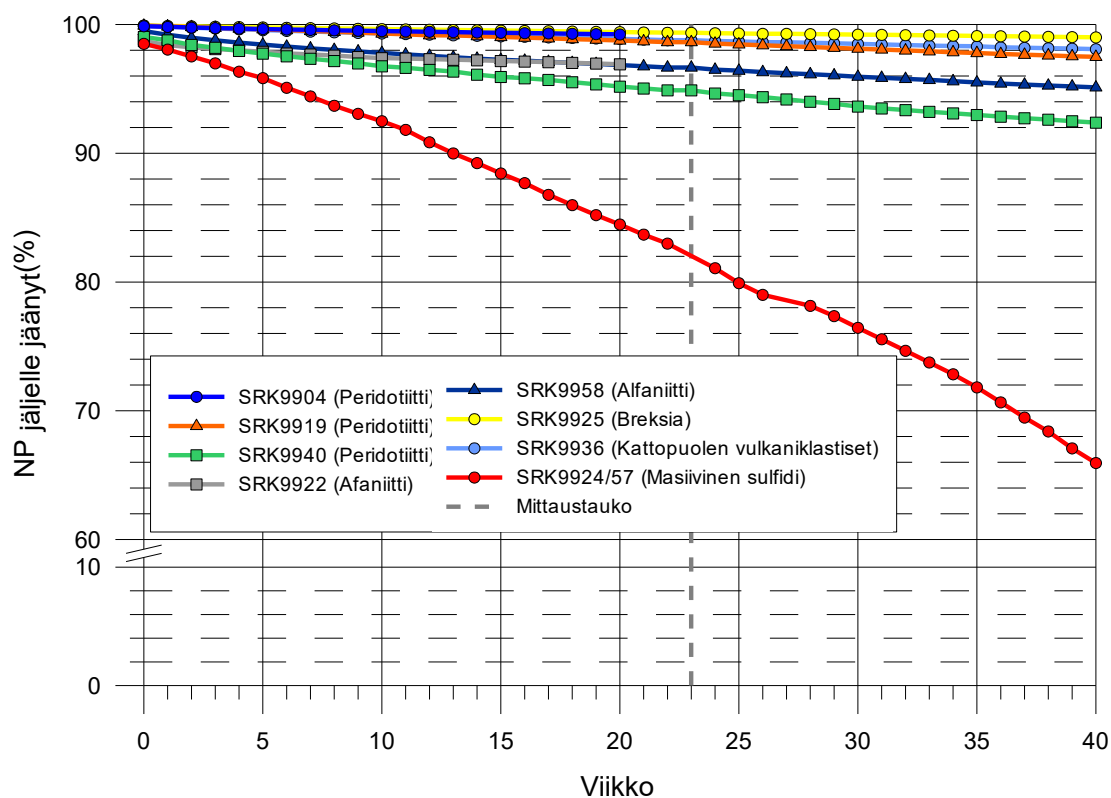
Kuva 6-11. Viikkoliuosten pH:n kehittyminen kosteuskammiokokeen edetessä (SRK Consulting Ltd. 2018b).



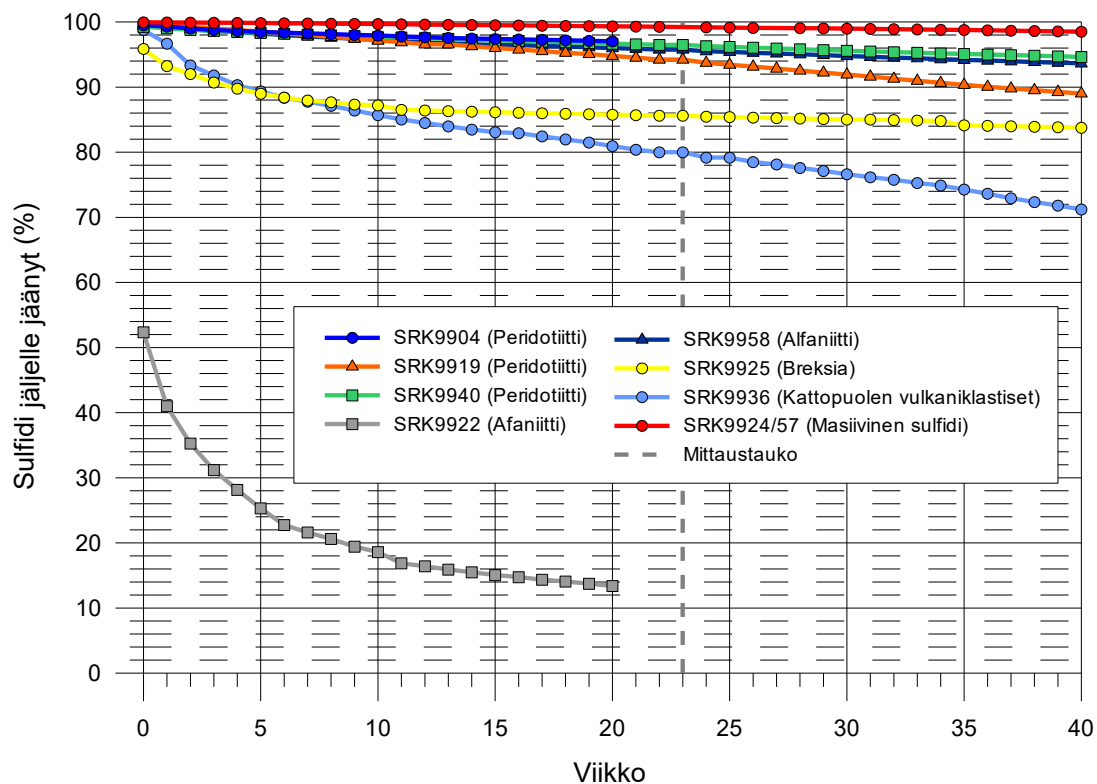
Kuva 6-12. Sähkönjohtavuuden kehittyminen näytteissä kosteuskammiokokeen edetessä (SRK Consulting Ltd. 2018b).



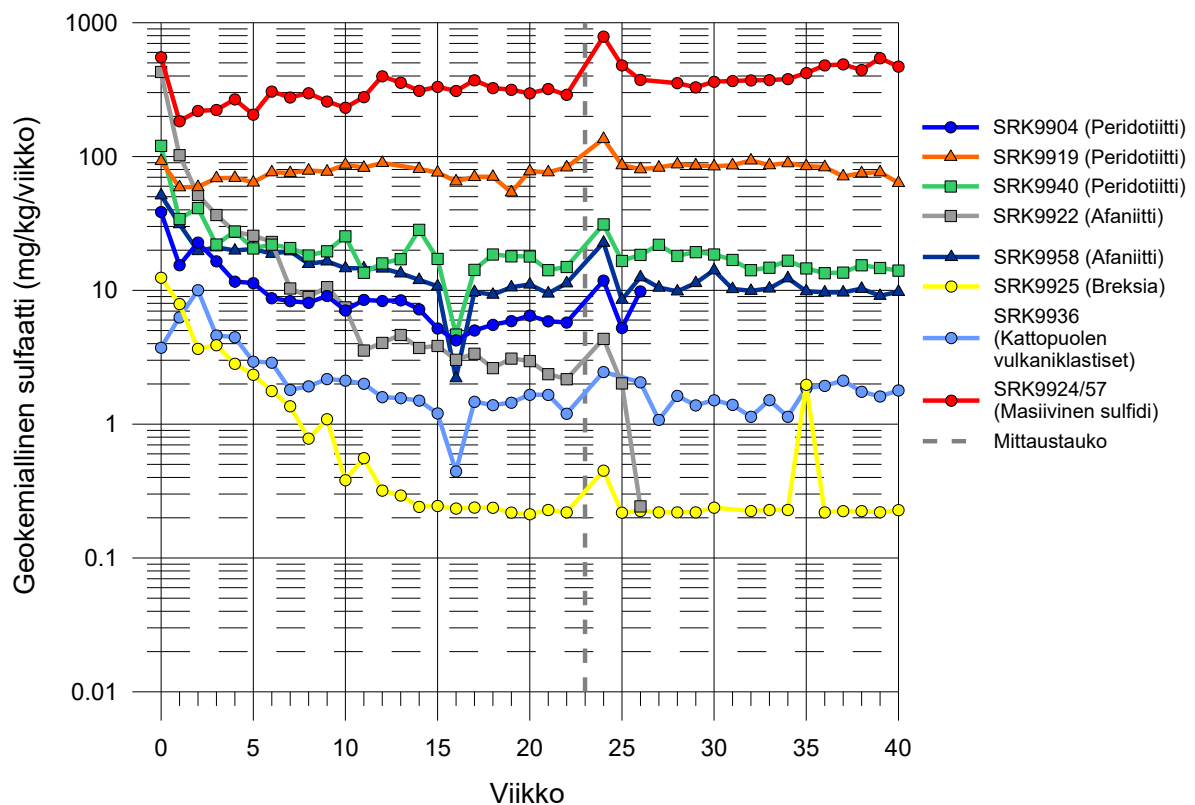
Kuva 6-13. Hapetus-pelkistyspotentiaalin (Eh) kehittyminen kosteuskammiokokeissa (SRK Consulting Ltd. 2018b).



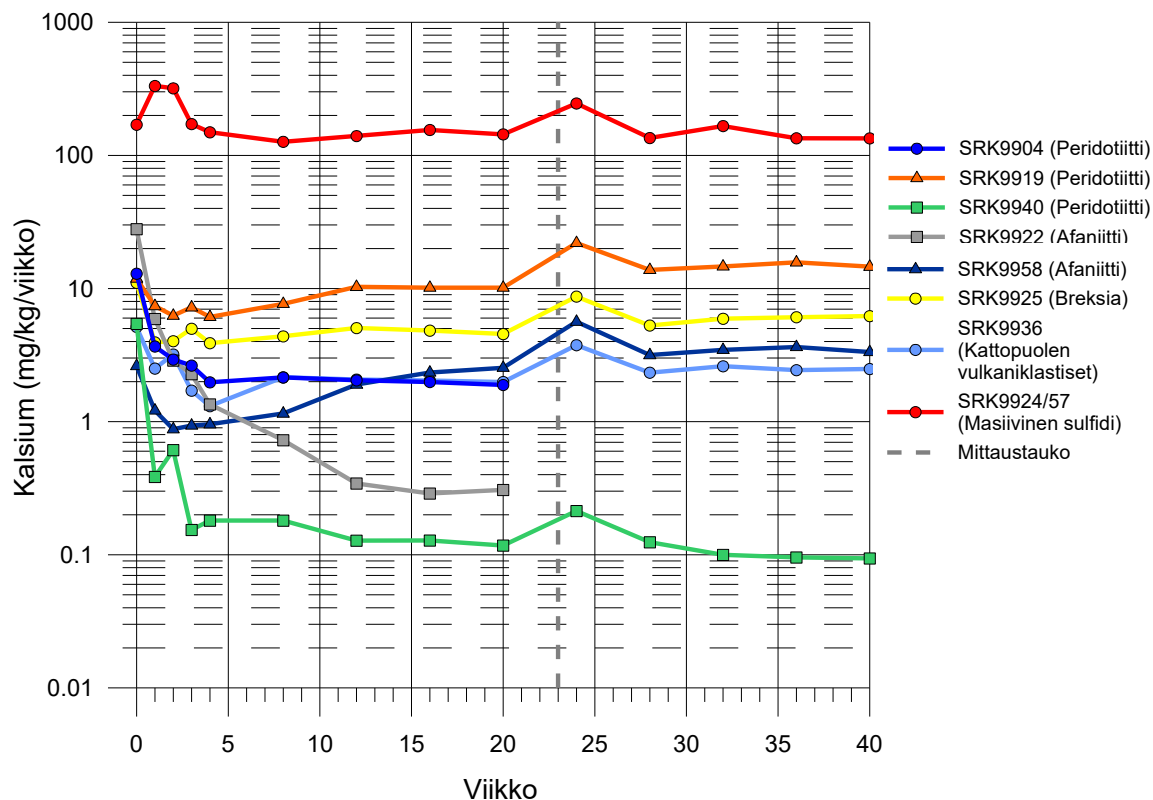
Kuva 6-14. Jäljellä oleva neutralointikapasiteetti kosteuskammiokokeen aikana (SRK Consulting Ltd. 2018b).



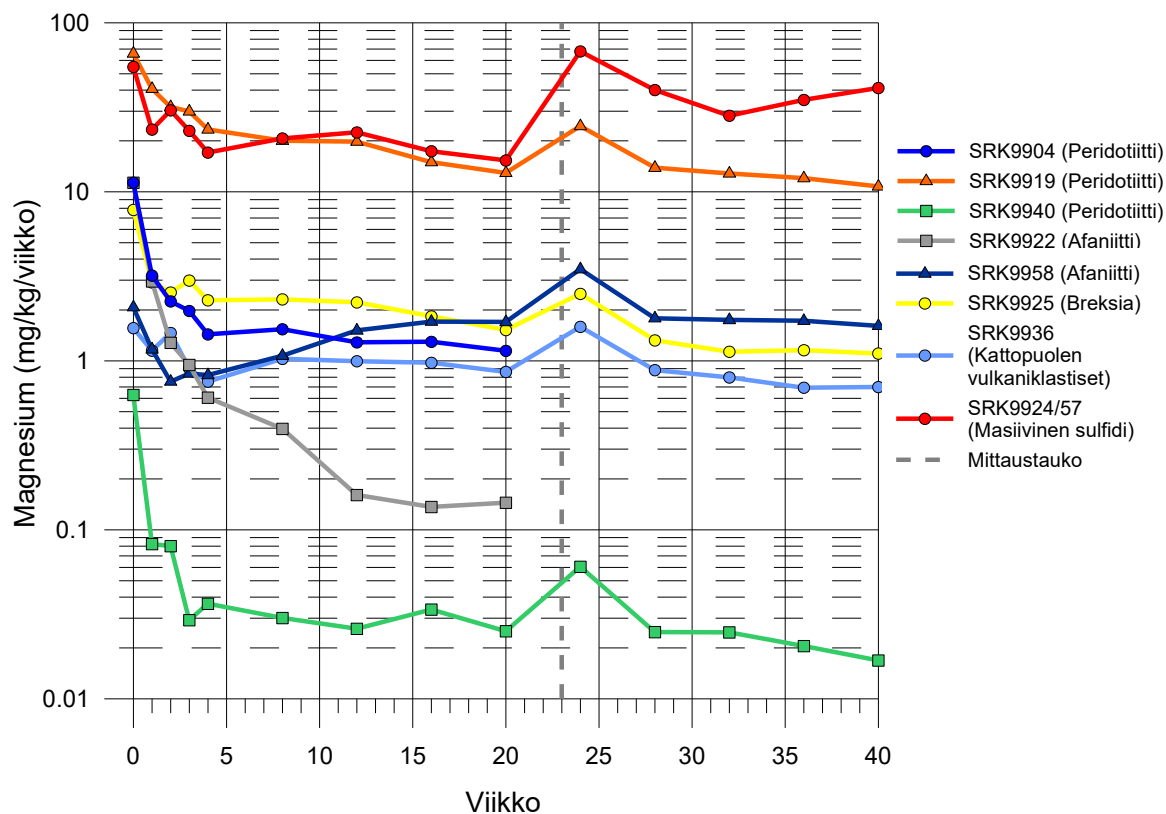
Kuva 6-15. Jäljellä olevan sulfidin määrä kosteuskammiokokeen aikana (SRK Consulting Ltd. 2018b).



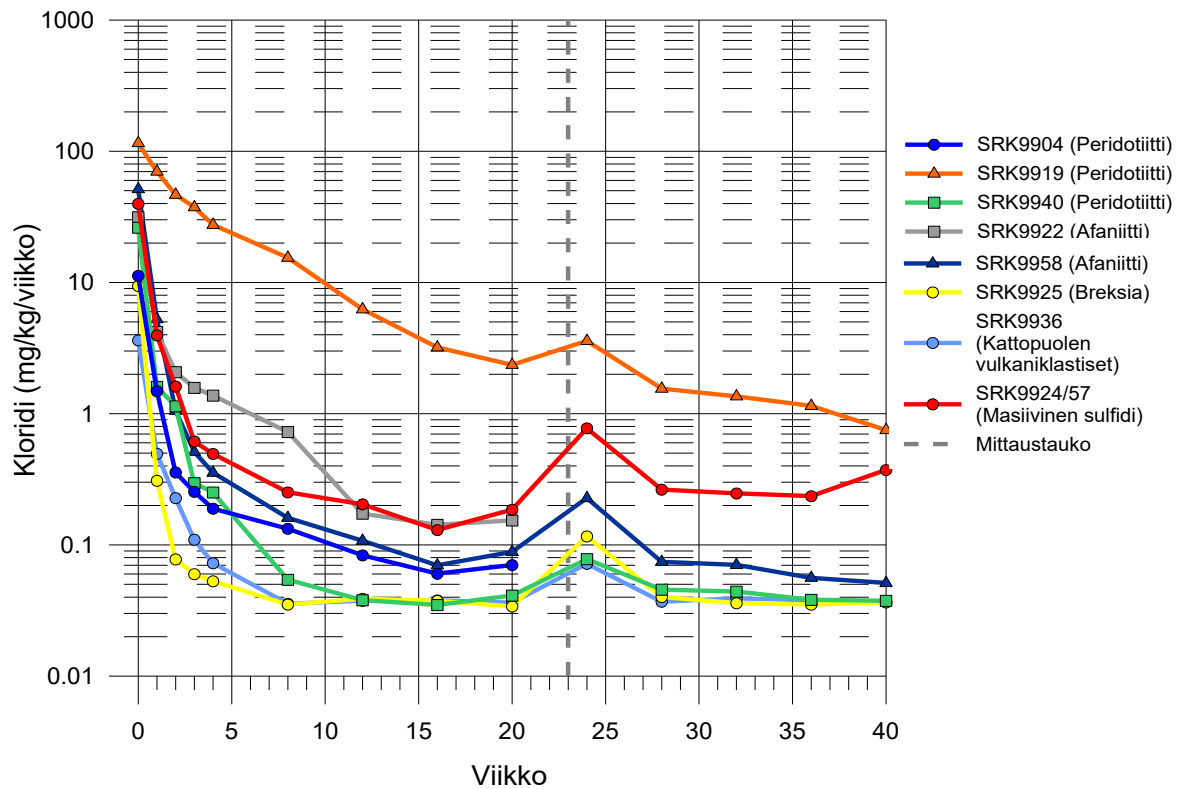
Kuva 6-16. Sulfaatin muodostuminen kosteuskammiokokeen aikana (SRK Consulting Ltd. 2018b).



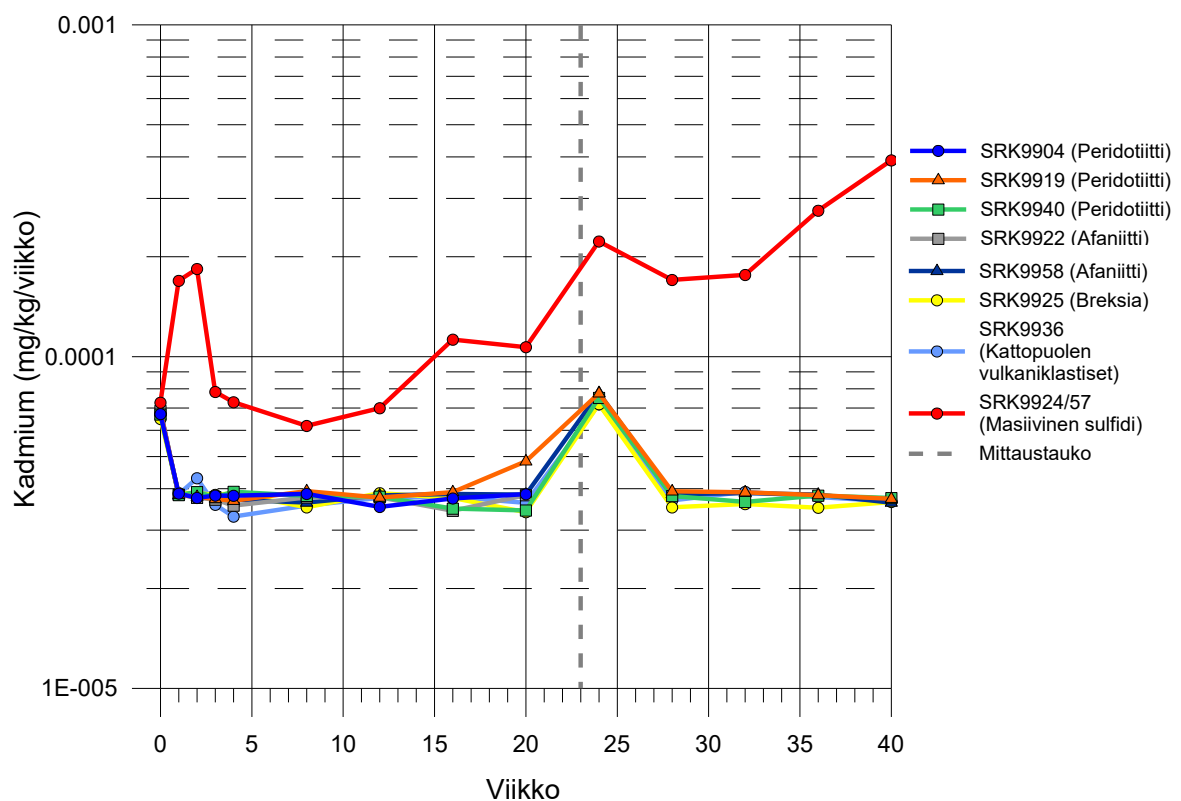
Kuva 6-17. Kalsiumin vapautuminen kosteuskammiokokeessa (SRK Consulting Ltd. 2018b).



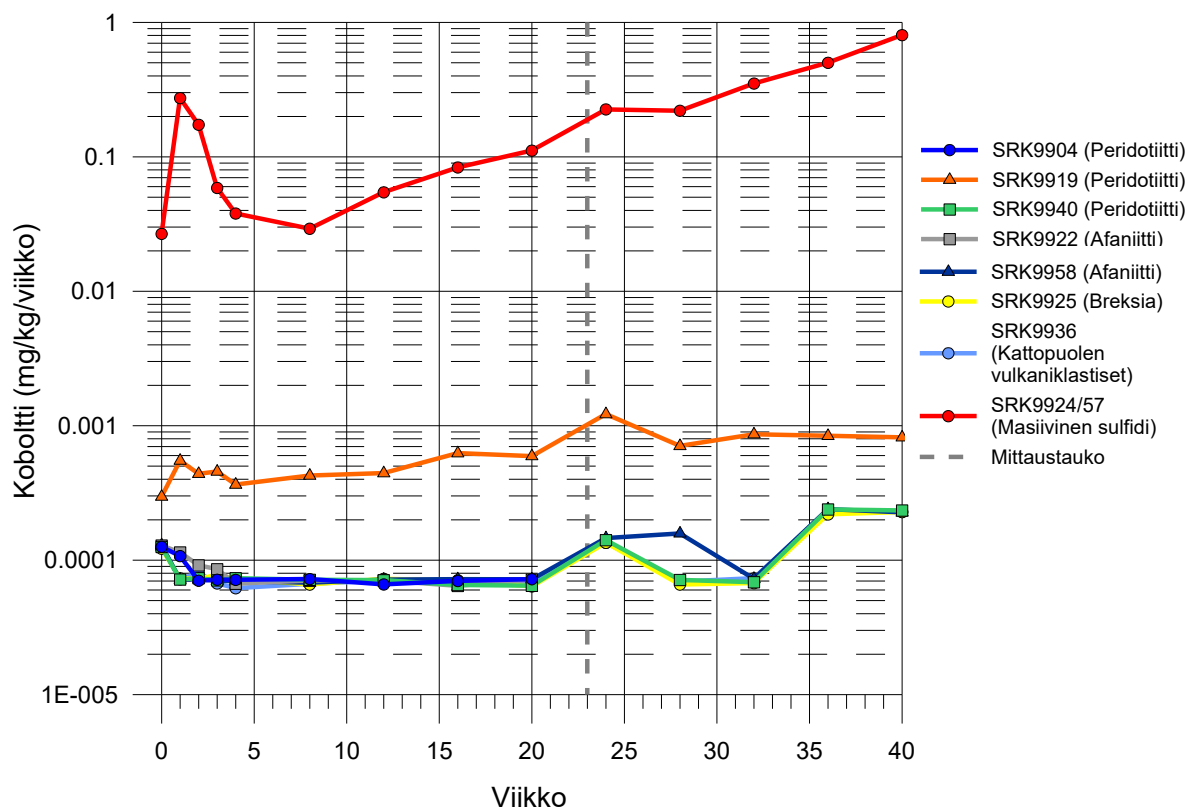
Kuva 6-18. Magnesiumin vapautuminen kosteuskammiokokeessa (SRK Consulting Ltd. 2018b).



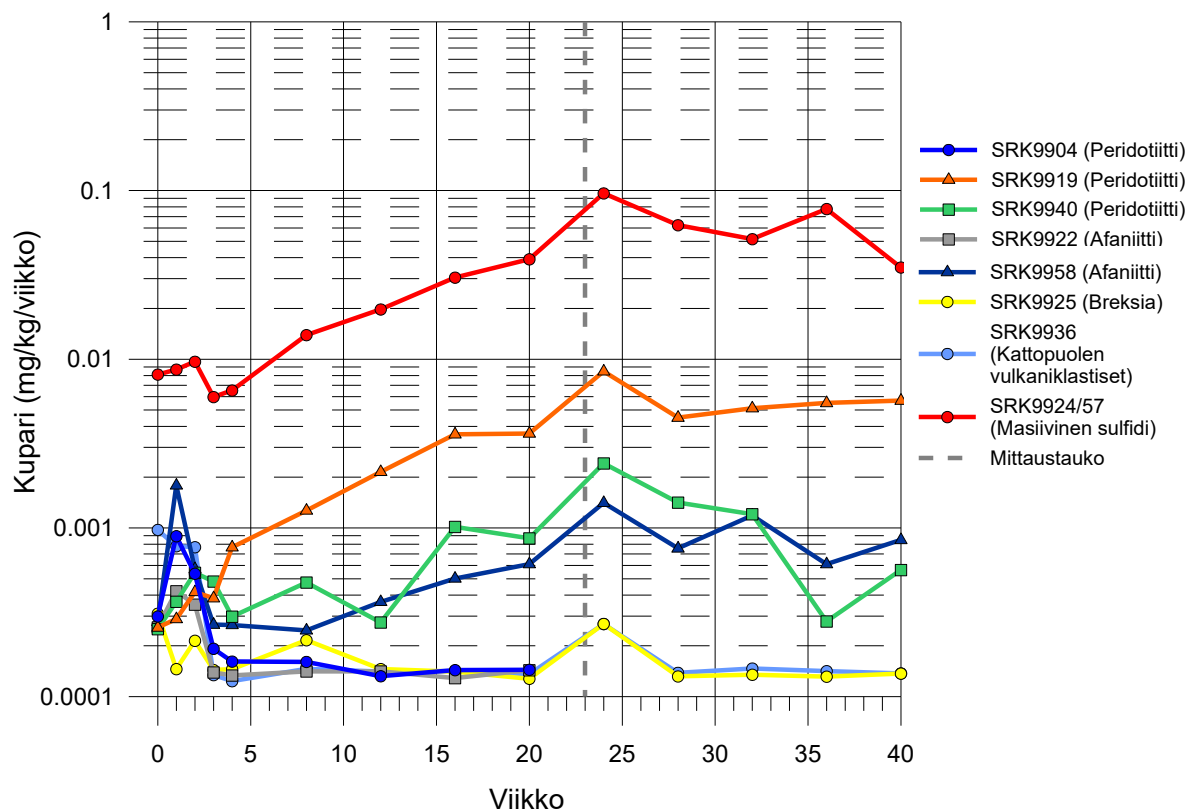
Kuva 6-19. Kloridin vapautuminen kosteuskammiokokeessa (SRK Consulting Ltd. 2018b).



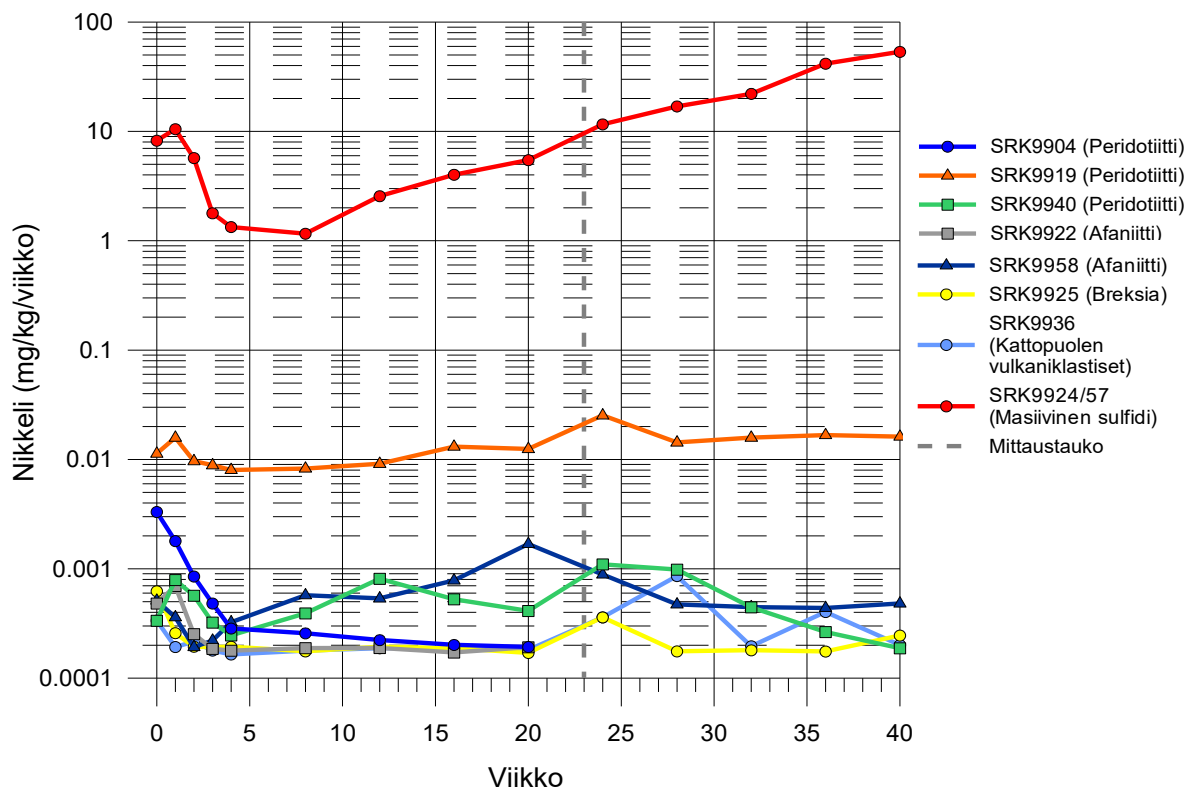
Kuva 6-20. Kadmiumin vapautuminen kosteuskammiokokeessa (SRK Consulting Ltd. 2018b).



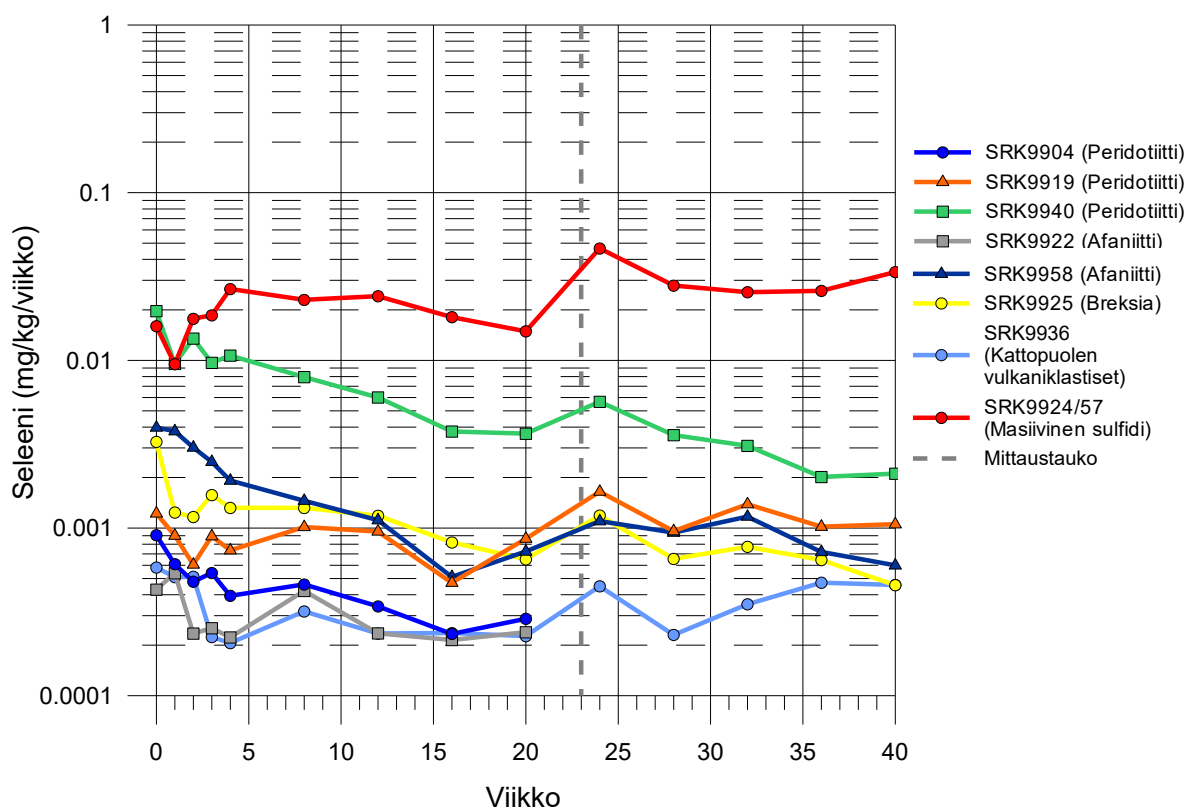
Kuva 6-21. Kobolttin vapautuminen kosteuskammiokokeessa (SRK Consulting Ltd. 2018b).



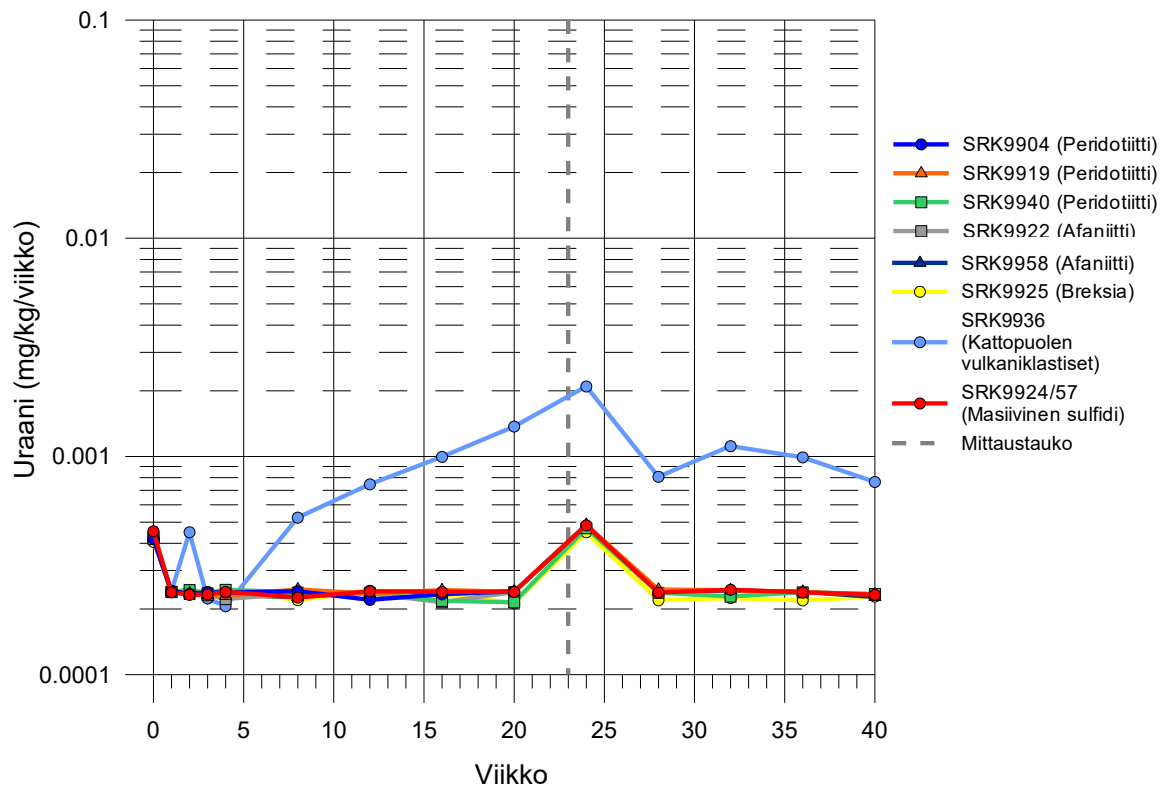
Kuva 6-22. Kuparin vapautuminen kosteuskammiokokeessa (SRK Consulting Ltd. 2018b).



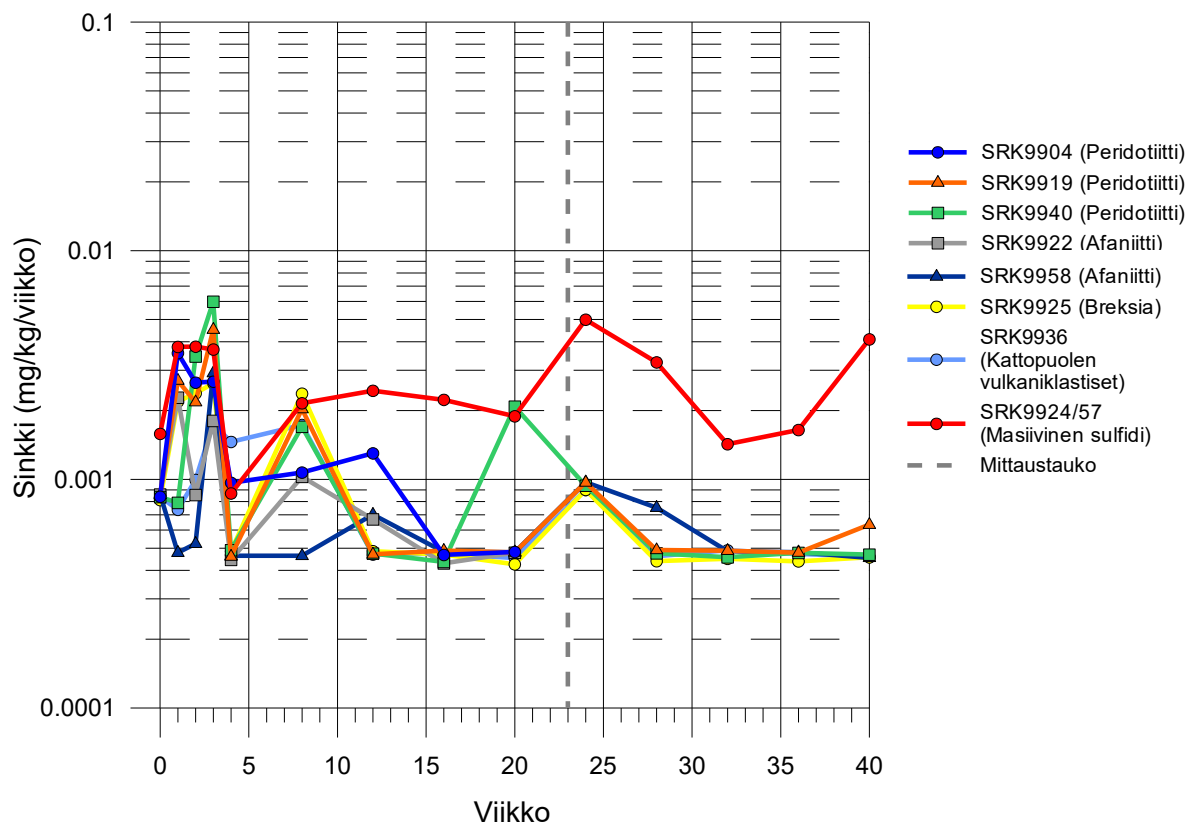
Kuva 6-23. Nikkelin vapautuminen kosteuskammiokokeessa (SRK Consulting Ltd. 2018b).



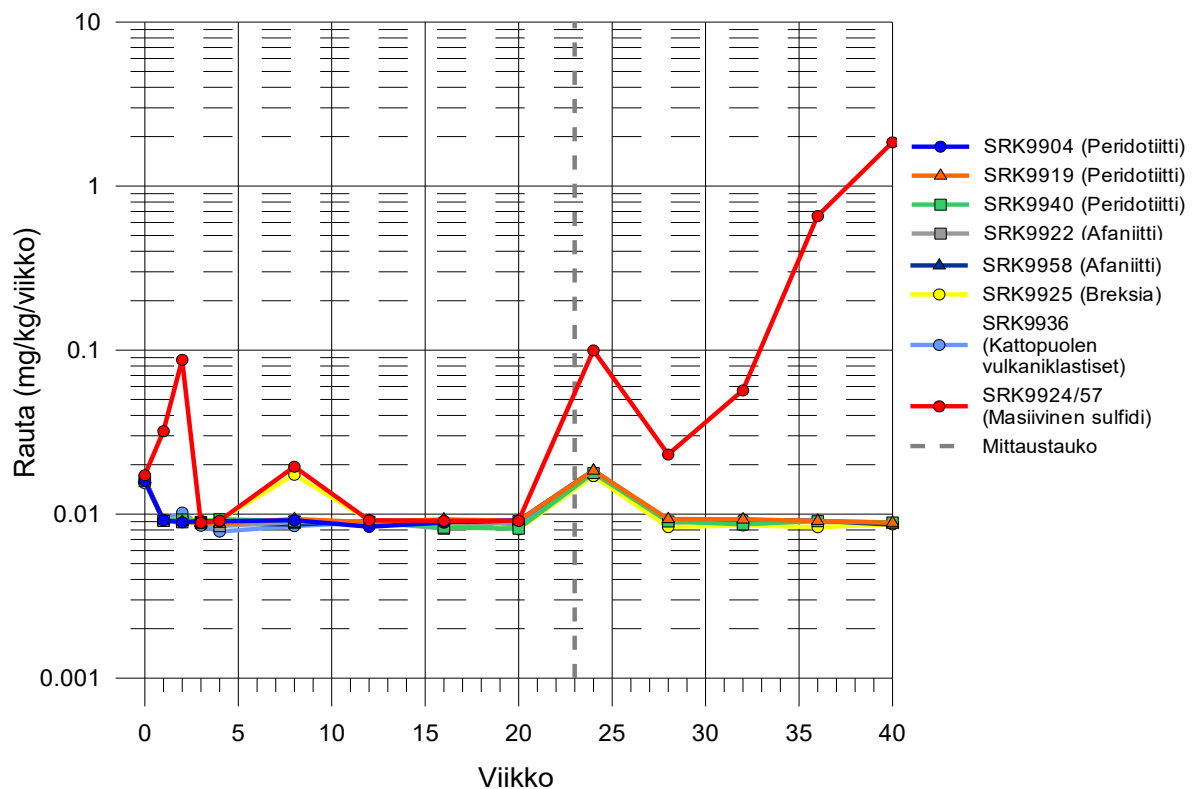
Kuva 6-24. Seleenin vapautuminen kosteuskammiokokeessa (SRK Consulting Ltd. 2018b).



Kuva 6-25. Uraanin vapautuminen kosteuskammiokokeessa (SRK Consulting Ltd. 2018b).



Kuva 6-26. Sinkin vapautuminen kosteuskammiokokeessa (SRK Consulting Ltd. 2018b).



Kuva 6-27. Raudan vapautuminen kosteuskammiokokeessa (SRK Consulting Ltd. 2018b).

6.3 Sivukivien geokemialliset karakterisointitiedot, staattiset testit 2021-2022

Sivukivien geokemiallisia ominaisuuksia on tutkittu lisää vuosina 2021–2022 eri vinotunnelivaihtoehtojen suhteen. Sivukivinäytteet sisälsivät kivinäytteitä hankevaihtoehtojen VE1a, VE2a ja VE3a mukaisilta vinotunnelilinjauksilta. Sivukivinäytteenotto on suunniteltu edustamaan myös maanalaisen kaivoksen seinämäkiviksi jääviä kivilajeja.

6.3.1 Yhteenveto geokemiallisen karakterisoinnin näytteistä 2021-2022

Sivukivinäytteitä valittiin staattisiin testeihin yhteensä 100 näytettä eri vinotunnelivaihtoehtoista, joista 40 edustaa vaihtoehtoa VE1a, 10 vaihtoehtoa VE2a ja 20 vaihtoehtoa VE3a. Näytteitä, jotka sisälsivät sivukiviä useista vinotunnelivaihtoehtoista oli 30. Lisäksi kolme oli rinnakkaisnäytteitä. Yhteenveto staattisiin testeihin valituista näytteistä esitetään alla olevassa taulukossa 6-12.

Taulukko 6-12. Yhteenvetotaulukko staattisiin testeihin valituista sivukivinäytteistä eri vinotunnelivaihtoehtojen suhteen (koottu Eurofins Ahma Oy aineistosta vuodelta 2022).

Kivilaji	Näytteiden lukumäärä	Näytteiden sijainti eri vinotunnelivaihtoehtojen suhteen (VE1a, VE2a ja VE3a)
Duniitti	5	VE1a
Gabro	5	VE3a, yksi näyte VE2a
Mafinen sarja	5	VE2a
Jalkapuolen mafiset	6	VE3a, yksi näyte VE1a
Kattopuolen vulkanoklastiset	5	VE3a
Mafinen sarja	5	VE3a
Mafinen sarja	6	VE1a
Kvartsiitti	6	VE1a
Metasedimentti	5	VE1a
Brekcia	5	VE3a
Brekcia	5	VE1a
Peridotiitti	5	VE2a
Peridotiitti	5	1A, 2A ja VE3a
Peridotiitti	5	VE3a
Peridotiitti	4	VE1a
Peridotiitti	4	VE3a, yksi näyte VE1a
Afaniitti	5	VE1a, VE2a ja VE3a
Afaniitti	5	VE1a, VE2a ja VE3a
Mafinen sarja	4	VE1a
Mafinen sarja	5	VE1a
Rinnakkaisnäytteet	3	
Yhteensä	103	

6.3.2 Sivukivien geokemialliset ominaisuudet

Tässä kappaleessa esitetään tulokset eri vinotunnelivaihtoehtojen sivukiven kuningasvesiutusta, ABA-testistä, NAG-testistä sekä ravistelutestistä.

Kuningasvesiutto

Sivukiven alkuainepitoisuudet tutkittiin kuningasvesiuttoluoksesta (menetelmäkuvaus, luku 4.5). Tulokset on esitetty taulukossa 6-13. Osana kaivannaisjättesetuksen (VNA 190/2013) mukaista luokittelua pysyväksi jätteeksi (luku 4.1) pitoisuuksia verrataan PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) kynnsarvoihin tai alueellisiin taustapitoisuuksiin. PIMA-asetuksen ylempiä ja alempia ohjearvoja käytetään taulukoissa 6-5 ja 6-13 vain viitteellisinä suuruusluokan kuvaajina. Niillä ei ole merkitystä kaivannaisjätteen luokittelussa.

Taulukko 6-13. Sivukivilajien metalli- ja metalloidipitoisuudet kuningasvesiuuttuna sekä vertailu PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) kynnys- ja ohjearvoihin (koottu Eurofins Labtium Oy aineistosta vuodelta 2021). PIMA-asetuksen arvoista vain kynnysarvoja sovelletaan kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013) mukaisessa kaivannaisjätteen luokittelussa pysyväksi jätteeksi.

Sivukivilajien kuningasvesiliukoiset metalli- ja metalloidipitoisuuksien keskiarvot													
Parametri		Ar- seeni (As)	Kad- mium (Cd)	Ko- boltti (Co)	Kromi (Cr)	Ku- pari (Cu)	Elo- ho- pea (Hg)	Nik- keli (Ni)	Lyijy (Pb)	Anti- moni (Sb)	Vana- diini (V)	Sink- ki (Zn)	Sijainti (VE1a, VE2a, VE3a) ⁽²⁾
Kivilaji	N	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	
Duniitti	5	0,40	0,06	96	456	185	<2	2380	3,3	0,028	8,4	24,6	VE1a
Gabro	5	0,31	<0,01	16	162	136	<2	46,8	0,4	0,016	111	20,6	VE2a, VE3a
Mafinen sarja	5	0,09	0,008	21	98,2	10,2	<2	160	1,1	0,014	67,4	19,2	VE2a
Jalkapuolen mafiset	6	0,15	<0,01	31	912	23,8	<2	355	0,3	<0,02	81,5	11,2	VE1a, VE3a
Kattopuolen vulkanoklastiset	5	0,57	<0,01	16	54,8	47,2	<2	53,0	1,7	0,018	26,2	26,2	VE3a
Mafinen sarja	5	0,29	<0,01	15	94,2	15,4	<2	56,6	0,9	0,024	63,6	6,0	VE3a
Mafinen sarja	6	0,27	0,065	16	100	22,7	<2	32,8	0,7	<0,02	164,0	32,0	VE1a
Kvartsiitti	6 ⁽¹⁾	0,31	<0,01	3	35,3	4,3	<2	10,5	0,7	0,028	20,8	2,6	VE1a
Metasedimentti	5 ⁽¹⁾	1,37	0,039	12	87,8	2,3	<2	28,8	1,3	0,020	99,8	15,3	VE1a
Breksia	5	0,95	<0,01	11	61,8	3,6	<2	95,2	0,6	0,032	20,6	5,6	VE3a
Breksia	5	0,44	0,022	9	55,6	2,4	<2	24,4	1,1	0,026	39,2	7,0	VE1a
Peridotiitti	5	0,52	<0,01	84	792	35,0	<2	2260	1,8	<0,02	19,0	15,6	VE2a
Peridotiitti	5	0,69	0,050	72	732	35,0	<2	1396	2,2	0,026	36,6	28,6	VE1a, VE2a, VE3a
Peridotiitti	5	0,44	0,064	82	906	70,2	<2	1920	3,3	0,020	37,8	33,0	VE3a
Peridotiitti	4	0,61	0,059	83	950	45,5	<2	1850	2,7	<0,02	30,5	24,8	VE1a
Peridotiitti	4	0,54	0,054	88	1085	33,8	<2	2075	2,3	0,015	32,0	24,8	VE1a, VE3a
Afaniitti	5	0,54	0,044	32	392	21,8	<2	374	2,0	0,018	71,2	13,0	VE1a, VE2a, VE3a
Afaniitti	5	0,44	0,034	40	518	32,8	<2	458	1,1	0,016	77,6	13,4	VE1a, VE2a, VE3a
Mafinen sarja	4	0,96	0,010	19	195	58,5	<2	131	0,9	<0,02	33,0	9,8	VE1a
Mafinen sarja	5	0,16	0,025	20	52,4	114	<2	35,6	0,5	0,028	156	29,8	VE1a
Kynnys-arvo		5	1	20	100	100	0.5	50	60	2	100	200	
Alempi oh- jearvo		50	10	100	200	150	2	100	200	10	150	250	
Ylempi oh- jearvo		100	20	250	300	200	5	150	750	50	250	400	

(1) Laboratoriotuloksissa kaksi samaa näytetunnusta. Nämä näytteet jätetty laskennan ulkopuolelle.

(2) Näytteiden sijainti eri vinotunnelivaihtoehtojen suhteen (VE1a, VE2a ja VE3a)

< pitoisuus alle määrittäysrajan. Keskiarvolaskennoissa alle määrittäysrajan olevia tuloksia on otettu huomioon arvolla määrittäysraja/2.

Duniitin, peridodiittien, afaniittien ja jalkapuolen mafisen sarjan kivien nikkelpitoisuudet ylittivät valtioneuvoston asetuksen 214/2007 kynnysarvon 50 mg/kg ja myös ylemmän ohjearvon 150 mg/kg. Kivilajien pitoisuudet olivat vinotunnelilinjasta riippuvaisia. Lisäksi edellä mainittujen kivilajien koboltin, kromin ja kuparin pitoisuudet ylittivät yleisesti kynnysarvot (Taulukko 6-13). Kattopuolen vulkanoklastisissa kivissä (VE3a) ainoastaan nikkelpitoisuus ylitti kynnysarvon, muiden tarkasteltavien metallien ja metalloidien pitoisuudet olivat alle kynnysarvon. Vastaava havaittiin saman vinotunnelilinjän VE3a mafiselle sarjalle ja breksialle. Vanadiinipitoisuuksista kynnysarvo 100 mg/kg ylittyi ainoastaan vinotunnelilinjän VE2a, VE3a gabrossa ja vinotunnelilinjän VE1a mafisen sarjan kivissä.

ABA-testin tulokset

Kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013) mukaisessa luokittelussa pysyväksi jätteeksi (luku 4.1) tarkastellaan alkuainepitoisuuksien lisäksi myös sekä sulfidisen rikin määrää että neutralointipotentiaalisuhdetta eli neutralointikyvyn ja hapontuottokyvyn suhdetta. Pysyvässä jätteessä sulfidisen rikin pitoisuuden tulee olla $<0,1$ % tai vaihtoehtoisesti sulfidisen rikkipitoisuuden on oltava $0,1-1$ % ja neutralointipotentiaalisuhteen yli 3. Lisäksi ABA-testiin perustetaan kaivannaisjätteen epävirallisempi luokitus happoa tuottaviin (PAF) ja ei-happoa tuottaviin (NAF).

Sulfidisen rikin määrä oli näytteissä hyvin alhainen, vaihdellen välillä $<0,01-0,07$ m-%. Rikin kokonaispitoisuuden ja sulfidisen rikin pitoisuuden välistä selvää korrelaatiota on näistä 2021–2022-tuloksista vaikea havaita, koska sekä rikin että sulfidisen rikin pitoisuudet olivat suurelta osin alle määritysrajan (Kuva 6-28 ja Taulukko 6-14). Rikin kokonaispitoisuudet ovat sulfidisen rikin pitoisuuksia suurempia, mikä tarkoittaa muiden rikkipitoisten mineraalien, kuten kipsin tai muiden sulfaattimineraalien, läsnäoloa.

Kivilajien mukaan jaoteltuna kaikki breksia-, duniitti-, jalkapuolen (esiintymän alapuolen) mafiset ja mafisen sarjan näytteet sekä serpentiniittinäyte luokiteltiin ei-happoa tuottaviksi (NAF; $\text{NPR}>3$) ABA-testin perusteella, samoin afaniitti-, gabro- ja kattopuolen (esiintymän yläpuolen) vulkanoklastiset näytteet (Kuva 6-29 ja Kuva 6-30). Keskimäärin em. kivilajit luokiteltiin hapontuotto-ominaisuuksien osalta pysyviksi ($\text{NPR}>3$), mutta tämä luokitteluperuste ei yksinään riitä luokitteluun pysyväksi kaivannaisjätteeksi (VNA 190/2013). Luokittelu VNA 190/2013 mukaan kokonaisuutena edellyttää myös metallien kokonaispitoisuuksien alittavan PIMA-asetuksen (214/2007) mukaiset kynnysarvot.

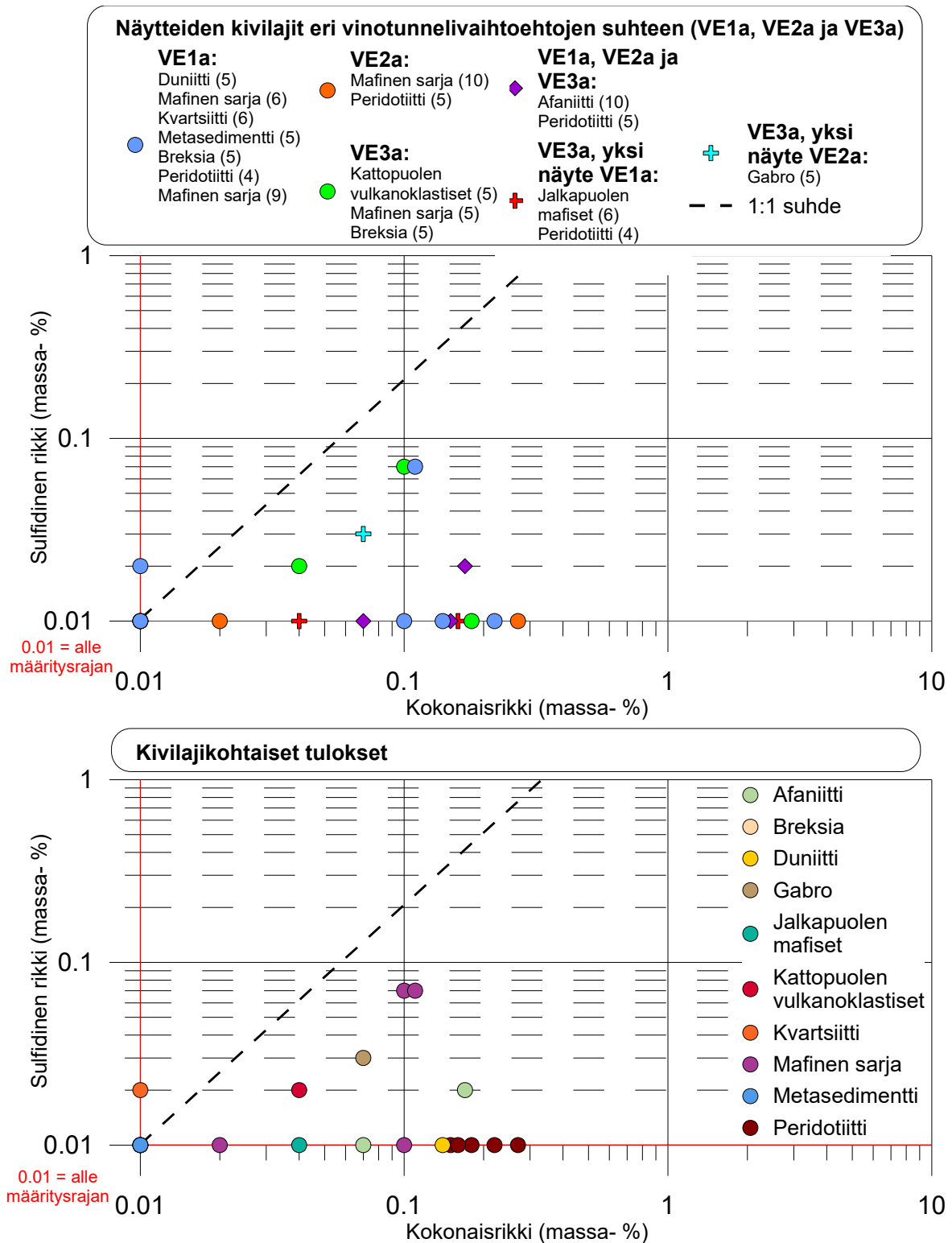
Keskimääräiset ABA-testin tulokset kivilajeittain ja eri vinotunnelivaihtoehtojen suhteen on esitetty seuraavassa (Taulukko 6-14, Kuva 6-28, Kuva 6-29 ja Kuva 6-30). Kuvassa 6-30 esitetyn hapontuottopotentiaalin (AP) ja

neutralointikapasiteetin (NP) suhteen mukaan voidaan tämän staattisen testin perusteella todeta, ettei happaman valuman riskiä todennäköisesti ole.

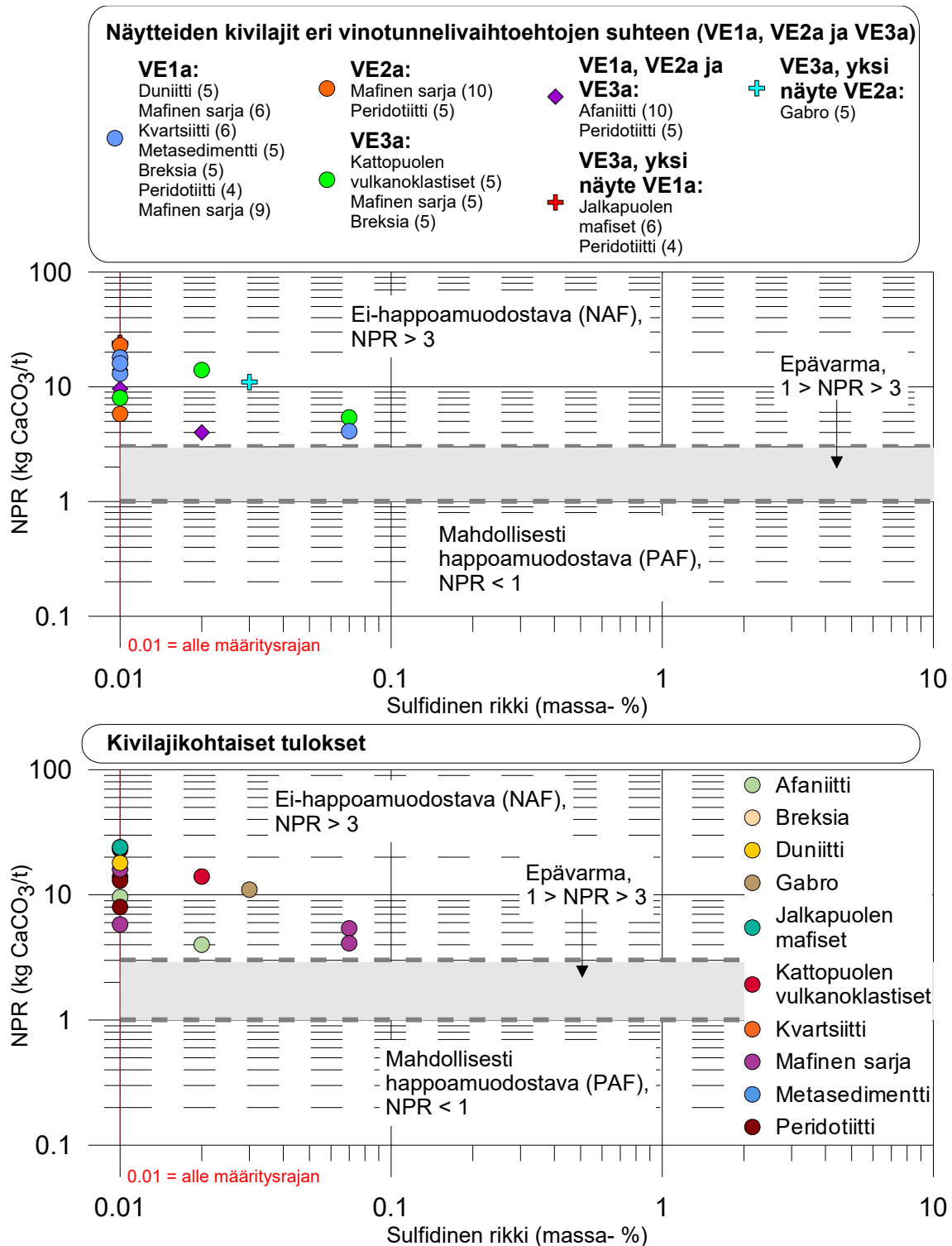
Taulukko 6-14. Sivukiven keskimääräiset ABA-testin tulokset kivilajeittain eri vinotunnelivaihtoehtojen suhteen. N=näytteiden lukumäärä, S m-%=rikkipitoisuus, S_{sulf} m-%=sulfidirikkipitoisuus, AP=hapontuottopotentiaali yksikössä kg CaCO₃ ekv./t, NP=neutraloimispotentiaali yksikössä kg CaCO₃ ekv./t, NNP=nettoneutraloimispotentiaali yksikössä kg CaCO₃ ekv./t ja NPR=neutraloimispotentiaalisuhde. (Eurofins Labtium 2022)

Kivilaji	N	S	S _{sulf.}	AP	NP	NNP	NPR	Sijainti (VE1a, VE2a ja VE3a)*
		m-%		kg CaCO ₃ ekv. / t				
Duniitti	5	0,14	0,01	4,4	79	75	18	VE1a
Gabro	5	0,07	0,03	2,2	25	23	11	VE3a, yksi näyte VE2a
Mafinen sarja	5	0,02	<0,01	0,63	3,6	3	5,8	VE2a
Jalkapuolen mafiset	6	0,04	<0,01	1,3	30	29	24	VE3a, yksi näyte VE1a
Kattopuolen vulkanoklastiset	5	0,04	0,02	1,3	18	17	14	VE3a
Mafinen sarja	5	0,1	0,07	3,1	17	14	5,4	VE3a
Mafinen sarja	6	<0,01	<0,01	<0,32	190	190	Ei tulosta	VE1a
Kvartsiitti	6	<0,01	0,02	<0,32	100	100	Ei tulosta	VE1a
Metasedimentti	5	<0,01	<0,01	<0,32	170	170	Ei tulosta	VE1a
Brekcia	5	<0,01	<0,01	<0,32	290	290	Ei tulosta	VE3a
Brekcia	5	<0,01	<0,01	<0,32	240	240	Ei tulosta	VE1a
Peridotiitti	5	0,27	0,01	8,4	190	180	23	VE2a
Peridotiitti	5	0,15	<0,01	4,7	67	62	14	VE1a, VE2a ja VE3a
Peridotiitti	5	0,18	<0,01	5,6	45	39	8	VE3a
Peridotiitti	4	0,22	0,01	6,9	88	81	13	VE1a
Peridotiitti	4	0,16	<0,01	5	120	120	24	VE3a, yksi näyte VE1a
Afaniitti	5	0,17	0,02	5,3	21	16	4	VE1a, VE2a ja VE3a
Afaniitti	5	0,07	<0,01	2,2	21	19	9,6	VE1a, VE2a ja VE3a
Mafinen sarja	4	0,1	<0,01	3,1	49	46	16	VE1a
Mafinen sarja	5	0,11	0,07	3,4	14	11	4,1	VE1a
Kaikkien näytteiden keskiarvo	100 kpl	0,09	0,02	2,9	89	86,3	12,9	

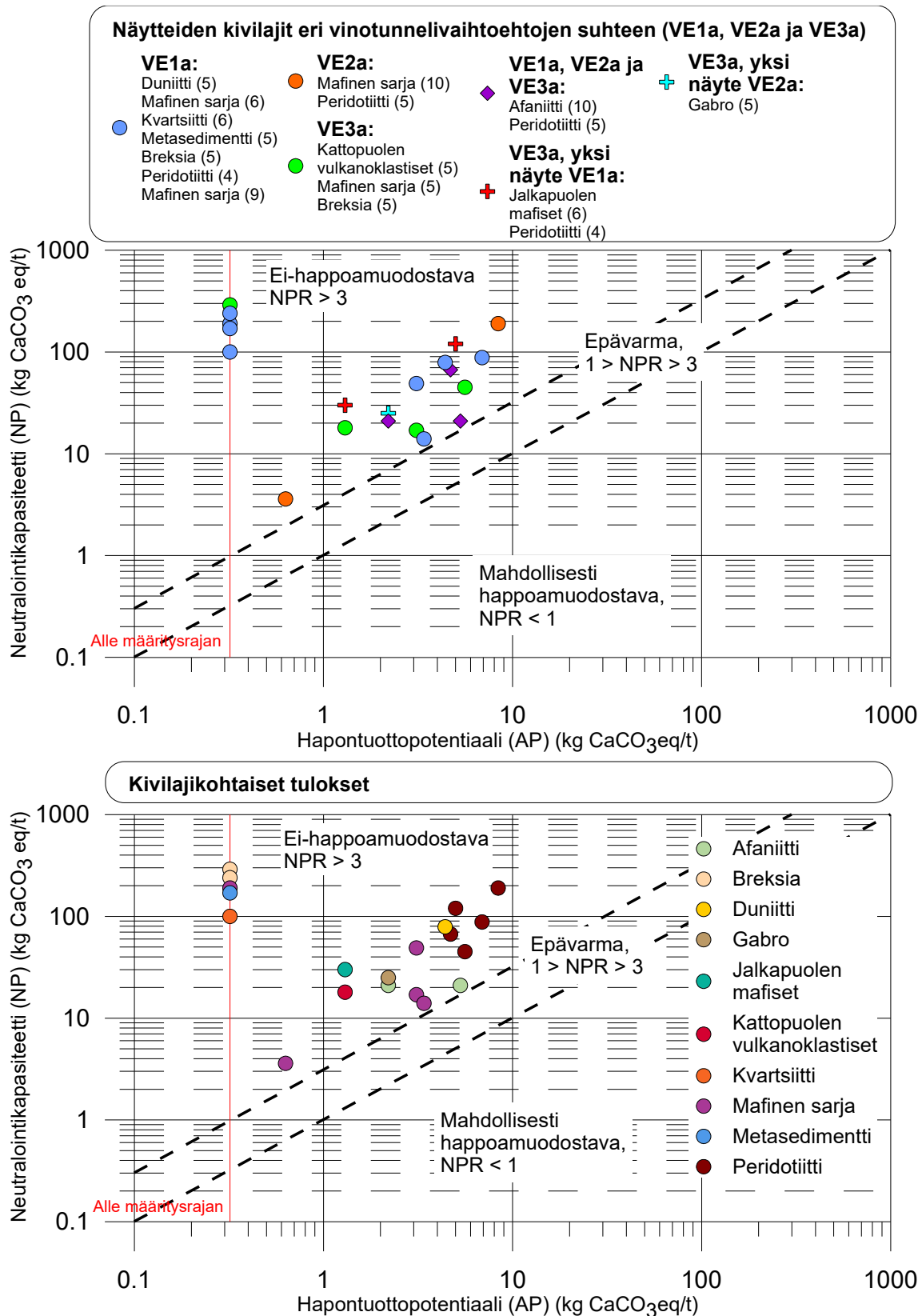
* Näytteiden sijainti eri vinotunnelivaihtoehtojen suhteen (VE1a, VE2a ja VE3a)



Kuva 6-28. Sulfidinen rikki rikin kokonaispitoisuuden funktiona sivukivinäytteissä kivilajeittain sekä eri vinotunnelivaihtoehtojen suhteen (koottu Eurofins Ahma Oy aineistosta vuodelta 2022).



Kuva 6-29. Sulfidisen rikin pitoisuudet NPR-suhteen funktiona sivukivinäytteissä kivilajeittain sekä eri vinotunnelivaihtoehtojen suhteen (koottu Eurofins Ahma Oy aineistosta vuodelta 2022).



Kuva 6-30. Hapontuottopotentiaalin ja neutralointikapasiteetin suhde sivukivinäytteissä kivilajeittain sekä eri vinotunnelivaihtoehtojen suhteen (koottu Eurofins Ahma Oy aineistosta vuodelta 2022).

NAG-testin tulokset

Nettophaponuottokoetta (NAG) käytetään ABA-testin tuloksen varmistamiseksi. Lisäksi NAG-uutteen analyysin avulla selvitettiin, mikä osuus metallien ja metallidien kokonaispitoisuudesta on pitkällä aikavälillä hapettuvissa.

Arvioitujen sivukivilaatuksen NAG-testin näytemäärät ja tulokset on esitetty taulukossa 6-15. Ainoastaan VE2a tunnelilinjan mafisen sarjan kivien ja VE1a, VE2a ja VE3a-linjan afaniitin NAG-pH (eli NAG-testin minimi-pH) oli lievästi hapan. Muiden kivilajien NAG-pH:t olivat selvästi emäksisiä. Tarkasteltaessa rikkipitoisuuksia ja NAG-pH:ta havaitaan, että näytteissä, joiden rikkipitoisuus oli alle määritysrajan, tuottivat emäksisimmät NAG-pH:t.

Taulukko 6-15. Sivukivien NAG-testin tulokset ja näytemäärät kivilajeittain eri vinotunnelivaihtoehtojen suhteen (koottu Eurofins Ahma Oy aineistosta vuodelta 2022).

Kivilaji	N	Minimi-pH eli NAG-pH	Nettophaponuottopotentiali / kg H ₂ SO ₄ ekv. / tn	Sijainti (VE1a, VE2a ja VE3a)*
			Keskiarvo	
Duniitti	5	8,7	0	VE1a
Gabro	5	8	0	VE3a, yksi näyte VE2a
Mafinen sarja	5	6,4	0,4	VE2a
Jalkapuolen mafiset	6	7,7	0	VE3a, yksi näyte VE1a
Kattopuolen vulkano- klastiset	5	8,1	0	VE3a
Mafinen sarja	5	8,5	0	VE3a
Mafinen sarja	6	8,9	0	VE1a
Kvartsiitti	6	7,8	0	VE1a
Metasedimentti	5	9	0	VE1a
Breksia	5	9,4	0	VE3a
Breksia	5	8,5	0	VE1a
Peridotiitti	5	8,7	0	VE2a
Peridotiitti	5	8,6	0	VE1a, VE2a ja VE3a
Peridotiitti	5	8,4	0	VE3a
Peridotiitti	4	8	0	VE1a
Peridotiitti	4	8,4	0	VE3a, yksi näyte VE1a
Afaniitti	5	7,2	0	VE1a, VE2a ja VE3a
Afaniitti	5	6,8	1,9	VE1a, VE2a ja VE3a
Mafinen sarja	4	7,6	0	VE1a
Mafinen sarja	5	7	0	VE1a

* Näytteiden sijainti eri vinotunnelivaihtoehtojen suhteen (VE1a, VE2a ja VE3a)

NAG-uutteen pitoisuudet

NAG-uutteen metallipitoisuuksien perusteella voidaan arvioida varsinkin sulfidimineraaleihin sitoutuneiden metallien mobilisoitumista. NAG-testin tuloksia on

kuitenkin tarkasteltava varmistaen, että sulfidien hapettuminen on todellakin tapahtunut ja huomioiden, että testitilanteessa voi muodostua esim. saostumista aiheuttavia pH-olosuhteita, joita todellisessa läjityksessä ei muodostuisi (luku 4.3). Lisäksi tuloksia käytettäessä on huomioitava, että NAG-testissä sulfidimineraalit hapetetaan nopeasti, yhdellä kerralla. Kenttäolosuhteissa vastaava hapettuminen veisi vuosikymmeniä tai vuosisatoja.

Metalli- ja metalloidipitoisuudet NAG-testin loppuliouksessa on esitetty taulukossa 6-16. Pitoisuudet olivat kauttaaltaan alhaisia. Sivukiven NAG-uutossa liukenevia metalli- ja metalloidimääriä on verrattu kuningasvesiuuttoon, joka tässä yhteydessä edustaa kokonaispitoisuuksia (Taulukko 6-17). Tarkastelussa on siis metallin NAG-uutossa liukenevan pitoisuuden osuus kokonaispitoisuudesta, toisin sanoen hapettumisen seurauksena vapautuvan pitoisuuden osuus kokonaispitoisuudesta. Hapettumisen seurauksena vapautuvan metallin osuus metallin kokonaismäärästä onkin vain suuntaa antava luku, mikä tulee muistaa tuloksia käytettäessä. NAG-uutossa liukenevien metallien tai puolimetallien osuudet niiden kokonaismäärästä on suurimmillaan yksittäisissä kivilajeissa, kuten arseeni duniitissa (VE1a), gabrossa (VE2a, VE3a) ja jalkapuolen mafisen sarjan kivissä (VE1a, VE3a).

Taulukko 6-16. Metallien keskimääräinen vapautuminen NAG-testissä (vetyperoksidihapetuksessa). Taulukossa pitoisuudet NAG-loppuliouksessa. (koottu Eurofins Ahma Oy aineistosta vuodelta 2022)

Parametri Kivilaji	N	Ar- seeni (As) mg/kg	Kad- mium (Cd) mg/kg	Ko- boltti (Co) mg/kg	Kromi (Cr) mg/kg	Ku- pari (Cu) mg/kg	Nik- keli (Ni) mg/kg	Lyijy (Pb) mg/kg	Anti- moni (Sb) mg/kg	Vana- diini (V) mg/kg	Sink- ki (Zn) mg/kg	Sijainti (VE1a, VE2a, VE3a) ⁽¹⁾
Duniitti	5	0,11	<0,02	<0,1	3,70	0,15	0,97	<0,1	<0,1	0,22	<0,5	VE1a
Gabro	5	0,15	<0,02	<0,1	0,84	0,48	<0,2	<0,1	<0,1	1,34	<0,5	VE2a, VE3a
Mafinen sarja	5	<0,1	<0,02	0,54	1,11	0,43	4,59	<0,1	<0,1	1,20	<0,5	VE2a
Jalkapuolen mafiset	6	0,10	<0,02	0,24	5,33	0,10	1,69	<0,1	<0,1	1,63	<0,5	VE1a, VE3a
Kattopuolen vulkanoklastiset	5	<0,1	<0,02	<0,1	0,53	0,17	<0,2	<0,1	<0,1	0,49	<0,5	VE3a
Mafinen sarja	5	<0,1	<0,02	<0,1	0,67	<0,1	<0,2	<0,1	<0,1	1,35	<0,5	VE3a
Mafinen sarja	6	<0,1	<0,02	<0,1	0,28	<0,1	<0,2	<0,1	<0,1	0,90	<0,5	VE1a
Kvartsiitti	6	<0,1	<0,02	<0,1	1,47	<0,1	<0,2	<0,1	<0,1	0,98	<0,5	VE1a
Metasedimentti	5	<0,1	<0,02	<0,1	0,46	<0,1	<0,2	<0,1	<0,1	0,63	<0,5	VE1a
Breksia	5	<0,1	<0,02	<0,1	0,77	<0,1	0,20	<0,1	<0,1	1,24	<0,5	VE3a
Breksia	5	<0,1	<0,02	<0,1	0,39	<0,1	<0,2	<0,1	<0,1	1,11	<0,5	VE1a
Peridotiitti	5	<0,1	<0,02	<0,1	12,60	<0,1	0,41	<0,1	<0,1	<0,2	<0,5	VE2a
Peridotiitti	5	<0,1	<0,02	<0,1	5,00	<0,1	0,37	<0,1	<0,1	0,43	<0,5	VE1a, VE2a, VE3a
Peridotiitti	5	<0,1	<0,02	<0,1	4,86	<0,1	0,57	<0,1	<0,1	0,38	<0,5	VE3a
Peridotiitti	4	<0,1	<0,02	<0,1	2,28	<0,1	0,50	<0,1	<0,1	<0,2	<0,5	VE1a

Parametri	N	Ar- seeni (As)	Kad- mium (Cd)	Ko- boltti (Co)	Kromi (Cr)	Ku- pari (Cu)	Nik- keli (Ni)	Lyijy (Pb)	Anti- moni (Sb)	Vana- diini (V)	Sink- ki (Zn)	Sijainti (VE1a, VE2a, VE3a) ⁽¹⁾
Kivilaji		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	
Peridotiitti	4	<0,1	<0,02	<0,1	4,46	<0,1	0,61	<0,1	<0,1	<0,2	<0,5	VE1a, VE3a
Afaniitti	5	<0,1	<0,02	<0,1	2,22	<0,1	0,96	<0,1	<0,1	0,66	<0,5	VE1a, VE2a, VE3a
Afaniitti	5	<0,1	<0,02	1,50	9,65	2,28	15,10	0,14	<0,1	2,07	0,81	VE1a, VE2a, VE3a
Mafinen sarja	4	<0,1	<0,02	<0,1	1,48	0,24	0,42	<0,1	<0,1	0,79	<0,5	VE1a
Mafinen sarja	5	<0,1	<0,02	0,14	0,30	1,09	0,32	<0,1	<0,1	1,18	<0,5	VE1a

⁽¹⁾ Näytteiden sijainti eri vinotunnelivaihtoehtojen suhteen (VE1a, VE2a ja VE3a)

Taulukko 6-17. NAG-testissä mobilisoituvien metallien prosenttiosuus kuningasvesiliukoisista metallipitoisuuksista. (koottu Eurofins Ahma Oy aineistosta vuodelta 2022)

Parametri	Ar- seeni	Kad- mium	Koboltti	Kromi	Kupari	Nik- keli	Lyijy	Anti- moni	Vana- diini	Sinkki	Sijainti (VE1a, VE2a, VE3a) ⁽¹⁾
Yksikkö	% -kuningasvesiliukoisesta pitoisuudesta										
Duniitti	27,36	-	-	0,81	0,08	0,04	-	-	2,62	-	VE1a
Gabro	48,70	-	-	0,52	0,35	-	-	-	1,21	-	VE2a, VE3a
Mafinen sarja	-	-	2,60	1,13	4,22	2,87	-	-	1,78	-	VE2a
Jalkapuolen mafiset	68,18	-	0,78	0,58	0,42	0,48	-	-	2,00	-	VE1a, VE3a
Kattopuolen vulkanoklas- tiset	-	-	-	0,96	0,36	-	-	-	1,87	-	VE3a
Mafinen sarja	-	-	-	0,71	-	-	-	-	2,12	-	VE3a
Mafinen sarja	-	-	-	0,28	-	-	-	-	0,55	-	VE1a
Kvartsiitti	-	-	-	4,16	-	-	-	-	4,70	-	VE1a
Metasedi- menti	-	-	-	0,53	-	-	-	-	0,63	-	VE1a
Breksia	-	-	-	1,24	-	0,21	-	-	6,02	-	VE3a
Breksia	-	-	-	0,71	-	-	-	-	2,83	-	VE1a
Peridotiitti	-	-	-	1,59	-	0,02	-	-	-	-	VE2a
Peridotiitti	-	-	-	0,68	-	0,03	-	-	1,17	-	VE1a, VE2a, VE3a
Peridotiitti	-	-	-	0,54	-	0,03	-	-	1,01	-	VE3a
Peridotiitti	-	-	-	0,24	-	0,03	-	-	-	-	VE1a
Peridotiitti	-	-	-	0,41	-	0,03	-	-	-	-	VE1a, VE3a
Afaniitti	-	-	-	0,57	-	0,26	-	-	0,93	-	VE1a, VE2a, VE3a
Afaniitti	-	-	3,79	1,86	6,95	3,30	12,50	-	2,67	6,04	VE1a, VE2a, VE3a
Mafinen sarja	-	-	-	0,76	0,41	0,32	-	-	2,39	-	VE1a
Mafinen sarja	-	-	0,70	0,56	0,95	0,90	-	-	0,75	-	VE1a

⁽¹⁾ Näytteiden sijainti eri vinotunnelivaihtoehtojen suhteen (VE1a, VE2a ja VE3a)

Ravistelutesti

VNA 331/2103 mukaista pysyvän jätteen kaatopaikkaluokan kelpoisuusraja-arvoa käytetään seuraavassa vain suuruusluokan havainnollistamisessa. Kaivannaisjätettä ei luokitella ravistelutestin (EN 12457-3) tulosten perusteella. On muistettava, että ravistelutestin avulla ei voi myöskään kuvata kaivannaisjätteen pitkäaikaiskäyttäytymistä eikä analysoitavan näytteen laskennallinen vesikiintoainesuhte ($L/S\ 10$) vastaa luonnonolosuhteita. Tulos ei siis kuvaa suoto veden laatua. Menetelmäkuvaus ravistelutestistä on esitetty luvussa 4.4.

Ravistelutestin metalli- ja metalloidipitoisuudet kumulatiivisessa eli laskennallisessa L/S 10-suhteessa on esitetty taulukossa 6-18. Duniitti (VE1a)- ja periodiitti (VE1a)-uutteiden kloridipitoisuudet ylittivät pysyvän jätteen kaatopaikalle asetetun raja-arvon 800 mg/kg. Lisäksi afaniitti (VE1a, VE2a, VE3a)-uutteen sulfaattipitoisuus ylitti pysyvän jätteen kaatopaikalle asetetun raja-arvon 1 000 mg/kg. Muut tutkitut liukoisuudet alittivat kaikki VNA 331/2013 mukaiset pysyvän jätteen kaatopaikkakelpoisuusraja-arvot.

Uutteiden pH:t tutkittiin L/S 2- ja L/S 8-utteista. Molemmissa L/S-suhteissa kaikkien tutkittujen sivukivinäytteiden uutteiden pH:t olivat selvästi emäksiset. L/S 8-utteiden pH:n vaihteluväli oli 8,3–9,7 ja L/S 2-utteen vaihteluväli 7,5–9,9. Tästä ainoana poikkeuksena breksianäyte (tunnelsijainti VE3a), jonka L/S 8 pH oli 6,8.

Taulukko 6-18. Kaksivaiheisen ravistelutestin laskennalliset metalli- ja metalloidipitoisuudet suhteessa L/S 10 eri sivukivilajeissa (koottu aineistosta Eurofins Ahma Oy vuodelta 2022). Tulokset on ilmoitettu kuiva-ainetta kohti. Raja-arvovertailut (VNA 331/2013) esitetään vain suuruusluokan havainnollistamiseksi. Kaivannaisjätettä ei luokitella kaatopaikka-asetuksen mukaisesti.

[illegible]

VNA 331/2013 vertailu-arvot		L/S 10		Laskennalliset metalli- ja metalloidipitoisuuksien keskiarvot suhteessa L/S 10 eri sivukivilajeissa.									
Molyb- deeni	0,5	10	30	<0,01	0,011	0,025	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Nikkeli	0,4	10	40	0,062	<0,01	0,097	0,017	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Lyijy	0,5	10	50	0,038	0,022	0,028	0,064	0,018	<0,005	<0,005	0,032	<0,005	<0,005
Antimoni	0,06	0,7	5	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Seleen	0,1	0,5	7	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Sinkki	4	50	200	0,1	0,12	0,12	0,11	0,12	0,11	0,11	0,12	0,067	0,057
Vana- diini	-	-	-	0,011	0,12	0,03	0,18	0,049	0,11	0,13	0,15	0,096	0,09
Kloridi, Cl-	800	15 000	25 000	1900	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Fluoridi, F-	10	150	500	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Sulfaatti, SO ₄ ²⁻	1000	20 000	50 000	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
DOC ⁽¹⁾	500	800	1 000	86	92	140	100	79	89	84	75	100	110
TDS ⁽²⁾	4000	60 000	100 000										
Näytteiden sijainti eri vinotunneli- vaihtoehtojen suhteen (VE1a, VE2a ja VE3a)				VE1a	VE3a, yksi näyte VE2a	VE2a	VE3a, yksi näyte VE1a	VE3a	VE3a	VE1a	VE1a	VE1a	VE3a
Kaato- paikka- luokka	Pysy- vä	Vaara- ton	Vaaral- inen	Brek- sia	Pe- rido- tiitti	Pe- rido- tiitti	Pe- rido- tiitti	Perido- tiitti	Pe- rido- tiitti	Afa- niitti	Afa- niitti	Mafi- nen sarja	Mafi- nen sarja
Alkuaine	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg
Arseeni	0,5	2	25	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,021	<0,01	<0,01
Barium	20	100	300	<0,05	0,46	1,1	0,98	0,72	0,71	0,24	<0,05	0,083	0,1
Kad- mium	0,04	1	5	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Kromi	0,5	10	70	<0,01	0,057	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01
Kupari	2	50	100	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Eloho- pea	0,01	0,2	2	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Molyb- deeni	0,5	10	30	<0,01	0,027	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Nikkeli	0,4	10	40	<0,01	0,28	0,028	0,051	0,073	0,088	0,011	0,017	<0,01	<0,01
Lyijy	0,5	10	50	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,011	<0,005
Antimoni	0,06	0,7	5	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Seleen	0,1	0,5	7	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Sinkki	4	50	200	0,084	0,47	0,065	0,061	0,068	0,052	0,062	0,069	0,098	0,19
Vana- diini	-	-	-	0,19	0,031	0,02	0,021	<0,01	<0,01	0,039	0,11	0,023	0,043
Kloridi, Cl-	800	15 000	25 000	<50	<50	120	<50	1400	260	<50	<50	<50	<50
Fluoridi, F-	10	150	500	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	28	<5
Sulfaatti, SO ₄ ²⁻	1000	20 000	50 000	<50	980	400	100	230	500	1200	<50	750	<50
DOC ⁽¹⁾	500	800	1 000	59	100	74	64	67	97	66	73	92	100
TDS ⁽²⁾	4000	60 000	100 000										

VNA 331/2013 vertailu-arvot	L/S 10	Laskennalliset metalli- ja metalloidipitoisuuksien keskiarvot suhteessa L/S 10 eri sivukivilajeissa.									
Näytteiden sijainti eri vinotunnelivaihtoehtojen suhteen (VE1a, VE2a ja VE3a)		VE1a	VE2a	VE1a, VE2a ja VE3a	VE3a	VE1a	VE3a , yksi näyte VE1a	VE1a , VE2a ja VE3a	VE1a , VE2a ja VE3a	VE1a	VE1a
¹⁾ DOC = Liuenut orgaaninen hiili ²⁾ TDS = Liuenneiden aineiden kokonaispitoisuus											

6.4 Vinotunnelivaihtoehtojen vaikutus sivukivilaatuun

Kaikissa kuudessa vinotunnelivaihtoehtoissa suurimpina kivilajiryhminä ovat afaniitti, peridotiitti ja mafiset vulkaniitit.

Vinotunnelivaihtoehtojen eroista on tehty tulkinta AA Sakatti Mining Oy:n toimesta. Vaihtoehtojen VE1a osalta kivilajimalli ja näytteet perustuvat vuoden 2020 täydentäviin kairauksiin, ja muiden vaihtoehtojen osalta kivilajien esiintyminen tunnelilinjalla perustuu geologiseen tulkintaan kivilajien jatkuvuudesta. Vinotunnelilinjakohtaisia kivilajijakaumia on esitetty tarkemmin eri vaihtoehtojen (VE1a, VE1b, VE2a, VE2b, VE3a ja VE3b) alla kappaleissa 6.4.1 ja 6.4.2.

6.4.1 Vinotunnelilinjojen kivilajijakaumat

Vinotunnelilinjalla VE1a pääkivilajit ovat afaniitti ja mafinen vulkaniitti. Peridotitiinin osuus on varsinaisella vinotunnelilinjalla osuudella pieni ja suuri taas malmin läheisyydessä. Vinotunnelilinjalla VE1a kivilajijakauma on esitetty taulukossa 6-19.

Taulukko 6-19. Vinotunnelilinjalla VE1a kivilajijakauma.

Kivilaji	Osuus (%)
Afaniitti	24
Mafinen vulkaniitti (mafinen sarja)	19
Peridotiitti	16
Gabro	16
Metasedimentti	11
Mafinen tuffiitti (mafinen sarja)	7
Brekksia	3
Kvartsiitti	3
Duniitti	1

Verrattuna vaihtoehtoon VE1a vinotunnelilinja VE1b kulkee suurempaan, sijaitsee lännempänä ja on hieman lyhempi. Kivilajien suhteen vinotunnelilinja VE1b ei poikkea VE1a:sta. Pääkivilajit ovat afaniitti ja mafinen vulkaniitti ja kivilajien massaosuudet ovat hyvin samanlaiset kuin VE1a:ssa. Vinotunnelilinjalla VE1b suhteen ei ole olemassayhtä tarkkaa tietoa kuin VE1a:sta, josta on tehty kairauksia suoraan linjalta koko matkalta. Vinotunnelilinjalla VE1b kivilajitieto

perustuu geologiseen tulkintaan. Vinotunnelinlinjan VE1b kivilajijakauma on esitetty taulukossa 6-20.

Taulukko 6-20. Vinotunnelinlinjan VE1b kivilajijakauma.

Kivilaji	Osuus (%)
Afaniitti	24
Mafinen vulkaniitti	20
Peridotiitti	15
Gabbro	16
Metasedimentti	11
Mafinen sarja	7
Breksia	3
Kvartsiitti	3
Duniitti	1

Vinotunnelinlinjan VE2a kivilajitieto perustuu geologiseen tulkintaan. Vinotunnelinlinjan VE2a pääkivilajit ovat mafiset kivet. Kivilajijakauma on esitetty taulukossa 6-21.

Taulukko 6-21. Vinotunnelinlinjan VE2a kivilajijakauma.

Kivilaji	Osuus (%)
SW Mafiset kivet	70
Afaniitti	23
Peridotiitti	7

Vinotunnelinlinjan VE2b pääkivilajit ovat jakautuneet suhteellisen tasaisesti kolmen eri kivilajin suhteen, joita ovat afaniitti, jalkapuolen mafiset kivet ja peridotiitti. Vinotunnelinlinjan VE2b kivilajitieto perustuu geologiseen tulkintaan. Kivilajijakauma on esitetty taulukossa 6-22.

Taulukko 6-22. Vinotunnelinlinjan VE2B kivilajijakauma.

Kivilaji	Osuus (%)
Afaniitti	39
Jalkapuolen mafiset kivet	39
Peridotiitti	22

Vinotunnelinlinjan VE3a pääkivilajit ovat afaniitti ja peridotiitti. Kivilajitieto perustuu geologiseen tulkintaan. Kivilajijakauma on esitetty taulukossa 6-23.

Taulukko 6-23. Vinotunnelilinjan VE3a kivilajijakauma.

Kivilaji	Osuus (%)
Peridotiitti	48
Afaniitti	40
Jalkapuolen mafiset kivet	7
Kattopuolen vulkanoklastiitit	3
Mafinen sarja	1
Breksia	1

Vinotunnelilinjan VE3b kivilajit ovat jakautuneet suhteellisen tasaisesti afaniitin ja peridodiitin välillä kahden kivilajin välillä. Kivilajitieto perustuu geologiseen tulkintaan. Kivilajijakauma on esitetty taulukossa 6-24.

Taulukko 6-24. Tunnelilinjan VE3b kivilajijakauma.

Kivilaji	Osuus (%)
Afaniitti	52
Peridotiitti	48

6.4.2 Vinotunnelilinjoiden geokemiallinen vertailu

Kun vertaillaan vinotunnelilinjoiden kivilajijakaumaa, vinotunnelilinjat VE1a ja VE1b ovat varsin samankaltaiset, keskenään samankaltaiset ovat myös linjaukset VE3a ja VE3b. Vinotunnelilinjoiden VE2a ja VE2b välillä on jonkin verran eroja: esimerkiksi peridotiittia on linjauksessa VE2a vähemmän kuin linjauksessa VE2b. Vertailtaessa keskimääräisiä kairasydänloggauksessa arvioituja rikkipitoisuuksia vinotunnelilinjauksissa VE1a, VE2a ja VE3a, ensin mainitut näytettyvät keskimäärin matalampirikkisinä (0,4 ja 0,3 %) kuin VE3a (0,8 %). Kaikkien tunnelilinjausten alueelle sijoittuu kohonneita metallipitoisuuksia omaavia kiviä (Taulukko 6-13), jotka käsittävät peridotiitteja ja duniitteja. Kaikille tunnelilinjauksille sijoittuu myös matalien metallipitoisuuksien kiviä. Vinotunnelilinjalle VE1a sijoittuu erityisen paljon minimaalisen rikkipitoisuuden ja erityisen korkean neutralointikapasiteetin kiviä (mm. mafinen sarja, kvartsiitit, metasedimentit ja breksia).

7 Rikastushiekkojen karakterisointi

7.1 Rikastushiekkojen karakterisointihistoria

Tässä kappaleessa kuvataan pääpiirteet rikastushiekkojen karakterisoinnista hankkeen eri kehitysvaiheissa. Lisäksi kuvataan, kuinka varhaisempi karakterisointihistoria tukee nykyisen karakterisointitiedon edustavuutta.

7.1.1 Koerikastusten ja rikastushiekkojen karakterisoinnin historia

Rikastushiekkoja on karakterisoitu seuraavissa vaiheissa:

- 2015-2016 hankkeen varhaisimmassa teknis-taloudellisessa tarkasteluvaiheessa (*scoping*) tutkittiin kolmen eri malmin prosessoinnin rikastushiekkanäytteet
- 2017-2018 hankkeen kannattavuuden esiselvitysvaiheen A (PFS-A) aikana karakterisoitiin prosessivaihtoehdon 1 mukaisten rikastuskokeiden rikastushiekat. Tutkimukset tehtiin sekä korkea- että matalarikkiselle rikastushiekalle.
- 2020-2021 karakterisoitiin prosessivaihtoehdon 2 mukaisten rikastuskokeiden rikastushiekat. Tutkimukset tehtiin sekä korkea- että matalarikkiselle rikastushiekalle.
- 2022 täydentävien rikastuskokeiden rikastushiekkojen karakterisointi on aloitettu

7.1.2 Sakatin hankkeen vanhojen rikastuskokeiden rikastushiekkalaudut

Rikastushiekan geokemiallisia ominaisuuksia on tutkittu ensimmäisen kerran hankkeen varhaisimmassa teknis-taloudellisessa tarkasteluvaiheessa (*scoping*) erillistutkimuksissa (SRK Consulting Ltd. 2015b ja 2016). Lokakuussa 2015 tutkittiin rikastushiekkoja kolmesta eri rikastuskokeesta, joissa oli rikastettu kolmea erilaista malmin komposiittinäytettä.

Scoping-vaiheessa tutkitut rikastushiekkanäytteet luokiteltiin ei-happoa tuottaviksi ABA- ja NAG-testien tulosten perusteella. Hapontuottokyvyn ja neutralointikapasiteetin perusteella näytteet luokiteltiin ei-happoa tuottaviksi, koska $S < 1\%$ ja $NPR > 3$ (Valtioneuvoston asetus 190/2013). NAG-pH oli kaikissa näytteissä emäksinen (pH 8,6-9,9). Näytteitä ei voida luokitella pysyviksi jätteiksi kaivannaisjäteasetuksessa (190/2013) viitattujen PIMA-asetuksen (214/2007) kynnysarvot ylittävien koboltti-, kromi-, kupari- ja nikkelipitoisuuksien vuoksi. Lisäksi massiivikomposiitin koerikastuksen rikastushiekassa oli koholla oleva vanadiinipitoisuus.

Matalarikkisiä rikastushiekkoja tutkittiin myös kosteuskammiokokeessa, jonka kesto oli 20 viikkoa. Kokeen aikana uuttoliuoksen pH oli lähes neutraali tai

emäksinen, 7,0–8,5, eikä sulfidien aktiivisesta hapettumisesta ollut merkkejä. Neutralointikapasiteetissa ei ollut havaittavissa sulfidien hapettumisesta aiheutuvaa kulumista, vaan neutralointikapasiteetti oli 97 % alkuperäisestä 20 viikon kosteuskammiokeeseen jälkeen.

Jatkumona vuoden 2015 ja 2016 rikastuskokeille todettiin, että on syytä tutkia myös ylimääraistä, korkearikkistä massiivikomposiittinäytettä, jotta mukaan saataisiin malmin ääripää ja siten konservatiivinen arvio rikastushiekan ominaisuuksista. Tuloksista on esitetty pääpiirteet myöhempien geokemiallisten tutkimusten raportoinnissa, historiatietoina (SRK Consulting Ltd. 2018a). Korkearikkisestä massiivikomposiittinäytteestä tehdyn rikastuskokeen matalarikkisessä rikastushiekassa rikkipitoisuus oli 0,6 %. Korkearikkisen massiivikomposiitin rikastuskokeen korkearikkisessä rikastushiekassa rikkipitoisuus oli 33 % ja rautapitoisuus 44 %. magneettikiisun osuus rikastushiekassa oli 71 %, magnetiitin 11 % ja rikkikiisun 9 %. Lisäksi näyte sisälsi lähinnä pentlandiittia, tremoliittia, dolomiittia, kloriittia, serpentiniittia ja kuparikiisua (Outotec 2016).

Tiedot malmin rajauksesta ovat sittemmin tarkentuneet ja uudemmissa koerikastuksissa käytetty malmi edustaa nykysuunnitelmien mukaista kaivos- ja rikastustoimintaa näitä varhaisia kokeita paremmin. Vanhojen kokeiden yhteydessä tehty jätekarakterisointi on kuitenkin antanut samansuuntaisia tuloksia kuin uudemmissakin kokeissa tehdyt karakterisoinnit.

7.2 Rikastushiekkojen karakterisointi, prosessivaihtoehto 1

Prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekkojen karakterisointia koskeva kuvaus perustuu SRK:n laatimaan tutkimusraporttiin (SRK Consulting Ltd. 2018a), ellei toisin mainita.

7.2.1 Prosessivaihtoehto 1, näytteenotto ja edustavuus

Tämän kappaleen tiedot ovat PFS A-vaiheen prosessisuunnittelua koskevasta koosteraportista (Anglo American 2019) sekä rikastushiekan ja pastatäytön karakterisointiraportista (SRK Consulting Ltd. 2018a, Paterson & Cooke 2017).

Rikastuskokeissa on käytetty komposiittinäytteitä, joita on kerätty useista kairareijistä. Koostamisessa on pyritty tuottamaan rikastamon todellista malmisyötteitä vastaavia syötteitä rikastuskokeeseen huomioiden malmityyppi-, isäntäkilvilaji- ja sijaintiedustavuus. Pääsääntöisesti koerikastukseen on tuotettu malminäytettä kairasydänneljänneksistä koostamalla niin, että tuotantotilannetta vastaava sekoitussuhde on määritelty punnitsemalla. Osittain malminäytettä on valmistettu myös analyysirejekteistä eli tutkimusnäytteiden ylijäämästä. Kemiallisia analyysejä ja rikastuskokeita varten näytepätkät on ensin murskattu kukin erikseen 90 % <2 mm partikkelikokoon. Komposiittinäytteet

on koostettu murskeista, eli murskatut näytteet yhdistettiin määritellyissä painosuhteissa.

Suurimmat malmityypit kokeessa käytetyn malmin jaottelun mukaisesti olivat pirotemalmi, juonistomalmi sekä massiivinen malmi. Kaikkiaan malmityyppejä oli edustettuna seitsemän. Rikastuskoejakso käsitti sekä avoimen kierron panoskokeita (esi- ja kertausvaahdotus) että suljetun kierron (*locked cycle*¹) testejä. Karakterisointinäytteet otettiin suljetun kierron kokeista. Pienessä kokeessa (syöte lasketaan kilogrammoissa) muodostuva rikastushiekan näytemäärä on rajallinen ja rikastushiekkaa tarvitaan huomattavaan määrään erilaisia fysikaalisia ja kemiallisia kokeita. Rikastuskokeessa mineraalilietteet kiersivät, mutta vesien osalta kierto ei ollut täysin suljettu. Rikastuskokeessa tuotettu karakterisointeihin soveltuva rikastushiekka pyrittiin hyödyntämään mahdollisimman edustavasti ja kattavasti.

Prosessivaihtoehdon 1 rikastuskokeissa muodostui neljä rikastusjätettä, joista muodostettiin edelleen kaksi jätejätettä: korkearikkinen rikastushiekka sekä matalarikkinen rikastushiekka. Korkearikkisessä rikastushiekassa oli 97,5 % korkearikistä massiivi-*low grade* rikastuksen rikastushiekkaa ja 2,5 % korkearikisen *high grade-low grade* rikastuksen rikastushiekkaa. Matalarikkinen rikastushiekka sisälsi 35 % massiivi-*low grade* rikastuksen rikastushiekkaa ja 65 % matalarikisen *high grade-low grade* rikastuksen rikastushiekkaa. Näitä koostettuja jättejakeita voitiin pitää silloisen suunnittelutyön valossa esiintymää hyvin edustavina. Näytteet toimitettiin jatkokäsittelyyn ja analyysiin lietemuodossa. (SRK Consulting Ltd. 2018a)

Prosessista otettiin mineralogisiin ja geokemiallisiin testauksiin kaksi näytettä seuraavasti:

- Matalarikkinen rikastushiekka (märkänä) – 2kg
- Korkearikkinen rikastushiekka (kuivattuna) – 0,5kg

Lisäksi tehtiin kolme monoliittinäytettä (45 mm x 125 mm).

7.2.2 Prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekkojen mineralogia

Matalarikisen ja korkearikisen rikastushiekan XRD-tulokset on esitetty taulukossa 7-1. Tulokset osoittavat, että matalarikkinen näyte koostuu pääasiassa serpentiinistä (35 %). Toiseksi eniten, 28 %, matalarikkisestä rikastushiekasta on magnetiittia (rautaoksidi). Matalarikkisestä rikastushiekasta 11 % on

¹ Locked cycle eli suljetun kierron rikastuskoe on sellainen, jossa monivaiheista koetta toistetaan jopa kymmenenkin kertaa, ja edellisen vaiheen välituotteet, jotka varsinaisessa tehdaskaaviossa kiertävät, otetaan mukaan vastaavissa prosessivaiheissa mukaan. Normaalisti avoimen piirin kokeessa välituotteet otetaan erilleen ja ne analysoidaan, jolloin lopputulos ei vastaa täysin teollisen mittakaavan koetta. Suljetun piirin koe pyrkii siis simuloimaan jatkuvatoimista teollista piiriä, jossa välituotteet kiertävät ja lopputuotteita on vain muutamia (esim. kuparirikaste, nikkelikaste, korkearikkinen jäte ja matalarikkinen jäte).

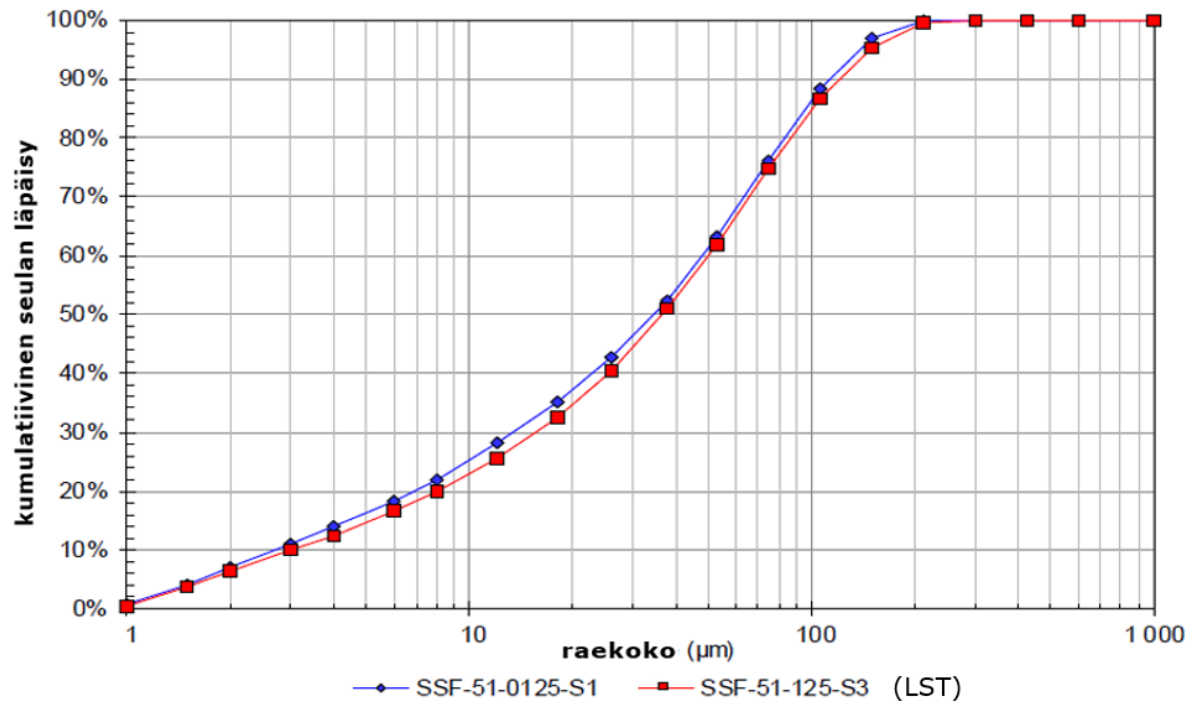
oliiviinia, 10 % kloriittia, 9 % biotiittiä (flogopiittiä) ja 7 % amfibolia (magnesium-riebeckiittiä). Korkearikkinen rikastushiekka koostuu pääasiassa magneetikiisusta (63 %), joka on rautasulfidimineraali. Korkearikkinen rikastushiekka sisältää myös 8 % serpentiiniä ja 29 % magnetiittiä (rautaoksidi).

Taulukko 7-1. Yhteenvetotaulukko Sakatin rikastushiekkojen XRD-tuloksista. Rikastushiekat, prosessivaihtoehto 1.

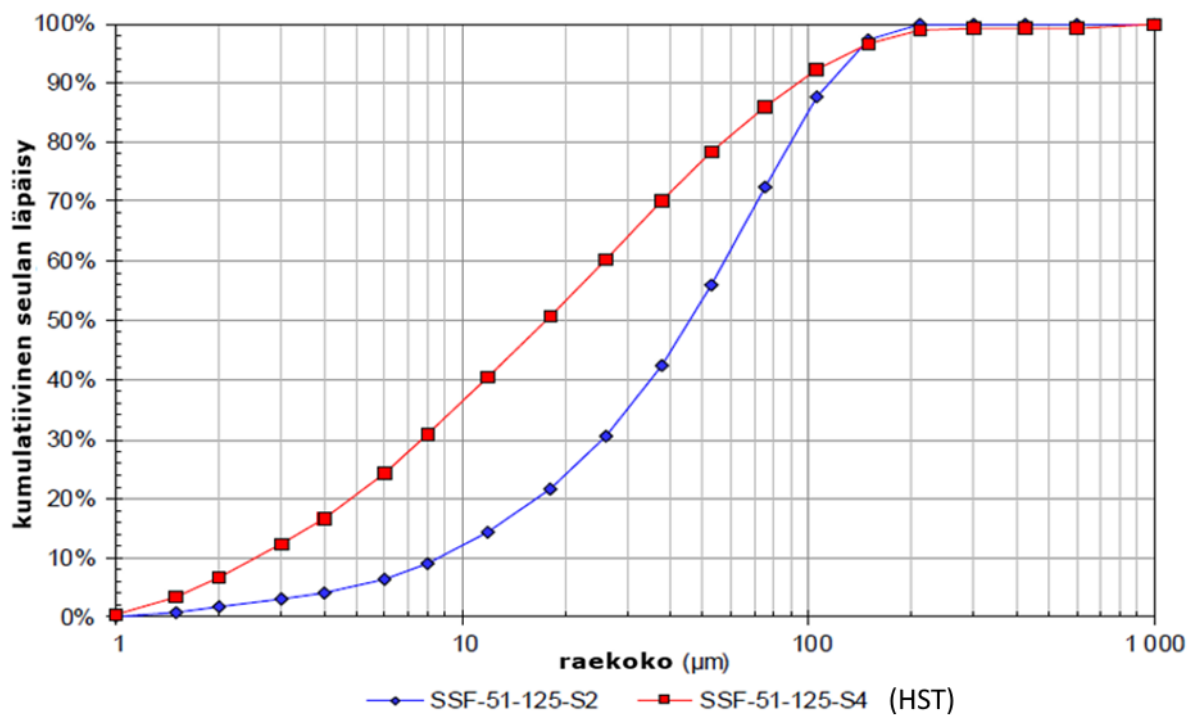
Mineraali	Osuus (%)	
	Matalarikkinen rikastushiekka (LST)	Korkearikkinen rikastushiekka (HST)
Magneetikiisu	0	63
Serpentiini	35	8
Magnetiitti	28	29
Oliiviini	11	0
Kloriitti	10	0
Biotiitti/flogopiitti	9	0
Magnesium-riebeckiitti (amfiboli)	7	0

7.2.3 Prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekkojen fysikaaliset ominaisuudet

Prosessivaihtoehdon 1 mukaiset rikastushiekkojen raekoot esitetään kuvissa 7-1 ja 7-2 (kaksi eri näytettä molemmissa). Matalarikkinen rikastushiekan keskiraekoko on molemmissa näytteissä 40 mikrometriä ja korkearikkinen rikastushiekan näytteissä noin 20 ja 50 mikrometriä.



Kuva 7-1. Matalarikkisen rikastushiekan (LST) raekokojakauma, prosessivaihtoehto 1 (Paterson & Cooke 2017).



Kuva 7-2. Korkearikkisen rikastushiekan (HST) raekokojakauma, prosessivaihtoehto 1 (Paterson & Cooke 2017).

7.2.4 Prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekkojen geokemialliset ominaisuudet

Kokonaispitoisuudet; nelihappouutto

Kappaleessa 7.2.1 kuvattujen korkea- ja matalarikkisten rikastushiekkojen metallien ja metalloidien kokonaispitoisuudet selvitettiin nelihappouuttomenetelmällä, mikä voidaan rinnastaa pitoisuuteen, joka on lähellä kokonaispitoisuutta (*near total*). Käytetty tutkimusmenetelmä poikkesi esimerkiksi sivukivinäytteistä, joille alkuaineiden kokonaispitoisuudet määritettiin kuningasvesiuutolla. Nelihappouuton tulokset ja vertailuarvot on esitetty taulukossa 7-2. Kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013) mukaan luokittelussa pysyväksi kaivannaisjätteeksi pitoisuuksia verrataan PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) kynnysarvoihin tai alueellisiin taustapitoisuuksiin. Nelihappouutolla määritettyjä pitoisuuksia verrattiin PIMA-asetuksen pitoisuuksiin, vaikka PIMA-asetuksen raja-arvot perustuvatkin kuningasvesiuuttoon. Nelihappouutto on kuningasvesiuuttoa tehokkaampi mineraaliaineksen hajotusmenetelmä. Tämän takia nelihappouuttoon perustuva arvio rikastushiekan laadusta on konservatiivisempi, eli varovaisuusperiaatteen mukainen.

Tulokset osoittivat, että matalarikkisessä rikastushiekassa koboltin, kromin, kuparin, nikkelin ja vanadiinin pitoisuudet ylittivät PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) liitteen mukaiset kynnysarvot. Korkearikkisessä rikastushiekassa taas koboltin, kromin, kuparin ja nikkelin pitoisuudet ylittivät PIMA-asetuksen liitteen mukaiset kynnysarvot. Kynnysarvojen ylityksiin perustuen Sakatin kaivoksella muodostuvia rikastushiekkoja ei voida luokitella kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013) mukaisesti pysyviksi jätteiksi.

Alla esitettävässä taulukossa 7-2 rikastushiekkojen pitoisuuksia verrataan suuruusluokan havainnollistamiseksi myös PIMA-asetuksen VNA 214/2007 liitteen mukaisiin ylempiin ohjearvoihin. PIMA-asetuksen alemmaa ja ylempää ohjearvoa ei kuitenkaan sovelleta kaivannaisjätteen luokittelussa. Sekä matalarikkisessä että korkearikkisessä rikastushiekassa kuparin, nikkelin ja kromin pitoisuudet olivat koholla verrattuna PIMA-asetuksen VNA 214/2007 liitteen mukaisiin ylempiin ohjearvoihin. Suurin kuparipitoisuus (986 mg/kg) oli korkearikkisessä rikastushiekassa, jossa pitoisuus ylitti PIMA-asetuksen mukaisen kuparille asetetun ylemmän ohjearvon (200 mg/kg). Myös suurin nikkelpitoisuus (5 500 mg/kg) oli korkearikkisessä rikastushiekassa, jossa pitoisuus ylitti PIMA-asetuksen mukaisen nikkelin ylemmän ohjearvon (150 mg/kg). Suurin kromipitoisuus (3 780 mg/kg) oli matalarikkisessä rikastushiekassa ja pitoisuus ylitti PIMA-asetuksen mukaisen kromin ylemmän ohjearvon (300 mg/kg). Edellä mainittujen alkuaineiden pitoisuudet ovat koholla myös verrattuna GTK:n määrittämiin alueellisiin taustapitoisuusarvioihin (TAPIR).

Koboltin pitoisuus oli koholla matalarikkisessä (57,7 mg/kg) ja korkearikkisessä rikastushiekassa (126 mg/kg). Kobolttipitoisuus matalarikkisessä rikastushiekassa ylitti PIMA-asetuksen mukaisen kynnysarvon ja korkearikkisessä rikastushiekassa pitoisuus ylitti PIMA-asetuksen mukaisen alemman ohjearvon. Vanadiin pitoisuus matalarikkisessä rikastushiekassa (108 mg/kg) oli hieman yli PIMA-asetuksen mukaisen kynnysarvon (100 mg/kg).

Taulukko 7-2. Alkuaineiden kokonaispitoisuudet nelihappouutosta määritettynä sekä vertailuarvoina käytetyt PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) ja GTK:n taustapitoisuusrekisterin (TAPIR) arvot. Rikastushiekat, prosessivaihtoehto 1.

Pa- ra- metri	Yk- sikkö	Kyn- nys- arvo	Alempi oh- jearvo	Alemman ohje- arvon määritys- peruste (terveys/ ekologi- nen)	Ylempi ohje- arvo	Ylemmän ohje- arvon määri- tysperus- te (terveys/ eko- loginen)	Tausta- pitoisuus moreenin hienoainek- sessa (kansalli- nen)	Tausta- pitoi- suus moree- nissa (kes- kim.) ¹	Tausta- pitoi- suus moree- nissa (max.) ¹	Matala- rikkinen rikas- tus- hiekka (LST)	Korkea- rikkie- nen rikas- tus- hiekka (HST)
Ar- seeni (As)	mg/kg	5	50	terveys	100	ekologinen	1 (0,1-2,5)	-	-	1,3	3,1
Kad- mium (Cd)	mg/kg	1	10	ekologinen	20	ekologinen	0,03(0,01- 0,15)	-	-	0,2	0,19
Ko- boltti (Co)	mg/kg	20	100	ekologinen	250	ekologinen	8 (1-30)	15,85	34,92	57,7	126
Kromi (Cr)	mg/kg	100	200	ekologinen	300	ekologinen	31 (6-170)	135,17	522	3780	1840
Ku- pari (Cu)	mg/kg	100	150	ekologinen	200	ekologinen	22 (5-110)	38,11	100,15	559	986
Elo- hopea (Hg)	mg/kg	0,5	2	ekologinen	5	ekologinen	0,005 (<0 005- 0,05)	-	-	0,01	0,01
Nik- keli (Ni)	mg/kg	50	100	ekologinen	150	ekologinen	17 (3-100)	66	227	1500	5500
Lyijy (Pb)	mg/kg	60	200	terveys	750	ekologinen	5 (0,5-5,0)	-	-	18,3	13,8
Anti- moni (Sb)	mg/kg	2	10	terveys	50	ekologinen	0,02 (0,01-0,2)	-	-	0,37	0,21
Vana- diini (V)	mg/kg	100	150	ekologinen	250	ekologinen	38 (10-115)	62,86	124,17	108	67
Sinkki (Zn)	mg/kg	200	250	ekologinen	400	ekologinen	31 (8-110)	29,49	99,46	64	20

	Yliittää VNA 214/2007 mukaisen kynnysarvon
	Yliittää VNA 214/2007 mukaisen alemman ohjearvon
	Yliittää VNA 214/2007 mukaisen ylemmän ohjearvon
1	15 km:n säteellä koordinaateista 490437, 7492133 (EUREF FIN TM35FIN)

ABA-tulokset

Matala- ja korkearikkiselle rikastushiekalle tehtyjen ABA-testien tulokset on esitetty taulukossa 7-3 ja kuvissa 7-3 ja 7-4. Tulosten mukaan korkearikkisen rikastushiekan sulfidisen rikin pitoisuus oli odotetusti korkea ollen 30,4 %, minkä vuoksi aines luokitellaan mahdollisesti happoa tuottavaksi (PAF). Korkearikkinen rikastushiekka voidaan sen sulfidisen rikin pitoisuuden ja NPR-tuloksen < 3 (0,01) perusteella luokitella kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013)

mukaisesti ei-pysyväksi jätteeksi. Matalarikkisen rikastushiekan sulfidisen rikin pitoisuus oli 0,22 % ja sen NPR arvo >3 (6,65). Matalarikkinen rikastushiekka määritellään ei-happoa tuottavaksi (NAF) sen hapontuottopotentiaalin perusteella. Kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013) mukaiseksi pysyväksi jätteeksi sitä ei kuitenkaan voida luokitella alkuainepitoisuuksien takia. Tästä syystä myös matalarikkinen rikastushiekka luokitellaan ei-pysyväksi jätteeksi.

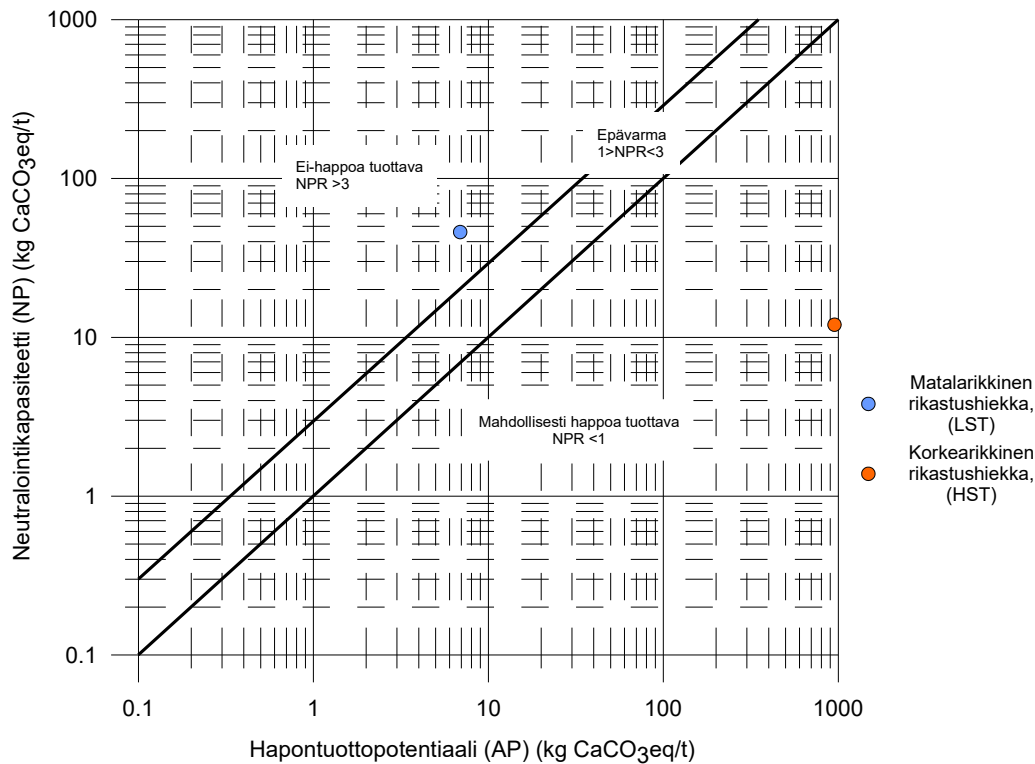
Rikastushiekoille titraamalla määritettyä neutralointikapasiteettia (EN 15875) ja epäorgaanisen hiilen perusteella laskettua neutralointikapasiteettia (TIC) verrattiin keskenään (taulukko 7-3). Molempien rikastushiekkien osalta neutralointikapasiteetti on alhaisempi orgaanisen hiilen perusteella lasketun määrityksen kuin titrausmäärityksen mukaan. Tulos viittaa siihen, että osa neutralointipotentiaalista johtuu silikaattimineraaleista, jotka ovat hitaasti reagoivia. Tämän takia ei voida olettaa, että koko neutralointipotentiaali olisi välittömästi käytettävissä happamuuden puskurointiin.

Taulukko 7-3. ABA-testin tulokset. Rikastushiekat, prosessivaihtoehto 1.

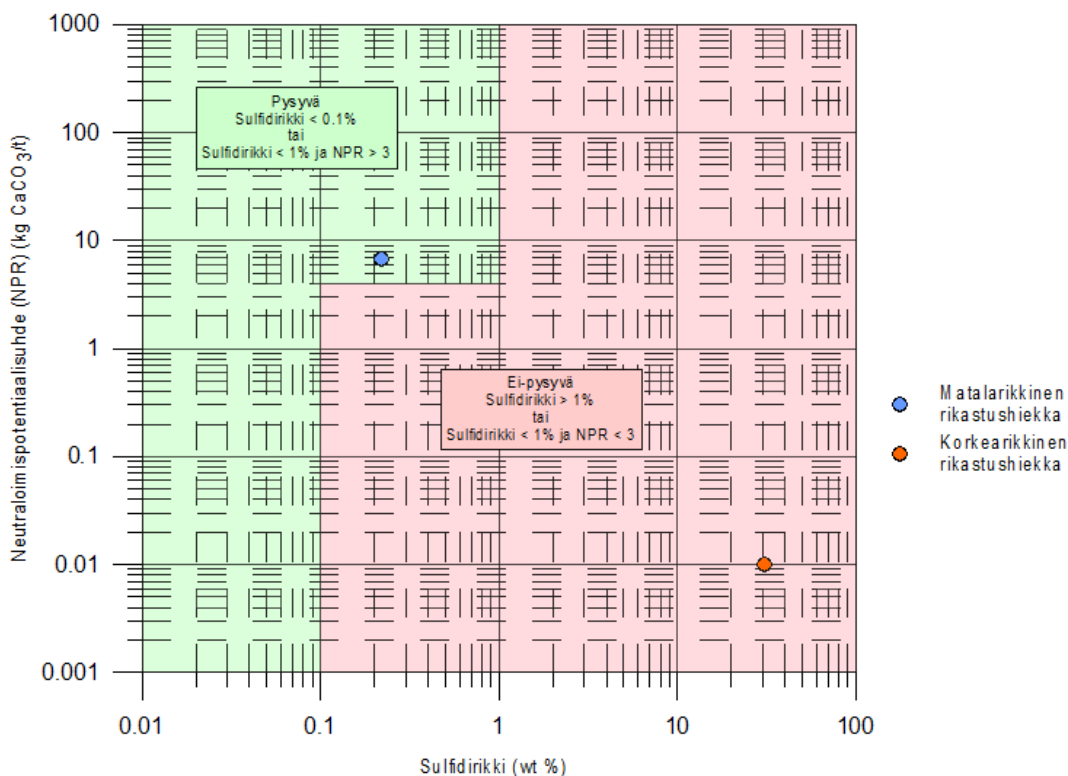
Parametri	Yksikkö	Matalarikkinen rikastushiekka (LST)	Korkearikkinen rikastushiekka (HST)
Kokonaisrikki	%	0,32	32,1
Sulfidirikki	%	0,22	30,4
Kokonaishiili	%	0,40	<0,01
Orgaaninen hiili	%	0,11	0,02
Epäorgaaninen hiili	%	0,29	<0,01
AP	kg CaCO ₃ /t	6,90	950
NP (titraamalla määritetty)	kg CaCO ₃ /t	46	12
NP (laskettuna epäorg. hiilestä)	kg CaCO ₃ /t	24,20	0,83
NPR	-	6,65	0,01
Hapontuottopotentiaali	-	NAF	PAF
VNA 190/2013:n mukainen luokittelu	-	Pysyvä	Ei-pysyvä

	VNA 190/2013:n mukaisesti pysyvä ja ei-happoa tuottava kaivannaisjäte
	VNA 190/2013:n mukaisesti ei-pysyvä ja mahdollisesti happoa tuottava kaivannaisjäte
<0,01	Pitoisuus alle määrittämissä rajoissa

AP = hapontuottopotentiaali, NP = neutralointikapasiteetti, NPR = hapontuottokyvyn ja neutralointipotentiaalin suhde (NP/AP)



Kuva 7-3. Hapontuottopotentiaalin ja neutralointikapasiteetin suhde. Rikastushiekat, prosessivaihtoehto 1.



Kuva 7-4. Sulfidirikin pitoisuuden ja NPR:n suhde verrattuna kaivannaisjätteen luokittelukriteereihin (VNA 190/2013). Rikastushiekat, prosessivaihtoehto 1.

NAG-tulokset

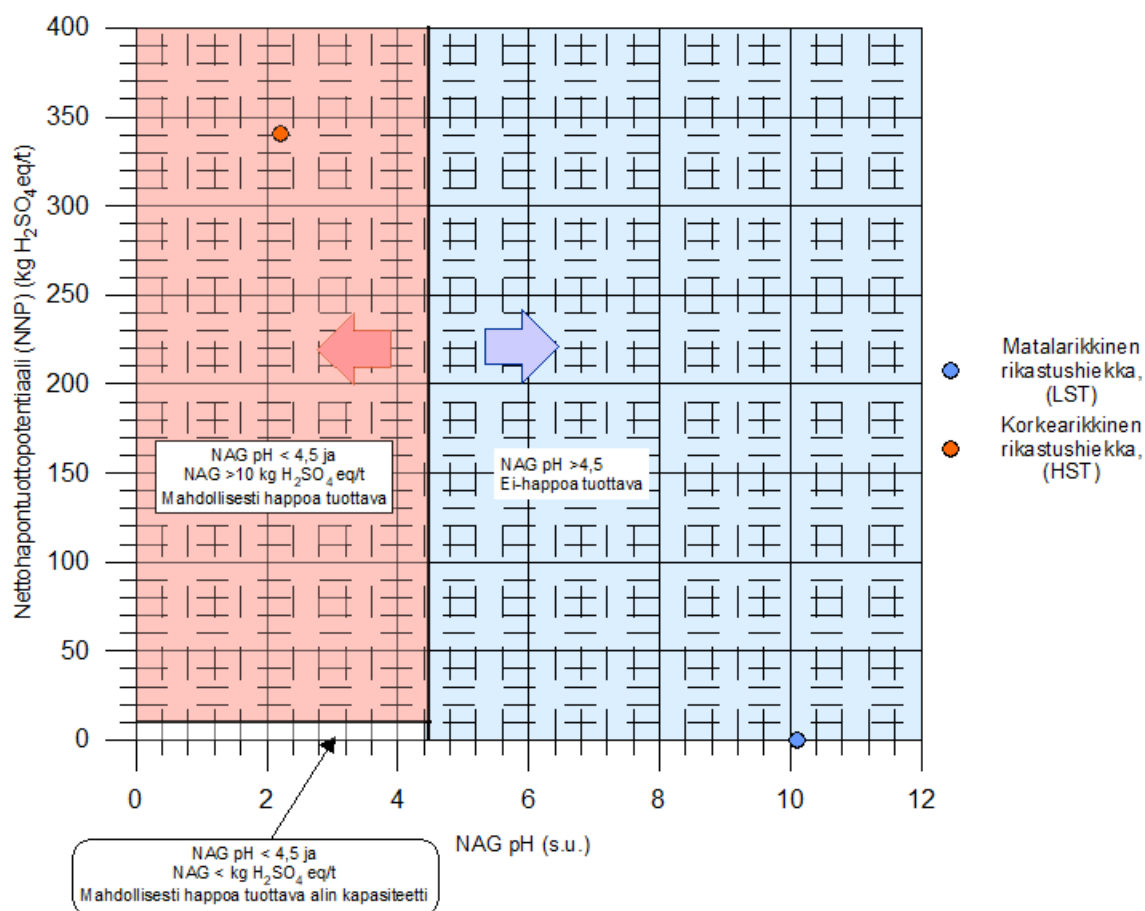
Staattinen NAG-testaus tehtiin rikastushiekan pitkän aikavälin nettohapontuottokyvyn arvioimiseksi ja ABA-testin tulosten varmistamiseksi. NAG-arvo kuvaa hapon nettomuodostumista yksikössä kg H₂SO₄ eq/t. Matala- ja korkearikkiselle rikastushiekalle toteutettujen NAG-testin tulokset on esitetty taulukossa 7-4 ja kuvassa 7-5. Yleisesti kuvattuna, jos NAG-pH on alle 4,5 ja laskennallinen kokonais-NAG-arvo on yli 1 kg H₂SO₄ eq/t, ne viittaavat aineksen mahdollisesti happoa tuottaviin ominaisuuksiin.

Rikastushiekkojen NAG-testin tulokset tukevat ABA-testin tuloksia. Korkearikkisen rikastushiekka luokitellaan happoa tuottavaksi NAG-pH:n ollessa 2,2 ja kokonais-NAG-arvon ollessa 341 kg H₂SO₄ eq/t. Matalarikkisen rikastushiekan NAG-pH oli 10,1 ja kokonais-NAG-arvo alle määrittäysrajan, joten aines on ei-happoa tuottavaa.

Taulukko 7-4. NAG-testin tulokset. Rikastushiekat, prosessivaihtoehto 1.

Parametri	Yksikkö	Matalarikkinen rikastushiekka (LST)	Korkearikkinen rikastushiekka (HST)
NAG-pH		10,1	2,2
NAG-arvo (pH 4,5)	kg H ₂ SO ₄ eq/t	<0,01	119
NAG-arvo (pH 7,0)	kg H ₂ SO ₄ eq/t	<0,01	222
Kokonais-NAG-arvo	kg H ₂ SO ₄ eq/t	<0,02	341
Luokittelu		NAF	PAF

	Ei-happoa tuottava (NAF)
	Mahdollisesti happoa tuottava (PAF)



Kuva 7-5. NAG-pH ja nettohapontuottopotentiaali (NAG-arvo). Rikastushiekat, prosessivaihtoehto 1.

NAG-uutteen pitoisuudet

NAG-uutteesta analysoitiin liuenneet metallit. Loppuliuos edustaa vain laboratoriokeessa esiintyvää tilannetta, jossa kaikki hapettuvissa olevat sulfidit on hapetettu nopeasti. Todellisella rikastushiekka-alueella vastaava hapettuminen tapahtuu kymmenien tai satojen vuosien kuluessa. Tuloksia ei siis voi suoraan muuntaa rikastushiekan läjitysalueella muodostuvien suotovesien laaduksi, vaan NAG-testin loppuliuksen avulla yleensä määritellään se prosenttiosuus aineesta, joka on hapettumisreaktioiden kautta vapautuvissa suoraan tai välillisesti. Tulosten yhteenveto on esitetty taulukossa 7-5.

**Taulukko 7-5. NAG-testissä vapautunut ainemäärä näytekiloa kohden.
Rikastushiekat, prosessivaihtoehto 1.**

Parametri		Yksikkö	Matalarikkinen rikastushiekka (LST)	Korkearikkinen rikastushiekka (HST)
pH			8,77	1,91
Hopea	Ag	mg/kg	0,002	<0,01
Alumiini	Al	mg/kg	10	73
Arseeni	As	mg/kg	0,1	<0,1
Barium	Ba	mg/kg	4	4
Belluryium	Be	mg/kg	<0,01	<0,01
Vismutti	Bi	mg/kg	<0,01	<0,01
Kalsium	Ca	mg/kg	521	657
Kadmium	Cd	mg/kg	<0,001	0,2
Koboltti	Co	mg/kg	<0,01	77,6
Kromi	Cr	mg/kg	12,3	2,4
Kupari	Cu	mg/kg	0,4	553
Rauta	Fe	mg/kg	5,6	104000
Elohopea	Hg	mg/kg	<0,001	<0,001
Kalium	K	mg/kg	670	34
Litium	Li	mg/kg	0,3	<0,5
Magne- sium	Mg	mg/kg	38	5890
Mangaani	Mn	mg/kg	0,1	55
Molyb- deeni	Mo	mg/kg	0,2	<0,03
Natrium	Na	mg/kg	3710	3060
Nikkeli	Ni	mg/kg	0,2	3480
Lyijy	Pb	mg/kg	0,02	7,2

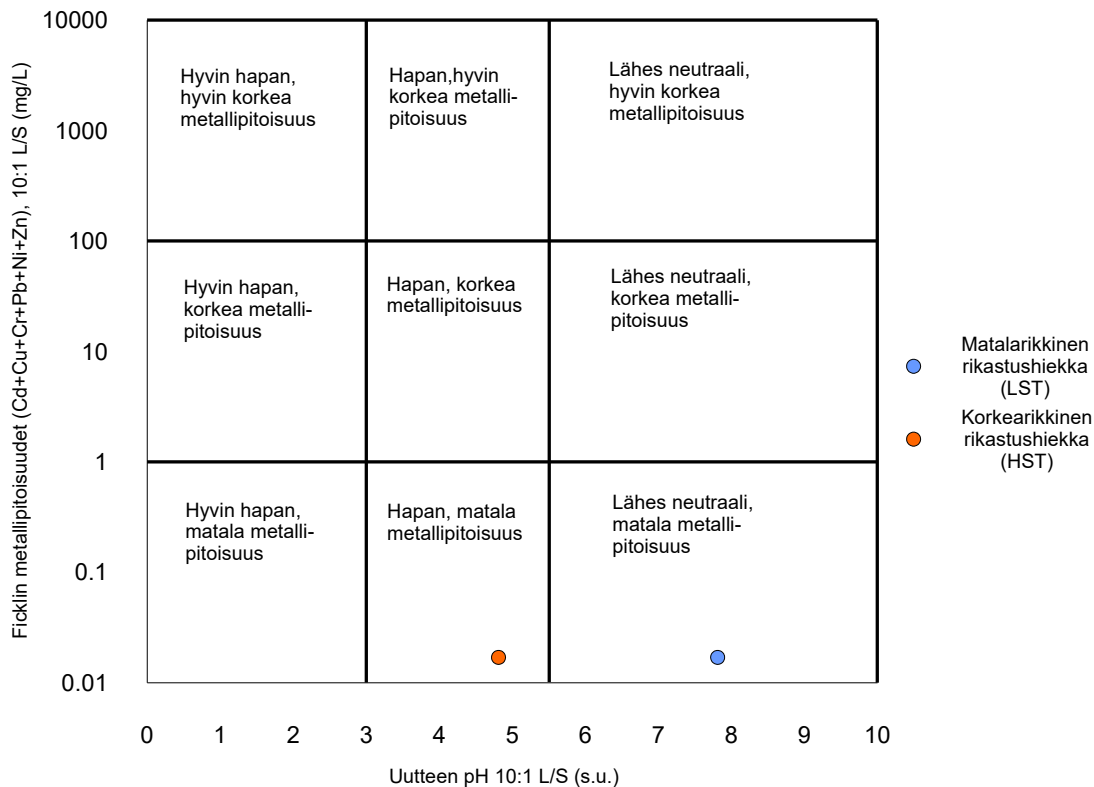
Ravistelutesti

Yksivaiheisen ravistelutestin (standardi EN 12457-4) tarkoituksena oli selvittää metallien liukoisuutta lyhyellä aikavälillä. Ravistelutestin metallipitoisuudet L/S 10-suhteessa on esitetty taulukossa 7-6. Tulosten tulkinnassa on huomioitava, että ravistelutestillä ei ole virallista asemaa kaivannaisjätteiden luokittelussa ja että esitetyt raja-arvovertailut ovat vain viitteellisiä. Ravistelutestin avulla ei voi myöskään kuvata kaivannaisjätteen pitkäaikaikäkäyttymistä, sillä tulokset kuvaavat vain tuoretta kaivannaisjätettä eikä ravistelutestin kiintoaine-vesikon-taktisuhde (L/S 10) vastaa luonnonolosuhteita. Tulokset eivät siis kuvaa esi-merkiksi suotoveden laatua lyhyellä tai pitkällä aikavälillä.

Yksivaiheisen ravistelutestin pH:n sekä kuparin, kadmiumin, koboltin, nikkelin, lyijyn ja sinkin summapitoisuus on esitetty Ficklin-kuvaajassa (Kuva 7-6).

Taulukko 7-6. Yksivaiheisen ravistelutestin EN 12457-4 tulokset. Uuttosuhde L/S 10. Rikastushiekat, prosessivaihtoehto 1.

Parametri		Yksikkö	Matalarikkinen rikastushiekka (LST)	Korkearikkinen rikastushiekka (HST)
pH			7,81	4,81
Hopea	Ag	mg/l	<0,001	<0,001
Alumiini	Al	mg/l	0,014	0,015
Arseeni	As	mg/l	<0,001	<0,001
Boori	B	mg/l	0,013	0,012
Barium	Ba	mg/l	0,071	0,076
Bellyrium	Be	mg/l	<0,0002	<0,0002
Vismutti	Bi	mg/l	<0,001	<0,001
Kalsium	Ca	mg/l	21,8	22
Kadmium	Cd	mg/l	<0,0005	<0,0005
Koboltti	Co	mg/l	<0,0005	<0,0005
Kromi	Cr	mg/l	0,007	0,007
Kupari	Cu	mg/l	<0,001	<0,001
Rauta	Fe	mg/l	0,01	0,011
Elohopea	Hg	mg/l	<0,00001	<0,00001
Kalium	K	mg/l	7,21	7,18
Litium	Li	mg/l	0,002	0,002
Magneesium	Mg	mg/l	13	12,4
Mangaani	Mn	mg/l	0,008	0,008
Molybdeeni	Mo	mg/l	0,001	0,001
Natrium	Na	mg/l	13,7	13,9
Nikkeli	Ni	mg/l	0,004	0,004
Fosfori	P	mg/l	<0,05	<0,05
Lyijy	Pb	mg/l	<0,001	<0,001
Antimoni	Sb	mg/l	<0,001	<0,001
Seleen	Se	mg/l	0,001	0,001
Tina	Sn	mg/l	<0,001	<0,001
Strontium	Sr	mg/l	0,095	0,093
Titaani	Ti	mg/l	<0,005	<0,005
Tallium	Tl	mg/l	<0,005	<0,005
Vanadiini	V	mg/l	<0,005	<0,005
Sinkki	Zn	mg/l	0,006	0,006
<0,001		Alle määrittämissuorituksen		



Kuva 7-6. Yksivaiheisen ravistelutestin pH ja metallipitoisuudet esitetynä Ficklin-diagrammissa. Rikastushiekat, prosessivaihtoehto 1.

7.2.5 Prosessivesi prosessivaihtoehdossa 1

Prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekanäytteen päältä dekantoiitiin laboratoriossa vesinäytteet eli otettiin dekanttivesinäytteet (luku 4.11). Dekanttivesi on analysoitu ALS Hawarden laboratoriossa Iso-Britanniassa. Rikastuskokeen vesikierto ei täysin vastannut todellisen prosessin vesikiertoa, joten tulos on vain suuntaa antava.

Matalarikkisen rikastushiekan dekanttiveden pH oli lievästi emäksinen, 8,1. Sulfaattia dekanttivedessä oli 1 971 mg/l, kobolttia 0,005 mg/l, kuparia 0,002 mg/l, nikkeliä 0,18 mg/l ja sinkkiä 0,017 mg/l. Muun muassa kromin, uraanin ja vanadiinin pitoisuudet jäivät alle määritysrajan. Fosforia dekanttivedessä oli 0,44 mg/l. Tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että tulokset eivät sellaisenaan edusta minkään kaivannaisjätealueen veden laatua, sillä prosessivesi on vain yksi jätealueiden vesien laatuun vaikuttavista tekijöistä. Rikastuskokeen vesikierto ei ollut täydellinen. Näytettä oli säilytetty useita kuukausia ennen dekanttiveden analyysiä. Korkearikkisen rikastushiekan dekanttivettä ei ole tutkittu.

7.2.6 Prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekkojen pitkäaikaiskäyttäytyminen

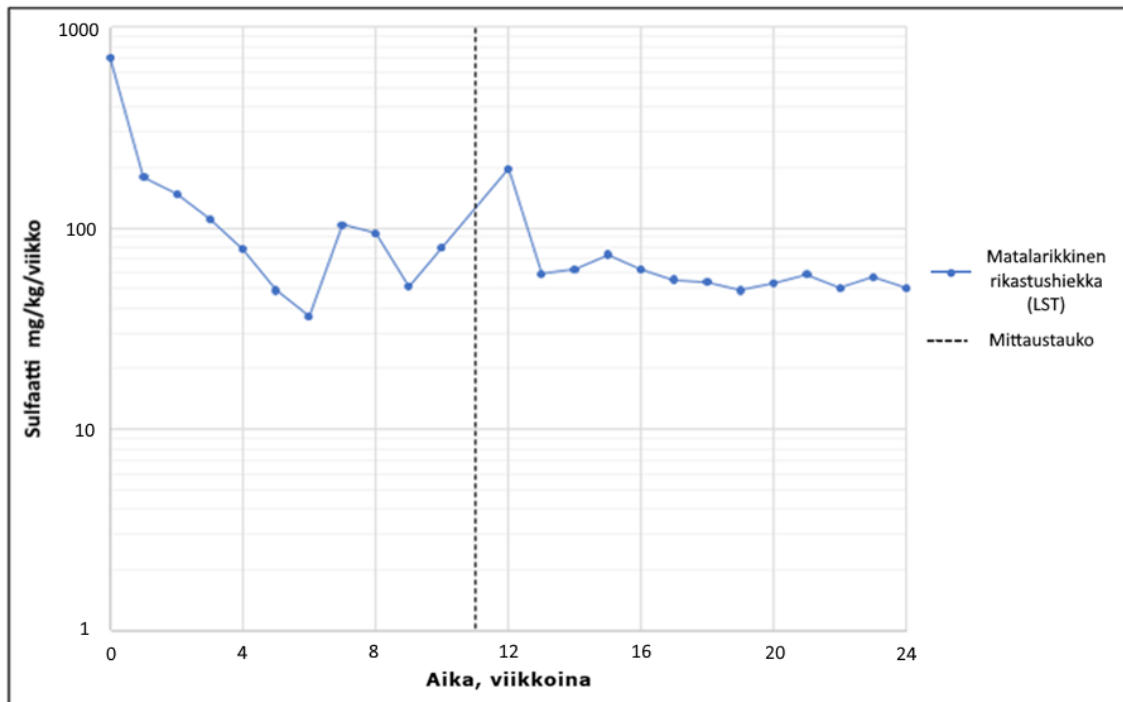
Prosessivaihtoehdon 1 matalarikkisen rikastushiekan pitkäaikaiskäyttäytymistä arvioitiin 24 viikkoa kestäneellä kosteuskammiokokeella. Kosteuskammiokokeella saadaan yleispiirteistä tietoa rikastushiekan käyttäytymisestä ja tuloksia voidaan hyödyntää suotovesilaadun mallintamisessa. Suoraan tulokset eivät kuitenkaan kuvaa suotovedenlaatua, sillä lämpötila tai veden ja kiintoaineen kontaktisuhde eivät vastaa toisiaan todellisella rikastushiekan läjitysalueella ja laboratoriossa. Tästä syystä tulokset esitetäänkin aineen vapautumisosuuksina yksikössä mg/kg.

Kosteuskammiokokeen alussa näytteestä huuhtoutuu prosessivesijäämiä ja valmiiksi liukoissa muodossa olevia aineita tai hiekan pinnalle löyhästi sitoutuneita aineita. Kokeen edetessä voidaan näytteestä huuhtoutuvassa vedessä todeta myös rikastushiekan hapettumisessa vapautuvia ja edelleen reaktiotuotteina muodostuvia aineita.

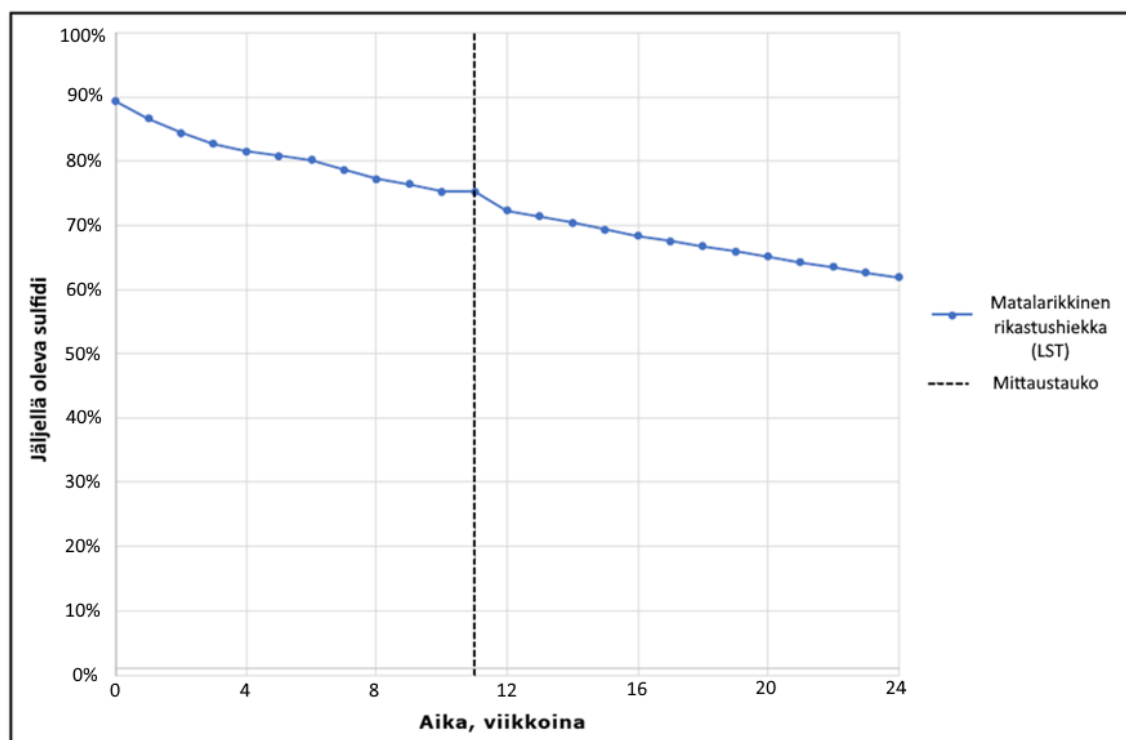
Kosteuskammiokokeessa pH pysyi neutraalilla ja lievästi emäksisellä alueella koko kokeen ajan (pH 7,2 - 8,4). Vastaavasti sulfaatin muodostus (Kuva 7-7) oli vähäistä ja melko tasaista, pois lukien kokeen ensimmäiset huuhtelukerrat. Hapontuottokyky kului kokeessa nopeampaa tahtia kuin neutralointikapasiteetti (kuvat 7-8 ja 7-9).

Ensimmäisen viikon huuhtouman sähkönjohtavuus oli 260 mS/m ja sen jälkeen sähkönjohtavuus oli kaikilla mittauskerroilla alle 50 mS/m. Nikkeliä vapautui rikastushiekasta ensimmäisten viikkojen aikana enemmän, mutta vapautumisnopeus tasaantui myöhemmin (Kuva 7-10). Myös koboltin, kuparin ja arseenin liukeneminen oli testausjaksolla suhteellisen tasaista (Kuva 7-11, Kuva 7-12 ja Kuva 7-13).

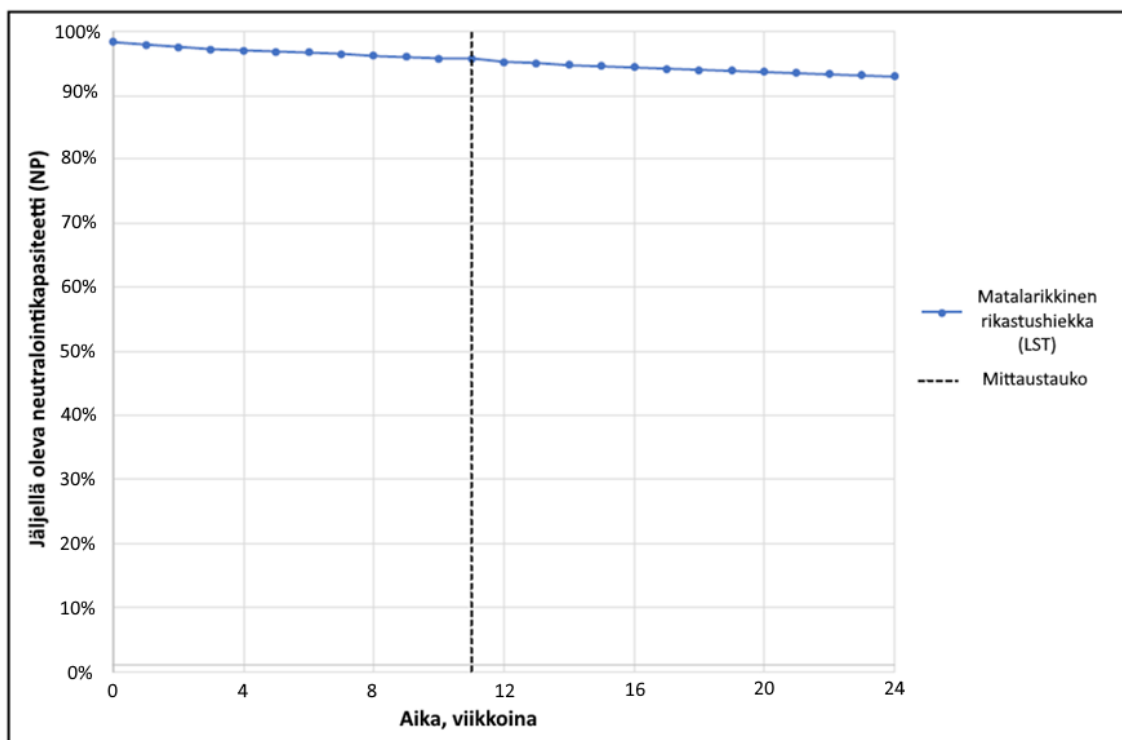
Prosessivaihtoehdon 1 korkearikkisen rikastushiekan pitkäaikaiskäyttäytymistä ei ole erikseen tutkittu. Sakatin kaivoshankkeessa korkearikkisen rikastushiekka tullaan hyödyntämään kokonaisuudessaan kaivostäyttöön valmistettavan pastan raaka-aineena. Tästä johtuen korkearikkistä rikastushiekkaa on tutkittu osana pastatäyttöä. Pastatäytön pitkäaikaiskäyttäytymistä tutkittiin monoliitin uuttokokeella, jonka tutkimustuloksia on kuvattu luvussa 7.2.7.



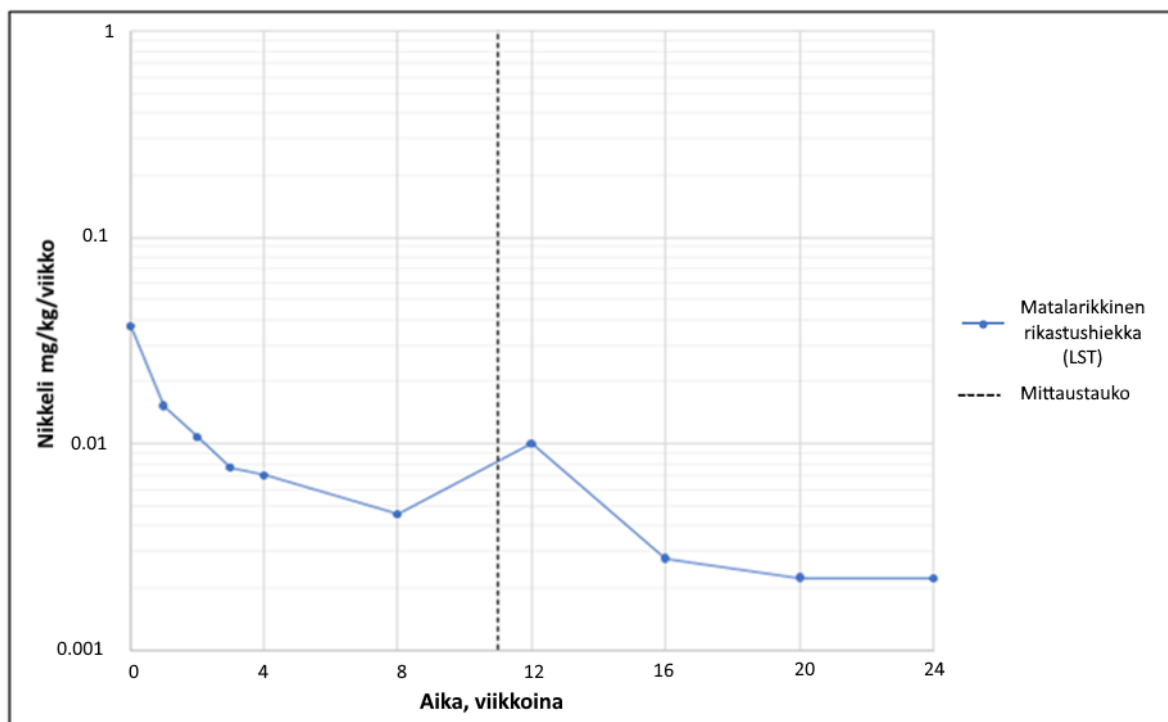
Kuva 7-7. Sulfaatin vapautuminen kosteuskammiokokeessa, matalarikkinen rikastushiekka, prosessivaihtoehto 1.



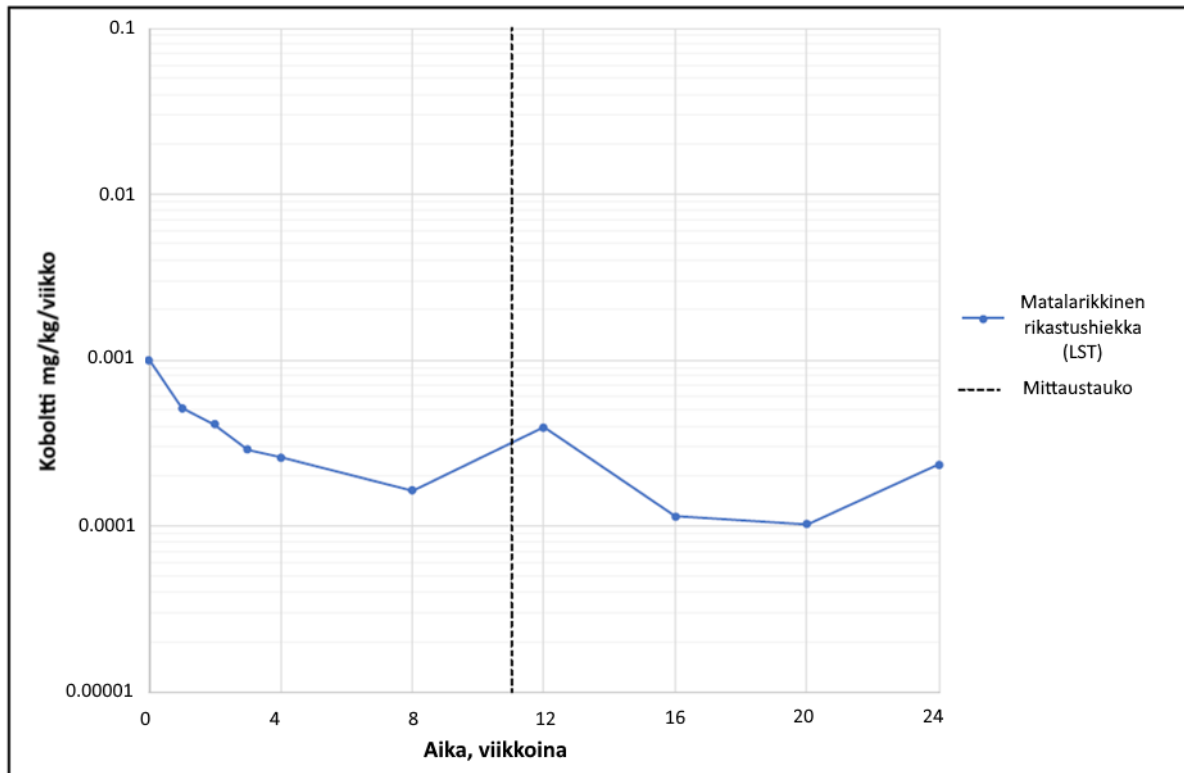
Kuva 7-8. Jäljellä oleva sulfidi prosentteina alkuperäisestä, matalarikkinen rikastushiekka, prosessivaihtoehto 1.



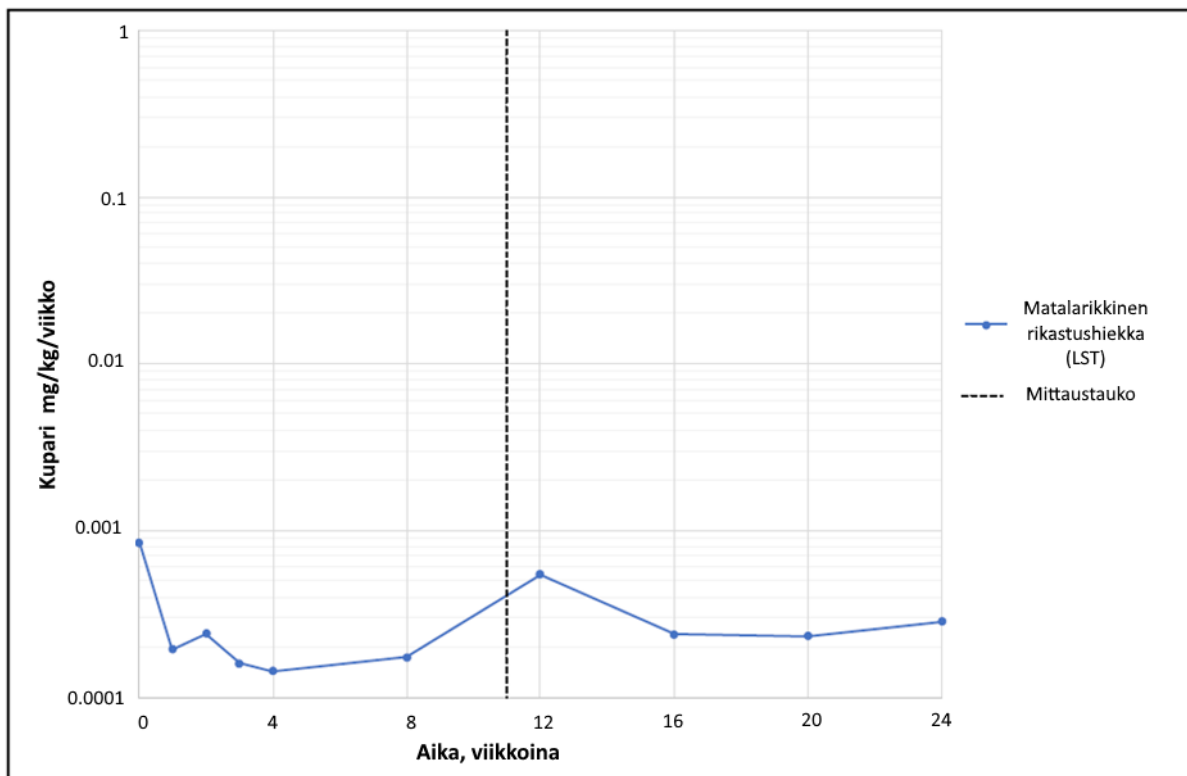
Kuva 7-9. Jäljellä oleva neutralointikapasiteetti prosentteina alkuperäisestä, matarikkinen rikastushiekka, prosessivaihtoehto 1.



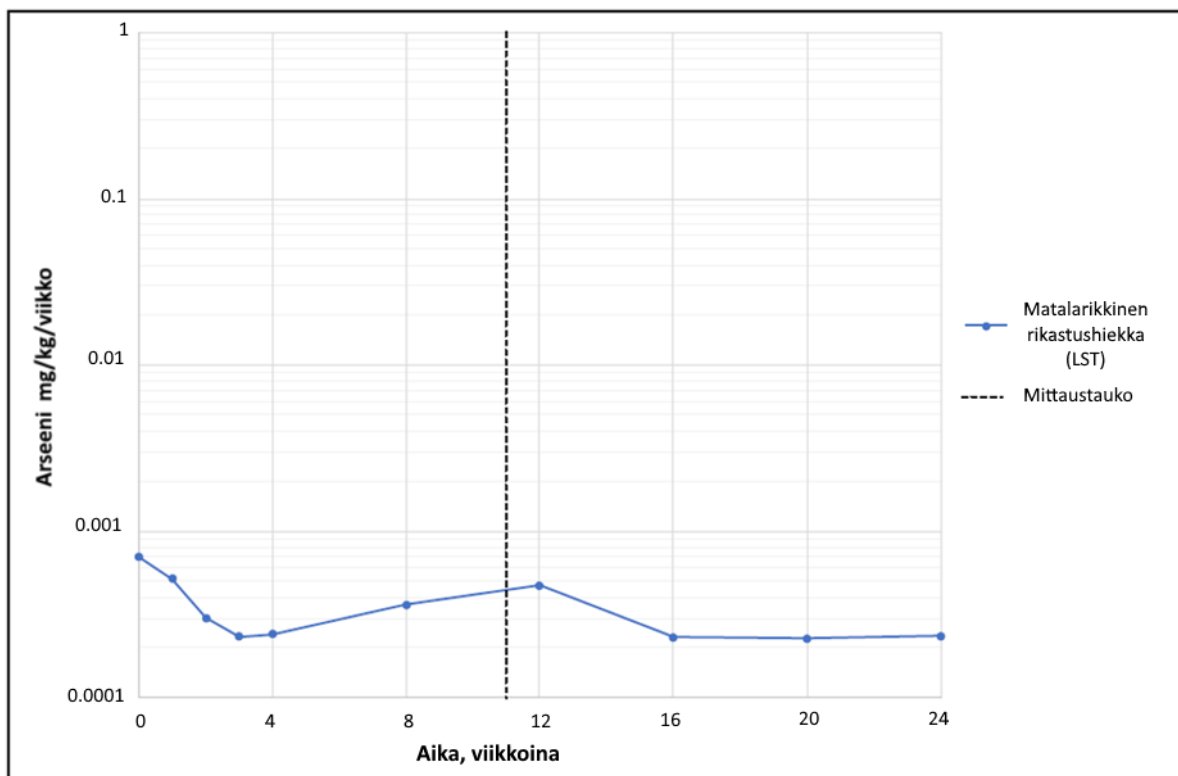
Kuva 7-10. Nikkelin vapautuminen kosteuskammiokokeessa, matarikkinen rikastushiekka, prosessivaihtoehto 1.



Kuva 7-11. Koboltin vapautuminen kosteuskammiokokeessa, matalarikkinen rikastushiekka, prosessivaihtoehto 1.



Kuva 7-12. Kuparin vapautuminen kosteuskammiokokeessa, matalarikkinen rikastushiekka, prosessivaihtoehto 1.



Kuva 7-13. Arseenin vapautuminen kosteuskammiokokeessa, matalarikkinen rikastushiekka, prosessivaihtoehto 1.

7.2.7 Prosessivaihtoehdon 1 monoliitin uuttokoe

Monoliitin uuttokokeella tutkittiin kaivostäyttöön valmistettavan pastan käyttäytymistä vesikontaktissa ajan funktiona. Geokemiallista testausta varten valmistettiin rikastushiekasta ja sideaineesta yksi pastatäyttöä edustava sylinterimäinen näytekappale eli monoliitti. Monoliitti käsitti sekä matalarikkistä (90,4 %) että korkearikkistä rikastushiekkaa (9,3 %) ja sideaineena käytettiin sementin ja kuonan seosta suhteessa 50:50. Monoliittin annettiin kovettua 28 vuorokautta. Monoliitille tehtiin uuttokoe, jossa lopullinen uuttosuhte (L/S) oli 5. Kokeen kesto oli 64 vuorokautta.

Monoliitin uuttokokeen tulokset on esitetty taulukossa 7-7 sekä kuvissa 7-14 - 7-18. Uutteen pH oli kaikissa vaiheissa emäksinen. Rikkipitoisuutena esitetty sulfaattipitoisuus kasvoi kokeen loppua kohden, samoin kuin todennäköisesti sulfidisia esiintyvien nikkelin ja kuparin pitoisuudet. Arseenin mobilisoituminen oli vaihtelevaa, ja maksimit havaittiin tutkimusvaiheissa 3 (ajankohta 54 h) ja 7 (ajankohta 36 päivää). Metallien pitoisuudet olivat kaikissa vaiheissa alhaisia. Monoliitin uuttokokeen tulokset kuvaavat tutkittujen metallien liukenemispotentiaalia. Monoliitin uuttokokeesta saatava tulos ei edusta suoraan mitään todellisuudessa muodostuvaa vesilaatua, sillä laboratorioon verrattuna todellisuudessa pastatäytön pinta ja vesi kohtaavat erilaisessa määräsuhteessa ja eri lämpötilassa. Tulokset voidaan skaalata todellisiin olosuhteisiin, jolloin kuvataan

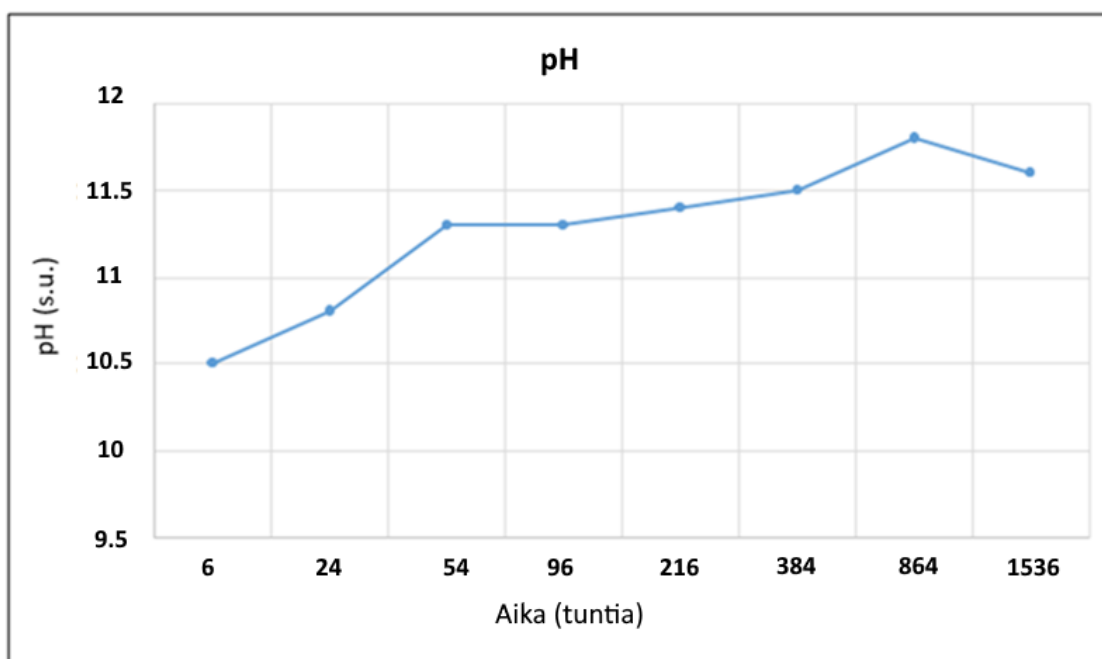
metallien liukenemista louhostäytössä käytettävästä pastasta. Monoliitti edustaa täten louhostäytöissä käytettävää pastaa ja sen vaikutus maanalaisen kaivoksen kuivanapitovesien laatuun käsitellään osana maanalaisen kaivoksen veden laadun arviointia luvussa 14.2.

Taulukko 7-7. Monoliitin uuttokokeen uutteen pitoisuudet eri uuttovaiheissa, prosessivaihtoehto 1 (SRK Consulting Ltd. 2018a). Huom. monoliitin uuttokokeen tulos ei ole sama asia kuin maanalaisen kaivoksen kuivanapitoveden laatu.

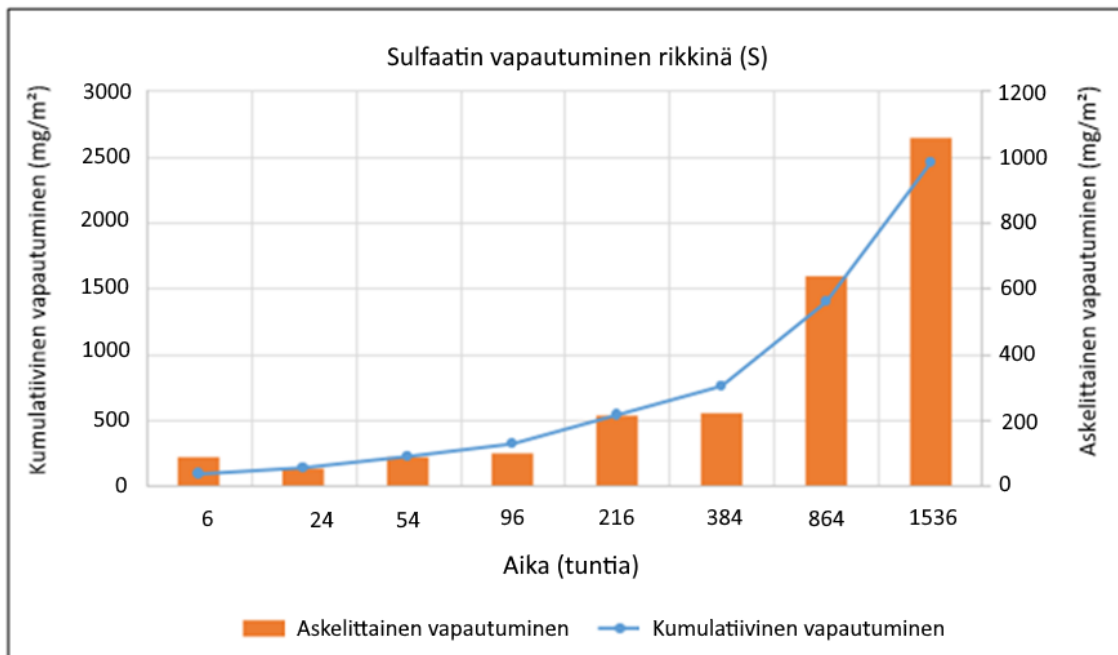
Parametri		Uutteen konsentraatio								
		Vaihe 1	Vaihe 2	Vaihe 3	Vaihe 4	Vaihe 5	Vaihe 6	Vaihe 7	Vaihe 8	M.R. *
	Päiviä Yksikkö	0,25 6 h	1 24 h	2,25 54 h	4 96 h	9 216 h	16 384 h	36 864 h	64 1536 h	
Sähkönjoht.	µS/cm	114	154	330	292	501	477	619	629	0,005
pH		10,5	10,8	11,3	11,3	11,4	11,5	11,8	11,6	1
Alkaliteetti	mg/m ² CaCO ₃	3080	4800	7200	6400	10400	10400	15600	14800	2
Alumiini	mg/m ²	33	34	53	46	78	72	110	100	0,002
Antimoni	mg/m ²	0,027	0,015	0,019	0,016	0,029	0,024	0,014	0,024	0,0001
Arseeni	mg/m ²	0,09	0,063	0,19	0,058	0,072	0,067	0,25	0,02	0,0005
Barium	mg/m ²	0,39	1,3	3,4	3,8	6,5	6,6	10	9,4	0,0002
Beryllium	mg/m ²	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001
Vismutti	mg/m ²	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001
Boori	mg/m ²	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,46	0,9	0,005
Kadmium	mg/m ²	<0,00008	<0,00008	<0,00008	<0,00008	<0,00008	<0,00008	<0,00008	<0,00008	0,00008
Kalsium	mg/m ²	390	950	2000	2100	3600	3700	5800	6000	0,012
Kloridi	mg/m ²	57	57	92	94	160	150	290	260	0,08
Kromi	mg/m ²	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001
Koboltti	mg/m ²	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	0,00015
Kupari	mg/m ²	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	0,0003
Fluoridi	mg/m ²	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	12	15	0,1
Rauta	mg/m ²	<0,019	<0,019	<0,019	<0,019	<0,019	1,5	<0,019	<0,019	0,019
Lyijy	mg/m ²	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0002
Litium	mg/m ²	0,17	0,15	0,25	0,22	0,36	0,35	0,5	0,57	0,001
Magnesium	mg/m ²	4,3	<0,036	<0,036	<0,036	<0,036	<0,036	<0,036	<0,036	0,036
Mangaani	mg/m ²	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001
Elohopea	mg/m ²	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	0,00001
Molybdeeni	mg/m ²	0,12	0,12	0,19	0,2	0,34	0,35	0,79	1,2	0,0005
Nikkeli	mg/m ²	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	0,036	0,033	0,04	0,068	0,0004
Fosfori	mg/m ²	1,2	0,87	1,2	1,4	0,86	1,3	1,4	0,86	0,01
Kalium	mg/m ²	830	570	770	650	840	670	680	540	1
Seleen	mg/m ²	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,047	0,094	0,09	0,29	0,36	0,0005

Pii	mg/m ²	72	77	140	120	190	160	170	160	0,05
Hopea	mg/m ²	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	-	<0,0005	0,0005
Natrium	mg/m ²	550	360	510	410	550	460	540	370	0,076
Strontium	mg/m ²	2,6	6,2	11	11	18	18	29	30	0,0004
Sulfaatti-riikki (S)	mg/m ²	86	52	86	99	210	220	640	1100	0,04
Tallium	mg/m ²	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002
Kokonais typpi (	mg/m ²	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1
Volframi	mg/m ²	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,13	0,13	0,28	0,37	0,001
Uraani	mg/m ²	<0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0005
Vanadiini	mg/m ²	0,4	0,24	0,29	0,26	0,48	0,45	0,72	0,75	0,001
Sinkki	mg/m ²	<0,001	<0,001	0,11	<0,001	<0,001	<0,001	0,085	<0,001	0,001

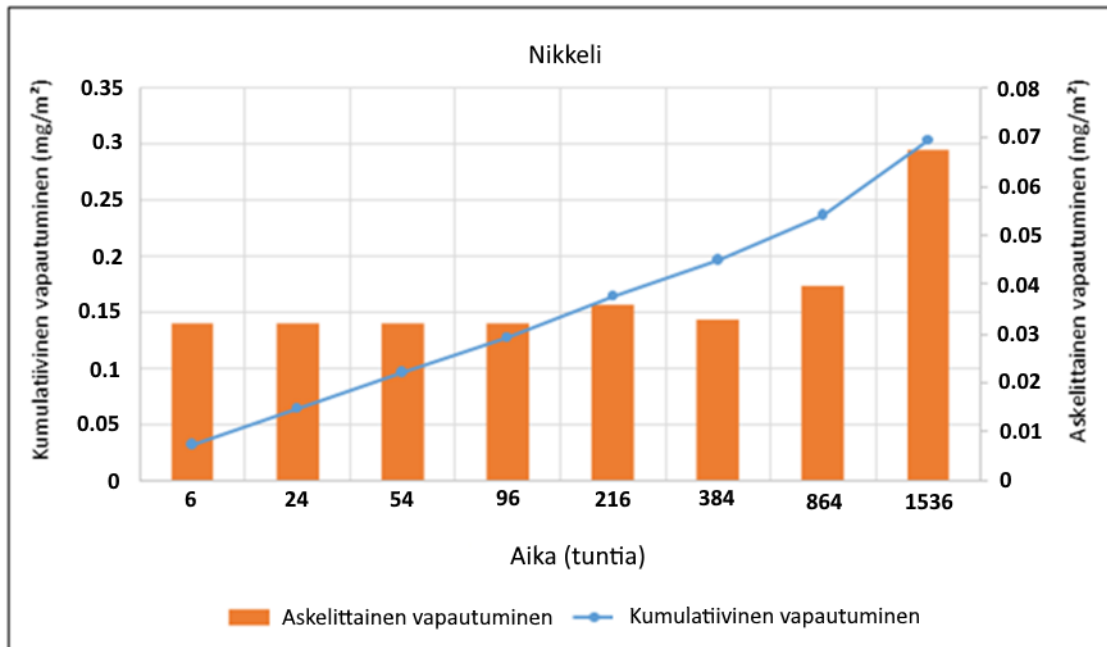
* M.R. = määrittäysraja



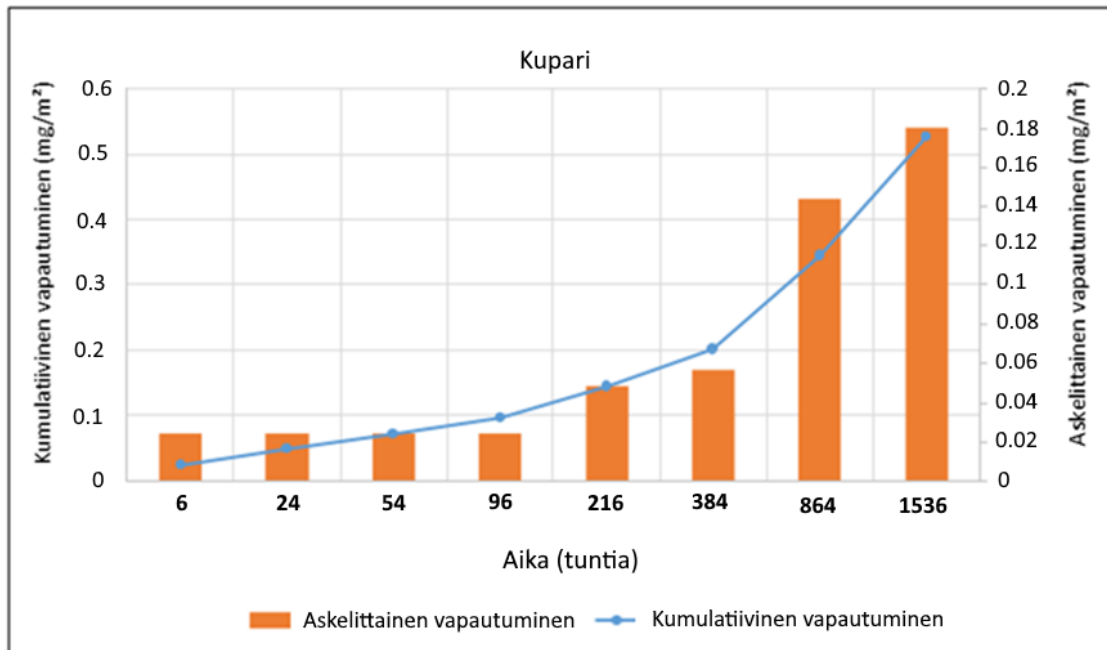
Kuva 7-14. Monoliitin uuttokokeen pH eri vaiheissa (SRK Consulting Ltd. 2018a). Prosessivaihtoehto 1.



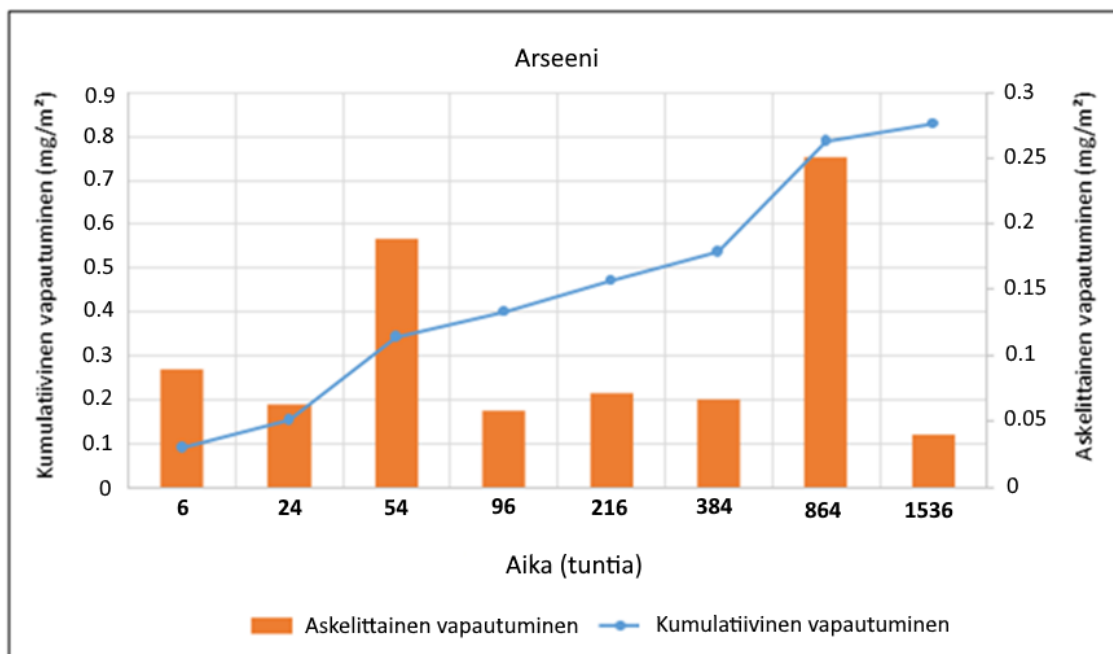
Kuva 7-15. Sulfaatin vapautuminen rikkinä monoliitin uuttokokeen eri vaiheissa ja kumulatiivinen vapautuminen (SRK Consulting Ltd. 2018a). Prosessivaihtoehto 1.



Kuva 7-16. Nikkelin vapautuminen monoliitin uuttokokeen eri vaiheissa ja kumulatiivinen vapautuminen, prosessivaihtoehto 1 (SRK Consulting Ltd. 2018a). Pitoisuuden ollessa alle määrittäysrajan on pitoisuutena käytetty määrittäysrajaa.



Kuva 7-17. Kuparin vapautuminen monoliitin uuttokokeen eri vaiheissa ja kumulatiivinen vapautuminen, prosessivaihtoehto 1 (SRK Consulting Ltd. 2018a). Pitoisuuden ollessa alle määrittäysrajan on pitoisuutena käytetty määrittäysrajaa.



Kuva 7-18. Arseenin vapautuminen monoliitin uuttokokeen eri vaiheissa ja kumulatiivinen vapautuminen, prosessivaihtoehto 1 (SRK Consulting Ltd. 2018a). Pitoisuuden ollessa alle määrittäysrajan on pitoisuutena käytetty määrittäysrajaa.

7.3 Rikastushiekkojen karakterisointi, prosessivaihtoehto 2

Prosessivaihtoehtoon 2 rikastushiekkojen karakterisoinnin kuvaus perustuu Geochemic Ltd:n laatimaan tutkimusraporttiin (Geochemic Ltd. 2020), ellei toisin mainita.

7.3.1 Prosessivaihtoehto 2, rikastushiekkojen näytteenotto ja edustavuus

Prosessivaihtoehtoon 2 rikastushiekkänäytteet perustuvat GTK Mintecillä vuonna 2019 tehtyihin suljetun kierron rikastuskokeisiin laboratoriomittakaavassa. Rikastuskoe jatkui kaikkiaan 15 kierrosta, joten koe saavutti kohtuullisen tasapainotilan vesikierron näkökulmasta. Matalarikkinen rikastushiekka (LST) edustaa prosessin lopullista rikastushiekkää. Korkearikkinen rikastushiekan (HST) näyte on yhdistelmä rikastuskokeen massavirroista nimiltään LIMS Mags2 sekä CuNiScavCon2. Rikastuskokeen syöte koottiin kairauskampanjasta kaudelta 2017-2018 (murskatut ja syväjäädetyt näytteet). Määrällisesti merkittävimpinä malmityyppeinä kokeessa olivat massiivinen malmi, juonistomalmi sekä pirotemalmi. Kaikkiaan koerikastuksen syöte koostui yhdeksän eri malmityypin seoksesta ja sisälsi myös pienen määrän sivukiveä eli raakkulaimennusta, mikä vastaa oletettua todellisen kaltaista määrää.

Malmin ollessa syvällä kallioperässä koelouhinta ei tule kysymykseen ja malmia on rajallisesti saatavilla koerikastukseen. Rikastuskokeet tästä syystä ovat pieniä ja niissä muodostuu myös vain pieniä määriä rikastushiekkää, joka pyritään hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti ja kattavasti materiaalin teknisessä testauksessa ja ympäristötestauksessa. Geokemialliseen näytteenottoon priorisoitiin suljetun kierron rikastuskokeen vaihe, joka oli mahdollisimman hyvin tasapainotilassa mm. kiertoveden ja raakaveden käytön suhteen. Näin saatiin suoritettua mahdollisimman edustava näytteenotto geokemiallista analytiikkaa varten.

Rikastushiekkojen geokemialliseen ja mineralogiseen karakterisointiin toimitettiin yksi näyte matalarikkisestä rikastushiekasta (LST) ja yksi näyte korkearikkisestä rikastushiekasta (HST). Näytteet toimitettiin analysoitavaksi suoraan prosessilaboratoriosta. Molemmat näytteet toimitettiin märkinä muoviasiioissa. Näytteiden tarkemmat tiedot on esitetty taulukossa 7-8.

Taulukko 7-8. Analyysiin toimitetut näytteet, prosessivaihtoehto 2.

Näyte-tunnus	Kuvaus	Näytetunnus	Näyteastian paino (kg)	Näytteen kokonaispaino (kg)	Pintaveden paino näytteestä (kg)	Rikastushiekan paino näytteestä (kg)
HST	Korkearikkinen rikastushiekka	GCL0121-001	0,8	8,96	2,08	6,88
LST	Matalarikkinen rikastushiekka	GCL0121-002	0,8	19,49	4,47	15,02

Malmin vaihtelun vaikutusta rikastushiekan laatuun kuvataan kappaleessa 8.2.

7.3.2 Prosessivaihtoehdon 2 rikastushiekkien mineralogia

Mineralogisen analyysin välineinä olivat sekä XRD (jauheröntgendiffraktio) että BMA (*bulk mineral analysis*, käyttäen pyyhkäiselektronimikroskooppia ja energiadispersiivistä röntgenmikroanalysaattoria, SEM-EDX). Näytteiden mineraalikoostumus on esitetty taulukossa 7-9.

Taulukko 7-9. Rikastushiekkänäytteiden röntgendiffraktiolla ja SEM-EDX-tekniikalla määritetty mineraalikoostumus. Prosessivaihtoehto 2.

		Paino- %			
		Korkearikkinen rikastushiekka		Matalarikkinen rikastushiekka	
Mineraali	SEM-EDX -luokittelu	SEM	XRD	SEM	XRD
Magneettikiisu	$\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$ ($x=0-0.17$) (XRD:n perusteella valtaosin monokliininen)	43,3	31,6	0,1	<i>n.d</i>
Rikkikiisu	FeS_2	2,1	<i>n.d</i>	0,1	<i>n.d</i>
Pentlandiitti	$(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$	0,7	<i>n.d</i>	0,1	<i>n.d</i>
Kuparikiisu	Cu FeS_2	0,1	<i>n.d</i>	0,1	<i>n.d</i>
Karbonaatit	Pääasiassa dolomittia $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, hieman kalsiittia CaCO_3	1,4	<i>n.d</i>	1,9	2,3
Rautaoksidit	Ks. huomiot alla	19,6	21,6	0,5	<i>n.d</i>
Serpentiini	Pääasiassa antigoriittia $(\text{Mg,Fe}^{**})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ vähän sepioliittia $\text{Mg}_4\text{Si}_6\text{O}_{15}(\text{OH})_2 \cdot 6(\text{H}_2\text{O})$ (SEM-EDX-arvio mahdollisesti alakantiin hienosta partikkelikoosta johtuen)	13,5	8,2	34,6	20,0
Oliiviini	$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ Pääasiassa fosteriittia	6,1	<i>n.d</i>	10,3	4,7
Ortopyrokseeni	Enstatiittia $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ ja ferrosiittia $(\text{Fe}^{**},\text{Mg})_2\text{Si}_2\text{O}_6$	4,8	<i>n.d</i>	14,8	<i>n.d</i>
Talkki	$\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ (mahdollisesti ei tunnistettu SEM-EDX:llä hienosta partikkelikoosta johtuen)	<i>n.d</i>	7,9	<i>n.d</i>	10,3
Kiillesaviryhmä	Pääasiassa kloriittia $(\text{Mg,Fe}^{**})_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ (SEM-EDX-arvio mahdollisesti alakantiin hienosta partikkelikoosta johtuen)	2,9	30,8	14	43,1
Amfiboli	Pääasiassa aktinoliittia $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe}^{**})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ vähäinen määrä ferrogediittia $\text{Fe}^{**}_5\text{Al}_2\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	3,4	<i>n.d</i>	13,5	9,5
Klinopyrokseeni	Pääasiassa diopsidia $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$, hieman hedenbergiittia $\text{CaFe}^{**}\text{Si}_2\text{O}_6$	1,4	<i>n.d</i>	7,2	<i>n.d</i>
Maasälpäryhmä	Pääasiassa anortiittia $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, hieman albiittia $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	0,3	<i>n.d</i>	2,1	8,7
Muut mineraalit	Ks. huomiot alla	0,2	<i>n.d</i>	0,2	<i>n.d</i>
Kvartsi	SiO_2	0,1	TR	0,6	1,4

Rautaoksidit koostuu pääasiassa magnetiitista (määritetty XRD:llä), kromimagnetiista, hematitiista ja götiitistä.

Kiillesaviryhmä sisältää pieniä määriä magnesiumkloriittia ja biotiittia.

Muut mineraalit sisältävät ilmeniittä, sulfaatteja, apatiittia, rutiilia ja wolfromiittia

n.d = ei tunnistettu

TR = hieman

Tulosten tulkinnassa on huomattava, että BMA:ssa määrittäminen rajoittuu yli 10 µm partikkelikokoon, kun taas XRD:llä pystytään määrittämään myös hienommat fraktiot. Tämä selittää joitakin eroja tuloksissa. Vaikka XRD:llä voidaan määrittää kokonaismineraalikoostumus partikkelikoosta riippumatta, sen puutteena on rajallinen tunnistuskapasiteetti erityisesti sellaisten mineraalien kohdalla, joilla on heikko vaste röntgensäteeseen. Tällaisia mineraaleja ovat esim. sulfidit. Mainituista virhelähteistä johtuen XRD- ja BMA (SEM-EDX)-tekniikoilla saatuja

tuloksia voidaan pitää luonteeltaan täydentävinä. Seuraavissa kappaleissa käsitellyt tulokset perustuvat suurimmalta osin viimeksi mainittuun (BMA).

Korkearikkisesta rikastushiekkänäytteestä (GCL0121-001) valtaosa on rautasulfideja, joista magneettikiisua on 43 %, rikkikiisua 2,1 %, pentlandiittia 0,7 % ja kuparikiisua 0,1 %. Matalarikkisen rikastushiekan näytteessä (GCL0121-002) sulfidien osuus on selvästi matalampi (magneettikiisua, rikkikiisua, pentlandiittia ja kuparikiisua yhteensä 0,1 %). Karbonaatteja (dolomiittia ja kalsiittia) on molemmissa näytteissä 1,4–1,9 %.

Kuten tyyppillisesti ultramafisissa malmiesiintymissä, rikastushiekkänäytteissä esiintyy useita eri silikaattimineraaleja; oliviinia, ortopyrokseenia ja klinopyrokseenia, amfiboleja, maasälpää ja kiilleryhmän mineraaleja. Näytteissä esiintyvää oliviinia voidaan pitää forsteriitinä, jossa forsteriitin ja fayaliitin suhde vaihtelee.

Lisäksi esiintyy serpentinisaaion kautta muuntuneita mineraaleja kuten antigoriitti, lizardiitti ja krysotiili, jotka kaikki ovat yhdisteen $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ polymorfisia muotoja, joiden tunnistaminen XRD:llä ei ole yksiselitteistä. On huomattava, että talkki- ja kloriittimineraaleja tunnistetaan runsaina esiintyvinä (talkki) tai huomattavan korkeina pitoisuuksina (kloriitti) vain XRD:llä. Tämä epäjohdonmukaisuus johtuu todennäköisesti SEM-tekniikan rajoittuneesta kyvystä analysoida savifraktiota ja XRD-tekniikan herkkyydestä levymäisiin suuntautuneisiin mineraleihin.

Mineralogisella analyysillä (BMA) selvitettiin myös kuparin, nikkelin ja rikin määriä rikastushiekkien mineraaleissa (Taulukko 7-10). Molemmissa rikastushiekoissa valtaosa nikkelistä on pentlandiitissa. Nikkeliä on pieninä pitoisuuksina myös magneettikiisussa, rikkikiisussa ja serpentiinissä molemmissa rikastushiekoissa. Näytteen kemiallisen koostumuksen suhteen on kuitenkin syytä nojata ensisijaisesti kemialliseen analyysiin.

Taulukko 7-10. Kuparin, nikkelin ja rikin osuudet Sakatin rikastushiekkien mineraaleissa, prosessivaihtoehto 2.

	Korkearikkinen rikastushiekka, GCL0121-001 (HST)			Matalarikkinen rikastushiekka, GCL0121-002 (LST)		
	Cu ppm	Ni ppm	S %	Cu ppm	Ni ppm	S %
Magneettikiisu	0	62,2	12,95	0	4,4	0,025
Rikkikiisu	0	29,5	0,66	0	6,6	0,026
Pentlandiitti	0	2329,6	0,22	0	367,8	0,036
Kuparikiisu	221,3	0	0,024	289,7	0	0,026
Serpentiini	0	66,2	0	0	104,2	0
Yhteensä (BMA)	221,3	2487,5	13,87	289,7	483	0,11
Yhteensä (Element assay)	786	3860	13,85	468	1310	0,24

7.3.3 Prosessivaihtoehdon 2 rikastushiekkien fysikaaliset ominaisuudet

Rikastushiekan jauhatuksessa ei ole eroja prosessivaihtoehtojen välillä. Fysikaalisia ominaisuuksia ei esitetä tässä erikseen, sillä nämä ominaisuudet ovat vastaavat kuin prosessivaihtoehto 1:n tapauksessa (kappale 7.2.3).

7.3.4 Prosessivaihtoehdon 2 rikastushiekkien geokemialliset ominaisuudet

Mineraalien ja alkuaineiden kokonaispitoisuudet; nelihappouus

Taulukossa 7-12 on esitetty rikastushiekoissa esiintyvien päämineraalien nelihappouudesta määritetyt kokonaispitoisuudet. Taulukossa 7-13 on esitetty rikastushiekkäntäytteen alkuaine- ja hivenainepitoisuudet. Tuloksia on verrattu PIMA-asetuksen kynnyksarvoihin (VNA 214/2007, liite).

Kokonaispitoisuuksia arvioitiin myös GAI-indeksin avulla, jossa verrataan tutkitavan alkuaineen pitoisuutta sen keskimääräiseen pitoisuuteen maankuoressa. GAI-arvot soveltuvat hyvin alkuaineiden suhteellisen rikastumisen määrittämiseen litologian perusteella. GAI-arvoja voidaan käyttää niiden alkuaineiden tunnistamiseen, joiden pitoisuudet ovat suuremmat kuin maankuoren keskimääräiset pitoisuudet. GAI-arvot on laskettu seuraavalla kaavalla:

$$GAI = \log_2 [C/(1.5 \cdot S)],$$

jossa C on alkuaineen kokonaispitoisuus ja S on maankuoren keskiarvopitoisuus (Mason, 1966). Aineksen GAI-arvo määräytyy välille 0–6 rikastumisasteen mukaan (Taulukko 7-11).

INAP-protokollan (2002) mukaan GAI-arvo >3 indikoi alkuaineen merkittävää rikastumista.

Taulukko 7-11. GAI-arvojen tulkinta.

GAI-arvo	Tulkinta
0	< 3 x keskimääräinen maankuoren pitoisuus
1	3–6 x keskimääräinen maankuoren pitoisuus
2	6–12 x keskimääräinen maankuoren pitoisuus
3	12–24 x keskimääräinen maankuoren pitoisuus
4	24–48 x keskimääräinen maankuoren pitoisuus
5	48–96 x keskimääräinen maankuoren pitoisuus
6	>96 x keskimääräinen maankuoren pitoisuus

Magnesiumin ja kromin rikastuminen sekä piin, alumiinin, kalsiumin, natriumin ja kaliumin vähäinen määrä on tyypillistä ultramafisille kiville. Kolboltin, kromin, kuparin, ja nikkelin pitoisuudet sekä korkearikkisessä että matalarikkisessä rikastushiekassa ylittävät PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) mukaisen, maaperän pilaantuneisuutta osoittavan kynnysarvon, johon viitataan myös kaivannaisjäteasetuksessa (190/2013), osana pysyvän jätteen määritelmää. Lisäksi korkearikkisen rikastushiekan vanadiinipitoisuuskin ylitti kynnysarvon. Kullekin alkuaineelle lasketut, maankuoren keskimääräisiin pitoisuuksiin perustuvat GAI-arvot osoittavat, että molemmissa rikastushiekoissa vismutin, nikkelin, seleenin ja telluurin pitoisuudet ovat merkittävän korkeita. GAI-arvo > 3, joka viittaa 12-kertaiseen keskimääräiseen maankuoren pitoisuuteen verrattuna. Lisäksi korkearikkisessä rikastushiekassa on merkittävän korkeat hopea-, kupari-, ja reniumpitoisuudet sekä hieman kohonneet koboltin ja germaniumin pitoisuudet (GAI-arvo 1 tai 2). Matalarikkisessä rikastushiekassa on myös hieman kohonneet hopea-, kupari-, ja germaniumpitoisuudet (GAI-arvo 1 tai 2).

Verrattaessa edellä mainittuja alkuaineiden pitoisuuksia PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) ja maankuoren keskimääräisiin pitoisuuksiin voidaan havaita joitakin eroavuuksia. Korkean pitoisuuden alkuaineille (Ag, Bi, Ge, Se ja Te) ei PIMA-asetuksessa ole määritetty raja-arvoja, mutta pitoisuuksien vertailu maankuoren keskimääräisiin pitoisuuksiin osoittaa kyseisten alkuainepitoisuuksien olevan koholla erityisesti korkearikkisessä rikastushiekassa. Verrattaessa PIMA-asetuksen (214/2007) kynnysarvoon, koboltin pitoisuus on koholla molemmissa rikastushiekoissa ja vanadiinin pitoisuus on koholla korkearikkisessä rikastushiekassa. Vertailu maankuoren keskimääräisiin pitoisuuksiin puolestaan viittaa vain vähän kohonneeseen pitoisuuteen näiden alkuaineiden osalta.

Taulukko 7-12. Nelihappouutosta määritetyt mineraalien kokonaispitoisuudet. Rikastushiekat, prosessivaihtoehto 2.

Analyysi		Vertailuarvot	Pitoisuus		GAI-arvo	
Määritettävä aine	Yksikkö	Maankuoren keskim. pitoisuus	Korkearikkinen rikastushiekka, GCL0121-001 (HST)	Matalarikkinen rikastushiekka, GCL0121-002 (LST)	Korkearikkinen rikastushiekka, GCL0121-001 (HST)	Matalarikkinen rikastushiekka, GCL0121-002 (LST)
SiO ₂	%	60,33	19,15	40,6	0	0
Al ₂ O ₃	%	15,55	1,59	4,57	0	0
Fe ₂ O ₃	%	8,05	48	7,66	1	0
CaO	%	5,11	1,7	3,86	0	0
MgO	%	3,86	14,95	30,5	1	2
Na ₂ O	%	3,18	0,17	0,52	0	0
K ₂ O	%	2,52	0,07	0,23	0	0
Cr ₂ O ₃	%	0,01	0,907	0,198	5	3
TiO ₂	%	0,94	0,19	0,33	0	0
MnO	%	0,12	0,11	0,13	0	0
P ₂ O ₅	%	0,24	<0,01	0,02	0	0
SrO	%	0,04	<0,01	<0,01	0	0
BaO	%	0,05	<0,01	<0,01	0	0
Total	%		96,66	98,83		
Hehkutus-häviö	%		9,81	10,2		
		GAI-arvo 1 tai 2, viittaa 3–12 -kertaiseen pitoisuuteen maankuoren keskimääräiseen pitoisuuteen nähden				
		GAI-arvo 3 tai enemmän viittaa hivenaineiden yli 12-kertaiseen pitoisuuteen keskimääräiseen pitoisuuteen nähden				
GAI		= Geochemical abundance index				
<Arvo		Alle määrittäysrajan				

Korkea- ja matalarikkinen rikastushiekkojen germaniumin kohonneeksi merkitty pitoisuus johtuu siitä, että sen määrittäysraja on korkeampi kuin maankuoren keskimääräinen pitoisuus ja tulos voidaan tästä syystä jättää huomioimatta. Renium on harvinainen alkuaine ja sen maankuoren keskimääräinen pitoisuus on alhainen. Reniumia ei luokitella haitalliseksi aineeksi, eikä korkearikkisessä rikastushiekassa havaittu pitoisuus (0,033 mg/kg) näin ollen aiheuta huolta ympäristöhaitasta.

Vismutti on harvinainen alkuaine ja sen keskimääräinen pitoisuus maankuorella on 0,0085 mg/kg. Sen liikkuvuus ja toksisuus vesiympäristössä on suhteellisen alhainen. Vismuttia esiintyy vähäisinä pitoisuuksina sulfidimineraaleissa, erityisesti kuparikiisussa (Brownscombe, 2016). Rikastushiekkoissa

havaittujen pitoisuuksien 0,43 ja 0,21 mg/kg ei katsota aiheuttavan merkittävää haittaa.

Hopean tiedetään olevan toksinen kaloille ja mikrobeille. Sen liikkuvuus on kuitenkin heikko erityisesti pH:ltaan neutraalissa vedessä, mutta liikkuvuus voi parantua suolaisessa vedessä ja etenkin tiosulfaatin läsnä ollessa. Hopea on kal-kofiilinen (rikkiin rikastunut) alkuaine ja todennäköisesti esiintyy vähäisinä pitoisuuksina sulfidimineraaleissa. On tärkeää, että hopean liukenemista ainek-sesta tarkkaillaan tulevilla selvityksissä.

Seleeniä esiintyy korkeina pitoisuuksina erityisesti korkearikkisessä rikastushie-kassa. Vaikka seleenille ei ole asetettu kynnysarvoa PIMA-asetuksessa, sitä esiintyy kaikkialla sulfidimineralisaatioissa korvaten rikkiä sulfideissa. Seleeniä on havaittu enenevässä määrin kaivosten purkuvesissä tietyillä alueilla, erityi-sesti Kanadassa, ja sitä voidaan suositella huomioitavaksi Sakatin suotovesien tarkkailussa. Useiden kaivoshankkeiden yhteydessä ja kansainvälisesti hyväksy-tyn käsityksen mukaan seleeni on tunnistettu yleistyneeksi ja mahdollisesti bio-kertyväksi haitta-aineeksi (Etteieb ym. 2020).

Taulukko 7-13. Rikastushiekköjen alkuainepitoisuudet nelihappouu-tosta määritettynä, prosessivaihtoehto 2.

Analyysi		Vertailuarvot		Pitoisuudet		GAI-arvo	
Määritettävä aine	Yk-sikkö	Maan-kuoren keskim. pitoi-suus	VNA 214/2007 kynnys-arvo	Korkea-rikkinen rikastus-hiekka, GCL0121-001 (HST)	Matalarikki-nen rikastus-hiekka, GCL0121-002 (LST)	Korkearikki-nen rikastus-hiekka, GCL0121-001 (HST)	Matalarikki-nen rikastus-hiekka, GCL0121-002 (LST)
Hopea	mg/kg	0,075		1,64	0,42	3	1
Arseeni	mg/kg	1,8	5	1,7	1	0	0
Barium	mg/kg	425		15,5	45,8	0	0
Vismutti	mg/kg	0,0085		0,43	0,21	5	4
Kadmium	mg/kg	0,15	1	0,14	0,12	0	0
Koboltti	mg/kg	25	20	128	59,2	1	0
Kromi	mg/kg	102	100	7030	1450	5	3
Kupari	mg/kg	60	100	786	468	3	2
Germanium	mg/kg	1,5		<5	<5	1	1
Elohopea	mg/kg	0,085	0,5	0,012	0,006	0	0
Litium	mg/kg	20		3,2	7,9	0	0
Molybdeeni	mg/kg	1,2		3,4	0,36	0	0
Nikkeli	mg/kg	84	50	3860	1310	4	3
Lyijy	mg/kg	14	60	5,3	4,8	0	0
Renium	mg/kg	0,0007		0,033	0,002	4	0
Antimoni	mg/kg	0,2	2	0,08	<0,05	0	0
Seleeni	mg/kg	0,05		62,6	1,5	9	4

Analyysi		Vertailuarvot		Pitoisuudet		GAI-arvo	
Määritettävä aine	Yksikkö	Maan- kuoren keskim. pitoi- suus	VNA 214/2007 kynnys- arvo	Korkea- rikkinen rikastus- hiekk, GCL0121-001 (HST)	Matalarikki- nen rikastus- hiekk, GCL0121-002 (LST)	Korkearikki- nen rikastus- hiekk, GCL0121-001 (HST)	Matalarikki- nen rikastus- hiekk, GCL0121-002 (LST)
Tina	mg/kg	2,3		1	2	0	0
Strontium	mg/kg	370		10,7	30	0	0
Telluuri	mg/kg	0,001		0,85	0,33	9	7
Torium	mg/kg	9,6		0,32	0,43	0	0
Tallium	mg/kg	0,85		0,05	0,06	0	0
Uraani	mg/kg	2,7		0,13	0,15	0	0
Vanadiini	mg/kg	120	100	171	37	0	0
Volframi	mg/kg	1,25		1	1	0	0
Sinkki	mg/kg	70	200	79	33	0	0
Pitoisuus yli VNA 214/2007 kynnysarvon							
GAI-arvo 1 tai 2, viittaa 3–12 -kertaiseen pitoisuuteen maankuoren keskimääräiseen pitoisuuteen nähden							
GAI-arvo 3 tai enemmän viittaa hivenaineiden yli 12-kertaiseen pitoisuuteen keskimääräiseen pitoisuuteen nähden							
GAI	Geochemical abundance index						
<Arvo	Alle määrittäysrajan						

ABA-testi ja NAG-testin tulokset

ABA-testin tulokset on koottu taulukkoon 7-14 sekä kuviin 7-19 ja 7-20. Taulukossa laskennallisille neutralointipotentiaaliarvolle (NP) ja niiden perusteella lasketuille nettoneutralointipotentiaalille (NNP) ja neutralointipotentiaalisuhteelle (NPR) on annettu etuliite C tai T riippuen siitä, onko kyseessä laskennallisesti (C) vai titraamalla (T) määritetty neutralointipotentiaali.

Tulosten tulkinnassa on huomioitava, että NNP- ja NPR-arvot on määritetty konservatiivisesti maksimihapontuottopotentiaalin (MAP) perusteella, joka on laskettu kokonaisrikkipitoisuuden perusteella (Sobek ym. 1978). Hapontuottopotentiaali perustuu oletukseen, että sulfidirikki on pääosin magneettikiisua. Korkearikkisen rikastushiekan kokonaisrikkipitoisuus on 13,85 %, josta 12,25 % (~88 %) on sulfidirikkiä. Sulfidirikki on määritetty natriumkarbonaattiutolla, joka poistaa näytteestä sulfaattirikin. Matalarikkisen rikastushiekan kokonaisrikkipitoisuus on 0,24 %, josta 0,14 % (~58 %) on sulfidirikkiä. Hiili esiintyy lähes yksinomaan epäorgaanisena (karbonaatteina) kokonaishiilipitoisuuden ollessa 0,4 % korkearikkisessä rikastushiekassa ja 0,58 % matalarikkisessä rikastushiekassa.

Taulukko 7-14. Prosessivaihtoehdon 2 rikastushiekkojen hapontuotto-ominaisuudet.

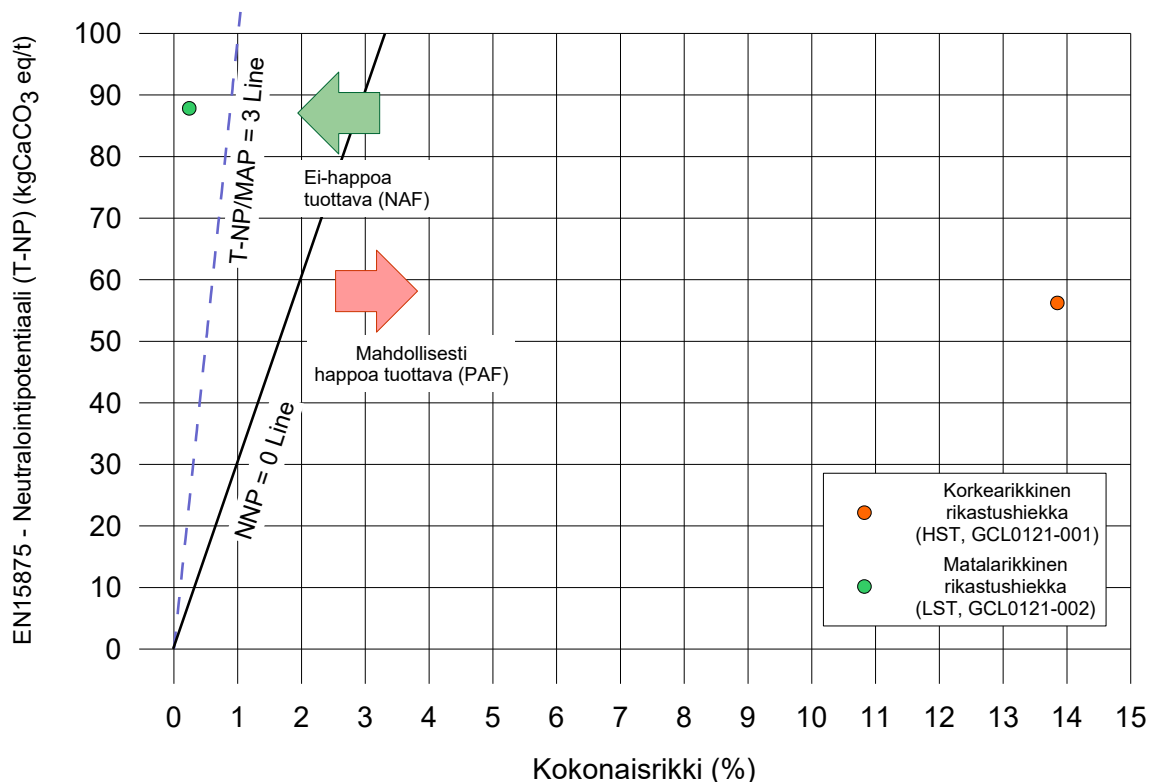
Analyytti	Menetelmä	Yksikkö	Korkearikkinen rikastushiekka, GCL0121-001 (HST)	Matalarikkinen rikastushiekka, GCL0121-002 (LST)
Hiili ja rikki				
Kokonaishiili	C-IR07	%	0,40	0,58
Kokonaisriikki	S-IR08	%	13,85	0,24
Sulfidirikki	Na ₂ CO ₃ -uutto	%	12,25	0,14
Orgaaninen hiili	25 % HCl-uutto	%	0,03	0,01
Epäorgaaninen hiili	Laskennallinen	%	0,37	0,57
Ei-HCl-liukoinen rikki	25 % HCl-uutto	%	2,66	0,04
ABA				
MAP	Kokonaisriikki	kg CaCO ₃ eq/t	432,8	7,50
C-NP	Laskennallinen	kg CaCO ₃ eq/t	30,8	47,5
T-NP	EN15875	kg CaCO ₃ eq/t	56,2	87,8
C-NPR	Laskennallinen		0,07	6,33
T-NPR	Laskennallinen		0,13	11,7
C-NNP	Laskennallinen	kg CaCO ₃ eq/t	-402,0	40,0
T-NNP	Laskennallinen	kg CaCO ₃ eq/t	-376,6	80,3
NAG				
NAG-pH		S.U	2,91	9,65
NAG-arvo (pH 4,5)		kg H ₂ SO ₄ eq/t	19,5	0,00
NAG-arvo (pH 7)		kg H ₂ SO ₄ eq/t	96,2	0,00
Kokonais-NAG-arvo		kgH ₂ SO ₄ eq/t	115,7	0,00
ABCC-NP (acid buffering characteristic curve, haponpuskurointikuvaaja)				
pH 4:ään		kg CaCO ₃ eq/t	33,00	48,00
pH 2,5:een		kgCaCO ₃ eq/t	60,60	73,23
Aineksen luokittelu hapontuottokyvyn perusteella			PAF	NAF
			Ei happoa tuottava (Non Acid Forming, NAF)	
			Mahdollisesti happoa tuottava (Potentially Acid Forming, PAF)	

Sulfidirikin osuudet eri mineraaleissa on esitetty taulukossa 7-15. Korkearikkinen rikastushiekan sulfidirikistä 92 % on magneettikiisussa ja 7 % rikkikiisussa. Matalarikkisessä rikastushiekassa sulfidirikki jakaantuu melko tasaisesti magneettikiisun, rikkikiisun, pentlandiitin ja kuparikiisun kesken.

Taulukko 7-15. Sulfidisen rikin jakautuminen eri sulfidimineraaleihin. Rikastushiekat, prosessivaihtoehto 2.

Mineraali	Korkearikkinen rikastushiekka (HST)		Matalarikkinen rikastushiekka (LST)	
	S, m-%	%	S, m-%	%
Magneetikiisu	11,26	92 %	0,03	23 %
Rikkikiisu	0,8	7 %	0,05	34 %
Pentlandiitti	0,16	1 %	0,03	21 %
Kuparikiisu	0,02	0 %	0,03	22 %
Yhteensä	12,25	100 %	0,14	100 %

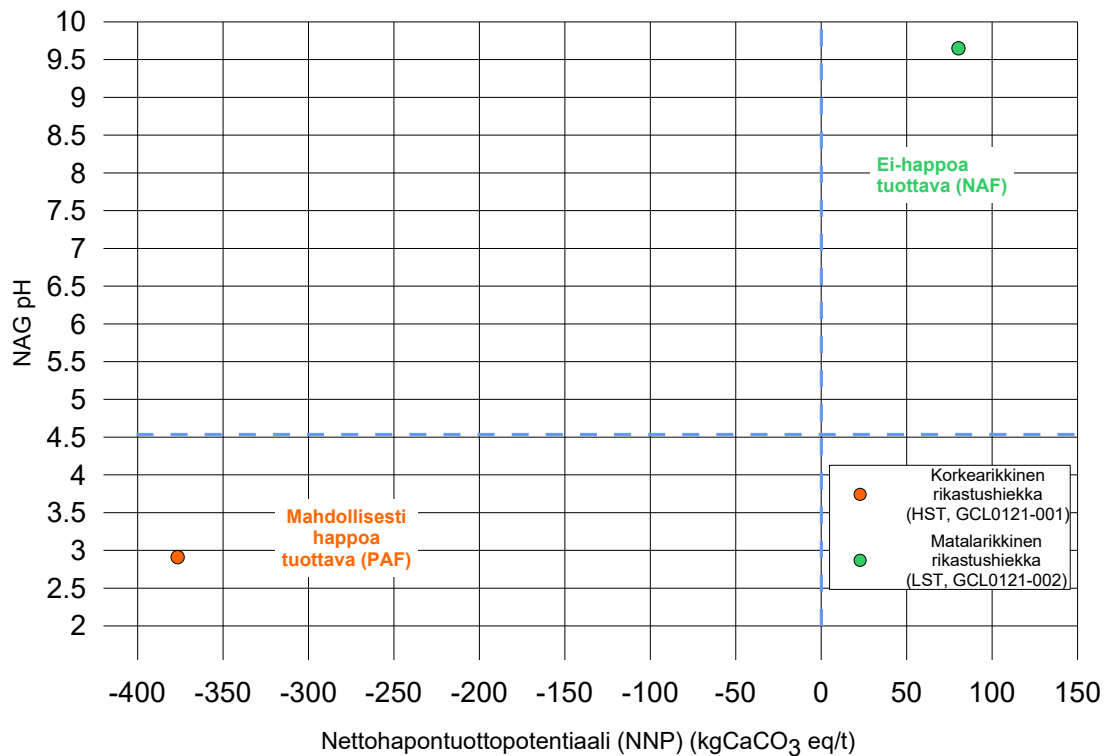
Korkearikkinen rikastushiekan neutralointipotentiaalisuhde (NPR) on alle 1 ja nettoneutralointikapasiteetti (NNP) alle 20 kg CaCO₃ eq/t molemmilla laskentametoodeilla (karbonaattiseksi oletetun hiilen perusteella laskettuna, C-NP ja titraamalla, T-NP) määritettynä. Tämä osoittaa, että materiaali on mahdollisesti happoa tuottavaa (PAF) ja sen voidaan olettaa tuottavan hapanta suotaumaa. Matala NAG-pH (2,9) tukee päätelmää hapontuottopotentiaalista. On kuitenkin huomattava, että merkittävästä neutralointikapasiteetista (sekä karbonaatti- että titrausmenetelmällä määritetty) johtuen happamuus ilmenee viiveellä neutralointipotentiaalin hiipuesssa.



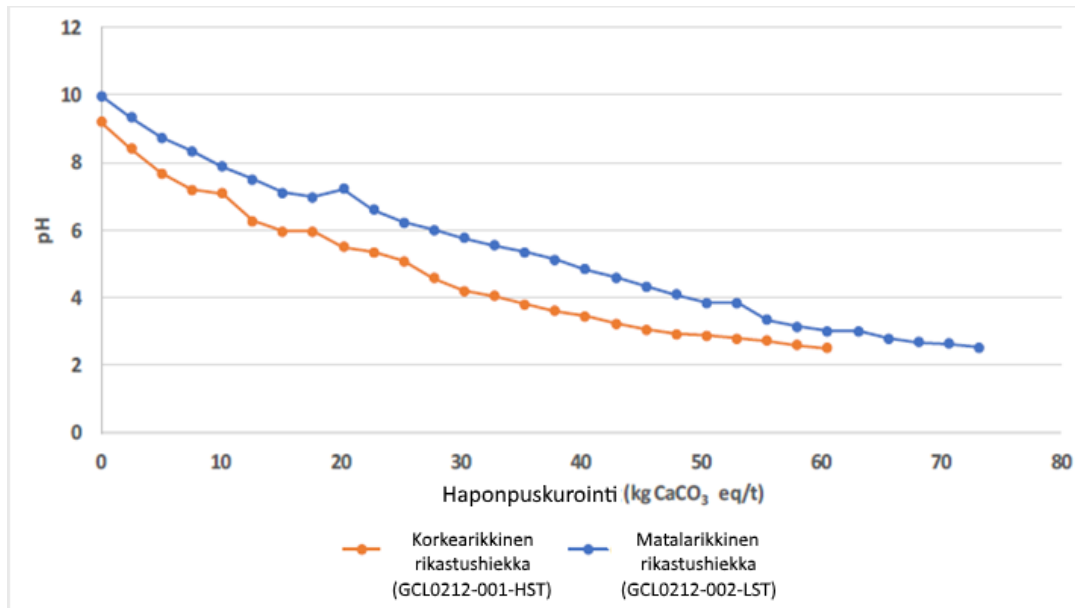
Kuva 7-19. ABA-testiin perustuva rikastushiekkojen titraamalla määritetty hapontuottopotentiaali. Rikastushiekat, prosessivaihtoehto 2.

Matalarikkisen rikastushiekan $\text{NPR} > 3$ ja $\text{NNP} > 20 \text{ kg CaCO}_3 \text{ eq/t}$ molemmilla määrittämenetelmillä (C-NP and T-NP) laskettuna. Tulokset (Kuva 7-20) osoittavat, että materiaali on ei-happoa tuottavaa (NAF). Tätä päätelmää tukee myös mitattu NAG-pH, joka on 8,79 ennen kokeen lämmitysvaihetta ja 9,65 jälkeen.

Haponpuskurointikuvaajat (ABCC) määritettiin molemmille rikastushiekanäytteille ja ne on esitetty kuvassa 7-21. Puskurikapasiteetti (ABCC) pH 4:ään on lähellä C-NP-arvoa (33,0 $\text{kg CaCO}_3 \text{ eq/t}$ korkearikkiselle rikastushiekalle ja 48,0 $\text{kg CaCO}_3 \text{ eq/t}$ matalarikkiselle rikastushiekalle). Puskurikapasiteetti pH 2,5:een on lähellä T-NP-arvoa (60,6 $\text{kg CaCO}_3 \text{ eq/t}$ korkearikkiselle rikastushiekalle ja 73,2 $\text{kg CaCO}_3 \text{ eq/t}$ matalarikkiselle rikastushiekalle). Puskurikapasiteettikuvaajan mukaan puskurikapasiteetti pH 7:ään on hyvä (yli 10 $\text{kg CaCO}_3 \text{ eq/t}$ molemmilla rikastushiekoilla).



Kuva 7-20. NAG-pH ja hapontuottopotentiaali. Rikastushiekat, prosessivaihtoehto 2.



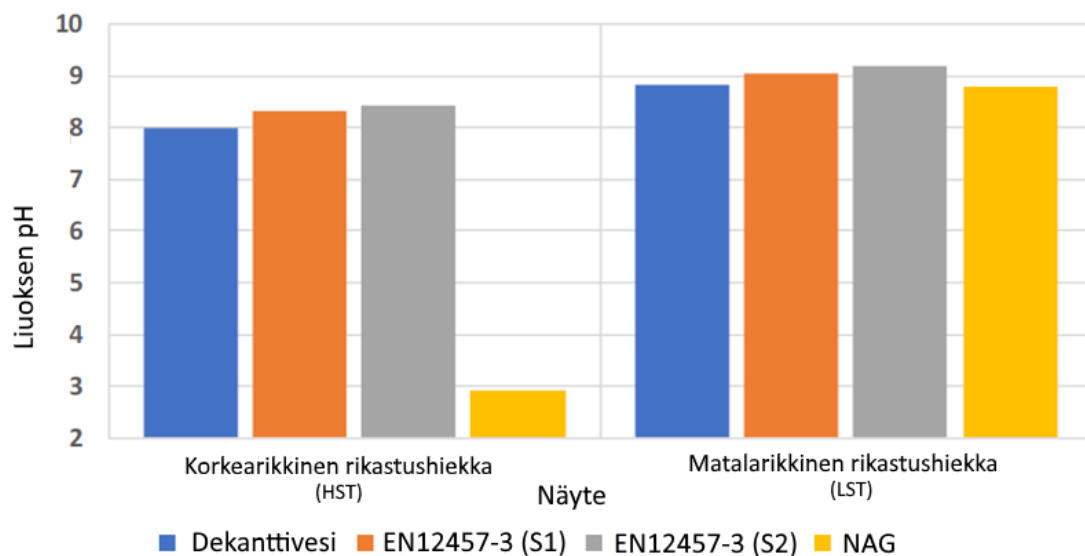
Kuva 7-21. Haponpuskurointikuvaaja. Rikastushiekat, prosessivaihtoehto 2.

Dekanttivesien, NAG-testin loppuliuosten ja 2-vaiheisen ravistelutestin vertailu

Prosessivaihtoehtoon 2 matala- ja korkearikkisille rikastushiekoille tehtiin tarkastelu, jossa vertailtiin liukoisuuksia eri menetelmillä mitattuna. Tällainen vertailu auttaa hahmottamaan, kuin helposti tai vaikeasti liukenevissa eri aineet ovat rikastushiekoissa. Tarkastelu sisäsi seuraavat menetelmät:

- Kaksivaiheinen ravistelutesti (menetelmä kuvattu luvussa 4.4)
 - Tulos edustaa välitöntä kontaktiliukoisuutta.
- Varastoidun rikastushiekanäytteen pinnalle kertyvän dekanttiveden analyysi (menetelmä kuvattu luvussa 4.11)
 - Tulos edustaa alkavaa näytteen hapettumista.
- NAG-uutteen analyysi (menetelmä kuvattu luvussa 4.3)
 - Tulos edustaa kokonaishapetusta.

Kuvassa 7-22 on esitetty rikastushiekanäytteen pinnalle kertyvän dekanttiveden sekä kaksivaiheisen ravistelutestin ja NAG-testin liuoksen pH-arvot. Korkearikkisen rikastushiekanäytteen dekanttiveden ja ravistelutestin tulokset osoittivat lievää emäksisyyttä (pH 8,0; 8,3 ja 8,4). Tulokset viittaavat siihen, että näytteen varastoinnin ja lyhytkestoisen testauksen aikana muodostuva happo neutraloituu käytettävissä olevan neutralointipotentiaalin avulla. NAG-pH on hapan (2,9). Matalarikkinen rikastushiekan dekanttiveden sekä ravistelutestin pH:t osoittivat lievää emäksisyyttä (pH 8,8; 9,0 ja 9,2). NAG-liuoksen pH oli myös emäksinen (ennen testin kuumennusvaihetta 8,79 ja 9,65 kuumennusvaiheen jälkeen).



Kuva 7-22. Dekanttiveden, 2-vaiheisen ravistelutestin liuoksen ja NAG-uutteen pH:t. EN 12457-3 (S1) tarkoittaa kaksivaiheisen ravistelutestin ensimmäistä suodosta L/S 2-suhteessa ja EN 12457-3 (S2) toista suodosta L/S 8-suhteessa.

Taulukossa 7-16 on esitetty dekanttivedessä sekä ravistelutestin liuoksessa ja NAG-uutteessa esiintyvät alkuainepitoisuudet. Sähkönjohtavuus, pH, alkaliniteetti ja happamuus esitetään pitoisuuksina testiliuoksessa. Muut parametrit esitetään massapitoisuuksina (mg/kg tai µg/kg). Alkuaineanalyysin tulosten (Taulukko 7-2) perusteella rikastushiekoissa on kohonneina pitoisuuksina hopeaa, kobolttia, kromia, kuparia, nikkeliä, seleeniä ja vanadiinia. Näistä hopea, koboltti, kupari, nikkeli ja seleeni ovat kalkofiilisiä (sulfideihin rikastuneita) alkuaineita, jotka todennäköisesti liukenevat sulfidien hapettumisen seurauksena. Kromi on rikastunut oksideihin (kromiittiin ja kromimagneetiittiin). Vanadiini on yleisesti spinellityyppisten oksidien ainesosana ja muodostaa seossarjoja magneetiitin ja kromiitin välillä.

Keskeiset poiminnot aineiden esiintymisestä dekanttivedessä, ravistelutestissä ja NAG-uutteessa esitetään alla:

- Alumiinipitoisuus oli yleisesti alle määrittäysrajan Sakatin rikastushiekkien dekanttivesissä ja ravistelukokeiden tuloksissa, sillä alumiini ei ole kovin liukoinen emäksisissä olosuhteissa. Vaikka korkearikkisen rikastushiekan NAG-testin liuoksen pH on hapan (2,9), alumiinia ei kuitenkaan vapaudu yli 100 mg/kg.
- Kupari on suhteellisen runsaana esiintyvä metalli Sakatin rikastushiekoissa ja tyypillisesti sulfideihin sitoutunut raskasmetalli, mutta sen pitoisuus dekanttivedessä ja ravistelutestien tuloksissa oli alle määrittäysrajan 0,3 µg/l. Tämä johtuu liuosten lievästä emäksisyydestä, jolloin Cu²⁺-ionit

ovat heikkoliukoisia. Kuparin heikkoliukoisuus yli pH 5:ssä perustuu sen taipumuksesta adsorboitua erityisesti rautaoksidien pinnoille. NAG-testeissä havaittiin suurempaa kuparin liukenemista, jopa 66 000 µg/kg korkearikkisesta rikastushiekasta, mutta sekin on vain 8,4 % korkearikkisen rikastushiekan kokonaiskuparimäärästä. Matalarikkisesta rikastushiekasta kuparia liukenee vain vähän kohonneina pitoisuuksina (530 µg/kg) todennäköisesti tiukan mineraaleihin sitoutumisen takia, mukaan lukien silikaattimineraalit.

- Koboltin liukoisuus oli vähäistä dekanttiveden analyysissä sekä ravistelutesteissä, varsinkin matalarikkisessä rikastushiekassa. Tästä huolimatta happamissa, hapettavissa olosuhteissa voi liueta merkittäviä määriä kobolttia. Korkearikkisen rikastushiekan NAG-testissä kobolttia liukeni 81 800 µg/kg, mikä oli 64 % näytteen kokonaiskobolttimäärästä.
- Kromipitoisuus oli lievästi koholla emäksisestä pH:sta huolimatta matalarikkisen rikastushiekan NAG-uutteen analyysissä. Tässä pH:ssa Cr(III) on hyvin heikkoliukoinen muodostaen kromi(III)hydroksidia Cr(OH)₃. Kohonnut pitoisuus johtuu todennäköisesti Cr(III):n hapettumisesta Cr(VI):ksi, joka tapahtuu nopeasti emäksisissä olosuhteissa, vetyperoksidin toimissa hapettajana.
- Rauta on liukoinen ainoastaan pelkistyneessä Fe²⁺-muodossa, kun pH on yli 3,5. Hapettavista, emäksisistä olosuhteista johtuen molempien rikastushiekkojen pitoisuus oli alle määritysrajan sekä dekanttivedessä että ravistelutestissä. Matalarikkisen rikastushiekan NAG-testissäkin rautaa vapautui hyvin vähän. Korkearikkisen rikastushiekan NAG-testissä rautaa vapautui 39 600 mg/kg (Taulukko 7-16). Tämä johtuu suurelta osin korkearikkisen rikastushiekan NAG-liuoksen happamasta pH:sta, jonka takia rauta on liukoisessa muodossa.
- Nikkeliä vapautui korkearikkisen rikastushiekan dekanttivateen 168 µg/kg, mikä oli selkeästi enemmän kuin matalarikkisen rikastushiekan dekanttivateen vapautuva määrä 15 µg/kg. Huomionarvoista on, että dekanttivedessä oli nikkeliä suhteellisen korkeina pitoisuuksina jopa lievästi emäksisissä (pH 8) olosuhteissa, mutta huuhtelussa deionisoidulla vedellä (ravistelutesti) nikkeliä ei vapautunut. Korkearikkisen rikastushiekan ravistelutestissä tavattiin nikkeliä, mutta dekanttivettä pienempänä määränä (Taulukko 7-16). Korkearikkisen rikastushiekan NAG-testissä nikkeliä vapautui 2 600 mg/kg. Tämä osoittaa, että NAG-testissä liukenee 67,4 % rikastushiekassa olevasta nikkelistä. Matalarikkisen rikastushiekan NAG-testissä nikkeliä vapautui 653 mg/kg, kuumennuksen jälkeen mitattuna eli 1 % rikastushiekassa olevasta nikkelistä. Nikkeliä liukenee kyseinen määrä, vaikka rikistä liukenisi ~50 %. Tämä viittaa siihen, että valtaosa sulfidien hapettumisen aikana vapautuvasta nikkelistä luultavasti adsorboituu mineraalien, todennäköisimmin sulfidien hapettumisen

seurauksena muodostuneiden rautahydroksidien pinnoille. Lisäksi tulokset viittaavat nikkelin esiintymiseen huomattavissa määrin myös silikaattimineraaleissa.

- Silikaattimineraalien liukeneminen tapahtuu hapettomissa oloissa. Liuoksen suotautuessa rikastushiekan läpi, happipitoisuus todennäköisesti vähenee. Sulfidien hapettuminen ja siihen liittyvä rautaoksidien muodostuminen syvemmillä ei siis ole mahdollista. Hapettomista oloista huolimatta silikaattimineraalien liukeneminen jatkuu suhteellisen vähäisenä, jolloin nikkeliä vapautuu suotautuvaan liuokseen. Nikkeli sitoutuu vapaille mineraalipinnoille, mikä rajoittaa nikkelin liikkuvuutta. Tämän seurauksena mineraalipintojen täyttyminen voisi johtaa korkeampiin nikkelpitoisuuksiin matalarikkisen rikastushiekan pohjaosassa verrattuna tilanteeseen pinnan tuntumassa, aktiivisen hapettavan kerroksen alapuolella.
- Seleenin on tunnistettu yleistyneeksi ja mahdollisesti biokertyväksi haitta-aineeksi (Etteieb ym. 2020). NAG-testissä seleeniä liukeni 12,1 mg/kg.
- Sinkkiä liukeni korkearikkisen rikastushiekan NAG-testissä 13 µg/kg, mutta dekanttivedessä ja ravistelukokeen tuloksissa sinkkipitoisuus jäi alle määritysrajan. Matalarikkisen rikastushiekan kohdalla pitoisuudet olivat alle määritysrajan kaikissa testeissä.

Taulukko 7-16. Yhteenvedo dekanttiveden, 2-vaiheisen ravistelutestin ja NAG-testin loppuliuoksen määrittystuloksista. EN 12457-3 (S1) tarkoittaa kaksivaiheisen ravistelutestin ensimmäistä suodosta L/S 2-suhteessa ja EN 12457-3 (S2) toista suodosta L/S 8-suhteessa.

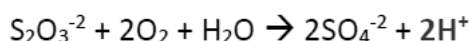
Korkearikkinen rikastushiekka (HST)							Matalarikkinen rikastushiekka (LST)					
Analyysi	Yksikkö	Dekantti- vesi	EN12457- 3 (S1)	EN12457- 3 (S2)	Summa EN12457- 3	NAG	Dekantti- vesi	EN12457- 3 (S1)	EN12457- 3 (S2)	Summa EN12457- 3	NAG, ennen reak- tiota	NAG, reak- tion jäl- keen
Nesteen ja kiinteän aineen suhde		0,33	2	8	10	100	0,312	2	8	10	100	100
pH		8	8,31	8,42		2,91	8,84	9,05	9,2		8,79	9,65
Sähkönjohtavuus	uS/cm @ 25°C	3047	1011	254		3511	2658	638	183		536	196
Alkaliniteetti pH 8,3:een	mg/l CaCO ₃	0,00	0,00	0,00			8,5	5,5	2,5			
Alkaliniteetti pH 4,5:een (yhteensä)	mg/l CaCO ₃	216	125	54			224	104	41,5			
pH H ₂ O ₂ lisäyksen jälkeen (a)		2	2,45	3,18			3,04	3,42	3,74			
Titraus pH 4,5:een	mg/l CaCO ₃	609	188	29			56	19	8			
Titraus pH 8,3:een (yhteensä)	mg/l CaCO ₃	649	210	44			80	37	22			
Nettohappamuus (a)	mg/l CaCO ₃	433	85	-10			-144	-67	-20			
Kloridi	mg/kg	47,85	37	7,944	44,944		74,256	62,6	18,48	81,08		
Sulfaattirikki	mg/kg	93,72	132,6	77,84	210,44		76,752	98,6	74,4	173		
Kokonaisrikki	mg/kg	262,35	568	355,2	923,2	62100	112,632	125	132,8	257,8	1070	1370
Ei-sulfaattinen rikki	mg/kg	168,63	435,4	277,36	712,76		35,88	26,4	58,4	84,8		
Natrium	mg/kg	112,53	113,6	46,8	160,4	229	101,4	185,8	90,4	276,2	665	797
Magnesium	mg/kg	66	139,8	84,8	224,6	29300	21,996	31	42,72	73,72	4000	79,5
Kalium	mg/kg	22,077	50,4	56,32	106,72	340	19,5936	45,8	83,2	129	1250	1570
Kalsium	mg/kg	16,5	71,8	175,2	247	7400	3,1512	15,98	65,36	81,34	3930	1330
Rauta	mg/kg	<0,00627	<0,038	<0,152	<0,19	39600	<0,005928	<0,038	<0,152	<0,19	<1,9	6,93
Alumiini	µg/kg	<3,3	<20	<80	<100	52900	<3,12	<20	<80	<100	<1000	<1000
Arseeni	µg/kg	<0,165	<1	<4	<5	51,9	<0,156	<1	<4	<5	<50	<50
Vismutti	µg/kg	<0,033	<0,2	<0,8	<1	<10	<0,0312	<0,2	<0,8	<1	<10	<10
Kadmium	µg/kg	<0,0264	<0,16	<0,64	<0,8	107	<0,02496	<0,16	<0,64	<0,8	<8	<8
Kromi	µg/kg	<0,33	<2	<8	<10	443	<0,312	<2	<8	<10	10800	13300
Koboltti	µg/kg	1,9239	1,694	4,232	5,926	81800	0,168168	<1	<4	<5	<50	<50
Kupari	µg/kg	<0,099	<0,6	<2,4	<3	66000	<0,0936	<0,6	<2,4	<3	531	<30
Lyijy	µg/kg	<0,066	<0,4	<1,6	<2	2080	<0,0624	<0,4	<1,6	<2	30,7	<20
Mangaani	µg/kg	24,09	117,4	81,6	199	290000	2,46792	<6	<24	<30	6010	<300
Elohopea	µg/kg	0,0033	0,02	0,08	0,1	1	<0,00312	<0,02	<0,08	<0,1	<1	<1
Nikkeli	µg/kg	167,97	190,2	368	558,2	2600000	15,0072	8,04	46,8	54,84	567	144
Fosfori	µg/kg	346,5	458	274,4	732,4	1000	248,352	220	120,8	340,8	<1000	<1000
Seleen	µg/kg	5,148	13,84	<8	<21,84	12100	2,07792	4,18	9,04	13,22	436	653
Hopea	µg/kg	<0,165	<1	<4	<5	<50	<0,156	<1	<4	<5		<50
Titaani	µg/kg	0,4158	<2	<8	<10	596	1,326	3,08	<8	<11,08	206	204
Vanadiini	µg/kg	<0,33	<2	<8	<10	<100	<0,312	<2	<8	<10	<1090	<100
Sinkki	µg/kg	<0,33	<2	<8	<10	12800	<0,312	<2	<8	<10	<100	<100

<Arvo Alle määrittäysrajan

- (a) Happamuus määritettiin titraamalla pH -arvoon 4, jonka jälkeen vetyperoksidia lisättiin näytteeseen. Nettohappamuus on laskettu seuraavasti: Nettohappamuus = kokonaishappamuus-kokonaisemäksisyys. Negatiivinen arvo osoittaa, että näyte on nettoemäksinen, kun taas positiivinen arvo osoittaa, että näyte on nettohapan. Neutraaleissa pH -olosuhteissa tämä osoittaa huomattavaa määrää tiосуuloja.

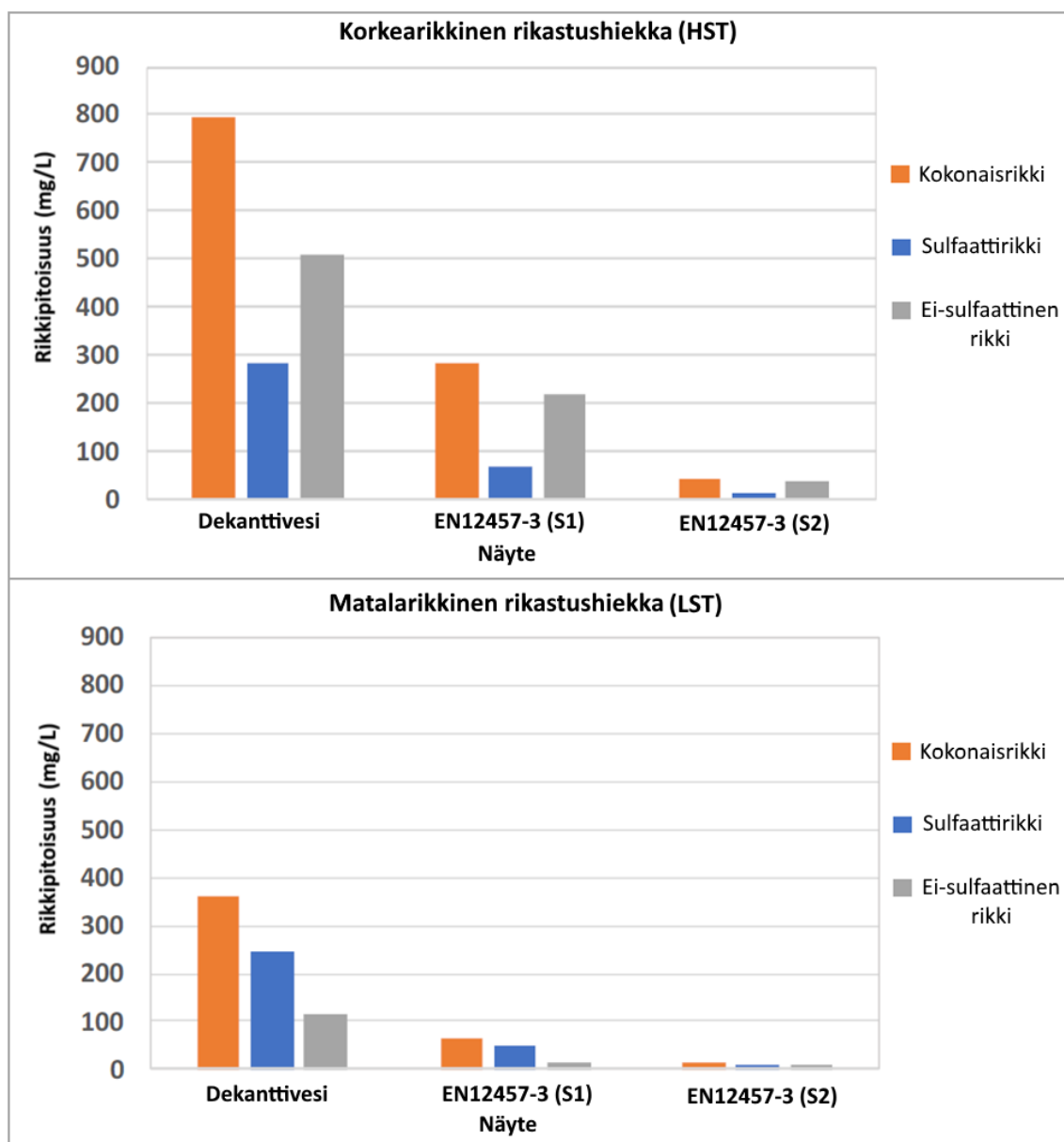
Liuenneen kokonaisrikin pitoisuus on korkearikkisen ja matalarikkisen rikastushiekan dekanttivedessä korkeampi kuin sulfaattirikin pitoisuus (Taulukko 7-16). Ei-sulfaattisen rikin esiintyminen voi johtua tiosuolojen esiintymisestä rikastushiekanäytteissä. Korkearikkisen rikastushiekan dekanttivedessä sulfaattirikin määrä oli noin kolmannes kokonaisrikin määrästä ja matalarikkisen rikastushiekan dekanttivedessä noin kaksi kolmannesta kokonaisrikin määrästä. Ei-sulfaattista rikkiä havaittiin myös ravistelutestin molemmissa vaiheissa, mutta valtaosa siitä huuhtoutuu 1. testivaiheessa (Kuva 7-23). Sulfaattia muodostuu sekä sulfaattimineraalien (kuten kipsin) liukenemisen että sulfidien hapettumisen seurauksena.

Tiosuoloja muodostuu malmin prosessoinnin aikana, sekä malmin hienonnuksessa että kemiallisten kokooja-aineiden vaikutuksesta sulfidimineraalien pinnoilla. Lisäksi tiosuoloja voi läjitysolosuhteissa muodostua sulfidien epätäydellisen hapettumisen kautta rikastushiekan hapellisessa osassa. Yleisin tiosuola happamissa kaivannaisjätealueiden vesissä on tiosulfaatti ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$), mutta myös tritonaattia ($\text{S}_3\text{O}_6^{2-}$) ja tetrationsaattia ($\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$) tavataan (Miranda-Trevino ym. 2013). Eri tiosuolojen osuus riippuu eri tekijöistä, kuten pH:sta ja lämpötilasta. Sakatin rikastushiekkujen dekanttivesissä tiosulfaatti-ioni ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) on kaikkein pysyvimmässä muodossa pH-välillä 8-9. Tiosulfaatti hapettuu sulfaatiksi, muodostaen myös happamuutta alla olevan reaktion mukaisesti:



Hapettuminen tapahtuu hitaasti useiden päivien–viikkojen aikana hapen läsnäollessa ja pH:n ollessa neutraali. Tämä voi johtaa merkittävään haponmuodotukseen vastaanottavassa vesistössä, jos veden viipymä kaivosalueella on lyhyt ja tiosuoloihin liittyvä, myöhemmin ilmenevä happamuus ylittää vesistön puskurointikyvyn.

Tiosuolojen esiintyminen Sakatin korkearikkisessä rikastushiekassa on varmistettu spektrofotometrisesti. Määrittelyn perusteena on käytetty myös sulfaattisen rikin ja rikin kokonaispitoisuuden eroa.



Kuva 7-23. Kokonaisriikin, sulfaattiriikin ja ei-sulfaattisen riikin pitoisuudet korkearikkisen ja matalarikkisen rikastushiekan dekanttivedessä ja ravistelutestien tuloksissa. EN 12457-3 (S1) tarkoittaa kaksivaiheisen ravistelutestien ensimmäistä suodosta L/S 2-suhteessa ja EN 12457-3 (S2) toista suodosta L/S 8-suhteessa.

Kloridin ja natriumin vapautuminen sekä korkearikkisestä että matalarikkisestä rikastushiekasta dekanttiveteen on huomionarvoista erityisesti ajatellen veden kierrätystä prosessissa (Taulukko 7-16). Koska mineraalit eivät säätele natriumin ja kloridin liukenemista, on todennäköistä, että niiden pitoisuudet kierrätettävässä vedessä nousevat.

Natriumin ja kloridin lähde on kaivoksilla usein vaikeasti selvitettävissä. Ne saattavat olla peräisin hydrotermisistä vesistä, joita esiintyy

mineraalisulkeumien yhteydessä ja jotka vapautuvat kiven murskauksen yhteydessä. Toinen selitys voi olla aineiden vapautuminen fyllosilikaattien ja savien välitiloista. Selvää on kuitenkin, että kloridin ja natriumin pitoisuuksien suhde on ei-stoikiometrinen eli natriumia on enemmän kuin liuenneen kloridipitoisuuden tasapainottamiseen tarvitaan. Natriumia voi tulla veteen myös prosessikemikaaleista.

Kaivoksen tuotannossa tyyppiyhdisteitä liukenee louhinnassa käytettävistä räjähteistä. Nämä ovat tyypillisesti ammonium- ja nitraattityppeä. Rikastuskoe on kuitenkin tehty kairasydännäytteistä, joten räjäytysaineperäistä tyyppä rikastuskokeen rikastushiekoissa ei ole.

Fosforin vapautuminen kaksivaiheisessa ravistelutestissä oli korkearikkisellä rikastushiekalla 732 µg/kg ja matalarikkisellä rikastushiekalla 341 µg/kg. Prosessikemikaalit ovat keskeinen fosforin lähde.

7.3.5 Prosessivesi ja kemikaalijäämät prosessivaihtoehdossa 2

Prosessivaihtoehdon 2 rikastuskokeessa otettiin prosessivesinäytteet suoraan koetilanteesta sekä matalarikkisestä että korkearikkisestä rikastushiekkänäytteestä. Lisäksi lietteenä laboratorioon toimitettujen rikastushiekkänäytteiden päältä dekantoiitiin vesinäytteet eli otettiin dekanttivesinäytteet (luku 4.11). Tässä luvussa kuvattavat prosessivaihtoehdon 2 prosessiveden analyysit on toteuttanut Eurofins Labtium Oy ja rikastuskemikaalijäämät on tutkinut BIOSO4 Oy (2020). Dekanttivesi on analysoitu Geochemic Ltd:n laboratoriossa Iso-Britanniassa.

Matalarikkisen rikastushiekan prosessiveden pH oli emäksinen, 9,6. Sulfaattia prosessivedessä oli 250 mg/l ja nikkeliä 8 µg/l. Koboltin, kuparin ja sinkin pitoisuudet jäivät alle määritysrajojen (<0,1 µg/l, <5 µg/l ja <5 µg/l). Fosforipitoisuus oli 1,2 mg/l. Tiosulfaattia prosessivedessä oli 24 mg/l. Natriumetyyliksantaatin jäämäpitoisuus oli 1,7 mg/l.

Korkearikkistä rikastushiekkaa muodostavien prosessijätevirtojen vesissä pH-arvot olivat 9,6 ja 9,2 ja sulfaattipitoisuudet 260 mg/l ja 180 mg/l, nikkelpitoisuudet 8 µg/l ja 10 µg/l. Koboltin pitoisuudet olivat <0,1 µg/l ja 0,2 µg/l. Kuparin ja sinkin pitoisuudet jäivät alle määritysrajojen (<0,1 µg/l). Fosforipitoisuudet olivat 1,4 mg/l ja 0,5 mg/l. Tiosulfaattipitoisuus oli toisessa virrassa 25 mg/l ja toisessa määritysrajan (<5 mg/l) alapuolella. Natriumetyyliksantaatin jäämäpitoisuus oli 2,5 mg/l. Se analysoitiin vain toisesta korkearikkiseen rikastushiekaan päätyvästä prosessijätevirrasta. Tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että tulokset eivät sellaisenaan edusta minkään kaivannaisjätealueen veden laatua, sillä prosessivesi on vain yksi jätealueiden vesien laatuun vaikuttavista tekijöistä.

Britanniaan toimitettujen rikastushiekkänäytteiden dekanttiviedestä (Geochemic Ltd 2020) tutkittiin ksantaattipitoisuuksia, mutta niitä ei enää havaittu UV-Vis-mittauksessa. Ksantaatit hajoavat suhteellisen nopeasti ja on todennäköistä, että mahdolliset kemikaalijäämät ovat hajonneet näytteiden varastoinnin ja laboratorioon kuljetuksen aikana.

7.3.6 Prosessivaihtoehdon 2 rikastushiekkojen pitkäaikaiskäyttäytyminen, kosteuskammiokoe

Matala- ja korkearikkisiä rikastushiekkoja on testattu standardin ASTM D 5744-18 mukaisella kosteuskammiokokeella. Taulukossa 7-17 on esitetty korkearikkisen rikastushiekan kosteuskammiokokeen tulokset keskiarvoina viikkojaksoittain (viikot 0–3, 4–20 ja 21–54). Taulukossa 7-18 on esitetty vastaavasti matalarikkisen rikastushiekan kosteuskammiokokeen tulokset. Esitetyt tulosanalyysit alkavat viikolta 0, päättyen viikkoon 54. Molempien rikastushiekkojen kosteuskammiokokeiden tulokset on esitetty myös kuvissa 7-24 – 7-44.

Matalarikkisessä rikastushiekassa neutralointikapasiteetin suhteellinen kulutus on ollut hidasta ja alun perinkin vähäinen hapontuottokapasiteetti on hiipunut jokseenkin samaa tahtia. Korkearikkisessä rikastushiekassa neutralointikapasiteetti on kulunut huomattavasti hapontuottokapasiteettia nopeammin.

Kuvassa 7-24 on esitetty korkearikkisen ja matalarikkisen rikastushiekan suodosten pH:n kehitys kokeen aikana. Korkearikkisen rikastushiekan lähtö-pH oli 8,4 ja matalarikkisen 9,7. Molemmat pH:t putosivat noin yhden yksikön verran ensimmäisten kahden viikon aikana. Matalarikkisen rikastushiekan pH on pysynyt suhteellisen tasaisena (n. välillä 8–8,5) koko kokeen ajan. Korkearikkisen rikastushiekan pH pysyi niin ikään pitkään tasaisena (n. välillä 7–7,5), mutta se lähti laskuun viikon 46 kohdalla, päättyen noin pH 5:een.

Suodosten happamoitumispotentialiaali on varmistettu ottamalla molempien rikastushiekkojen kuudennen viikon liuoksista osanäytteet ja hapettamalla niitä vetyperoksidilla. Vetyperoksidihapetuksen seurauksena korkearikkisen rikastushiekan viikkoliuoksen pH putosi alle 2:een. Matalarikkisen rikastushiekan liuoksen pH:ssa tapahtui pieni muutos. Korkearikkisen rikastushiekan näennäisesti neutraali suodos sisältää tiosuoloja, jotka tuottavat happamuutta viiveellä ja kuluttavat puskurikapasiteettia. Matalarikkisen rikastushiekan suodoksessa puskurikapasiteettia on riittävästi tiosuolojen hapettumisesta johtuvan happamuuden neutralointiin.

Kosteuskammiokokeen edetessä sähkönjohtavuus putosi molemmissa huuhteluväsinäytteissä ensimmäisen viikon aikana, jonka jälkeen se nousi jyrkästi, mutta lyhytaikaisesti (Kuva 7-25). Matalarikkisen rikastushiekan sähkönjohtavuus on pysynyt suhteellisen tasaisena, mutta korkearikkisen rikastushiekan

sähkönjohtavuudessa on havaittavissa enemmän muutoksia, mikä kytkeytynee sulfaatinmuodostukseen näytteessä.

Sulfaattia liukeni alkuhuuhtelun jälkeen korkearikkisestä rikastushiekasta keskimäärin 412 mg/kg/viikko ja matalarikkisestä rikastushiekasta keskimäärin 85 mg/kg/viikko. Ensimmäisen viikon aikana liukenevan sulfaatin määrä putosi molempien rikastushiekkojen huuhteluvesinäytteissä, mutta nousi tämän jälkeen. Matalarikkisestä rikastushiekasta liukenevan sulfaatin määrä on pysynyt matalana ja trendi on hitaasti aleneva. Korkearikkisestä rikastushiekasta liukenevan sulfaatin määrä on ollut verraten korkea ja siinä on tapahtunut enemmän vaihtelua (Kuva 7-28).

Nikkelin liukeneminen on esitetty kuvassa 7-38. Nikkeliä on liuennut korkearikkisestä rikastushiekasta verraten suuria määriä koko kokeen ajan. Ensimmäisen viikon jälkeen nikkeliä liukeni 41 µg/kg–883 µg/kg/viikko. Korkeita määriä liukeni erityisesti viikkojen 9–16 aikana ja toistaiseksi raportoidun jakson (54 viikkoa) muutaman viimeisen viikon aikana. Nikkelin liukeneminen matalarikkisestä rikastushiekasta on ollut hyvin vähäistä, enintään 17 µg/kg/viikko, koko kokeen ajan. Vähäinen nikkelin liukeneminen voi johtua rikastushiekan matalasta rikkipitoisuudesta.

Arseenia liukeni alkuhuuhtelussa sekä korkearikkisestä että matalarikkisestä rikastushiekasta n. 0,3 µg/kg/viikko (Kuva 7-43). Korkearikkisestä rikastushiekasta liukenevan arseenin määrä putosi n. tasolle 0,2 µg/kg/viikko kahden ensimmäisen viikon aikana ja on pysynyt suurelta osin samalla tasolla. Viikkojen 26–29 ja 41–44 välillä liukenevan arseenin määrä kävi kuitenkin väliaikaisesti alempana, tasolla 0,08–0,09 µg/kg/viikko. Matalarikkisestä rikastushiekasta liukenevan arseenin määrä putosi hyvin matalalle tasolle (0,03–0,05 µg/kg/viikko) jo kahdeksannen viikon jälkeen.

Seleeniä liukeni korkearikkisestä rikastushiekasta enimmillään n. 45 µg/kg/viikko ja matalarikkisestä selvästi vähemmän; 4,3 µg/kg/viikko (Kuva 7-39). Matalarikkisestä rikastushiekasta liukenevan seleenin määrä on pysynyt koko kokeen ajan tasaisena. Korkearikkisestä rikastushiekasta liukenevan seleenin määrä sen sijaan vaihteli, nousten viikkojen 2–9 aikana tasolle 35–40 µg/kg/viikko ja pysyen sen jälkeen verraten korkeana.

Fosforia liukeni korkearikkisestä rikastushiekasta alkuhuuhtelussa merkittävä määrä, 672 µg/kg (Kuva 7-44). Fosforin liukeneminen on pysynyt suhteellisen tasaisena, noin tasolla 100 µg/kg/viikko, lukuun ottamatta kolmea viikkojen 3–8, 26–29 ja 41–44 välillä esiintyviä matalampia liukenemismääriä. Matalarikkisestä rikastushiekasta liukeni fosforia alkuhuuhtelussa 150 µg/kg. Matalarikkisestä rikastushiekasta on liuennut koko kokeen ajan vain vähäisiä ~20 µg/kg/viikko fosforimääriä. Fosforipitoisuus alkuhuuhtelussa liittyy fosforiin prosessikemikaaleissa.

Taulukko 7-17. Korkearikkisen rikastushiekan kosteuskammiotestin viikkojaksoittaiset tulokset keskiarvoina (viikot 0–3, 4–20 ja 21–54), prosessivaihtoehto 2. (Perustuu Geochemic Ltd:n tuottamaan aineistoon 2021a)

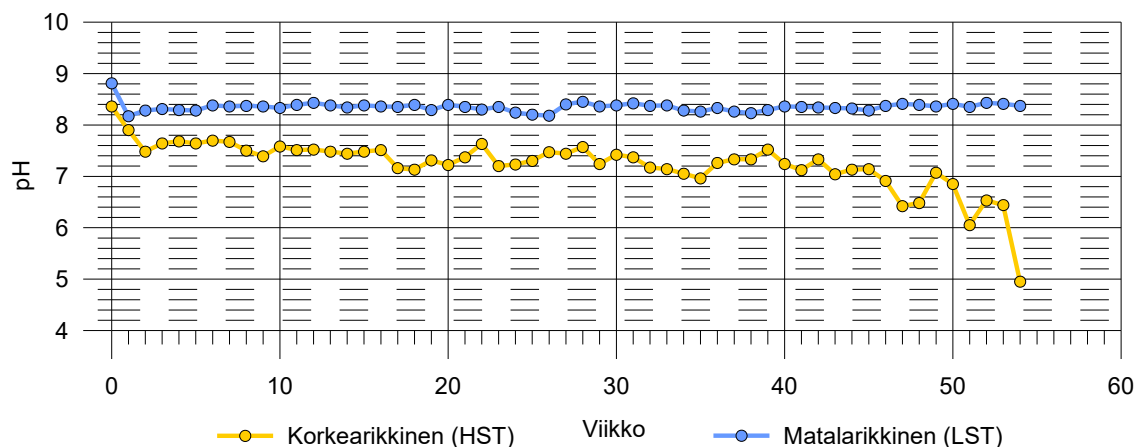
Geokemia, Viikkojaksot 0–3, 4–20 ja 20–54. Tulokset esitetty keskiarvoina					
Ainesosa	Fluori	Ammoniumtyppi	Kloridi	Nitriitti NO ₂ :na	Nitraatti NO ₃ :na
yksikkö	mg/kg/viikko	mg/kg/viikko	mg/kg/viikko	mg/kg/viikko	mg/kg/viikko
Viikot 0-3	0,93	0,14	11,04	0,37	0,65
Viikot 4-20	0,33	0,04	3,50	0,11	0,28
Viikot 21-54	0,11	0,00	2,75	0,02	0,12
Ainesosa	Sulfaattirikki	Sulfaatti (laskennallinen)	kokonaisrikki	Ei-sulfaattinen rikki	
yksikkö	mg/kg/viikko	mg/kg/viikko	mg/kg/viikko	mg/kg/viikko	
Viikot 0-3	76,52	229,55	403,49	326,97	
Viikot 4-20	137,46	412,37	411,69	274,23	
Viikot 21-54	114,15	342,45	324,74	210,59	
Ainesosa	Alumiini	Elohopea	Pii	Antimoni	Arseeni
yksikkö	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko
Viikot 0-3	4,66	0,00	0,37	0,47	0,23
Viikot 4-20	2,62	0,00	0,43	0,26	0,2
Viikot 21-54	1,84	0,00	0,36	0,17	0,17
Ainesosa	Barium	Beryllium	Boori	Kadmium	Kromi
yksikkö	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko
Viikot 0-3	19,31	0,05	6,17	0,04	0,47
Viikot 4-20	20,40	0,08	15,43	0,02	0,65
Viikot 21-54	11,09	0,15	16,99	0,01	0,27
Ainesosa	Koboltti	Kupari	Lyijy	Litium	Mangaani
yksikkö	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko
Viikot 0-3	3,17	1,89	0,09	9,50	65,53
Viikot 4-20	5,36	5,11	0,10	5,88	164,47
Viikot 21-54	5,91	7,40	0,08	2,36	260,45
Ainesosa	Molybdeeni	Nikkeli	Fosfori	Seleen	Strontium
yksikkö	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko
Viikot 0-3	2,48	200,64	220,63	7,05	151,89
Viikot 4-20	0,44	635,75	74,54	29,31	149,16
Viikot 21-54	0,09	491,72	84,93	34,05	63,22
Ainesosa	Tallium	Titaani	Uraani	Vanadiini	Sinkki
yksikkö	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko
Viikot 0-3	0,93	0,50	0,23	0,47	0,50
Viikot 4-20	0,25	0,55	0,08	0,83	1,57
Viikot 21-54	0,02	0,51	0,02	0,85	1,70
Ainesosa	Vismutti	Volframi	Tina	Torium *	Hopea
yksikkö	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko
Viikot 0-3	0,07	0,47	0,48		0,23
Viikot 4-20	0,08	0,26	0,26	0,20 *	0,10
Viikot 21-54	0,08	0,17	0,17	0,17	0,09
Ainesosa	Natrium	Magnesium	Kalium	Kalsium	Rauta
yksikkö	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko
Viikot 0-3	34,46	87,88	22,08	57,56	0,01
Viikot 4-20	3,36	46,53	10,21	168,66	0,02
Viikot 21-54	0,94	64,98	2,58	105,46	0,02

* Thorium: Näytetulokset alkavat viikolta kahdeksan. Tässä tapauksessa viikot 4-20 sarakkeen keskiarvo on laskettu viikoilta 8-20.

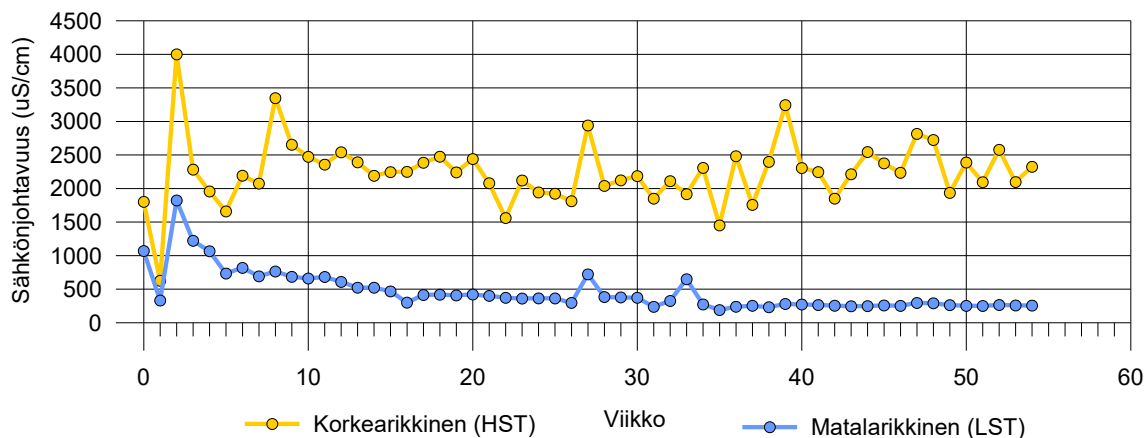
Taulukko 7-18. Matalarikkisen rikastushiekan kosteuskammiotestin viikkojaksoittaiset tulokset keskiarvoina, prosessivaihtoehto 2. (Perustuu Geochemic Ltd:n tuottamaan aineistoon 2021a)

Geokemia, Viikkojaksot 0–3, 4–20 ja 20–54. Tulokset esitetty keskiarvoina					
Ainesosa	Fluori	Ammonium	Kloridi	Nitriitti NO₂:na	Nitraatti NO₃:na
yksikkö	mg/kg/viikko	mg/kg/viikko	mg/kg/viikko	mg/kg/viikko	mg/kg/viikko
Viikot 0-3	0,92	0,14	20,11	0,37	0,65
Viikot 4-20	0,21	0,04	2,01	0,08	0,16
Viikot 21-54	0,01	0,00	0,61	0,00	0,01
Ainesosa	Sulfaattirikki	Sulfaatti (laskennallinen)	kokonaisrikki	Ei sulfaattinen rikki	
yksikkö	mg/kg/viikko	mg/kg/viikko	mg/kg/viikko	mg/kg/viikko	
Viikot 0-3	54,59	163,77	72,2	17,61	
Viikot 4-20	28,28	84,84	28,31	0,03	
Viikot 21-54	8,41	25,24	8,83	0,42	
Ainesosa	Alumiini	Elohopea	Pii	Antimoni	Arseeni
yksikkö	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko
Viikot 0-3	4,62	0,01	0,47	0,46	0,23
Viikot 4-20	1,62	0,00	0,74	0,15	0,09
Viikot 21-54	0,51	0,00	0,77	0,04	0,04
Ainesosa	Barium	Berylli	Boori	Kadmium	Kromi
yksikkö	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko
Viikot 0-3	8,82	0,05	4,62	0,04	0,47
Viikot 4-20	11,44	0,03	3,99	0,01	0,26
Viikot 21-54	25,43	0,04	4,22	0,00	0,27
Ainesosa	Koboltti	Kupari	Lyijy	Litium	Mangaani
yksikkö	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko
Viikot 0-3	0,36	0,19	0,14	4,06	5,99
Viikot 4-20	0,18	0,16	0,04	4,83	5,03
Viikot 21-54	0,07	0,17	0,02	3,27	2,57
Ainesosa	Molybdeeni	Nikkeli	Fosfori	Seleen	Strontium
yksikkö	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko
Viikot 0-3	1,99	9,11	74,08	1,52	33,56
Viikot 4-20	0,70	5,23	15,58	3,22	46,55
Viikot 21-54	0,28	1,80	21,12	3,37	33,55
Ainesosa	Tallium	Titaani	Uraani	Vanadiini	Sinkki
yksikkö	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko
Viikot 0-3	0,92	0,72	0,23	0,46	0,52
Viikot 4-20	0,25	0,20	0,06	0,26	0,40
Viikot 21-54	0,02	0,13	0,00	0,21	0,43
Ainesosa	Vismutti	Volframi	Tina	Torium *	Hopea
yksikkö	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko
Viikot 0-3	0,05	0,46	0,46		0,23
Viikot 4-20	0,03	0,15	0,15	0,04*	0,06
Viikot 21-54	0,02	0,04	0,04	0,04	0,00
Ainesosa	Natrium	Magnesium	Kalium	Kalsium	Rauta
yksikkö	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko	µg/kg/viikko
Viikot 0-3	53,95	24,79	20,43	8,30	0,01
Viikot 4-20	5,21	15,42	17,25	10,06	0,01
Viikot 21-54	3,05	6,14	10,22	6,61	0,00

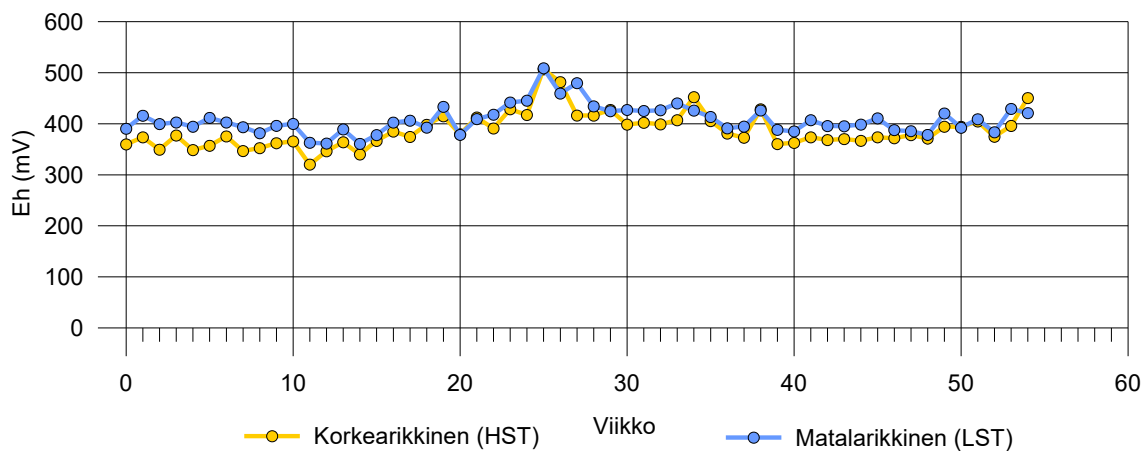
* Torium: Näytetulokset alkavat viikolta yhdeksän. Tässä tapauksessa Viikot 4-20 keskiarvo on laskettu viikoilta 9-20.



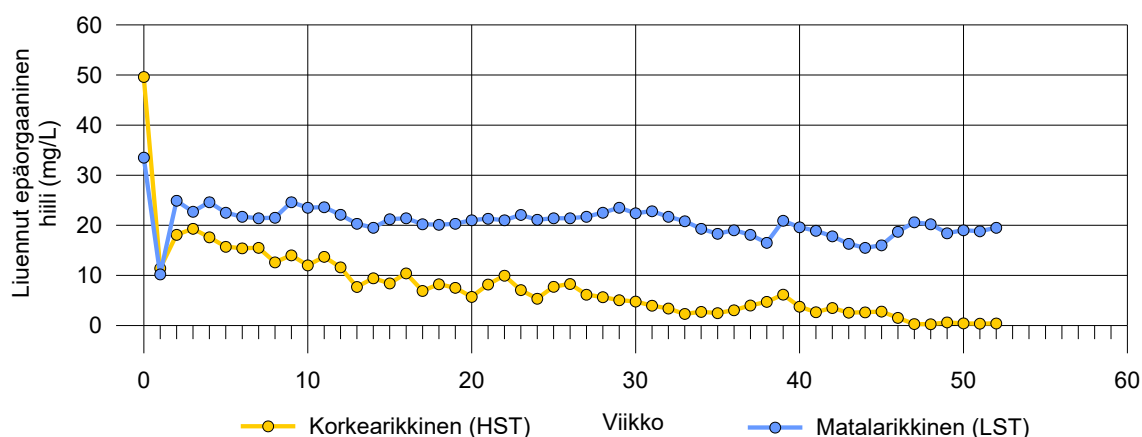
Kuva 7-24. Kosteuskammiokokeiden viikko-pH, prosessivaihtoehto 2 (Geochemic Ltd. 2021a).



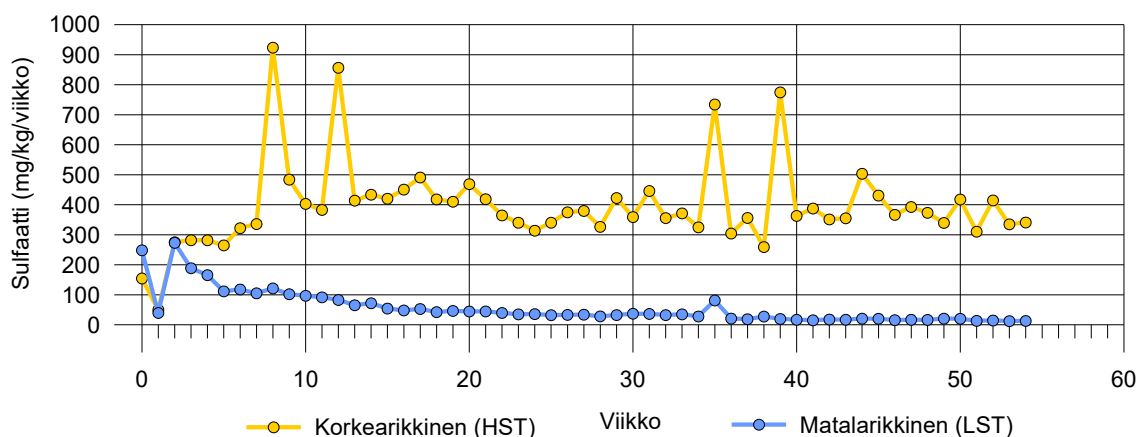
Kuva 7-25. Sähkönjohtavuuden (EC) kehittyminen kosteuskammiokokeissa, prosessivaihtoehto 2 (Geochemic Ltd. 2021a).



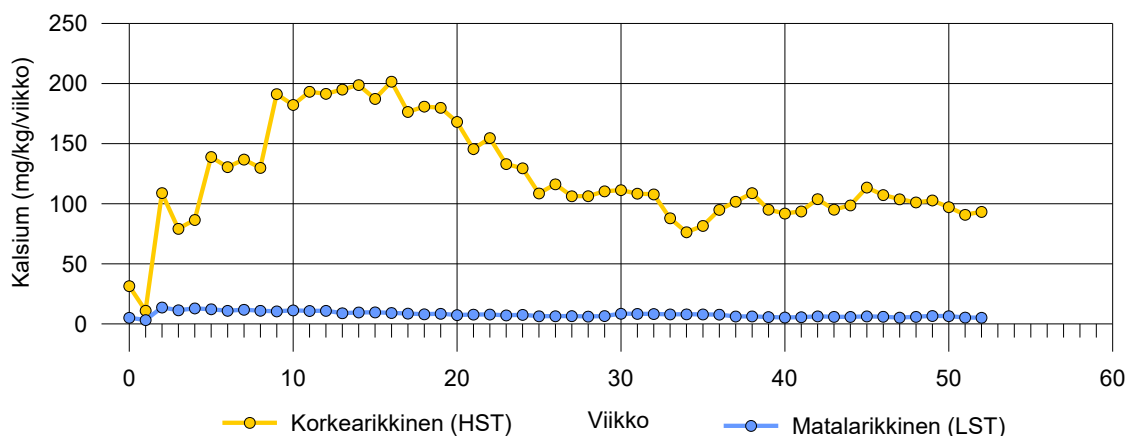
Kuva 7-26. Eh:n kehittyminen kosteuskammiokokeissa, prosessivaihtoehto 2 (Geochemic Ltd. 2021a).



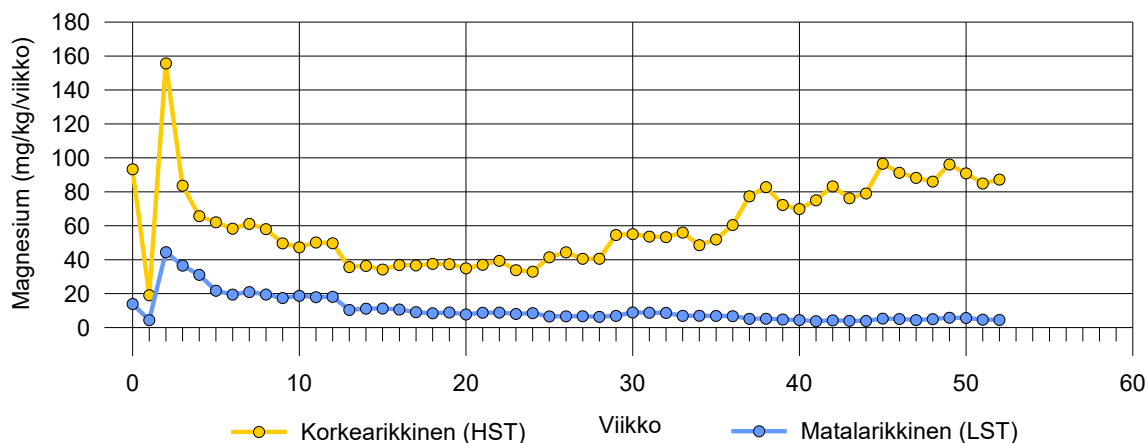
Kuva 7-27. Liunneen epäorgaanisen hiilen muuttuminen kosteuskammiokokeen aikana, prosessivaihtoehto 2 (Geochemic Ltd. 2021a).



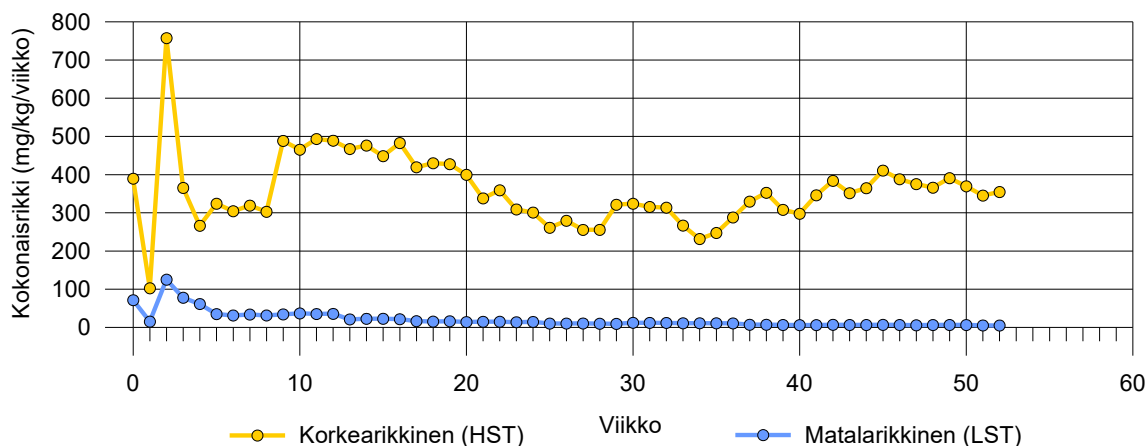
Kuva 7-28. Sulfaatin muodostuminen kosteuskammiokokeen aikana, prosessivaihtoehto 2 (Geochemic Ltd. 2021a).



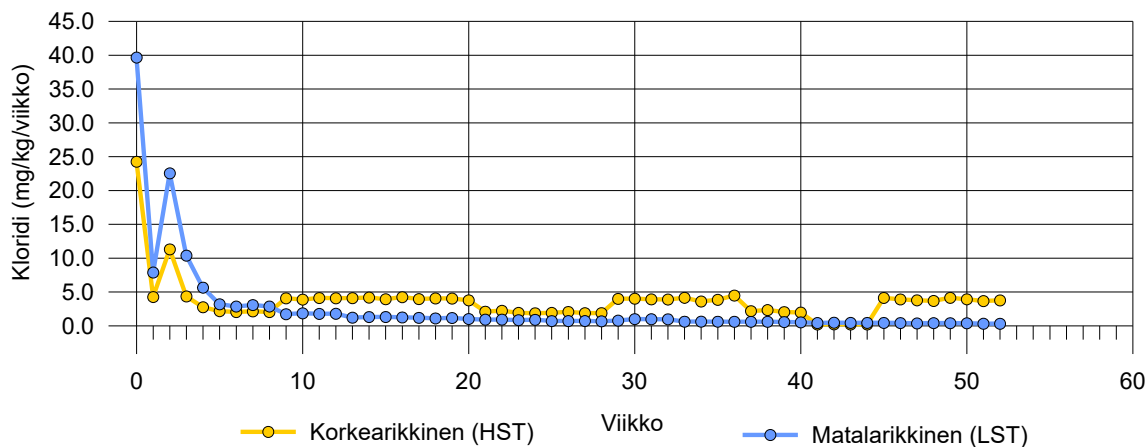
Kuva 7-29. Kalsiumin vapautumisnopeus kosteuskammiokokeessa, prosessivaihtoehto 2 (Geochemic Ltd. 2021a).



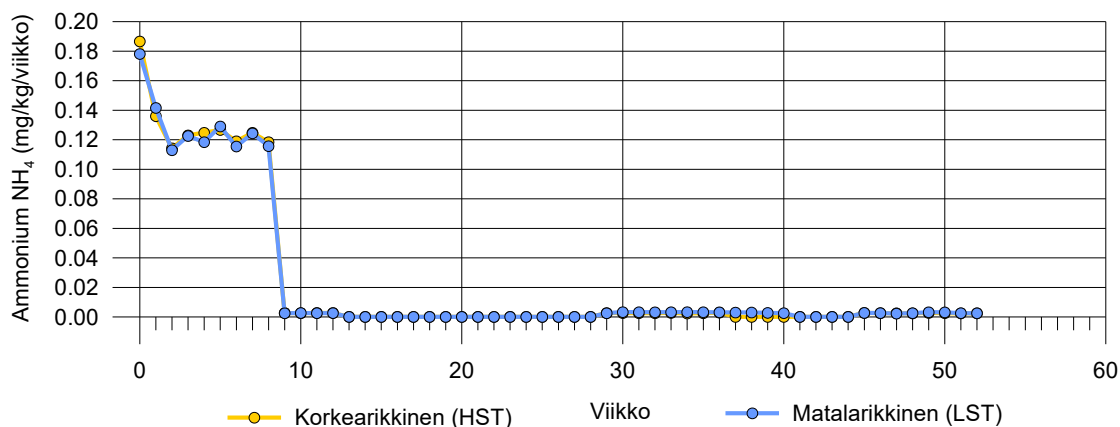
Kuva 7-30. Magnesiumin vapautumisnopeus kosteuskammiokokeessa, prosessivaihtoehto 2 (Geochemic Ltd. 2021a).



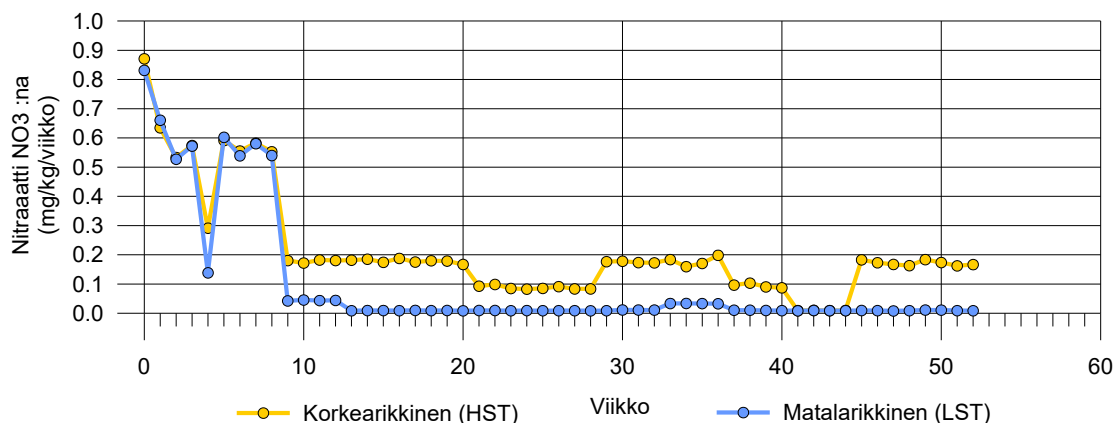
Kuva 7-31. Kokonaisriikin muuttuminen kosteuskammiokokeen aikana, prosessivaihtoehto 2 (Geochemic Ltd. 2021a).



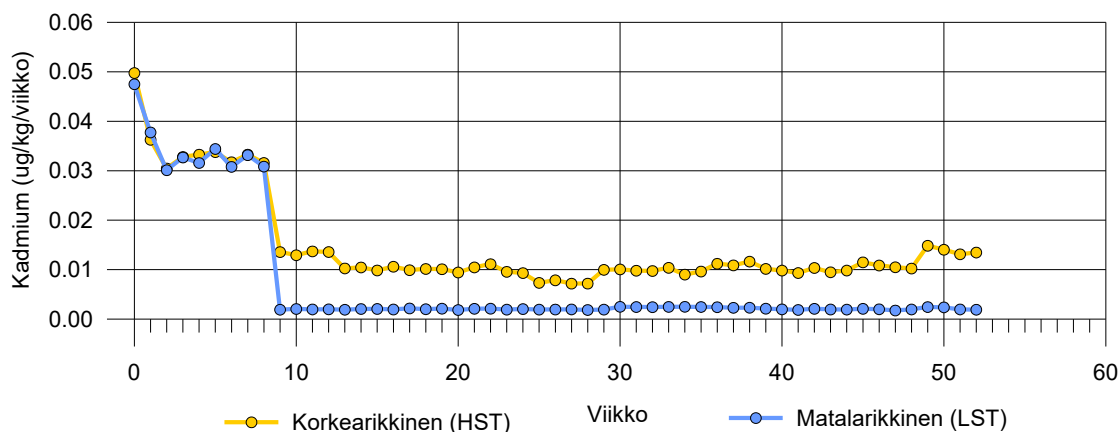
Kuva 7-32. Kloridin vapautumisnopeus kosteuskammiokokeessa, prosessivaihtoehto 2 (Geochemic Ltd. 2021a).



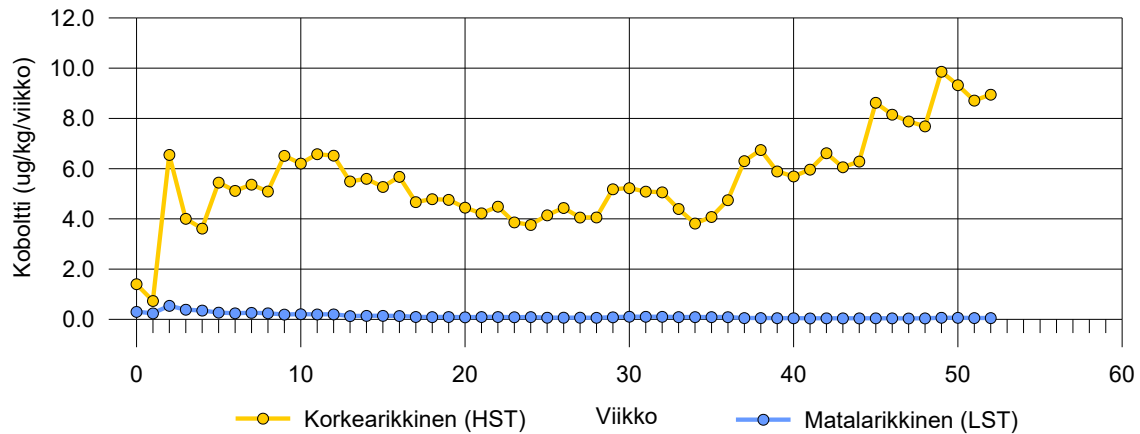
**Kuva 7-33. Ammonium NH_4 vapautumisnopeus kosteuskammioko-
keessa, prosessivaihtoehto 2 (Geochemic Ltd. 2021a).**



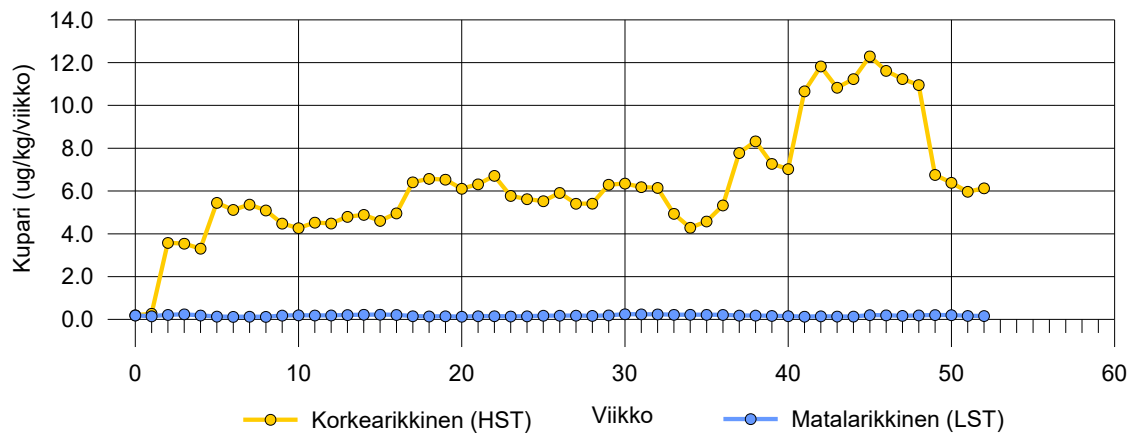
**Kuva 7-34. Nitraatti NO_3 :na, vapautumisnopeus kosteuskammioko-
keessa, prosessivaihtoehto 2 (Geochemic Ltd. 2021a).**



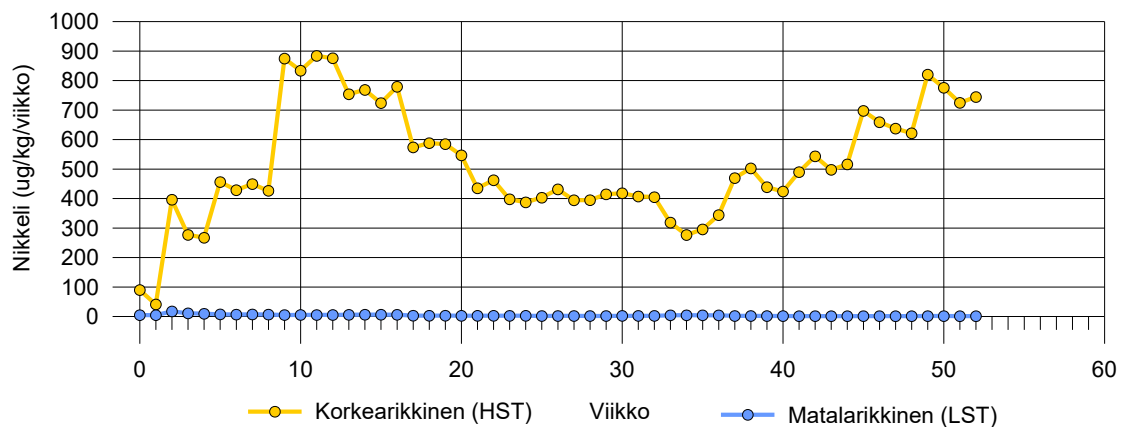
**Kuva 7-35. Kadmiumin vapautumisnopeus kosteuskammiokokeessa,
prosessivaihtoehto 2 (Geochemic Ltd. 2021a).**



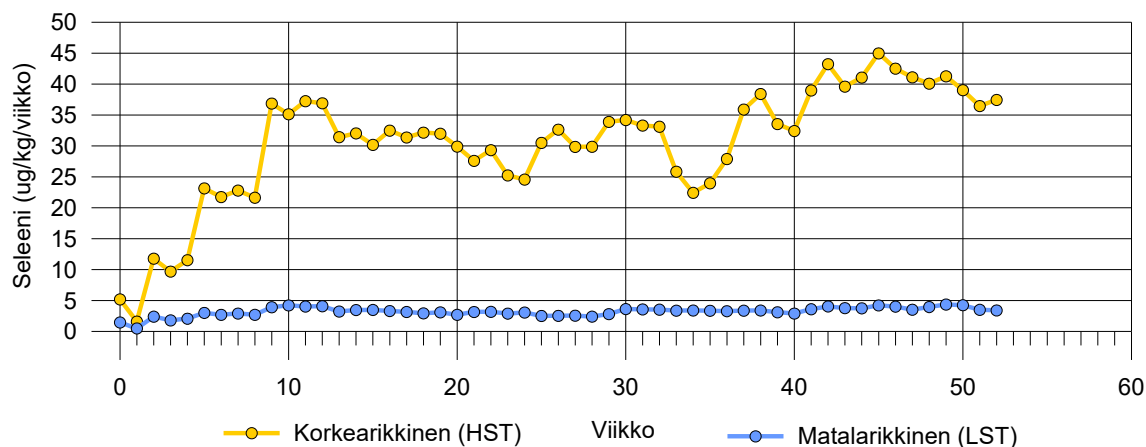
Kuva 7-36. Kobolttin vapautumisnopeus kosteuskammiokokeessa, prosessivaihtoehto 2 (Geochemic Ltd. 2021a).



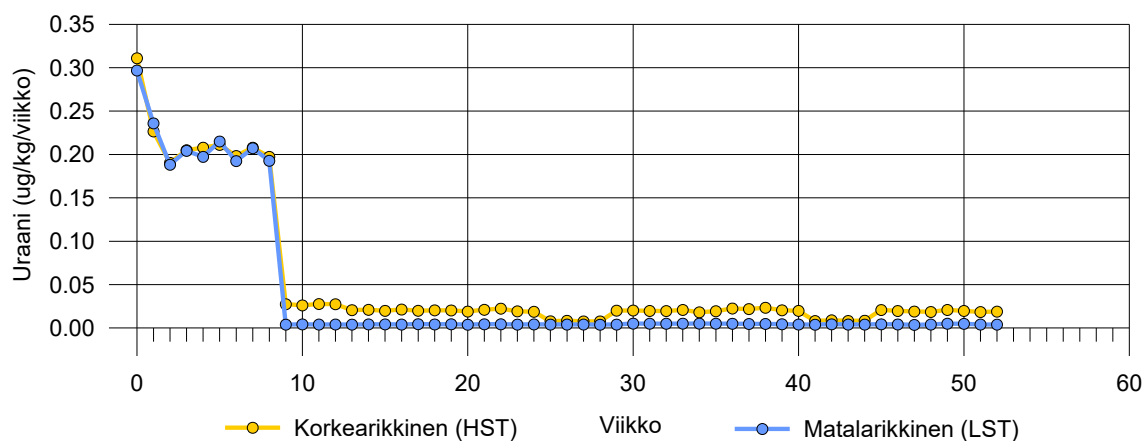
Kuva 7-37. Kuparin vapautumisnopeus kosteuskammiokokeessa, prosessivaihtoehto 2 (Geochemic Ltd. 2021a).



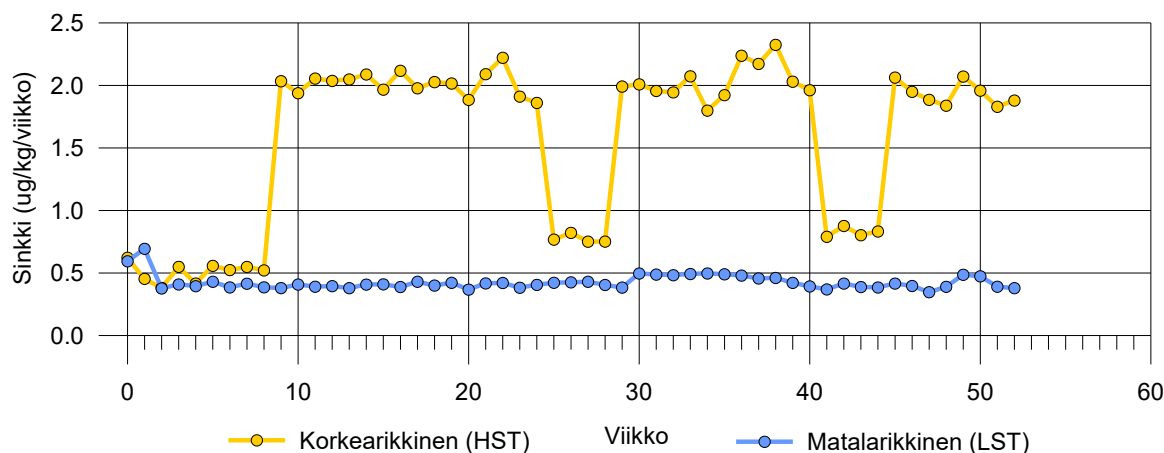
Kuva 7-38. Nikkelin vapautumisnopeus kosteuskammiokokeessa, prosessivaihtoehto 2 (Geochemic Ltd. 2021a).



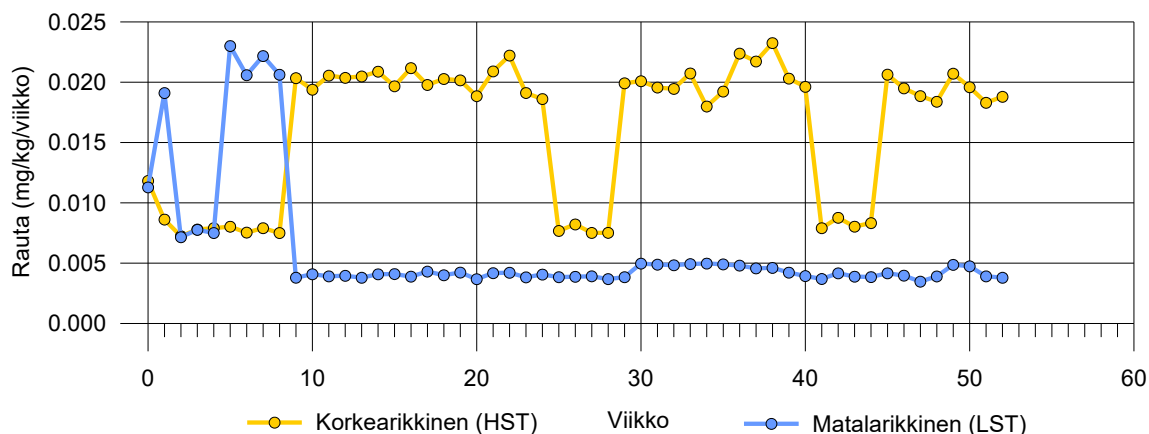
Kuva 7-39. Seleenin vapautumisnopeus kosteuskammiokokeessa, prosessivaihtoehto 2 (Geochemic Ltd. 2021a).



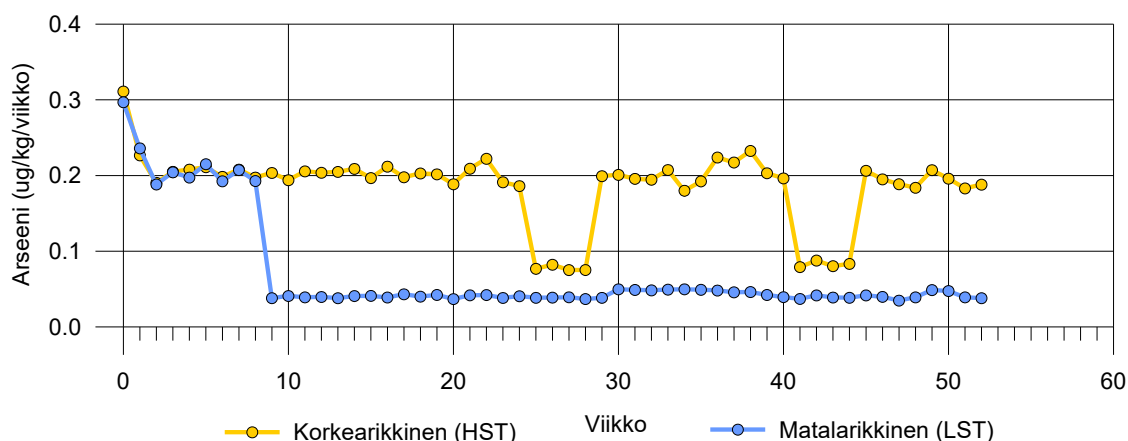
Kuva 7-40. Uraanin vapautumisnopeus kosteuskammiokokeessa, prosessivaihtoehto 2 (Geochemic Ltd. 2021a).



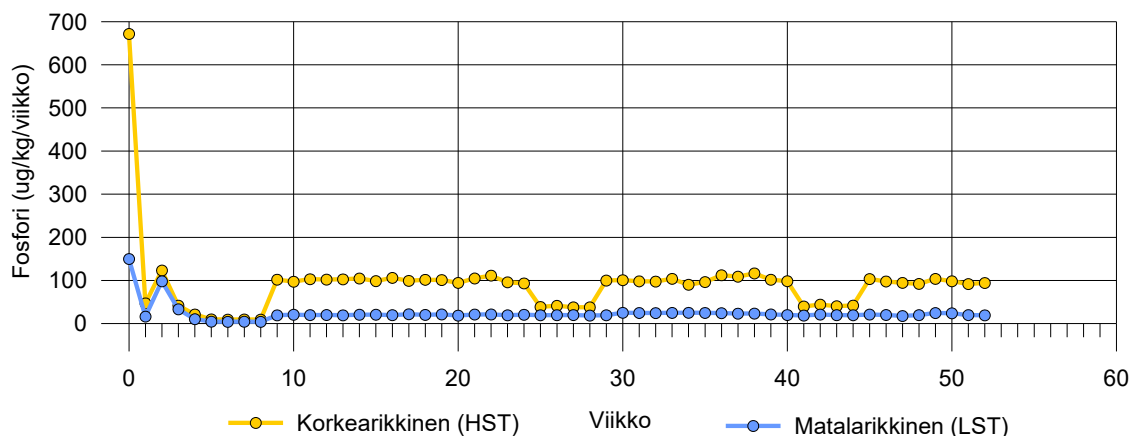
Kuva 7-41. Sinkin vapautumisnopeus kosteuskammiokokeessa, prosessivaihtoehto 2 (Geochemic Ltd. 2021a).



Kuva 7-42. Raudan vapautumisnopeus kosteuskammiokokeessa, prosessivaihtoehto 2 (Geochemic Ltd. 2021a).



Kuva 7-43. Arseenin vapautumisnopeus kosteuskammiokokeessa, prosessivaihtoehto 2 (Geochemic Ltd. 2021a).



Kuva 7-44. Fosforin vapautumisnopeus kosteuskammiokokeessa, prosessivaihtoehto 2 (Geochemic Ltd. 2021a).

7.3.7 Prosessivaihtoehdon 2 monoliitin uuttokoe

Monoliitin uuttokokeella tutkittiin louhostäyttöön valmistettavan pastatäytön käyttäytymistä vesikontaktissa ajan funktiona. Geokemiallisia tutkimuksia varten valmistettiin rikastushiekasta ja sideaineesta kahta erilaista pastatäyttöä edustavat sylinterimäiset näytekappaleet eli monoliitit. Monoliitteja kovetettiin 28 vuorokautta. Monoliiteille tehtiin uuttokoe, jossa lopullinen uuttosuhte (L/S) oli 5. Kokeen kokonaiskesto oli 64 vuorokautta.

Molemmat monoliitit käsittivät sekä matalarikkistä että korkearikkistä rikastushiekkaa ja sideaineena käytettiin sementin ja kuonan seosta suhteella 50:50.

1) Monoliitti 1: korkearikkistä rikastushiekkaa 24 % ja matalarikkistä rikastushiekkaa 76 %. Sekoitussuhde vastaa kaivoksen elinkaaren keskimääräistä pastan koostumusta.

2) Monoliitti 2: korkearikkistä rikastushiekkaa 58 % ja matalarikkistä rikastushiekkaa 42 %. Sekoitussuhde vastaa kaivoksen kahdeksan ensimmäisen vuoden pastan koostumusta.

Monoliitin uuttokokeen tulokset on esitetty taulukoissa 7-19 ja 7-20 sekä kuvassa 7-45. Tulokset on ilmoitettu laskettuna monoliitin pinta-alaa kohti yksikössä mg/m². Uutteen pH oli kaikissa vaiheissa emäksinen. Rikkipitoisuutena esitetty sulfaattipitoisuus kasvoi kokeen edetessä kuten myös prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekkoihin perustuvassa monoliitin uuttokokeessa, mutta sulfaatin vapautuminen käynnistyi nopeammin verrattuna prosessivaihtoehdon 1 monoliittikokeeseen. Kuparin ja arseenin vapautuminen oli prosessivaihtoehdon 1 monoliittia vähäisempää.

Monoliitin uuttokokeen tulokset kuvaavat tutkittujen metallien ja anionien liukemispotentiaalia. Tulokset voidaan skaalata kenttäolosuhteisiin, kuvaamaan louhostäyttöjen vaikutusta maanalaisen kaivoksen veden laatuun.

Taulukko 7-19. Monoliitin 1 uuttokoe, prosessivaihtoehto 2 (mg/m²). Taulukossa on esitetty aineiden liukoisuus laskettuna monoliitin pinta-alaa kohden kunakin ajanjaksona (Geochemic Ltd. 2021c). Huom. monoliitin uuttokokeen tulos ei ole maanalaisen kaivoksen kuivanapitoviesien laatu.

		Uutteen konsentraatio								
Parametri		Vaihe 1	Vaihe 2	Vaihe 3	Vaihe 4	Vaihe 5	Vaihe 6	Vaihe 7	Vaihe 8	
	Päiviä	0,25	1	2,25	4	9	16	36	64	
	Yksikkö	6 h	24 h	54 h	96 h	216 h	384 h	864 h	1536 h	M.R. *
Sähkönjoht.	μS/cm	140	180	190	200	45	39	490	370	0,005
pH		9,9	10	10	10	9,7	9,5	11	9,6	1
Alkaliteetti	mg/m2 CaCO3	1600	2300	2400	2600	8200	8300	3500	1400	2
Alumiini	mg/m2	23	32	36	36	59	57	67	58	0,001
Antimoni	mg/m2	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001
Arseeni	mg/m2	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0049	0,0054	<0,0001	0,0001
Barium	mg/m2	0,3	0,68	0,86	0,91	1,4	1,5	2	1,9	0,0001
Beryllium	mg/m2	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,00002
Vismutti	mg/m2	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	0,00005
Boori	mg/m2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,45	0,54	0,58	0,01
Kadmium	mg/m2	<0,000005	<0,000005	<0,000005	<0,000005	<0,000005	<0,000005	<0,000005	<0,000005	0,000005
Kalsium	mg/m2	380	860	1100	1100	1800	1800	2700	3000	0,05
Kloridi	mg/m2	64	76	78	77	190	140	260	230	0,08
Kromi	mg/m2	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0005
Koboltti	mg/m2	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001
Kupari	mg/m2	0,022	0,017	0,017	0,018	0,041	0,044	0,12	0,13	0,0002
Fluoridi	mg/m2	<0,1	<0,1	4,4	4,5	7,5	8,3	13	12	0,1
Rauta	mg/m2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Lyijy	mg/m2	0,0023	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	0,00005
Litium	mg/m2	0,065	0,1	0,11	0,12	0,19	0,19	0,3	0,3	0,001
Magnesium	mg/m2	0,29	0,81	1,1	1,2	0,79	0,73	0,61	0,67	0,005
Mangaani	mg/m2	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001
Elohopea	mg/m2	<0,000005	<0,000005	<0,000005	<0,000005	0,0041	<0,000005	0,00021	0,00025	0,000005
Molybdreeni	mg/m2	0,011	0,011	0,012	0,012	0,025	0,024	0,048	0,046	0,00005
Nikkeli	mg/m2	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,034	0,036	0,0005
Fosfori	mg/m2	0,12	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,38	0,29	0,002
Kalium	mg/m2	400	440	410	390	680	620	950	810	0,05
Seleen	mg/m2	0,082	0,051	0,059	0,064	0,1	0,12	0,21	0,24	0,00005
Pii	mg/m2	28	58	88	110	140	140	130	110	0,05
Hopea	mg/m2	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	0,00001
Natrium	mg/m2	330	350	330	320	560	510	870	670	0,05
Strontium	mg/m2	1,9	3,6	3,7	3,8	6,6	6,6	10	11	0,0002
Sulfaatti-rikki (S)	mg/m2	150	180	190	200	360	420	840	1100	0,04
Tallium	mg/m2	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	0,00001

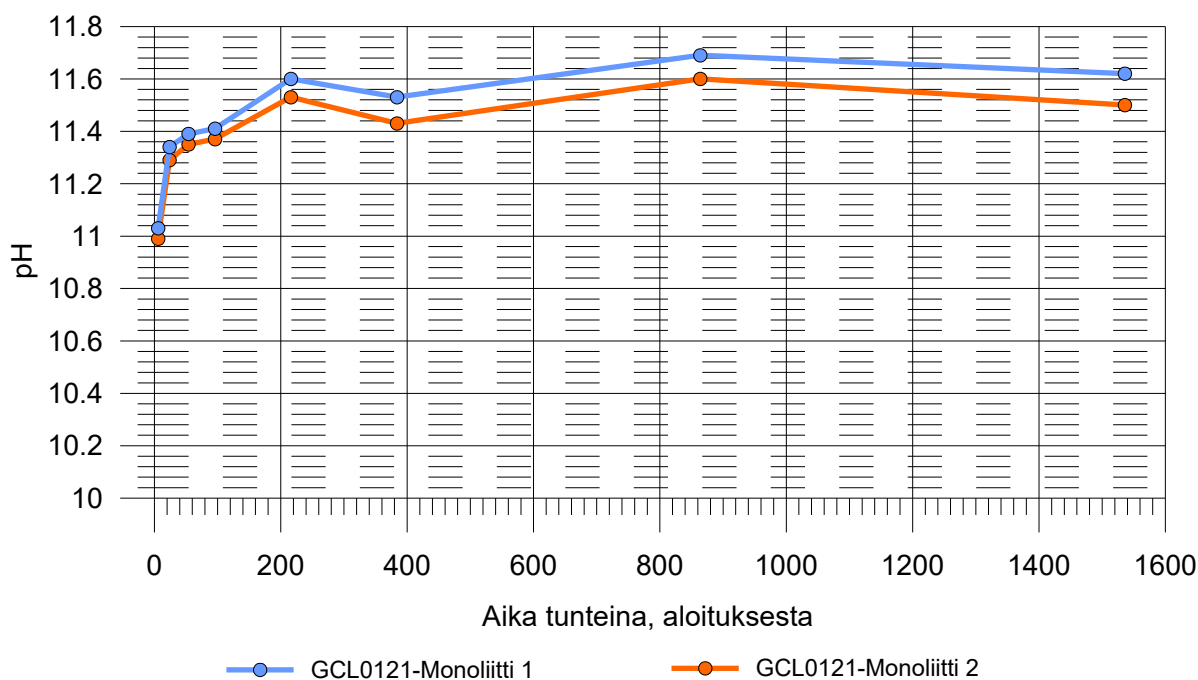
Parametri		Uutteen konsentraatio								M.R. *
		Vaihe 1	Vaihe 2	Vaihe 3	Vaihe 4	Vaihe 5	Vaihe 6	Vaihe 7	Vaihe 8	
	Päiviä	0,25	1	2,25	4	9	16	36	64	
	Yksikkö	6 h	24 h	54 h	96 h	216 h	384 h	864 h	1536 h	
Kokonais- typpi (N)	mg/m ²	1,3	1,8	2,1	2,2	4,2	4,3	8,1	7	0,005
Volframi	mg/m ²	0,045	0,021	0,022	0,023	0,04	0,042	0,067	0,061	0,0001
Uraani	mg/m ²	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	0,00001
Vanadiini	mg/m ²	0,084	0,17	0,24	0,28	0,48	0,49	0,63	0,54	0,0005
Sinkki	mg/m ²	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001
* M.R. = määrittäysraja										

Taulukko 7-20. Monoliitin 2 uuttokoe, prosessivaihtoehto 2 (mg/m²).
Taulukossa on esitetty aineiden liukoisuus laskettuna monoliitin pinta-
alaa kohden kunakin ajanjaksona (Geochemic Ltd. 2021c). Huom. mo-
noliitin uuttokokeen tulos ei ole maanalaisen kaivoksen kuivanapitove-
sien laatu.

Parametri		Uutteen konsentraatio								M.R. *
		Vaihe 1	Vaihe 2	Vaihe 3	Vaihe 4	Vaihe 5	Vaihe 6	Vaihe 7	Vaihe 8	
	Päiviä	0,25	1	2,25	4	9	16	36	64	
	Yksikkö	6 h	24 h	54 h	96 h	216 h	384 h	864 h	1536 h	
Sähkön- joht.	μS/cm	160	220	230	200	41	38	520	470	0,005
pH		10	10	10	10	9,5	9,3	11	9,3	1
Alkali- teetti	mg/m ² CaCO ₃	1500	2400	2700	2100	9700	10000	2900	1300	2
Alumiini	mg/m ²	27	38	39	39	60	56	67	56	0,001
Antimoni	mg/m ²	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001
Arseeni	mg/m ²	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0045	0,0045	0,0049	<0,0001	0,0001
Barium	mg/m ²	0,3	0,6	0,71	0,75	1,2	1,2	1,6	1,6	0,0001
Beryllium	mg/m ²	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,00002
Vismutti	mg/m ²	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	0,0041	0,00005
Boori	mg/m ²	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,49	0,49	0,01
Kadmium	mg/m ²	<0,000005	<0,000005	<0,000005	<0,000005	<0,000005	<0,000005	<0,000005	<0,000005	0,000005
Kalsium	mg/m ²	520	950	1100	1200	1900	2000	3000	3700	0,05
Kloridi	mg/m ²	65	76	82	78	140	140	240	210	0,08
Kromi	mg/m ²	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0005
Koboltti	mg/m ²	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001
Kupari	mg/m ²	0,042	0,023	0,023	0,023	0,046	0,054	0,11	0,13	0,0002
Fluoridi	mg/m ²	<0,1	4,2	4,6	4,6	8	8	12	16	0,1
Rauta	mg/m ²	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Lyijy	mg/m ²	0,0034	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	0,00005
Litium	mg/m ²	0,1	0,12	0,14	0,14	0,23	0,24	0,4	0,42	0,001
Magne- sium	mg/m ²	0,4	0,94	1,4	1,7	1,1	1,1	0,91	0,89	0,005
Mangaani	mg/m ²	0,0065	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001
Elohopea	mg/m ²	<0,000005	<0,000005	<0,000005	<0,000005	0,0041	0,0041	<0,000005	<0,000005	0,000005

Parametri		Uutteen konsentraatio								
		Vaihe 1	Vaihe 2	Vaihe 3	Vaihe 4	Vaihe 5	Vaihe 6	Vaihe 7	Vaihe 8	M.R. *
	Päiviä	0,25	1	2,25	4	9	16	36	64	
	Yksikkö	6 h	24 h	54 h	96 h	216 h	384 h	864 h	1536 h	
Molybdeeni	mg/m ²	0,018	0,02	0,021	0,018	0,04	0,04	0,077	0,073	0,00005
Nikkeli	mg/m ²	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,042	0,051	0,0005
Fosfori	mg/m ²	0,26	0,19	0,2	0,2	0,25	0,24	0,55	0,46	0,002
Kalium	mg/m ²	430	440	460	430	700	630	950	810	0,05
Seleen	mg/m ²	0,052	0,072	0,079	0,081	0,15	0,15	0,25	0,21	0,00005
Pii	mg/m ²	22	49	79	91	120	120	110	92	0,05
Hopea	mg/m ²	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	0,0021	0,00001
Natrium	mg/m ²	330	340	350	330	580	510	830	660	0,05
Strontium	mg/m ²	2,2	3,5	3,9	3,8	6,7	6,9	11	12	0,0002
Sulfaattirikki (S)	mg/m ²	220	260	280	270	490	540	1100	1300	0,04
Tallium	mg/m ²	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	0,00001
Kokonais-typpi (N)	mg/m ²	1,5	2	2,2	2,3	4,4	4,4	8,6	7,4	0,005
Volframi	mg/m ²	0,077	0,035	0,034	0,033	0,059	0,063	0,1	0,089	0,0001
Uraani	mg/m ²	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	0,00001
Vanadiini	mg/m ²	0,063	0,15	0,23	0,27	0,42	0,43	0,52	0,44	0,0005
Sinkki	mg/m ²	0,12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001

* M.R. = määrittäysraja



Kuva 7-45. Monoliitin uuttokokeen pH tutkimuksen eri vaiheissa (Geochemic Ltd. 2021c). Monoliitit 1 ja 2 prosessivaihtoehdossa 2.

7.4 Viimeisimmät rikastuskokeet ja meneillään oleva karakterisointityö

Viimeisimmät rikastuskokeet on tehty 2021 vuoden lopulla ja rikastushiekkojen karakterisointi on käynnistetty. Tässäkin kokeessa käytetyn malmin jaottelun mukaisina niminä olivat pirotealmi, juonistomalmi sekä massiivinen malmi. Taulukossa 7-21 esitetään 16 matalarikkisen rikastushiekkänäytteen nelihappuutolla määritettyjen rikki-, koboltti-, kupari- ja nikkelpitoisuuksien jakauma. Pitoisuudet ovat samaa suuruusluokkaa edellä esitettyjen matalarikkisen rikastushiekan pitoisuuksien kanssa prosessivaihtoehtoissa 1 ja 2. Viimeisimmän rikastuskokeen eri ajojen välillä on teknisiä eroja eikä kaikkia ajoja voida pitää tässä yhteydessä edustavina tai oleellisina. Nämä alustavat tulokset esitetäänkin ainoastaan matalarikkisten rikastushiekkojen laadun vaihtelua kuvaavina tietoina.

Taulukko 7-21. Alkuaineiden kokonaispitoisuudet matalarikkisten rikastushiekkojen nelihappuutosta määritettynä sekä vertailuarvoina käytetyt PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) kynnysarvot. Näytteiden lukumäärä n=16.

Parametri	Rikki	Koboltti	Kupari	Nikkeli
Yksikkö	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg
kynnysarvo VNA 214/2007		20	100	50
keskiarvo	0,21	62	310	1 407
mediaani	0,22	60	285	1 400
minimi	0,11	60	240	1 200
maksimi	0,34	70	640	1 580

7.5 Eri prosessivaihtoehtojen rikastushiekkojen geokemiallisten tulosten vertailu

Tässä luvussa verrataan tiivistetysti kahden eri prosessivaihtoehdon geokemiallisia karakterisointituloksia.

7.5.1 Prosessivaihtoehtojen 1 ja 2 rikastushiekkojen vertailu

Nelihappuutossa havaittiin tutkittujen metallien osalta sama trendi VNA 214/2007 mukaisten ylitysten osalta. Prosessivaihtoehdon 1 osalta sekä matala- että korkearikkisen rikastushiekan kromi-, kupari-, nikkeli- ja kobolttipitoisuudet ylittivät VNA 214/2007 mukaiset kynnysarvot ja lisäksi matalarikkisen rikastushiekan vanadiinipitoisuus ylitti kynnysarvon. Lähes vastaava tulos havaittiin prosessivaihtoehto 2:lle, eli kynnysarvojen ylitykset liittyivät samoihin aineisiin kuin prosessivaihtoehto 1:ssä, mutta lisäksi prosessivaihtoehdossa 2 havaittiin vanadiinin kynnysarvon ylitys korkearikkisessä rikastushiekassa.

Yleisesti metallipitoisuudet olivat molempien prosessivaihtoehtojen matalarikkisessä rikastushiekassa pienemmät kuin korkearikkisessä rikastushiekassa. Poikkeuksena kuitenkin prosessivaihtoehdossa 1 havaittiin merkittävästi suurempi kromipitoisuus matalarikkisessä rikastushiekassa kuin korkearikkisessä. Tulosten suuruusluokan osalta havaittiin, että korkea- ja matalarikkisten rikastushiekkojen nelihappouuton metallipitoisuudet olivat metallista riippuen keskimäärin hieman pienemmät prosessivaihtoehto 2:ssa. Erot olivat pääasiassa 20-30 %:n luokkaa.

ABA-testissä prosessivaihtoehto 1:n korkearikkisen rikastushiekan rikkipitoisuus oli suhteellisen suuri. Prosessivaihtoehdossa 2 sekä kokonaisrikkipitoisuus että sulfidirikkipitoisuus olivat selvästi pienempiä kuin prosessivaihtoehdossa 1. Kokonaisrikki- ja sulfidirikkipitoisuudet olivat 30-40 % suuremmat prosessivaihtoehto 1:ssä verrattuna prosessivaihto 2:een. NPR-tulokset olivat prosessivaihtoehtojen välillä enemmän samansuuntaiset, ja sekä prosessivaihtoehto 1:n että prosessivaihtoehto 2:n korkearikkisen rikastushiekan voitiin luokitella mahdollisesti happoa tuottavaksi (PAF). Molempien prosessivaihtoehtojen matalarikkiset rikastushiekat luokiteltiin ei-happoa tuottaviksi (NAF). Myös *NAG-tulosten* perusteella molempien prosessivaihtoehtojen korkearikkiset rikastushiekat ovat happoa tuottavia (PAF). Molempien prosessivaihtoehtojen matalarikkiset rikastushiekat luokitellaan NAG-testin perusteella ei-happoa tuottaviksi (NAF).

Prosessivaihtoehto 1:ssä tehtiin *kosteuskammio*koe ainoastaan matalarikkiselle rikastushiekalle, lisäksi prosessivaihtoehdosta 1 on kosteuskammiotuloksia vain viikkoon 24 asti, mutta prosessivaihtoehto 2:sta on tuloksia raportoitu viikolle 54 asti. Seuraavassa esitetään lyhyesti prosessivaihtoehto 1:n ja prosessivaihtoehto 2:n matalarikkisten rikastushiekkojen tulosten vertailua. Prosessivaihtoehdossa 1 pH pysyi neutraalilla ja lievästi emäksisellä alueella koko kokeen ajan, mutta prosessivaihtoehdossa 2 oli pH läpi koko kokeen emäksinen. Sulfaattia muodostui prosessivaihtoehto 1:n matalarikkisestä rikastushiekasta enemmän kuin prosessivaihtoehto 2:n rikastushiekasta ja molemmissa vaihtelu oli alkuvaiheen jälkeen ollut melko vähäistä. Arseenin vapautuminen oli suurempaa prosessivaihtoehto 2:n rikastushiekassa, mutta molemmissa kokeissa arseenin vapautuminen oli melko tasaista viikon 12 jälkeen.

7.5.2 Pastatäyttöjen vertailu käytettäessä raaka-aineena prosessivaihtoehtojen 1 ja 2 rikastushiekoja

Monoliitin uuttokokeessa prosessivaihtoehto 1:ssä tehtiin monoliitti korkea- ja matalarikkisestä rikastushiekasta suhteessa 9,3/90,4 % sekoitettuna pieneen sideainemäärään, jossa on 50 % sementtiä ja 50 % kuonaa. Prosessivaihtoehdossa 2 tehtiin kaksi monoliittia suhteissa 24/76 % sekä 58/42 %. Eroihin vaikuttivat eri tutkimusajankohtien näkemykset pastatäytön optimaalisesta koostumuksesta. Prosessivaihtoehtojen monoliittikokeiden tuloksia ei siis pidä

yksiselitteisesti verrata toisiinsa, sillä erot eivät johdu pelkästään raaka-aineena käytettävästä rikastushiekasta.

Molempien prosessivaihtoehtojen monoliittien uuttoliuoksen emäksisyydet kasvoivat selvästi kokeen alkuvaiheessa (kolme päivää) molempien prosessivaihtoehtojen tapauksessa.

Rikkipitoisuutena esitetty sulfaattipitoisuus kasvoi kokeen edetessä prosessivaihtoehdossa 2 kuten myös prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekkoihin perustuvassa monoliitin uuttokokeessa. Sulfaatin vapautuminen käynnistyi prosessivaihtoehdossa 2 nopeammin verrattuna prosessivaihtoehdon 1 monoliittikokeeseen. Kuparin ja arseenin vapautuminen prosessivaihtoehto 2:n monoliitista oli prosessivaihtoehdon 1 monoliittia vähäisempää.

8 Poimintoja malmin ominaisuuksista

Tässä luvussa käsitellään tietoja malmista, niiltä osin kuin tiedot liittyvät mm. rikastushiekan ominaisuuksien muodostumiseen. Myös malmin vaihtelua käsitellään pääpiirteissään.

8.1 Malmin mineralogia ja arvoaineiden sitoutuminen eri mineraaleihin

Sakatin malmi on jaettu seuraaviin malmityyppeihin:

- Massiivinen malmi ("Massive Sulphide", MS)
 - pääasiallinen isäntäkivi on peridotiitti
- Juonistomalmi ("Stockwork", STW)
 - pääasiallinen isäntäkivi on afaniitti
- Pirotomalmi ("Disseminated", DISS)
 - pääasiallinen isäntäkivi on peridotiitti

Malmimineraalit ovat pitkälti samat kaikissa malmityypeissä. Käytännössä kaikki kupari on sitoutunut kuparikiisuun (CuFeS_2). Satunnaisesti tavataan pieniä määriä bornittia (Cu_5FeS_4), kubanittia (CuFe_2S_3) ja valleriittia ($4(\text{Fe,Cu})\text{S} \cdot 3(\text{Mg,Al})(\text{OH})_2$), mutta malmimineraaleina nämä ovat merkityksettömiä.

Nikkeli on jakautunut useampaan mineraaliin. Nikkelin osalta päämalmimineralei on kaikissa malmityypeissä ja esiintymän eri osissa pentlandiitti ($(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$). Se on muuttunut lohkorakojen ja raareunojen myötä vähäisessä määrin violariitiksi (FeNi_2S_4). Satunnaisesti tavataan polydymiittia (Ni_3S_4) ja milleriittia (NiS). Osa nikkelistä on sitoutunut rautasulfideihin eli magneettikiisuun (Fe_{1-x}S) ja rikkikiisuun (FeS_2). Magneettikiisun nikkelpitoisuus on yleisesti hieman alle 0,5 % ja rikkikiisussa se on alle 0,1 %. Edellä mainittujen mineraalien lisäksi nikkeli esiintyy ei-sulfidissa muodossa, lähinnä Mg-Fe -siliikaattien hilassa, jossa nikkeli korvaa magnesiumia ja rautaa. Serpentiinin nikkelpitoisuus voi olla jopa 3000 mg/kg, joskin tyypillisesti noin 2800 mg/kg. Myös talkissa, kloriitissa ja oliiviinissa nikkelpitoisuus voi olla korkeampi kuin 1000 mg/kg.

Ei-sulfidista nikkeliä ei tavoitella rikasteeseen, koska rikasteen tavoitenikkelpitoisuutta ei voitaisi saavuttaa siliikaattien laimentaessa tuotetta. Niinpä ei-sulfidinen nikkeli lasketaan käytännössä menetettäväksi. Ei-sulfidisen nikkelin osuus kokonaisnikkelistä on käänteisessä suhteessa kokonaisnikkelipitoisuuteen. Eli korkeanikkelisissä massiivisissa malmeissa ei-sulfidisen nikkelin osuus on hyvin pieni, kun taas pirotomalmissa ei-sulfidinen nikkeli voi olla jopa 50 % kokonaisnikkelistä.

Koboltti on sitoutunut pentlandiittiin, rikkikiisuun, polydymiittiin ja ei-sufidisiin mineraaleihin. Pentlandiitin kobolttipitoisuus on 1-3 % ja rikkikiisussa se on vain noin 0,5 %.

Sulfidimineraalien kemiallinen koostumus esitetään taulukossa 8-1. Lisäksi taulukossa 8-2 esitetään platinaryhmän mineraalit, kulta- ja hopeamineraalit sekä telluurimineraalit.

Taulukko 8-1. Sulfidimineraalien kemiallinen koostumus Sakatin malmissa massaprocentteina. Massiivinen malmi jaetaan magneettikiisutyyppeihin (MS Po) ja rikkikiisutyyppeihin (MS Py) tai magneettikiisuvaltaisiin (MS Po Dom) ja rikkikiisuvaltaisiin (MS Py Dom). Juonistomalmi jaetaan isäntäkiven mukaan: peridotiitti (STW PRD) tai afaniitti (STW APH).

Keskeinen malmi-mineraali	Malmi-tyyppi	Näyte	Ni %	Co %	Cu %	Fe %	S %	Summa
			nikkeli	koboltti	kupari	rauta	rikki	
Pentlandiitti	MS Po	M1	36,57	1,30	0,01	30,55	32,99	101,42
		P1	37,73	0,87	0,03	29,14	32,98	100,76
		P2	36,08	0,24	0,00	30,30	33,39	100,01
	MS Py	P3	45,57	0,48	0,06	23,66	32,55	102,32
	STW PRD	M2	39,13	0,93	0,04	26,64	33,70	100,43
		M3	37,90	2,06	0,05	27,45	32,87	100,34
		P4	35,00	3,04	0,08	29,10	33,58	100,80
Violariitti	STW APH	P4	38,55	2,10	0,29	15,20	43,68	99,82
Milleriitti	MS Py Dom	P3	63,91	0,27	0,01	1,18	35,47	100,83
	STW PRD	P4	59,44	2,94	2,94	2,37	35,27	102,94
Polydymiitti	MS Py Dom	P3	51,87	0,38	0,50	5,48	41,70	99,94
Magneettikiisu	MS Po Dom	M1	0,26	0,09	0,03	61,07	39,74	101,18
		P1	0,50	0,08	0,01	60,06	39,59	100,24
		P2	0,61	0,07	0,04	60,08	39,71	100,50
	STW PRD	M2	0,38	0,09	0,07	59,91	39,85	100,29
		M3	0,54	0,11	0,14	59,28	39,73	99,81
		P4	0,46	0,09	0,04	61,17	38,82	100,57
Rikkikiisu	MS Po Dom	M1	0,08	0,59	0,00	47,34	53,26	101,27
		P1	0,05	0,66	0,00	46,55	52,73	99,99
		P2	0,06	0,06	0,08	47,21	52,57	99,98
	MS Py Dom	P3	0,24	0,61	0,01	46,94	53,18	100,97
	STW PRD	M2	0,01	0,07	0,01	47,64	53,73	101,46
		M3	0,04	0,06	0,02	47,28	53,99	101,39
		P4	0,08	0,54	0,00	45,26	53,29	99,16

Taulukko 8-2. Sakatin näytteissä tavatut kulta-, hopea- ja platinaryhmän mineraalit sekä telluurimineraalit.

Ryhmä	Mineraali	Esiintyminen Sakatissa	Kaava (puhtaana)
PGE- mineraalit (platinaryhmän mineraalit)	Merenskyiitti	Pää-PGE mineraali. Kiinteä liuos (solid solution). Mrn-Mon-Melo	(Pt,Pd)(Te,Bi) ₂
	Moncheiitti		(Pt,Pd)(Te,Bi) ₂
	Meloniitti		NiTe ₂
	Sperrylliitti	Yleinen PGE mineraali PGE rikkaissa näytteissä	PtAs ₂
	Reniitti	Harvinainen, muutamia rakeita tavattu	ReS ₂
	Ruarsiitti	Harvinainen, muutamia rakeita tavattu	RuAsS
	Rodium	Harvinainen, muutamia rakeita tavattu	(Rh,Pt)
	Irarsiitti	Harvinainen, muutamia rakeita tavattu	(Ir,Ru,Rh,Pt)AsS
	Isoferroplatinum	Harvinainen, muutamia rakeita tavattu	(Pt,Pd) ₃ (Fe,Cu)
Kultamineraalit	Kulta	Pääkultamineraali elektrumin kanssa	Au
	Elektrumi	Koostumus vaihtelee	(Au,Ag)
Hopeamineraalit	Argentopentlandiitti	Päähopeamineraali	Ag(Fe,Ni) ₈ S ₈
	Hessiitti	Yleinen hopeamineraali	Ag ₂ Te
	Argentiitti	On löydetty satunnaisesti	Ag ₂ S
Telluurimineraalit	Tellurovismutiitti	Harvinainen, tavattu joissakin näytteissä	Bi ₂ Te ₃
	Altaiitti	Harvinainen, tavattu joissakin näytteissä	PbTe
	Meloniitti	Harvinainen, tavattu joissakin näytteissä	NiTe ₂
	Tsumoiitti	Harvinainen, tavattu joissakin näytteissä	BiTe

8.2 Rikastamon syötteen vaihtelu ja sen vaikutus rikastushiekkoihin

Sakatin kolme päämalmityyppiä massiivinen sulfidimalmi, juoni-verkostomalmi ja pirotemalmi poikkeavat toisistaan mineralogisesti niin, että sulfidimäärät ovat massiivisessa malmissa hyvin korkeita 40–80 % (rikkipitoisuus 10–40%), verkostomalmissa selkeästi alhaisempia, noin 5 % (rikkipitoisuus tyypillisesti 2–5 %) ja pirotemalmissa hyvin matalat 3–4 % (rikkipitoisuus noin 2 %). Massiivisessa malmissa pääarvomineraalit, kuparikiisu ja pentlandiitti, esiintyvät kuta-kuinkin yhtä suurina pitoisuuksina, kun taas juoni-verkostomalmissa kupari-kiisun osuus on lähes kymmenkertainen verrattuna pentlandiittiin ja pirotemalmissa taas kuparikiisun määrä on noin kolminkertainen. Nämä heijastuvat vastaavasti suoraan nikkeli-kuparisuhteisiin, koska pentlandiitti on nikkelin pääkantaja ja vastaavasti kupari on lähes yksinomaan sitoutuneena kuparikiisuun.

Malmityypeissä on lisäksi eroja rautasulfidien määrässä suhteessa pääarvomineraaleihin. Massiivisessa malmissa rautasulfidit ovat pääsulfideja, niin että niiden osuus on 60–90 % sulfideista. Juoniverkostomalmissa kuparikiisu muodostaa 70–90 % sulfideista, rautakiisujen osuuden ollessa 10–30 %. Pirotemalmissa rautasulfidit muodostavat 40–70 % sulfideista. Rautasulfidien keskinäiset

suhteet vaihtelevat, niin että useimmiten sekä rikkikiisu että magneettikiisu ovat läsnä, mutta kaikissa malmityypeissä on vaihtelua rikkikiisuvaltaisesta magneettikiisuvaltaiseen.

Magneetiitti on yleinen mineraali kaikissa malmityypeissä. Massiivisessa malmis-
sa se esiintyy karkeina rakeina sulfidien joukossa ja sen määrä on 10–25 % sulfideista. Juonistomalmissa ja varsinkin pirotteisessa malmissa magneetiitin määrä on jopa suurempi kuin sulfidien ja se esiintyy pääasissa hienorakeisena silikaattimineraalien joukossa.

Silikaattimineraalien suhteen malmityypeissä esiintyy vaihtelua niin että mag-
nesiumrikkaat mineraalit kuten serpentiini, oliviini, talkki ja pyrokseenit ovat valtasilikaatteja massiivisessa ja pirotemalmissa kun taas juoniverkostomalmis-
sa on runsaammin amfibolia, joka kovana mineraalina tekee siitä poikkeukselli-
sen jauhautumisominaisuuksiltaan.

Eri malmityypit ovat mukana rikastamon syötteessä kaivoksen koko elinkaaren ajan, mutta määräsuhteet vaihtelevat kaivoksen elinkaaren aikana jossain mää-
rin. Kaivoksen elinkaaren alkupuoliskolla rikastamon syötteessä painottuu mas-
siivisen malmin osuus. Tätä kuvastaa rikkipitoisuus, joka alustavan tuotanto-
suunnitelman vuosikeskiarvoissa vaihtelee 8–16 % välillä. Toiminnan loppuai-
koina syötteessä korostuvat juonimalmin ja pirotemalmin osuudet, jolloin vuosi-
keskiarvot rikkipitoisuudessa ovat 3–10 %. Rikastuskokeissa on tutkittu malmin
vaihtelun vaikutusta rikastustulokseen ja tuotteiden sekä rikastushiekkojen pi-
toisuuksiin. Ensisijaisesti on tutkittu rikastamon keskimääräistä syötettä ja
myös rikastushiekat edustavat keskimääräistä syötettä. Yhteenvedona voidaan
todeta, että malmi on verrattain helppo rikastaa, metallien talteensaannit ovat
korkeita, eikä malmin vaihtelu vaikuta merkittävästi rikasteiden pitoisuuksiin.
Sitä vastoin malmin koostumuksen vaihtelulla on suuri vaikutus tuotteiden ja ri-
kastushiekkojen määräsuhteisiin. Korkeilla rikki- ja metallipitoisuuksilla toimin-
nan alkupuoliskolla korkearikkisen rikastushiekan osuus rikastushiekoista on
vuosikeskiarvona noin 20 %, kun taas toiminnan loppupuoliskolla korkearikki-
sen rikastushiekan osuus on alle 10 % rikastushiekoista. Matalarikkisen rikas-
tushiekan rikkipitoisuudet pyritään pitämään mahdollisimman alhaisena ja
haasteellisinta se tulee olemaan ajanjaksoina, joina syötettävän malmin rikkipi-
toisuus on korkea ja magneettikiisun osuus sulfideista on korkea. Korkearikki-
sen rikastushiekan rikkipitoisuudelle ei ole tuotannollisia tavoitearvoja, vaan sen
rikkipitoisuus tulee määräytymään lähinnä sen perusteella, kuinka helposti sulfi-
dimineraalit saadaan poistettua matalarikkisestä rikasteesta. Rikastusvaihtoeh-
doilla on eroa ja myös malmin kokonaisrikkipitoisuudella on merkityksensä.
Rikkipitoisuus nousee luonnostaan korkeaksi, >30 % jopa 40 %, kun syötteen
rikkipitoisuus on korkeimmillaan ja vastaavasti se pyrkii laskemaan alle 20 %,
kun syötteen rikkipitoisuus on matala.

Maanalaisen kaivoksen louhostäytöissä käytettävän pastan koostumuksessa on tarkasteltu kahta erilaista keskimääräistä koostumusta: kaivoksen toimintavuodet 1-8 ja kaivoksen koko elinkaari. Pastan koostumuksen erojen taustalla on se, että korkearikkisen rikastushiekan muodostumisen määrä vaihtelee eri toimintavaiheissa kuten edellä kerrottu.

Tarkasteltaessa ei malmityyppejä, rikkipitoisuus on korkeimmillaan rikkikiisuvaltaisissa malmeissa. Toisaalta keskeiset metallipitoisuudet ovat alimmillaan korkearikkisimmissä malmeissa. Keskeistä on siis, että korkeampi rikkipitoisuus malmissa ei tarkoita korkeampia keskeisten haitta-aineiden pitoisuuksia. Rikastamon toiminnan kannalta on tärkeää, että malmisyöte ei vaihtelee kohtuuttomasti. Syötteen vaihtelua, erityisesti arvo- ja sulfidimineraalien pitoisuuksia, pyritään tasaamaan tarkoituksenmukaisella louhintasuunnittelulla, malmin jakamisella eri varastokasoihin malmityypeittäin mm. partikkelipohjaisella lajittelulla ja kontrolloimalla malmityyppien määräsuhteita syötteessä.

9 Kuitumineraaliselvitykset

Mineralogisen karakterisoinnin yhteydessä (SRK Consulting Ltd. 2018a) rikastushiekoissa ei havaittu asbestikuituja, mutta malmin asbestitutkimuksessa (Kratsov 2017) malmissa havaittiin hyvin pieniä määriä asbestikuituja. Koe-murskauksia koskevaan Työterveyslaitoksen (TTL) työhygieeniseen esiselvitykseen (Työterveyslaitos 2018) valittiin näytemateriaalia, jossa oli mukana keskimääräisten näytteiden lisäksi myös erityisiä näytteitä, joihin kohdistui kuitumineraaliepäilyjä silmämääräisiin havaintoihin perustuen.

9.1 Asbestin määritelmä

Asbestilla tarkoitetaan Valtioneuvoston asetuksessa 798/2015 mainittuja kuitumaisia silikaatteja:

- aktinoliittiasbesti CAS No 77536-66-4
- amosiittiasbesti CAS No 12172-73-5
- antofylliittiasbesti CAS No 77536-67-5
- krysotiili CAS No 12001-29-5
- krokidoliitti CAS No 12001-28-4
- tremoliittiasbesti CAS No 77536-68-6
- erioniitti CAS No 12150-42-8.

Kaivannaisteollisuuden osalta mittauksissa huomioidaan myös sellaiset amfiboli-kuidut, joiden kemiallinen koostumus on lähellä yllä mainittujen mineraalien koostumusta ja joilla voidaan olettaa olevan samankaltaisia terveysvaikutuksia kuin asbestilla.

Työntekijän asbestille altistumista arvioitaessa otetaan huomioon vain sellaiset kuitumaiset asbestihiukkaset, joiden pituus on vähintään viisi mikrometriä ja läpimitta enintään kolme mikrometriä. Lisäksi pituuden suhde läpimittaan on oltava 3:1 tai enemmän.

9.2 Työterveyslaitoksen työhygieeninen esiselvitys

TTL:n työhygieenisessä esiselvityksessä (Työterveyslaitos 2018) tarkasteltiin koemurskauksia, joissa oli mukana hankkeesta vastaavan yhtiön geologien valitsemia kiviä, jotka edustivat malmin päätyyppejä sekä pääsivukiviä. Näitä olivat kuusi sivukivierää ja kaksi malmikivierää sekä edellä mainituista eristä otetut kolme asbestiepäilyä.

9.2.1 Asbestin vapautuminen ilmaan TTL:n tutkimuksessa

TTL:n tutkimuksessa (2018) kaikkien kivierien koemurskauksessa vapautui ilmaan asbestikuituja, joten voidaan olettaa, että vastaavia kiviä louhittaessa ja murskattaessa tavataan asbestikuituja kaivoksen työilmassa, vaikka pölypitoisuudet eivät ylittäisikään HTP-arvoa (haitalliseksi tunnetut pitoisuudet). Kuitupitoisuudet vaihtelivat välillä 0,1–3,4 kuitua/cm³. Kuidut olivat tremoliitti-aktinoliittia, krysotiiliä ja kummingtoniitti-grüneriittiä siten, että samassa näyteerässä esiintyi 1–3 kuitumineraalityyppiä. Ilmanäytteiden asbesti esitettiin suhteutettuna ilman pölypitoisuuteen tuotannossa.

Ilmanäytteiden osalta kahdessa tapauksessa asbestiepäilynäytteet vapauttivat ilmaan enemmän asbestikuituja kuin vastaavat näytteet ilman asbestiepäilyä. Toisaalta yhdessä tapauksessa tilanne oli päinvastainen.

9.2.2 Kiviainesnäytteiden asbesti TTL:n tutkimuksessa

TTL:n tutkimuksessa (2018) kiviainesnäytteiden asbestikuitupitoisuudet jäivät näytteissä useimmiten alle analyysimenetelmän määrittämissä raja-arvojen. Neljästä näyteerästä saadut määrittämissä raja-arvojen ylittäneet tulokset vaihtelivat välillä 0,01–0,13 paino-% (kuitupitoisuuksina 25,24–33,72 kuitua/μg). Kiviainesnäytteiden kuidut olivat tremoliitti-aktinoliittia, krysotiiliä ja kummingtoniittigrüneriittiä siten, että samassa näyteerässä esiintyi 0–2 kuitumineraalityyppiä.

Kiviainesnäytteiden osalta yksi asbestiepäilynäyte sisälsi enemmän asbestikuituja kuin vastaavan erän näyte ilman asbestiepäilyä. Kahden näytteen osalta tilanne oli päinvastainen.

9.3 Kuitumineraalit malmin ja sivukiven mineralogisissa tutkimuksissa

Sivukivien ja malmin mineralogista tutkimusta on tehty osana malmin ja sivukiven perustutkimuksia. Perustutkimuksilla tarkoitetaan tässä yhteydessä malmin hyödynnettävyyden tutkimusta ja sivukiven ominaisuuksien kartoitusta. Näissä tutkimuksissa on käytetty XRD-menetelmää tunnistamaan mineraalit, jotka voivat esiintyä myös asbestina eli hienoina kuituina. Kuitutunnistuksessa on käytetty mikroskopiaa, sekä optista että pyyhkäisyelektronimikroskopiaa. Kuitumineraalihavainnot malmin ja sivukiven perustutkimuksissa ovat olleet kohtuullisen hyvin linjassa työhygieenisen esiselvityksen tulosten (Työterveyslaitos 2018) kanssa.

Asbestin tunnistaminen sivukiven ja malmin yleisissä mineralogisissa tutkimuksissa ei välttämättä tarkoita, että murskatun ja jauhetun kiven kuidut ovat kauttaaltaan kokoluokassa, joka huomioidaan asbestille altistumista arvioitaessa (luku 9.1).

9.4 Kuitumineraalit rikastushiekoissa

Mineralogisen karakterisoinnin yhteydessä (SRK Consulting Ltd. 2018a) prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekoissa ei havaittu asbestikuituja. Prosessivaihtoehto 2:n korkea- ja matalarikkisten rikastushiekkojen kuitumineraalit määritettiin akkreditoidusti standardin ISO 17025 mukaisesti soveltamalla polarisaatiomikroskooppimenetelmää. Kuitumineraaleja ei kuitenkaan havaittu korkearikkisessä eikä matalarikkisessä rikastushiekassa.

Malmin asbestitutkimuksessa (Kratsov 2017) malmissa havaittiin hyvin pieniä määriä asbestikuituja. Koemurskauksia koskevassa Työterveyslaitoksen työhygieenisessä esiselvityksessä (Työterveyslaitos 2018) malmissa havaittiin kuitumineraaleja. Koska asbestikuituja on tavattu malmissa, asbestikuituja oletetaan päätyvän pieniä määriä myös rikastushiekkaan, vaikkei rikastushiekasta asbestikuituja ole toistaiseksi onnistuttu löytämään.

10 Jätevesien puhdistuksessa syntyvät sakat ja maanalaisen kaivoksen kuivanapitovesien selkeytysaltaiden lietteet

Sakatin kaivoksen jätevesien puhdistuksessa muodostuva sakka on ainoa mahdollisesti alueelle jäävä ei-kaivannaisjäte. Sakan laadusta ei ole toistaiseksi käytettävissä karakterisointitietoja, mutta sakka tulee edustamaan kaivosalueen toiminnan aikana muodostuvissa vesilaaduissa edustettuina olevia metallipitoisuuksia väkevöityneinä ja sakan odotetaan siksi luokittuvan vaaralliseksi jätteeksi. Toisin sanoen sakan alkuainevalikoima heijastelee kaivannaisjätteissä esiintyviä alkuaineita. Sakassa aineita on kuitenkin tyypillisesti eri muodossa: aineita voi esiintyä primäärimineraalien ohessa esimerkiksi oksihydroksideina, hydroksideina ja sulfaatteina. Vesienkäsittelyratkaisut vaikuttavat siihen, mitä yhdisteitä lietteeseen tulee. Suunnittelun nykyisessä vaiheessa ei ole vielä päätetty käytettäviä vedenpuhdistustekniikoita eivätkä syntyvät lietemäärät ole tiedossa. Kannattavuuden esiselvitysvaiheessa (PFS-A) on alustavasti arvioitu, että vesienkäsittelystä muodostuvan lietteen määrä on noin 91 000 m³/v. Arvio koskee prosessivaihtoehtoa 1.

Vesienkäsittelyssä muodostuvalle sakalle on kaavailtu neljää eri sijoitusvaihtoehtoa: läjitys matalarikkisen rikastushiekan kanssa rikastushiekka-alueelle, sijoitus korkearikkisen rikastushiekan kanssa louhostäyttöön, läjitys omalle sijoitusalueelleen (kaivosalueella) sekä ulkopuolisen jätehuoltopalvelun käyttäminen. Ratkaisu tehdään jatkoselvitysten pohjalta. Mikäli läjitys toteutetaan omalle sijoitusalueelle kaivosalueella, altaan rakenne olisi vastaava kuin korkearikkisen rikastushiekan varastoaltaalla.

Maanalaisen kaivoksen kuivanapitovesistä kertyy lietettä selkeytysaltaiden pohjalle. Kaivosveden selkeytysaltaan pohjalietteet poikkeavat siis varsinaisista jätevesienkäsittelyn sakoista siten, että ne muodostuvat pelkästään sedimentaation tuloksena. Lieite on hienoa kiviainesta, joka erottuu kuivatusvesistä laskeutumalla. Kunnossapidollisista syistä altaiden pohjalle kertynyt lieite tullaan ajoittain poistamaan. Lietteiden jatkokäsittelyä ei ole vielä päätetty, mutta mahdollisesti se voidaan sijoittaa louhostäyttöihin tai rikastushiekka-alueelle. Lietteiden laadusta ei ole tutkimustietoa, mutta sen voidaan arvioida vastaavan sivukiven laatua. Lietteelle tehdään tarkemmat tutkimukset, kun sitä alkaa muodostua. Tulosten perusteella laaditaan tarkemmat suunnitelmat lietteiden jatkokäsittelystä. Kaivosveden selkeytysaltaan pohjalietteet luokituvat kaivannaisjätteiksi.

11 Kaivannais­jät­teiden ja jäte­alueiden luokitus

11.1 Luokitus kaivannais­jäteasetuksen mukaan

Kaivannais­jäte luokitellaan pysyväksi, ei-vaaralliseksi tai vaaralliseksi jätteeksi. Luokitteluperusteet ovat valtioneuvoston asetuksessa kaivannais­jätteistä (190/2013). Erikseen on huomioitava, että jätelaissa (646/2011) ja jäteasetuksessa (978/2021) jäteluokittelu määritellään toisella tavoin, eli jäte luokitellaan pysyväksi, vaarattomaksi tai vaaralliseksi jätteeksi. Vaaraton jäte voi olla myös pysyvää jätettä.

Kaivannais­jäteasetuksen (190/2013) liitteessä 1 määritellään, milloin kaivannais­jäte voidaan luokitella pysyväksi jätteeksi. Määrittelyssä tulee huomioida asetuksen liitteen 3 mukaisesti kerätty aineisto. Kaivannais­jäteasetuksen 190/2013 liitteessä 3 on eritelty perusteet jätteen ominaisuuksien määrittelylle sekä määrittelyä koskevien tietojen kokoamiselle. Sen mukaan jätteen ominaisuuksien määrittelyssä tulee huomioida kaivostoiminta, hyödynnettävän esiintymän geologiset tiedot, jätteen geotekninen käyttäytyminen sekä jätteen geokemialliset ominaisuudet ja käyttäytyminen.

Kaivannais­jäteasetuksen (190/2013) liitteessä 1 määritellään, milloin kaivannais­jäte voidaan luokitella pysyväksi jätteeksi. Näin on, jos seuraavat ehdot täyttyvät:

- Jäte ei hajoa eikä liukene tai muuten muutu merkittävästi siten, että siitä voi aiheutua vaaraa tai haittaa ympäristölle ja ihmisten terveydelle
- Jätteen sulfidirikkipitoisuus on enintään 0,1 % tai sulfidirikkipitoisuus on enintään 1 % ja neutralointipotentiaalisuhde määriteltynä neutralointipotentiaalin ja hapontuottopotentialin välisenä suhteena testimenetelmän SFS-EN 15875 staattisen testin perusteella on suurempi kuin 3.
- Jätteestä ei aiheudu itsesyttymisen vaaraa eikä se pala
- Jätteen ja siitä erottuvan hienoaineksen sisältämien ympäristölle tai ihmisen terveydelle mahdollisesti haitallisten aineiden (erityisesti arseeni, kadmium, koboltti, kromi, kupari, elohopea, molybdeeni, nikkeli, lyijy, vanadiini ja sinkki) pitoisuudet jätteessä ovat riittävän alhaiset siten, että niistä aiheutuva vaara ympäristölle ja terveydelle on merkityksetön sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä; mainittujen aineiden pitoisuuksia pidetään riittävän alhaisina ja niistä ympäristölle tai terveydelle aiheutuva vaara merkityksettömänä, jos ne eivät ylitä maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista annetussa Valtioneuvoston asetuksessa (214/2007) tarkoitettuja arviointia edellyttäviä kynnysarvoja tai alueen ympäristön maaperän taustapitoisuuksia.
- Jäte ei käytännössä sisällä louhinnassa tai rikastuksessa käytettyjä haitallisia aineita, jotka voivat aiheuttaa haittaa ympäristölle tai ihmisen terveydelle.

Jos jäte ei sisällä sulfidista rikkiä tai sen sulfidisen rikin kokonaispitoisuus on alle 0,1 % eivätkä jätteen metallisten haitta-aineiden pitoisuudet ylitä valtioneuvoston asetuksessa maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistamistarpeen arvioinnista (PIMA-asetus; 214/2007) asetettuja kynnysarvoja tai alueen ympäristön maaperän taustapitoisuuksia, luokitellaan materiaali pysyväksi jätteeksi. Taustapitoisuusrekisterin avulla osalle haitta-aineista voidaan muodostaa suurin suositeltu taustapitoisuus (SSTP). Suoraan pysyviksi luokiteltavista jätejakeista ei tarvitse tehdä tarkempaa kemiallista tutkimusta, elleivät ne sisällä geologisen alkuperän perusteella rapautumisherkkiä, haitallisia alkuaineita sisältäviä suola-mineraaleja tai muita potentiaalisesti haitallisia aineita, joita on jäänyt jätejakeeseen malmin prosessoinnissa.

Jätteistä, joiden sulfidisen rikin kokonaispitoisuus ylittää 0,1 %, määritetään lisäksi hapontuottokyky ja neutralointiominaisuudet. Lisäksi tämän jäteyryhmän kivi- ja mineraaliaineksista tunnistetaan neutraloivat mineraalit, karbonaattimineraalit ja Mg-Ca-valtaiset silikaatit, ja niiden määrät. Kaivannaisjäteasetuksen liitteen 1 mukaan pysyväksi jätteeksi voidaan luokitella myös sulfidipitoinen, haitta-aineita sisältämätön jäte, jossa sulfidisen rikin kokonaispitoisuus on alle 1 % ja jätteen neutralointi- (NP) ja hapontuottopotentiaalien (AP) suhde on yli kolme.

Sivukiven luokittelu voidaan tehdä myös kansallisen luettelon perusteella. Julkaisussa "Kaivannaisjätteen luokittelu pysyväksi" (Suomen ympäristökeskus 2011) on esitetty kansallinen luettelo pysyväksi luokiteltaville Suomesta louhitaville sivukiville. Ei-pysyväksi luokiteltavien jätteiden karakterisoinnissa tulee lisäksi määrittää haitta-aineiden liukenevuutta ja happamien valumavesien muodostumismahdollisuutta.

Jätettä voidaan pitää pysyvänä jätteenä ilman erityistä testausta, jos toimivaltaiselle viranomaiselle saatavilla olevien tietojen tai käytettävissä olevien meneteltyjen tai järjestelmien perusteella luotettavasti osoitetaan, että edellä mainitut perusteet on otettu riittävästi huomioon ja että perusteet täyttyvät.

11.2 Luokittelu jäteluettelon mukaan

Kaivannaisjäteasetuksen 190/2013 liitteen 3 kohdan a. 1. c) mukaan kaivannaisjätteen ominaisuuksien määrittelyssä tulee huomioida:

- A. Jätteen ominaisuuksien määrittely

1. Jätteen ominaisuuksien määrittelyn on perustuttava seuraaviin tietoihin:

c) Jätteen laji ja sen suunniteltu hyödyntäminen tai loppukäsittely:

 - jätteen luokittelu jätteistä annetun valtioneuvoston asetuksen (978/2021) 4 §:ssä tarkoitetun jäteluettelon mukaisesti, mukaan lukien mainitun asetuksen 3 §:n mukaiset jätteen vaaraominaisuudet

Jäteluettelo (jäteasetuksen 978/2021 liite 3) on esimerkkiluettelo jätteistä eikä se sisällä kaikkia jätteitä. Luettelossa tähdellä (*) merkittyihin nimikkeisiin kuuluvat jätteet ovat kategorisesti vaarallisia jätteitä, jollei jätelain 7 §:n tai 112 §:n nojalla yksittäistapauksessa toisin päätetä.

Luokittelu jäteluettelon mukaan tarkoittaa, että jäte saa kuusinumeroisen koodin, jonka kaksi ensimmäistä numeroa viittaavat jätteiden pääluokkiin. Esimerkiksi luokka "01" tarkoittaa mineraalien tutkimisessa, hyödyntämisessä, louhimisessa sekä fysikaalisessa ja kemiallisessa käsittelyssä syntyviä jätteitä ja luokka "19" jätehuoltolaitoksissa, erillisissä jätevedenpuhdistamoissa sekä ihmisten käyttöön tai teollisuuskäyttöön tarkoitettun veden valmistuksessa syntyviä jätteitä. Kuusinumeroisella tasolla esimerkiksi rikastushiekoilla on sekä vaarallisen että ei-vaarallisen jätteen kategorioita. Jätenumero 01 03 04* kattaa sulfidimalmin käsittelyssä syntyvät happoa muodostavat rikastushiekat, jätenumero 01 03 05* kattaa muut rikastushiekat, jotka sisältävät vaarallisia aineita ja jätenumero 01 03 06 kattaa muut kuin nimikkeissä 01 03 04 ja 01 03 05 mainitut rikastushiekat. Jos samalle jätteelle löytyy sekä vaarattoman jätteen että vaarallisen (tähtimerkintä) jätteen nimike, eli jätteellä on ns. rinnakkaisnimike, on jätteen luokittelu tehtävä tapauskohtaisesti jätedirektiivin liitteessä III esitettyjen kriteerien mukaisesti. Käytännössä tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että sulfidimalmien jalostuksessa muodostuville rikastushiekoille on aina tehtävä vaaraominaisuuksien arviointi viimeistään jätehuoltosuunnitelman laadinnan yhteydessä.

11.3 Jätteen vaaraominaisuuksien arviointi

Jätteiden luokittelu vaaralliseksi tai ei-vaaralliseksi jätteeksi perustuu EU:n kemikaalilainsäädännön mukaisiin aineiden luokituksiin vaarallisiksi. Jätedirektiivin liitteessä III on lueteltu ominaisuudet, jotka tekevät jätteistä vaarallisia. Jäte on vaarallista, jos sillä on yksikin komission asetuksessa määritelty vaaraominaisuus.

Vaaraominaisuusluokkia ovat:

- HP 1 Räjähävä
- HP 2 Hapettava
- HP 3 Syttyvä
- HP 4 Ärsyttävä
- HP 5 Elinkohtainen myrkyllisyys
- HP 6 Välitön myrkyllisyys
- HP 7 Syöpää aiheuttava
- HP 8 Syövyttävä Jätteet, jotka voivat aiheuttaa ihon syöpymistä
- HP 9 Tartuntavaarallinen
- HP 10 Lisääntymiselle vaarallinen

- HP 11 Perimää vaurioittava
- HP 12 Välittömästi myrkyllistä kaasua vapauttava,
- HP 13 Herkistävä
- HP 14 Ympäristölle vaarallinen
- HP 15 Jätteet, joilla voi olla jokin edellä luetelluista vaarallisista ominaisuuksista, jota alkuperäisellä jätteellä ei suoranaisesti ollut.

Jätteen luokittelumiseksi vaaralliseksi tai vaarattomaksi ei aina ole välttämättöntä arvioida kaikkia vaaraominaisuuksia, koska jo yksi vaaraominaisuus tekee jätteestä vaarallista jätettä. Jätteen turvallista kuljetusta ja käsittelyä varten on kuitenkin tarpeen olla tietoinen kaikista jätteen vaarallisista ominaisuuksista. Vaaraominaisuuksien laajempi arviointi voi olla tarpeen myös esimerkiksi silloin, kun jätteen luokitus on epäselvä, jätteen luokitus on selvillä, mutta on jokin erityinen syy olettaa, että luokitus on väärä, epäillään jätteen sisältävän aineita, jotka voivat aiheuttaa sille jätedirektiivin liitteessä III mainittuja ominaisuuksia, tai jätteen jäteluettelon mukaisesta luokituksesta halutaan poiketa.

Vaaraominaisuuksien arvioinnissa keskeisellä sijalla on EU:n kemikaalilainsäädännön mukainen kemikaalien luokittelu vaarallisiksi aineiksi. Kemikaalien luokitteluperusteista on säännelty EU:n CLP-asetuksessa (Euroopan parlamentin ja neuvoston kemikaalien luokitusta, merkintöjä ja pakkaamista koskeva asetusta 1272/2008). CLP-asetuksen liitteessä VI annetaan tietyille vaarallisille aineille yhdenmukaistettu luokitus. Jos kemikaalille ei ole olemassa harmonisoitua luokitusta liitteessä VI, voi luokitustietoja saada EU:n kemikaaliviraston (ECHA) ylläpitämästä Classification- and Labelling-tietokannasta (C&L Inventory).

Lisätietoja luokittelusta vaaralliseksi jätteeksi löytyy Ympäristöministeriön julkaisusta Jätteen luokittelu vaaralliseksi jätteeksi – päivitetty opas 02/2019.

11.4 Kaivannaisjätteen jätealueen määritelmä ja luokittelu

Kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013) mukaan kaivannaisjätteen jätealueella tarkoitetaan tuotantopaikan yhteydessä olevaa aluetta, johon sijoitetaan siinä syntyvää kiinteää, lietemäistä tai nestemäistä kaivannaisjätettä. Suuronnettomuuden vaaraa aiheuttavalla kaivannaisjätteen jätealueella tarkoitetaan jätealuetta, josta voi virheellisen toiminnan tai rakenteellisen vakauden tai siihen sijoitetun vaarallisen jätteen määrän tai ympäristölle tai terveydelle vaarallisten kemikaalien vuoksi aiheutua merkittävää vaaraa ihmisten terveydelle, omaisuudelle tai ympäristölle. Kaivannaisjätteen luokittelusta suuronnettomuuden vaaraa aiheuttavaksi jätealueeksi säädetään kaivannaisjäteasetuksen 190/2013 liitteessä 2. Kaivannaisjäteasetuksen liitteestä 2 löytyvät myös vaarallisen jätteen määrää koskevat rajat, joita luokituksessa käytetään. Mikäli kaivannaisjätealue ei luokituta suuronnettomuuden vaaraa aiheuttavaksi jätealueeksi, kyseessä on ”muu kaivannaisjätteen jätealue”.

Kaivannaisjätteen jätealueena ei asetuksen mukaan pidetä aluetta, joka ei ole suuronnettomuuden vaaraa aiheuttava ja johon sijoitetaan alle kolmeksi vuodeksi pilaantumaton maa-ainesta, pysyvää jätettä tai etsinnässä tai turvetuotannon yhteydessä syntyvää kaivannaisjätettä, joka ei ole vaarallista jätettä, taikka alle vuodeksi muuta kuin edellä mainittua kaivannaisjätettä, joka ei ole vaarallista jätettä. Hyötykäyttöön louhittavan kiviaineksen varastoalue ei ole kaivannaisjätealue, kun kiviainesta varastoidaan väliaikaisesti ennen hyödyntämistä.

11.5 Pintamaan jäteluokitus

Sakatin kaivoksen pintamaat voidaan mahdollisesti luokitella pysyväksi kaivannaisjätteeksi niiltä osin kuin minkään yksittäisen metallin tai puolimetallin pitoisuus ei ylitä suurinta suositeltua taustapitoisuutta (SSTP), muilta osin ei-pysyväksi ja ei-vaaralliseksi. Käytännössä Sakatin hankkeessa nikkelpitoisuus saattaisi soveltua moreenien luokitteluperusteeksi, jos kaivostoimintojen alueella ei esiinny yleisesti ja merkittävässä määrin muita haitta-aineita sellaisissa moreeneissa, joissa nikkelpitoisuus on alhainen. Jätenumeroksi pintamaille tulee joka tapauksessa 01 01 01 – metallimineraalien louhinnassa syntyvät jätteet (VNA 978/2021, liite 3). Kaivoksen toiminnan aikainen pintamaiden sijoitusalue luokituu muuksi kaivannaisjätteen jätealueeksi.

11.6 Sivukivien jäteluokitus

Sakatin korkea- ja matalarikkiset sivukivet edustavat ei-pysyvää ja ei-vaarallista kaivannaisjätettä (VNA 190/2013, liite 1). Jätenumeroksi tulee 01 01 01 – metallimineraalien louhinnassa syntyvät jätteet (VNA 978/2021, liite 3). Sekä korkea- että matalarikkiset sivukivet saavat tämän saman jätteenimikkeen 01 01 01. Kaivoksen toiminnan aikaiset sivukivialueet luokituvat muiksi kaivannaisjätteen jätealueiksi. Vinotunnelin sijaintivaihtoehdot eivät vaikuta luokitukseen, sillä jätelaadut eivät muutu, ainoastaan niiden määräsuhteet muuttuvat.

11.7 Rikastushiekkojen jäteluokitus

Sakatin kaivoksen kahden prosessivaihtoehdon korkea- ja matalarikkisen rikastushiekan ominaisuuksia on tarkasteltu ympäristövaarallisen jätteen, vaaraominaisuus HP 14, kriteerien mukaan siten, kuin Ympäristöministeriön oppaassa ”Jätteen luokittelu vaaralliseksi jätteeksi – päivitetty opas 02/2019” on esitetty. Oppaan liitteessä 9 on annettu eri metalleille pitoisuusrajat ja yhteenlaskussa alin huomioitava pitoisuus (Cut-off-arvo), ks. taulukko 11-1.

Taulukko 11-1. Korkea- ja matalarikkisten rikastushiekkojen ympäristövaarallisuuden arviointi Neuvoston asetuksen (EU) 2017/997 mukaisesti. Metalli-ionille sovellettavat vaarallisen jätteen pitoisuusrajat on laskettu suhteessa metalli-ionin osuuteen koko kyseisen yhdisteen moolimassasta. Haitta-aineiden pitoisuuksissa ei ole huomioitu kosteutta; lisäksi tulokset ovat nelihappouutosta. Arvioitujen ympäristövaarallisten kemikaalien vaaralausekkeet: H400 Erittäin myrkyllistä vesieliöille ja H410 Erittäin myrkyllistä vesieliöille, pitkäaikaisia haittavaikutuksia. Ns. cut-off-arvo on yhteenlaskussa alin huomioitava pitoisuus.

Alkuaine	Pitoisuusraja (mg/kg)				Matala- rikkinen rikas- tushiekka Prosessi- vaihtoehto 1	Korkea- rikkinen rikas- tushiekka Prosessi- vaihtoehto 1	Matalarikki- nen rikastus- hiekka Prosessivaih- toehto 2	Korkearikki- nen rikastus- hiekka Prosessivaih- toehto 2
	Aquatic Acute 1, H400	Cut- off	Aquatic Chronic, H410	Cut-off	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Sb			25000	10000				
As	250000	1000	2500	1000	1,3	3,1	1,0	1,7
Cd	250000	1000	2500	1000	0,20	0,19	0,12	0,14
Co (CoO)	200000	790	2000	790	58	126	59	128
Co (CoCl ₂)	110000	450	1100	450	58	126	59	128
Co (CoSO ₄)	95000	380	9500	380	58	126	59	128
Cr(VI)	250000	1000	2500	1000	3 780	1 840	1 450	7 030
Hg	250000	1000	2500	1000	0,01	0,01	0,006	0,012
Cu (CuSO ₄)	100000	400	1000	400	560	990	470	790
Cu (CuCl ₂)	120000	470	12000	4700	560	990	470	790
Pb	250000	1000	25000	1000	18	14	4,8	5,3
Ni (NiSO ₄)	95000	380	950	380	1 500	5 500	1 310	3 860
Ni (NiS)	150000	600	1500	600	1 500	5 500	1 310	3 860
Zn (ZnCl ₂)	120000	470	1200	470	64	20	33	79
Zn (ZnSO ₄)	100000	4000	1000	400	64	20	33	79
V (V ₂ O ₅)			14000	5600	108	67	37	171

Edellä esitetyn taulukon perusteella kriittiset, eli jäteluokituksen määrävät komponentit ovat nikkelin ja kromin yhdisteet (nikkelisulfaatti ja Cr(VI)-yhdisteet). Pitoisuudet ylittävät vaaralliselle jätteelle asetetut pitoisuusrajat Aquatic Chronic, H410-vaaraominaisuuden suhteen (*erittäin myrkyllistä vesieliöille, pitkäaikaisia haittavaikutuksia*).

Molemmille prosessivaihtoehto 1:n rikastushiekkoille voidaan em. pitoisuuksien ja varovaisuusperiaatteen nojalla antaa Komission asetuksen (EU) N:o 1357/2014 ja Neuvoston asetuksen (EU) 2017/997 mukainen vaaraominaisuus HP 14, ympäristölle vaarallinen jäte. Matalarikkisen rikastushiekan jätenumeroksi tulee 01 03 05* - muut rikastushiekat, jotka sisältävät vaarallisia aineita.

Korkearikkinen rikastushiekka tulee luokittumaan jätenumerolle 01 01 04* - sulfidimalmin käsittelyssä syntyvät happoa muodostavat rikastushiekat (VNA 978/2021, liite 3).

Myös molemmille prosessivaihtoehto 2:n rikastushiekoille voidaan em. pitoisuuksien ja varovaisuusperiaatteen nojalla antaa Komission asetuksen (EU) N:o 1357/2014 ja Neuvoston asetuksen (EU) 2017/997 mukainen vaaraominaisuus HP 14, ympäristölle vaarallinen jäte. Matalarikkisen rikastushiekan jätenumeroksi tulee 01 03 05* - muut rikastushiekat, jotka sisältävät vaarallisia aineita. Korkearikkinen rikastushiekka tulee luokittumaan jätenumerolle 01 01 04* - sulfidimalmin käsittelyssä syntyvät happoa muodostavat rikastushiekat (VNA 978/2021, liite 3).

Sakatin kaivoksen rikastushiekat (matalarikkinen ja korkearikkinen) edustavat täten todennäköisesti vaarallista kaivannaisjätettä. Molemmat rikastushiekat saavat vaaraominaisuuden HP 14, ympäristölle vaarallinen jäte. Rikastushiekoille voidaan antaa CLP-asetuksen mukainen vaaralausekekoodi H410 (*Aquatic Chronic 1*, erittäin myrkyllistä vesieliöille, pitkäaikaisia haittavaikutuksia). Rikastushiekkojen luokittelussa vaaralliseksi jätteeksi on sovellettu saatuja analyysituloksia ja varovaisuusperiaatetta. Erityisesti matalarikkisen rikastushiekan osalta luokittelu tullaan kuitenkin vielä tarkistamaan jätehuoltosuunnitelman laadinnan yhteydessä. Luokituksen tarkistustarve liittyy nikkelin ja kromin kokonaispitoisuuksiin ja esiintymismuotoihin, joissa liukoisuus sinänsä on vähäistä. Luokittelussa alkuaineen kokonaismäärä huomioidaan sen haitallisimmassa mahdollisessa esiintymismuodossa, vaikka vain hyvin pieni osuus aineesta olisi haitallisimmassa mahdollisessa esiintymismuodossa. Tässä tapauksessa nikkelin ja kromin haitallisimmat mahdolliset esiintymismuodot ovat oletettuja ja teoreettisia. Todellisuudessa nikkelin ja kromin esiintymismuodot ovat todennäköisesti ainakin suurimmaksi osaksi vähemmän haitallisessa, alkuperäisessä mineraalimuodossa. Valittavalla prosessivaihtoehdolla ei ole vaikutusta jäteluokitukseen.

Korkearikkisen rikastushiekan varastoallas luokituu vaarallisen jätteen osuuden perusteella suuronnettomuuden vaaraa aiheuttavaksi kaivannaisjätteen jätealueeksi. Todennäköisesti myös matalarikkinen rikastushiekka-alue luokituu suuronnettomuuden vaaraa aiheuttavaksi. Luokitukseen suoraan tai välillisesti vaikuttavia tekijöitä ovat kuitenkin myös rikastuksen prosessivaihtoehto ja rikastushiekan läjitystapavaihtoehto. Jätealuesuunnitelmien tarkkuustason kasvassa voidaan laatia vahingonvaara-arvio ja varmistaa jätealueen lopullinen luokitus matalarikkisen rikastushiekan jätealueen osalta.

11.8 Jätevesien puhdistuksessa syntyvien sakkojen ja maanalaisen kaivoksen kuivanapitovesiä koskevien selkeytysaltaiden lietteiden jäteluokitus

11.8.1 Jätevesien puhdistuksessa muodostuvat sakat

Kaivostoiminnan jätevesien puhdistuksessa muodostuvat sakat eivät ole varsinaisesti kaivannaisjätettä, vaan teollisuuden vesienkäsittelyn sakkoja. Ne käsitellään kuitenkin tässä yhteydessä, koska sakat sijoitetaan mahdollisesti kaivosalueelle esimerkiksi rikastushiekan kanssa tai hyödynnetään louhostäyttöön käytettävän pastan valmistuksessa. Sakat voidaan myös läjittää omalle erilliselle sijoitusalueelleen, joka olisi rakenteeltaan vastaava kuin korkearikkisen rikastushiekan varastoallas, tai toimittaa ulkopuoliseen käsittelyyn.

Jätevedenpuhdistuksessa syntyvän sakan laadusta ei ole toistaiseksi käytettävissä karakterisointitietoja, mutta sakka tulee edustamaan kaivosalueen toiminnan aikana muodostuvissa vesilaaduissa edustettuina olevia metallipitoisuuksia ns. konsentraattina ja sakan odotetaan siksi luokittuvan vaaralliseksi jätteeksi. Mikäli sakka sijoitetaan rikastushiekka-alueelle, se huomioidaan osana alueelle sijoitettavan vaarallisen jätteen määrää jätealueen luokittelussa. Sakkojen nimeksi tulee sakkojen laadusta riippuen olemaan joko vaaratonta jätettä esim. jätenimikkeellä 19 08 14 -muut kuin nimikkeessä 19 08 13 mainitut teollisuuden jätevesien muussa käsittelyssä syntyvät lietteet tai mahdollisesti vaarallista jätettä esim. jätenimikkeellä 19 08 13* -teollisuuden jätevesien muussa käsittelyssä syntyvät lietteet, jotka sisältävät vaarallisia aineita (VNA 978/2021, liite 3).

11.8.2 Maanalaisen kaivoksen kuivanapitovesiä koskevien selkeytysaltaiden pohjalietteet

Maanalaisen kaivoksen kuivanapitovesiä koskevien selkeytysaltaiden pohjalietteiden ennakoituaan luokittuvan ei-pysyväksi ei-vaaralliseksi jätteeksi. Käytettävissä ei vielä ole tietoa, jonka avulla luokittuminen vaaralliseksi jätteeksi voitaisiin kokonaan sulkea pois, sillä sakkaa ei ole vielä muodostunut.

12 Yleiskuvaus kaivannaisjätteiden jätealueista

Kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013) mukaan kaivannaisjätteen jätealueella tarkoitetaan tuotantopaikan yhteydessä olevaa aluetta, johon sijoitetaan toiminnassa syntyvää kiinteää, lietemäistä tai nestemäistä kaivannaisjätettä. Kaivannaisjätteen jätealueena ei asetuksen mukaan kuitenkaan pidetä aluetta, joka ei ole suuronnettomuuden vaaraa aiheuttava ja johon sijoitetaan alle kolmeksi vuodeksi pilaantumaton maa-ainesta, pysyvää jätettä tai etsinnässä tai turvetuotannon yhteydessä syntyvää kaivannaisjätettä, joka ei ole vaarallista jätettä, taikka alle vuodeksi muuta kuin edellä mainittua kaivannaisjätettä, joka ei ole vaarallista jätettä. Hyötykäyttöön louhittavan kiviaineksen varastoalue ei ole kaivannaisjätealue, kun kiviainesta varastoidaan väliaikaisesti ennen hyödyntämistä.

Tässä luvussa esitellään Sakatin kaivosalueelle suunnitellut kaivannaisjätteen jätealueet ja niiden rakenteet. Matalarikkinen rikastushiekka-alue kuvataan tässä tarkemmin kuin muut kaivannaisjätealueet, sillä ainoastaan matalarikkinen rikastushiekka-alue on jäljellä kaivoksen sulkemisen jälkeen.

12.1 Pintamaan sijoitusalueet

Sakatin kaivosalueelta poistetut pintamaat varastoidaan omina jakeinaan (pintamaa, turve, moreeni, hiekka) ja hyödynnetään kaivoksen rakenteissa sekä sulkemisessa. Pintamaiden sijoitusalueille ei rakenneta erikseen pohjarakennetta.

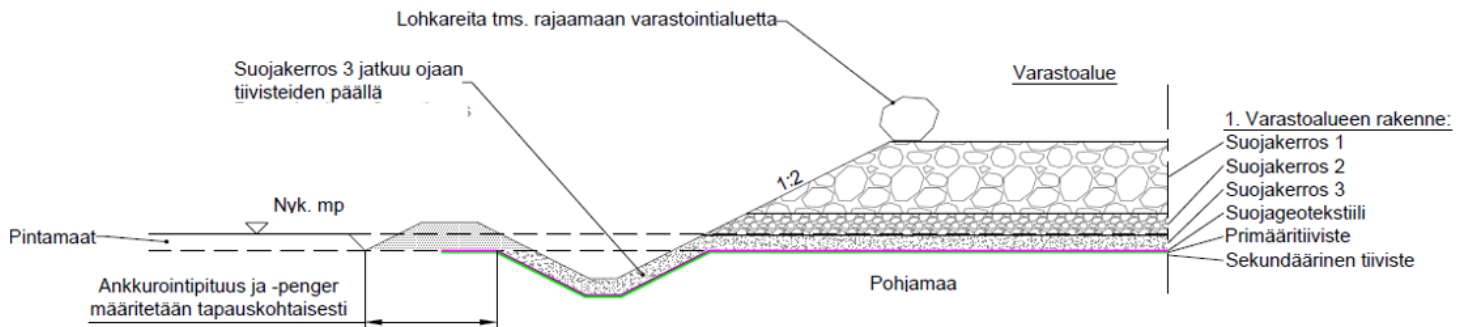
12.2 Sivukivien sijoitusalueet

Sakatin kaivosalueella on korkearikkiselle ja matalarikkiselle sivukivelle oma väliaikainen sijoitusalueensa. Sivukivialueita ei ole jäljellä sulkemisen jälkeen. Sivukiveä käytetään mm. pengerrakenteisiin ja maanalaisen kaivoksen tyhjien louhostilojen täyttöihin osana pasta-kivimursketäyttöä.

Sivukivialueille asennetaan tiivis pohjarakenne. Pohjakerroksen rakenne ylhäältä alas on:

- Suojakerros 1
- Suojakerros 2
- Suojakerros 3
- Suojageotekstiili
- Primääritiiviste
- Sekundäärinen tiiviste

Rakenne esitetään myös kuvassa 12-1.



Kuva 12-1. Sivukiven sijoitusalueiden rakenne.

12.3 Rikastushiekka-alueet

Korkearikkinen rikastushiekka pumpataan lietteenä erilliseen varastoaltaaseen. Matalarikkinen rikastushiekka läjitetään sitä varten rakennettavalle rikastushiekka-alueelle. Matalarikkinen rikastushiekka läjitysvaihtoehdot ovat kuivaläjitys (alavaihtoehto a) ja märkäläjitys (alavaihtoehto b). Kuivaläjitystä käytettäessä rikastushiekka-alue jaetaan kahteen lohkokseen. Läjitys aloitetaan toisesta lohkoksesta ja vasta sen täytyttyä läjitys siirtyy toiseen lohkokseen. Tämä mahdollistaa sen, että ensimmäisen lohkon sulkeminen voidaan aloittaa jo kaivoksen toimintavaiheen aikana. Matalarikkinen rikastushiekka-alueen sekä korkearikkisen rikastushiekkan varastoaltaan sijainnit poikkeavat toisistaan päävaihtoehtojen VE1-VE3 välillä. Niiden periaatteellinen sijoitus on kuitenkin aina sama: ne nojautuvat yläosastaan Kuusivaaran moreenirinteeseen ja laskeutuvat suoalueelle turvekerrosten päälle Porokodanjängällä tai Kenttääavalla. Pohjalle jää luontaisesti heikosti vettä johtavia maaperän kerrostumia.

12.3.1 Matalarikkinen rikastushiekka-alue

Sakatin hankesuunnittelun edetessä on tarkasteltu kahta erilaista rikastushiekka-alueen rakennevaihtoehtoa kuivaläjitettävälle matalarikkiselle rikastushiekalle. Aiempaa kannattavuuden esiselvitysvaiheen A rakennetta on käytetty prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekka-alueen suotovesien laadun ja määrän arvioinnissa. Vuonna 2021 valmistuneita uudempia suunnitelmia on puolestaan käytetty prosessivaihtoehdon 2 rikastushiekka-alueen suotovesien laadun ja määrän arvioinnissa.

Vuoden 2021 suunnitelman mukainen rakennevaihtoehto

Matalarikkinen rikastushiekka-alueen kuivaläjitysvaihtoehdon tiivis pohjarakenne (ylhäältä alas) on 2021 valmistuneiden suunnitelmien mukaisesti seuraava:

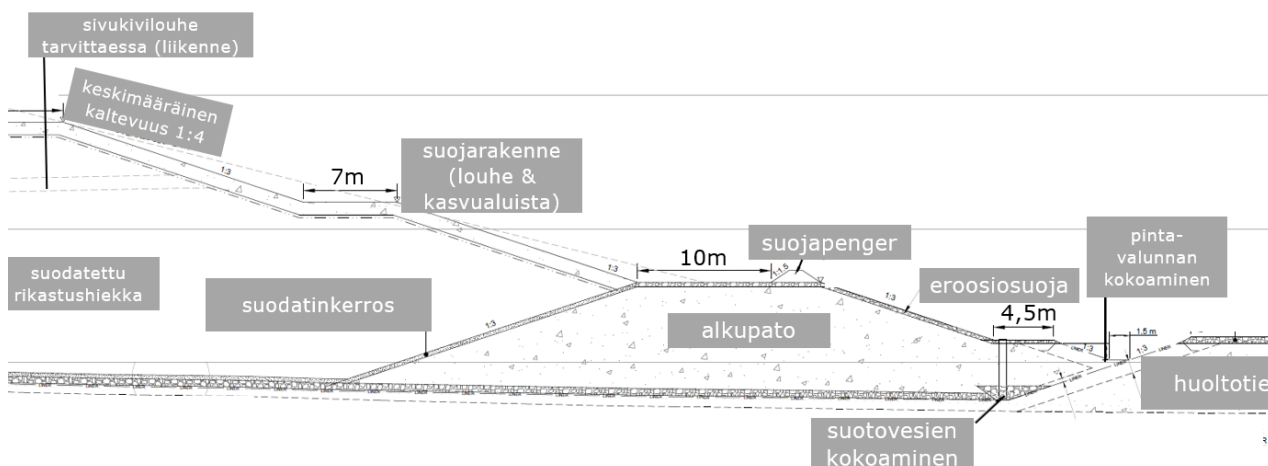
- Suodatinkerros
- Kuivatuskerros

- Suojageotekstiili
- Tiiviste (BGM/HDPE/LLDPE)
- Suojamoreeni (kalvovalmistajan edellytysten mukainen)

Alkupadon rakenne muodostuu (ulkoa sisään päin) eroosiosuojasta varsinaisesta penkereestä, joka rakennetaan vinotunnelin porauksesta syntyvästä matalarikkisesta sivukivirouheesta, sekä suodatinrakenteesta. Tiivis pohjarakenne ulottuu padon alle. Tuotannon aikana suotovedet kootaan alkupadon ulkoreunalta. Ratkaisu tarkentuu suunnittelun edetessä.

Kuivaläjitysalueella noin 110 metrin etäisyydelle alkupadosta ja luiskasta läjitettävä rikastushiekka tiivistetään 95 %:iin maksimi-proctor-sullontatiheydestä. Kuivaläjitysalueen muissa osissa läjityksen tiivistysaste on 85 %. Alkupadon lisäksi kuivaläjitysalueen sisäpuolisissa rakenteissa hyödynnetään matalarikkistä sivukiveä. Sivukivikerroksia käytetään lähinnä liikennöitävien alueiden tukemiseen sekä ehkäisemään pölyämistä. Luiskassa on louhetta uloimpana kerroksena sekä kasvualustamateriaalia.

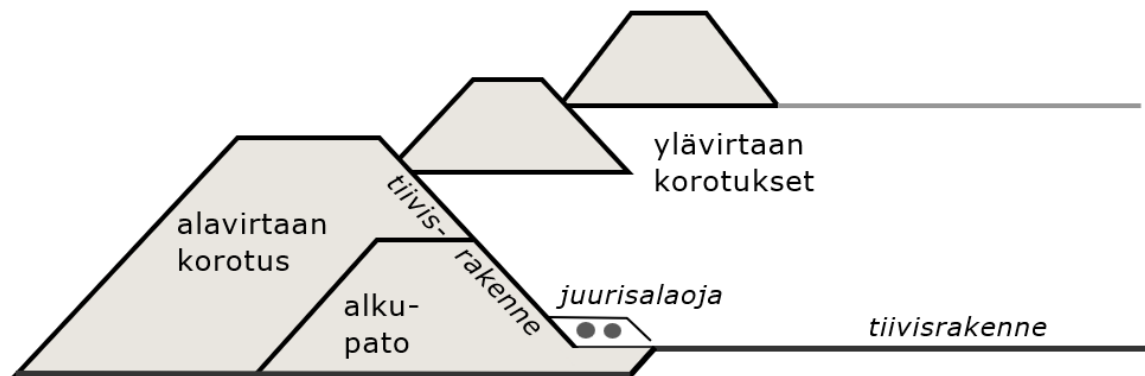
Uutta yllä kuvattua rakennetta on käytetty rikastushiekka-alueen sulkemisen jälkeisten suotovesien laadun ja määrän arvioinnissa, tarkasteltaessa prosessivaihtoehdossa 2 muodostuvan rikastushiekan sijoittamista (Kuva 12-2).



Kuva 12-2. Matalarikkisen rikastushiekka-alueen perustaminen – rakenneratkaisu kuivaläjitykselle vuodelta 2021 (Golder Associates Oy), YVA-vaihtoehdot VE1a, VE2a ja VE3a. Tätä rakenneratkaisua on käytetty myös mallinnettaessa rikastushiekka-alueen suotovesien määrää ja laatua, rikastushiekan ollessa prosessivaihtoehdon 2 mukaista.

Märkäläjitysvaihtoehdolle oletetaan tarvittavan eristysominaisuuksiltaan kuivaläjitystä vastaava pohjarakenne. Huomioiden läjitysratkaisujen tekniset erot, täysin samasta rakenteesta ei välttämättä kuitenkaan ole kysymys.

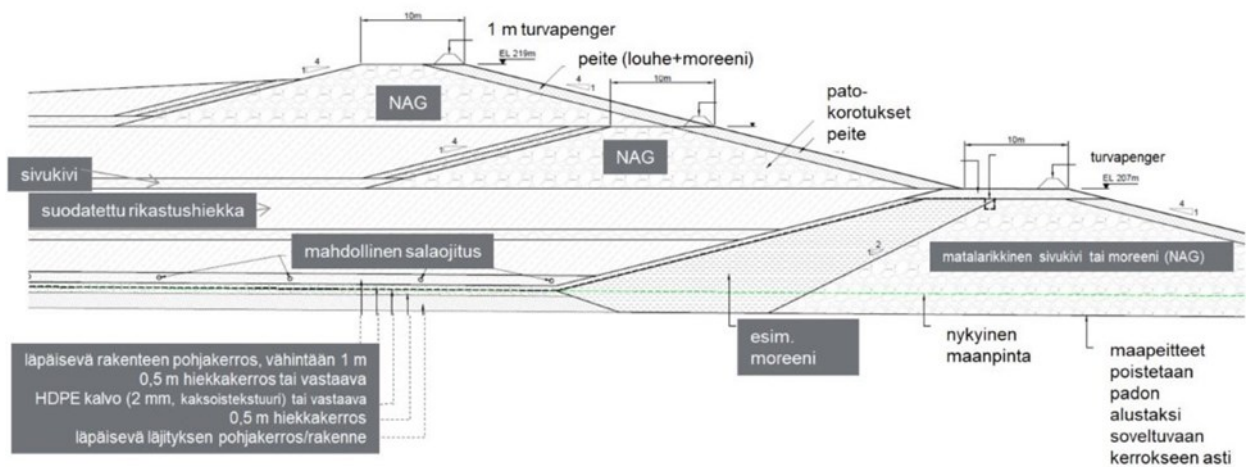
Matalarikkisen rikastushiekka-altaan padot rakennetaan louheesta ja moreenitiivisteestä. Myös korotuksissa käytetään sivukivilouhetta tukipenkereenä. Korotustapaa ei ole vielä suunniteltu, mutta ylävirtaan (sisäänpäin) korotusta voidaan pitää todennäköisenä viimeistään toisessa korotuksessa. Alustava korotusjärjestys esitetään periaatepiirroksessa (Kuva 12-3). Reunapadon sisäluiskan juureen rakennetaan juurisalaoja, jolla pyritään kuivattamaan rikastushiekkaa ja lisäämään kantavuutta sisäänpäin korotuksia varten.



Kuva 12-3. Märkäläjäytysvaihtoehtojen alustava patokorotustapa.

Vuoden 2018 suunnitelman mukainen rakennevaihtoehto

Kannattavuuden esiselvitysvaiheessa A laadittu suunnitelma kuivaläjitettävän matalarikkisen rikastushiekka-alueen rakenteesta on havainnollistettu kuvassa (Kuva 12-4). Tätä aiemmin laadittua rakennetta on käytetty rikastushiekka-alueen suotovesien laadun ja määrän arvioinnissa prosessivaihtoehdon 1 mukaiselle rikastushiekalle. Kannattavuuden esiselvitysvaiheen A aikainen suunnitelma poikkeaa edellä esitetystä uudemmassa suunnitelmasta ensisijaisesti siten, että aiemmassa suunnitelmassa tiivisrakenne on alkupatoa vasten eikä sen alapuolella ja sivukivellä tehtäviä välikerroksia on aiemmassa suunnitelmassa enemmän. Lisäksi aiemmassa suunnitelmassa käytetään erillisiä korotuspenke- reitä. Mahdollisena täydentävänä rakenteena oli salaojitus läjityksen ala- osassa.



Kuva 12-4. Sakatin kannattavuuden esiselvitysvaihe A:n suunniteltu alustava rakenne matalarikkisen rikastushiekan sijoittamiselle kuivaläjäytysenä, YVA-vaihtoehdot VE1a, VE2a ja VE3a. Alkuperäinen kuva: SRK Consulting Ltd (2019b). Tätä rakenneratkaisua on käytetty myös mallinnettaessa rikastushiekka-alueen suotovesien määrää ja laatua, rikastushiekan ollessa prosessivaihtoehdon 1 mukaista.

Myös aiemman suunnitelman yhteydessä rikastushiekan märkäläjäytysvaihtoehdolle oletettiin tarvittavan eristysominaisuuksiltaan kuivaläjäytystä vastaava pohjarakenne. Huomioiden läjitysratkaisujen tekniset erot täysin samasta rakenteesta ei välttämättä kuitenkaan ole kysymys. Matalarikkisen rikastushiekka-alueen padot rakennetaan louheesta ja moreenitiivisteestä. Myös korotuksissa käytetään sivukivilouhetta tukipenkereenä. Korotustapaa ei ole vielä suunniteltu, mutta ylävirtaan (sisäänpäin) korotusta voidaan pitää todennäköisenä viimeistään toisessa korotuksessa. Reunapadon sisäluiskan juureen rakennetaan juurisalaoja, jolla pyritään kuivattamaan rikastushiekkaa ja lisäämään kantavuutta sisäänpäin korotuksia varten.

12.3.2 Korkearikkisen rikastushiekan varastoallas

Kaivoksen toiminnan aikana korkearikkinen rikastushiekka märkäläjitetään varastoaltaaseen. Säilytyksen aikana korkearikkinen rikastushiekka on kauttaaltaan vedellä kyllästyneessä tilassa.

Korkearikkisen rikastushiekan varastoaltaan pohjarakenne (ylhäältä alas) on 2021 päivitetyn suunnitelman mukaisesti seuraava:

- Suoja- ja painotuskerros
- Suojakerros
- Suojageotekstiili
- Primääritiiviste 1

- Salaojamatto
- Primääritiiviste 2
- Sekundäärinen tiiviste
- Suodatinkerros
- Suodatinkangas

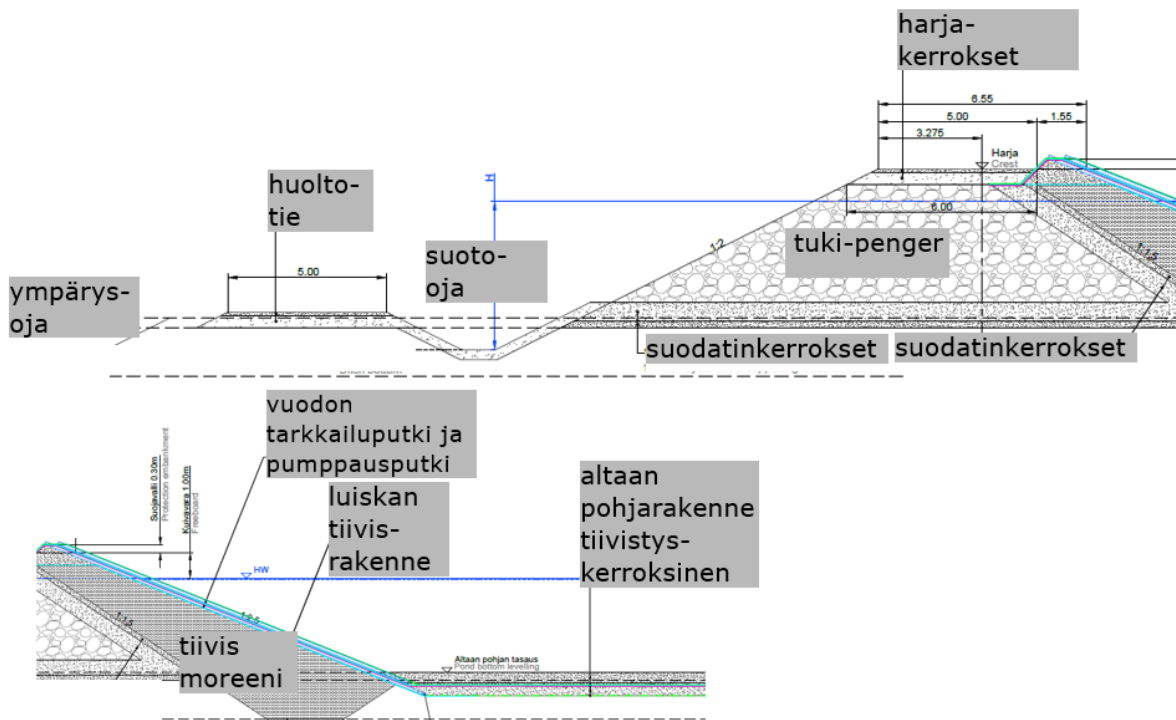
Patorakenne muodostuu (alkaen ulkoa päin) tukipenkereestä, suodatinrakenteesta, tiivistysosasta ja erityisestä luiskan tiivisrakenteesta.

Luiskan tiivisrakenne (altaan sisäpuolelta alkaen) on 2021 valmistuneiden suunnitelmien mukaisesti seuraava:

- Primääritiiviste 1
- Salaojamatto
- Primääritiiviste 2
- Sekundäärinen tiiviste
- Salaojamatto

Tiivisrakenteen alla on vielä tiivis moreeni, jonka jälkeen padon ulkoreunaa kohti mentäessä on suodatinkerrokset ja tukipenger.

Korkearikkistä rikastushiekkaa käytetään louhostäytössä käytettävän pastan valmistamiseen. Tuotannon alkuvaiheessa korkearikkinen rikastushiekka johdetaan varastoaltaaseen, mutta pastalaitoksen käynnistyttyä rikastushiekka johdetaan lietteisenä suoraan pastalaitokselle. Varastoallas tyhjennetään rikastushiekasta ja tyhjentämisen jälkeen allas jää vara-altaaksi poikkeustilanteita varten. Korkearikkisen rikastushiekan varastoaltaan rakenne esitetään alla periaatekuvana (Kuva 12-5).



Kuva 12-5. Korkearikkisen rikastushiekka-altaan rakenne. Yläkuvassa padon ulkopuoli ja alakuvassa padon sisäpuoli.

12.4 Vesienkäsittelyn sakkojen läjitysalue

Jätevesien puhdistuksessa syntyvien sakkojen ja maanalaisen kaivoksen kuivanapitovesien selkeytysaltaiden lietteiden käsittelyratkaisu on ielä avoinna. vaihtoehtoja ovat läjitys matalarikkisen rikastushiekkan kanssa rikastushiekka-alueelle, sijoitus korkearikkisen rikastushiekkan kanssa louhostäyttöön, ulkopuolisen jätehuoltopalvelun käyttäminen tai läjittäminen omalle sijoitusalueelleen kaivosalueella. Mikäli oma sijoitusalue tulee kysymykseen, sen rakenne on samanlainen tai vastaava kuin korkearikkisen rikastushiekkan varastoaltaalla.

13 Kaivannaisjätealueiden vesien laadut

Tässä luvussa käsitellään kaivannaisjätealueiden vesien laatuarvioita. Arvioiden laatimistapa vaihtelee ja ne esitetään erikseen kunkin kaivannaisjätealueen osalta. Tässä luvussa esitettävät vesien laadut toimivat syötteenä kaivoksen kuormataseessa (AFRY Finland Oy 2023). Laatuarvioihin voi tulla hankesuunnittelun edetessä muutoksia esimerkiksi läjitysaluerakenteiden tarkentuessa.

13.1 Pintamaan sijoitusalueen suotovesien laatu

Alueen maaperän ominaisuuksien perusteella on arvioitu, että pintamaan sijoitusalueelta suotovesiin liukenevien haitta-aineiden pitoisuudet ovat pieniä eikä happamien suotovesien syntyminen ole todennäköistä. Haitallisten alkuaineiden liukenemista tapahtuu jossain määrin kuten luonnonmaaperässäkin.

Läjitettävä maa-aines on pääosin kohtalaisesti vettä johtavaa hiekkaa, soraa ja moreenia. Osa sijoitusalueelle tulevasta sadannasta suotautuu läjitykseen ja osa muodostaa pintavaluntaa. Haihdunnan osuus pintamaan sijoitusalueella on toiminnan aikana vähäinen kasvillisuuden puuttuessa. Maaperään ja pohjaveden suotautuvan veden määrä on arviolta 10–30 % sadannasta. Irtonaisesta maa-aineksesta voi voimakkaiden sateiden vaikutuksesta ja sulamiskaudella huuhtoutua kiintoainesta reunaosiin. Pintamaan sijoitusalueen vedet kerätään ympärysojien avulla. Pintamaan sijoitusalueen pohjaveden muodostumisessa tai virtauksessa ei kaivoksen toiminta-aikana arvioida tapahtuvan merkittäviä muutoksia nykytilaan verrattuna ja sulkemisen jälkeen pintamaan sijoitusalueita ei enää ole, sillä kaikki pintamaa tullaan hyödyntämään.

13.2 Sivukiven sijoitusalueiden suotovesien laatu

13.2.1 Sivukivialueiden suotovesien arviointimenetelmät

Veden määrä- ja laatuarviot (*source term*-arviot) sivukivien sijoitusalueille on laatinut SRK Consulting Ltd. (2019a). Arvioiden lähtötietona ovat kosteuskammiokokeiden tulokset eri kivilajeista (luku 6). Kosteuskammiokokeen tuloksia käytettiin massatase- ja olosuhdeskaalattuna sekä tasapainotettuna mineraali- ja kaasufaaseihin. Typen määrä on tuotettu laskennallisesti erillisenä muusta mallinnuksesta, sillä kairasydännäytteissä ei ole räjähdysainejäämiä kuten louhitussa kivessä.

Vesilaatuarviot on tuotettu päävaihtoehdon VE1:n mittasuhteilla, mutta myös hankevaihtoehdoissa VE2 ja VE3 oletetaan läjitysten dimensiot ja olosuhteet VE1:n kaltaisiksi. Alavaihtoehdojen a ja b välillä ei ole merkittäviä eroja sivukiven suotovesien laatuun vaikuttavissa tekijöissä, minkä vuoksi niitä ei ole erikseen arvioitu. Eri vinotunnelivaihtoehdoissa kivilajien määrasuhteet vaihtelevat jonkin verran, mutta eivät riittävästi vaikuttaakseen eri aineiden pitoisuuksien

suuruusluokkaan suotovesien laatumalleissa. Päävaihtoehdossa VE1 sivukiven määrä on myös suurimmillaan.

Massatase on laskettu seuraavalla yhtälöllä:

$$C_i = (r_i \cdot R_m) / Q_i$$

missä

C_i on laskennallinen konsentraatio suotovedessä,

r_i edustaa viikkoliuos päästöä mg/kg/vk,

R_m edustaa reaktiivisen massan osuutta kokonaismassasta ja

Q_i edustaa veden imeytymistä massaan.

Lisäksi on huomioitu laboratoriokokeen ja läjitysolosuhteiden välinen lämpötila-ero, käyttäen laskennassa Arrheniuksen yhtälöä:

$$K = A_e (-E_A/RT)$$

missä

K on suhdeluku,

A_e on reaktion taajuustekijä

R on yleinen kaasuvakio (8,31 J/K/mol),

E_A on aktivoitumisenergia (88,0 KJ/mol, Nicholson ym. 1988) ja

T on läjityksen keskilämpötila (1,07°C)

Käytetyt skaalauskerroimet (*scaling factors SF*) ovat:

- SF1 Raekoko 20 %
- SF2 Säännöllisesti huuhtoutuva osuus 20 %
- SF3 Kastuvissa oleva osuus materiaalista 95 %
- SF4 Lämpötilakerroin 4,51 %

Kokonaiskerroin (SF) saadaan kertomalla skaalauskerroimet ($SF = SF1 \times SF2 \times SF3 \times SF4$).

Vesilaadut on lisäksi tasapainomallinnettu PHREEQC mallinnusohjelman avulla. Mallinnuksessa tasapainomineraaleiksi valittiin paikallisen geologian perusteella: $PbSO_4$, $CaSO_4$, $BaSO_4$, $CaCO_3$, $PbCO_3$, $CaCuAsO_4(OH)$, $Cr(OH)_3$, $Fe(OH)_3$, $Al(OH)_3$, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, $MgCO_3$, $Cu_2(OH)_2CO_3$, $CaHAsO_4 \cdot 2H_2O$, $Pb_5(PO_4)_3Cl$, SiO_2 , $MnCO_3$, ja $CaAl_2Si_3O_{10} \cdot 3H_2O$. Näiden sallittiin saostua vedestä veden ollessa ylikylläinen kyseisestä mineraalista.

Tasapainomallinnuksessa oletettiin, että adsorptiota tapahtuu vain juuri muodostuvien mineraalien pintaan kuten raudan oksideihin. Vanhoja mineraalipintoja ei siis huomioida sorption mallintamisessa. Sorptiopintana mallinnuksessa käytettiin ferrihydriittiä ($5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$). Ferrihydriitin muodostuminen laskettiin sulfaatin muodostumisesta. Adsorption käsittelyssä käytettiin Dzombak & Morel (1990) adsorptiomallia.

13.2.2 Sivukivialueiden suotovesien laatu kaivoksen toiminnan aikana

Sivukivialueiden suotovesien laadut esitetään alla taulukossa 13-1. Sivukivialueita ei ole kaivoksen sulkemisen jälkeen, joten myöskään sulkemisen jälkeisiä suotovesilaatuja ei ole tästä johtuen arvioitu.

Taulukko 13-1. Väliaikaisten sivukivialueiden suotovesien laadut kaivoksen tuotannon aikana (SRK Consulting Ltd. 2019a).

	Yksikkö	Matalarikkinen sivukivialue	Korkearikkinen sivukivialue
Alumiini	mg/l	0,003	0,003
Antimoni	mg/l	0,004	0,002
Arseeni	mg/l	0,0004	<0,001
Elohopea	mg/l	0,00007	0,00005
Fosfori	mg/l	0,071	0,052
Kadmium	mg/l	0,0005	0,0004
Kalium	mg/l	79	14
Kalsium	mg/l	61	80
Kloori	mg/l	110	24
Koboltti	mg/l	0,003	0,085
Kromi	mg/l	0,007	0,005
Kupari	mg/l	0,001	0,010
Lyijy	mg/l	<0,001	0,001
Magnesium	mg/l	110	17
Mangaani	mg/l	0,12	0,28
Natrium	mg/l	160	200
Nikkeli	mg/l	0,052	5,3
Rauta	mg/l	0,001	0,001
Sinkki	mg/l	0,015	0,011
Sulfaatti (SO_4)	mg/l	190	120
N_{tot}	mg/l	20	14

13.3 Matalarikkisen rikastushiekka-alueen vesien laatu eri hankevaihtoehtoissa

Matalarikkisen rikastushiekkan kuivaläjitysalueelle on tehty kaksi suotoveden laatumallinnusta. Toisessa rikastushiekkan laatu oli prosessivaihtoehdon 1 mukaisista ja rikastushiekka-alueen rakenteet olivat vuoden 2018 suunnitelman mukaiset. Toisessa rikastushiekkan laatu on prosessivaihtoehdon 2 mukaisista ja rikastushiekka-alueen rakenteet ovat vuoden 2021 suunnitelman mukaiset. Molemmista malleista on johdettu rikastushiekkan märkäläjitystä edustavat versiot yksinkertaistetuilla lähestymistavalla, jotka kuvataan tarkemmin alakapituleissa. Vesilaatuarviot on tuotettu päävaihtoehdon VE1:n mittasuhteilla, mutta myös VE2 ja VE3 läjitysalueiden mittasuhteet oletetaan VE1:n kaltaisiksi.

13.3.1 Matalarikkisen rikastushiekka-alueen suotovesien arviointimenetelmät, prosessivaihtoehto 1

Suotoveden määrä- ja laatuarviot (*source term*-arviot) matalarikkiselle rikastushiekka-alueelle, prosessivaihtoehdon 1 mukaisen rikastushiekkan kuivaläjityskelle (toiminnan aikana ja sulkemisen jälkeen) on laatinut SRK Consulting Ltd. (2019a). Arvioiden lähtötietona olivat kosteuskammiokoekiden tulokset. Kosteuskammiokoekiden tuloksia käytettiin massatase- ja olosuhdeskaalattuna sekä tasapainotettuna mineraali- ja kaasufaaseihin.

Massatase on laskettu seuraavalla yhtälöllä:

$$C_i = (r_i \cdot R_m) / Q_i$$

missä

C_i on laskennallinen konsentraatio suotovedessä,

r_i edustaa viikkoliuos päästöä mg/kg/vk,

R_m edustaa reaktiivisen massan osuutta kokonaismassasta ja

Q_i edustaa veden imeytymistä massaan.

Lisäksi on huomioitu laboratoriokoekiden ja läjitysolosuhteiden välinen lämpötilaero, käyttäen laskennassa Arrheniuksen yhtälöä:

$$K = A_e (-E_A/RT)$$

missä

K on suhdeluku,

A_e on reaktion taajuustekijä

R on yleinen kaasuvakio (8,31 J/K/mol),

E_A on aktivoitumisenergia (88,0 KJ/mol, Nicholson ym. 1988) ja

T on läjityksen keskilämpötila (1,07°C)

Käytetyt skaalauskerroimet (scaling factors SF) ovat:

- SF1 Raekoko 70 % (tuotannon aikana ja sulkemisen jälkeen)
- SF2 Säännöllisesti huuhtoutuva osuus 25 % (tuotannon aikana) ja 10,4 % (sulkemisen jälkeen)
- SF3 Kastuvissa oleva osuus materiaalista 95 % (tuotannon aikana) ja 5 % (sulkemisen jälkeen)
- SF4 Lämpötilakerroin 4,51 %

Kokonaiskerroin (SF) saadaan kertomalla skaalauskerroimet ($SF = SF1 \times SF2 \times SF3 \times SF4$).

Vesilaadut on lisäksi tasapainomallinnettu PHREEQC-mallinnusohjelman avulla. Mallinnuksessa saostuvaksi sallittavaksi mineraaleiksi valittiin paikallisen geologian perusteella: $PbSO_4$, $CaSO_4$, $BaSO_4$, $CaCO_3$, $PbCO_3$, $CaCuAsO_4(OH)$, $Cr(OH)_3$, $Fe(OH)_3$, $Al(OH)_3$, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, $MgCO_3$, $Cu_2(OH)_2CO_3$, $CaHAsO_4 \cdot 2H_2O$, $Pb_5(PO_4)_3Cl$, SiO_2 , $MnCO_3$ ja $CaAl_2Si_3O_{10} \cdot 3H_2O$.

Tasapainomallinnuksessa oletettiin, että adsorptiota tapahtuu vain juuri muodostuvaan mineraalipintaan kuten raudan oksideihin. Sorptiopintana mallinnuksessa käytettiin ferrihydriittiä ($5Fe_2O_3 \cdot 9H_2O$). Ferrihydriitin muodostuminen laskettiin sulfaatin muodostumisesta. Adsorptiomalli, jota käytettiin, oli Dzombak & Morel (1990).

Poiketen kuivaläjitysvaihtoehdosta, märkäläjitysvaihtoehdon veden laatua (toiminnan aikana ja sulkemisen jälkeen) ei ole muodostettu koetuloksista skaalamalla ja mallintamalla. Märkäläjitysvaihtoehdoille veden laatu on johdettu kuivaläjityksen valmiista (SRK Consulting Ltd. 2019a) vesilaatuarviosta ja rikastuskokeessa mitatusta prosessiveden laadusta (luku 7.2.5). Johtaminen on suoritettu seuraavin oletuksin:

a) Märkäläjitysvaihtoehdossa rikastushiekka-alueen yläosassa muodostuu koko tuotannon ajan samoja hapettumistuotteita ja tapahtuu jokseenkin samankaltaista saostumista kuin kuivaläjityksessä. Vedenkyllästämät olosuhteet rajoittavat hapettumisreaktiota syvemmillä rikastushiekkakerroksissa. Hapettumiselle altistuvan rikastushiekan määrä on puolet kuivaläjityksen vastaavasta määrästä.

b) Johtuen märkäläjitetyn rikastushiekan alhaisemmasta kiintoainepitoisuudesta verrattuna suodatettuun (kuivaläjitettyyn) rikastushiekkaan, märkäläjityksessä prosessivesi vaikuttaa huokosveden laatuun voimakkaammin kuin kuivaläjityksessä.

Märkäläjityksen vesilaatu = $(0,5 \times \text{kuivaläjityksen veden pitoisuudet}) + (\text{prosessiveden määrä märkäläjityksessä} - \text{prosessiveden määrä kuivaläjityksessä}) \times \text{prosessiveden laatu}$.

On huomattava, että laskutapa modifioi jo tasapainomallinnettua aineistoa, eikä lopputuloksessa huomioida veden tasapainottumista kaasu- ja mineraalifaasien kanssa. Rikastushiekka-alueen pinnalla veden laatu todennäköisesti muistuttaa enemmän prosessiveden laatua kuin suotoveden laatua: märkäläjityksen pinnalla vesi on yleensä pitoisuuksiltaan suotovettä laimeampaa. Tässä vaiheessa rikastushiekka-alueelle ei kuitenkaan ole arvioitu erikseen suotoveden ja ylitteveden laatua. Molemmat on käsitelty suotoveden kaltaisena, mikä on konservatiivinen lähestymistapa.

13.3.2 Matalarikkisen rikastushiekka-alueen suotovesien laatu, prosessivaihtoehto 1

Matalarikkisen rikastushiekan sulfidisen rikin pitoisuus on hyvin alhainen ($>0,3\%$) ja rikastushiekan neutralointipotentiaali on korkea $46 \text{ kg CaCO}_3/\text{t}$ (SRK Consulting Ltd. 2018a). Materiaalissa esiintyy sulfideihin sitoutuneita metalleja, mutta esimerkiksi kosteuskammiokokeessa niiden vapautuminen on melko maltillista. On kuitenkin huomioitava, että neutralointikyky ei estä niiden metallien liikkuvuutta, joiden optimaalinen saostumis-pH on korkea.

Sulfidien hapettumista rajoittaa hapen melko hidas diffundoituminen (kulkeutuminen tasoittaen erot hapen määrässä) hienojakoisessa materiaalissa. Märkäläjityksessä diffundoitumista vähentää myös se, että rikastushiekka on vedellä kyllästynyt.

Matalarikkisen rikastushiekka-alueen suotovesien laadut kuiva- ja märkäläjityksessä (prosessivaihtoehto 1) esitetään taulukossa 13-2. Taulukossa kuvataan kuivaläjitykselle kolme eri vaihetta. Ensimmäisessä vaiheessa lohko 1 on käytössä. Toisessa vaiheessa lohko 1 on suljettu ja lohko 2 on käytössä. Kolmannessa vaiheessa molemmat lohkot on suljettu. Märkäläjitysvaiheelle on esitetty tuotantovaihe ja sulkemisen jälkeinen vaihe.

Koska rikastuskokeet on tehty kairasydännäytteistä, joissa ei ole räjähdysainejäämiä kuten louhitussa malmissa, typen määrä on tuotettu laskennallisesti arvioidusta räjähdysaineiden käyttömäärästä ja räjähtämättä jäävästä osuudesta.

**Taulukko 13-2. Matalarikkisen rikastushiekka-alueen suotovesien laadut eri läjitystapavaihtoehtoissa kaivoksen tuotannon aikana ja sulke-
misen jälkeen. Kuivaläjitysvaihtoehdon arviot ovat SRK Consulting
Ltd:n laatimia (2019a). Märkäläjitetyksen arviot on johdettu kuivaläjitetyk-
selle tehdyistä arvioista prosessivesisuhteella. Rikastushiekka on pro-
sessivaihtoehdosta 1.**

Parametri	Yk- sikkö	Prosessi- vaihtoehto 1, kuivaläji- tys, lohko 1 käytössä	Prosessi- vaihtoehto 1, kuivaläji- tys lohko 1 suljettu, lohko 2 käytössä	Prosessi- vaihtoehto 1, kuivaläji- tys, lohkot 1 ja 2 suljettu	Prosessi- vaihtoehto 1, märkäläji- tys, toimin- tavaihe	Prosessi- vaihtoehto 1, märkäläji- tys, suljettu, pitkä aika- väli
Alumiini	mg/l	0,003	0,003	0,003	0,004	0,005
Antimoni	mg/l	0,009	0,004	0,0005	0,003	0,001
Arseeni	mg/l	<0,001	0,0004	0,0004	<0,001	0,0404
Elohopea	mg/l	<0,001	0,00001	0,00001	<0,001	0,00001
Fosfori	mg/l	1,300	0,7	0,1	0,662	0,1
Kadmium	mg/l	0,002	0,0009	0,0001	<0,001	0,0001
Kalium	mg/l	560	290	30	149	40
Kalsium	mg/l	550	300	55	150	80
Kloori	mg/l	680	350	40	205	100
Koboltti	mg/l	0,015	0,008	0,008	0,004	0,050
Kromi	mg/l	0,031	0,016	0,002	0,008	0,002
Kupari	mg/l	0,001	0,001	0,001	0,001	0,043
Lyijy	mg/l	<0,001	0,0002	0,0001	<0,001	0,0002
Magnesium	mg/l	1100	570	60	285	80
Mangaani	mg/l	0,90	0,46	0,05	0,23	0,11
Natrium	mg/l	830	430	40	306	110
Nikkeli	mg/l	0,420	0,22	0,02	0,112	0,07
Rauta	mg/l	0,002	0,002	0,002	0,007	0,240
Sinkki	mg/l	0,025	0,013	0,001	0,007	0,003
Sulfaatti	mg/l	2500	1030	130	705	490
N _{tot}	mg/l	26	13,2	1,4	7	1,6

13.3.3 Matalarikkisen rikastushiekka-alueen suotovesien arviointime- netelmät, prosessivaihtoehto 2

Suotoveden määrä- ja laatuarviot (*source term*-arviot) matalarikkiselle rikas-
tushiekka-alueelle, prosessivaihtoehdon 2 mukaisen rikastushiekan kuivaläjitetyk-
selle (toiminnan aikana ja sulkemisen jälkeen) on laatinut Geochemic Ltd.
(2021b). Arvioiden lähtötietona olivat kosteuskammiokeiden tulokset.

Kosteuskammiokokkeen tuloksia käytettiin massatase- ja olosuhdeskaalattuna sekä tasapainotettuna mineraali- ja kaasufaaseihin (vertaa kappale 13.3.1).

Eräs keskeinen ero matalarikkisen rikastushiekka-alueen veden laadun mallintamiseen prosessivaihtoehtojen 1 ja 2 osalta liittyy vedellä kyllästyneen ja vedellä kyllästymättömän massan määrittelyyn. Prosessivaihtoehdon 2 mallissa määrittely tehtiin AFRY Finland Oy:n laatiman Hydrus-mallin avulla. Tämä fysikaalinen malli käytti ilmastollisia lähtötietoja ja rikastushiekan ja rikastushiekka-alueen ominaisuuksia kosteuden muodostumisen määrittelyyn läjitykseen eri osa-alueilla ja syvyyksillä. Lisäksi prosessivaihtoehdon 2 mukaisessa mallissa mallinnus suoritettiin erikseen eri vyöhykkeille: alkupato, luiska, erityisesti tiivistetty vyöhyke ja muu läjitys.

13.3.4 Matalarikkisen rikastushiekka-alueen suotovesien laatu, prosessivaihtoehto 2

Matalarikkisen rikastushiekka-alueen suotovesilaadut on mallinnettu erikseen rikastushiekka-alueen lohkoille 1 ja 2, kuivaläjityksenä ja rikastushiekan edustaessa prosessivaihtoehtoa 2 (Taulukko 13-3, Taulukko 13-4). Merkittävin ero lohkojen välillä on penkereen rakennusmateriaali.

Malleissa on tarkasteltu erikseen penkereestä suotautuvaa vettä ja rikastushiekasta suotautuvaa vettä. Lisäksi penkereelle on tarkasteltu erillisinä tilanteina lumen sulamisvaihetta ja kesäkautta. Talvikaudelle penkereen suotovettä ei huomioitu, sillä suotoveden muodostuminen on vähäistä: penger ei varastoi vettä ja sadanta tulee lumena. Rikastushiekassa veden viipymä tasoittaa vuodenaikaisvaihtelut, joten vuodenaikaisvaihtelua ei huomioitu. Myös pintavaluntaa oletettiin tapahtuvan vain sulamiskaudella ja kesäkaudella. Talven lumena tuleva sadanta poistuu pintavaluntana lumensulamiskaudella. Arvioissa on mukana räjähdysaineperäinen tyyppi laskennallisesti tuotettuna.

Taulukko 13-3. Matalarikkisen rikastushiekka-alueen vesilaadut tuotannon aikana. Prosessivaihtoehdon 2 rikastushiekka. Lohko 1. Kuivaläjitys (Geochemic 2021b). Taulukossa eritellään penkereessä muodostuva suotovesi, rikastushiekassa muodostuva suotovesi sekä pintavalunta.

Parametri	Yksikkö	Alkuperä, sulamisvaihe	Alkuperä, kesä	Suotovesi, tuotantovaihe	Pintavalunta, sulamisvaihe	Pintavalunta, kesä
pH		7,42	8,33	8,25	7,58	8,21
Alkalinit.	mg/l	14	112	117	20	93
Kloori	mg/l	1,1	10,1	68	3,2	29,7
Fluori	mg/l	0,5	4,39	7,23	0,08	0,73
Nitraatti	mg/l	-	-	31,53	0,4	4,0
Sulfaatti	mg/l	11,9	109	1885	44	401

Parametri	Yksikkö	Alkuperä, sulamisvaihe	Alkuperä, kesä	Suotovesi, tuotantovaihe	Pintavalunta, sulamisvaihe	Pintavalunta, kesä
Kalsium	mg/l	0,05	0,43	70	6,2	41,5
Rauta	mg/l	0,0038	0,0260	<0,0001	0,0075	0,0258
Magnesium	mg/l	0,08	0,75	344	8	76
Kalium	mg/l	11	99	544	10	89
Pii	mg/l	0,03	0,30	2,85	0,45	2,69
Natrium	mg/l	7,3	67,5	230	8	73
TDS (lask.)	mg/l	46	404	3299	100	811
Alumiini	µg/l	0,04	0,37	23,8	0,83	0,78
Antimoni	µg/l	0,33	3,00	6,2	0,16	1,50
Arseeni	µg/l	1,2	11,3	<0,01	2,24	20,59
Barium	µg/l	<0,01	0,02	5,79	12,82	1,76
Beryllium	µg/l	0,21	1,97	<0,01	0,04	0,36
Boori	µg/l	11	98	232	3,87	35,59
Kadmium	µg/l	0,04	0,36	<0,01	0,02	0,19
Kromi	µg/l	0,4	4,1	0,01	0,16	1,46
Koboltti	µg/l	0,32	2,95	0,6	0,14	1,29
Kupari	µg/l	1,1	9,9	<0,01	0,42	3,87
Lyijy	µg/l	0,43	3,94	<0,01	0,06	0,54
Litium	µg/l	2,7	24,5	160	3,0	27,8
Mangaani	µg/l	1,8	16,2	12	4,5	41,7
Elohopea	µg/l	<0,01	<0,01	0,07	<0,01	0,03
Molybdeeni	µg/l	1,1	10,2	18,9	0,48	4,37
Nikkeli	µg/l	0,9	7,9	128	3,2	29,1
Fosfori	µg/l	12	109	730	13,3	32,9
Seleeni	µg/l	1,30	11,95	2	2,62	24,12
Hopea	µg/l	1,07	9,85	5,2	0,20	1,85
Strontium	µg/l	0,67	6,13	1382	31	289
Tallium	µg/l	4,3	39,4	17,7	0,49	4,50
Torium	µg/l	-	-	1,35	0,02	0,22
Uraani	µg/l	3,4	31,4	0,6	0,12	1,12
Vanadiini	µg/l	3,4	31,6	<0,01	1,00	9,23
Sinkki	µg/l	3,9	36,1	0,18	0,71	6,53

Taulukko 13-4. Matalarikkisen rikastushiekka-alueen vesilaadut tuotannon aikana. Prosessivaihtoehtoon 2 rikastushiekka. Lohko 2. Kuivaläjitys (Geochemic 2021b). Taulukossa eritellään penkereessä muodostuva suotovesi, rikastushiekassa muodostuva suotovesi sekä pintavalunta.

Parametri	Yksikkö	Alkuperä, sulamisvaihe	Alkuperä, kesä	Suotovesi, tuotantovaihe	Pintavalunta, sulamisvaihe	Pintavalunta, kesä
pH		6,61	7,47	8,14	7,64	8,20
Alkalinit.	mg/l	3,2	18,9	93,4	23,0	91,4
Kloori	mg/l	27	244	223	3,4	31,0
Fluori	mg/l	0,19	1,70	4,4	0,09	0,81
Nitraatti	mg/l	-	-	30,9	0,5	5,0
Sulfaatti	mg/l	130	1182	2525	49	445
Kalsium	mg/l	7,6	69,3	131	7,0	45,0
Rauta	mg/l	0,0166	0,0274	<0,0001	0,0082	0,0259
Magnesium	mg/l	15	140	425	9	84
Kalium	mg/l	25	227	596	11	100
Pii	mg/l	0,04	0,33	2,82	0,49	2,68
Natrium	mg/l	41	370	414	8	76
TDS (lask.)	mg/l	248	2254	4446	112	881
Alumiini	µg/l	0,01	0,09	18,9	0,94	0,75
Antimoni	µg/l	0,76	6,95	8,1	0,17	1,58
Arseeni	µg/l	8,40	76,56	0,0011	2,29	20,87
Barium	µg/l	0,12	1,14	5,24	14,56	1,90
Beryllium	µg/l	0,27	2,43	0,00	0,04	0,39
Boori	µg/l	17,60	160,56	251	4,29	39,14
Kadmium	µg/l	0,22	1,96	0,04	0,02	0,19
Kromi	µg/l	0,56	5,06	0,0	0,17	1,56
Koboltti	µg/l	0,89	8,08	1,6	0,15	1,39
Kupari	µg/l	3,77	34,36	<0,01	0,44	4,04
Lyijy	µg/l	0,54	4,93	<0,01	0,06	0,57
Litium	µg/l	7,64	69,72	181	3,4	31,2
Mangaani	µg/l	18,73	170,8	37	4,9	45,1
Elohopea	µg/l	0,00	0,00	0,06	0,00	0,03
Molybdeeni	µg/l	2,03	18,54	22,0	0,52	4,78
Nikkeli	µg/l	13,89	126,64	203	3,5	32,0
Fosfori	µg/l	0,77	7,03	615	15,1	32,4
Seleen	µg/l	8,99	81,95	5	2,9	26,8
Hopea	µg/l	2,27	20,73	14,2	0,21	1,89
Strontium	µg/l	75,4	688	1793	35	323
Tallium	µg/l	5,33	48,58	19,6	0,51	4,63
Torium	µg/l	-	-	1,31	0,03	0,25
Uraani	µg/l	2,32	21,14	1,1	0,13	1,15

Parametri	Yksikkö	Alkuperä, sulamisvaihe	Alkuperä, kesä	Suotovesi, tuotantovaihe	Pintavalunta, sulamisvaihe	Pintavalunta, kesä
Vanadiini	µg/l	9,7	88,2	<0,01	1,04	9,51
Sinkki	µg/l	6,09	55,56	0,36	0,76	6,92

Prosessivaihtoehdolle 2 on laadittu vesilaatuvarvio ainoastaan kuivaläjitysvaihtoehdolle. Kuivaläjitysratkaisun suotovesilaatua sovelletaan YVA-vaiheen tarkasteluissa myös prosessivaihtoehdon 2 märkäläjitysvaihtoehdon dekanttiveden ja suotoveden laaduna (lohko 2, joka näyttäytyy vesilaadultaan heikompana). Märkäläjitetyksen ja kuivaläjitetyksen keskeisimpiin eroihin kuuluu, että märkäläjitetyksessä on vesijae, jota kuivaläjitetyksessä ei ole: läjitetyksen pinnalta pumpattava ylitevesi. Tässä vedessä on suotoveteen verrattuna enemmän prosessiveden laadun vaikutusta eli prosessista rikastushiekka-altaalle lietteen mukana tulevan veden laadun vaikutusta. Rikastushiekan märkäläjitetyksen suotovedessä rikastushiekan pitkäaikaikäytymisen rooli on suurempi kuten myös rikastushiekan kuivaläjitetyksen suotovedessä. Märkäläjitetyksessä altaan pinnalta pumpattavan veden voidaan siis olettaa olevan pitoisuuksiltaan laimeampaa kuin suotoveden.

13.4 Korkearikkisen rikastushiekan varastoaltaan ylitevesien laatu

Korkearikkisen rikastushiekan varastoaltaan veden laaduille ei ole tehty veden laatumallinnusta. Korkearikkisen rikastushiekan varastoallas on osa rikastusprosessin sisäistä vesikiertoa ja pääsääntöisesti vesi palautetaan suoraan rikastamolle, jolloin korkearikkisen rikastushiekan varastoinnista ei muodostu kaivosalueella erillistä vesijaetta. Korkearikkisen rikastushiekka-allas sisältyy siis rikastusprosessin sisäisen vesikierron suunnitteluun sekä mallintamiseen. Korkearikkisen rikastushiekan varastoaltaan yliteveden laadun mallintaminen tavanomaisilla geokemiallisilla malleilla olisi myös haastavaa johtuen korkearikkisen rikastushiekan varastoinnin lyhytaikaisuudesta. Lisäksi säilytysajan ollessa suhteellisen lyhyt ja säilytyksen tapahtuessa vedenkylästäjänä, rikastushiekan ja veden väliset reaktiot eivät ehdi edetä kovinkaan pitkälle. Mikäli korkearikkisen rikastushiekan varastoaltaan veden laadusta halutaan tietoa esimerkiksi poikkeustilanteiden riskinarvioinnin tarpeisiin, dekanttivesien ominaisuuksia (luvut 7.2.5 ja 7.3.5) voidaan tarkastella suuntaa antavana tietona. Dekanttiveden analyysitulokset ei ole kuitenkaan suoraan varastoaltaan yliteveden laatu, sillä dekanttiveden reaktioaika ja korkearikkisen rikastushiekan reaktioaika varastoaltaalla eivät vastaa toisiaan eikä vesi-kiintoainesuhde näytteen säilytysastiasa vastaa altaan olosuhteita.

14 Maanalaisen kaivoksen veden laadun arviointi

Maanalaisen kaivoksen veden laatu käsitellään kahtena eri tarkasteluna:

- Tarkastelussa 1 louhostäytöissä käytetään pastatäyttöä, joka on valmistettu prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekasta ja sideaineista (SRK Consulting Ltd. 2019a). Lisäksi louhostäytöinä käytetään sivukiveä. Tässä mallissa pohjavesivirtauksia edustaa kannattavuuden esiselvitysvaiheen A pohjavesimalli (SRK Consulting Ltd. 2019a).
- Tarkastelussa 2 (Stantec Consulting Ltd. 2023) louhostäytöissä käytetään pasta-kivimursketäyttöä. Pastan raaka-aineena on prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekkaa ja sideaineita. Tässä mallissa pohjavesivirtauksia edustaa vuoden 2022 pohjavesimalli (Itasca Denver Inc. 2022), josta saatiin lähtötiedot kahteen tarkastelutapaukseen. Lisäksi tehtiin herkkyystarkastelu.

Tarkastelussa 2 kaivoksen yläosan tiivistämiselle on sovellettu kahta eri injektiotehokkuutta:

- 1) Injektointitehokkuudeksi on määritelty 80 %, ja vedenjohtavuudeksi 5×10^{-8} m/s. Virtausmäärät ovat pohjavesimallista käyttäen näitä oletuksia.
- 2) Injektointitehokkuudeksi on määritelty 65 %, ja vedenjohtavuudeksi 1×10^{-7} m/s eli kaksinkertainen verrattuna perusskenaarioon. Virtausmäärät ovat pohjavesimallista käyttäen näitä oletuksia.

14.1 Maanalaisen kaivoksen veden laadun arviointimenetelmä, tarkastelu 1

Maanalaisen kaivoksen kuivatusveden laadun ja sulkemisen jälkeisen vedenlaadun on mallintanut SRK Consulting Ltd. (2019a). Lähtötietoina mallinnuksessa on käytetty kosteuskammiokokeiden tuloksia seinämäkivistä ja louhoksen sivukivitäytöistä. Lisäksi pitoisuussyötteenä on käytetty rikastushiekasta valmistetun pastan monoliitin pitkäaikaisuuttokokeen tuloksia. Tarkastelussa 1 käytetty monoliitti on valmistettu prosessivaihtoehdon 1 korkea- ja matalarikkisistä rikastushiekasta. Lähtötietoja on käytetty massatase- ja olosuhdeskaalattuna sekä tasapainotettuna mineraali- ja kaasufaaseihin. Arviot on laskettu päävaihtoehto VE1a:n olosuhdetekijöillä, mutta koska erot päävaihtoehtojen välillä kohdistuvat vain kaivoksen yläosaan eli vinotunneliin, tuloksia voidaan pitää riittävän relevantteina myös muille päävaihtoehdoille.

Kaivokseen tulevan pohjaveden määrä eri syvyysvyöhykkeittäin perustuu SRK Consulting Ltd. (2019a) laatimaan pohjavesimalliin.

Massatase on laskettu seuraavalla yhtälöllä:

$$C_i = (r_i \cdot R_m) / Q_i$$

missä

C_i on laskennallinen konsentraatio suotovedessä,

r_i edustaa viikkoliuos päästöä mg/kg/vk,

R_m edustaa reaktiivisen massan osuutta kokonaismassasta ja

Q_i edustaa veden imeytymistä massaan.

Käytetyt skaalauskerroimet (scaling factors SF) ovat:

Käytetyt skaalauskerroimet louhostäytölle käytettäessä sivukivitäyttöä (scaling factors SF):

- SF1 Raekoko 20 %
- SF2 Säännöllisesti huuhtoutuva osuus 20 %
- SF3 Kastuvissa oleva osuus materiaalista 95 %
- SF4 Lämpötilakerroin 4.51 %

Kokonaiskerroin (SF) saadaan kertomalla skaalauskerroimet ($SF = SF1 \times SF2 \times SF3 \times SF4$).

Vesilaadut on lisäksi tasapainomallinnettu PHREEQC mallinnusohjelman avulla. Mallinnuksessa saostuvaksi sallittavaksi mineraaleiksi valittiin paikallisen geologian perusteella: $PbSO_4$, $CaSO_4$, $BaSO_4$, $CaCO_3$, $PbCO_3$, $CaCuAsO_4(OH)$, $Cr(OH)_3$, $Fe(OH)_3$, $Al(OH)_3$, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, $MgCO_3$, $Cu_2(OH)_2CO_3$, $CaHAsO_4 \cdot 2H_2O$, $Pb_5(PO_4)_3Cl$, SiO_2 , $MnCO_3$ ja $CaAl_2Si_3O_{10} \cdot 3H_2O$.

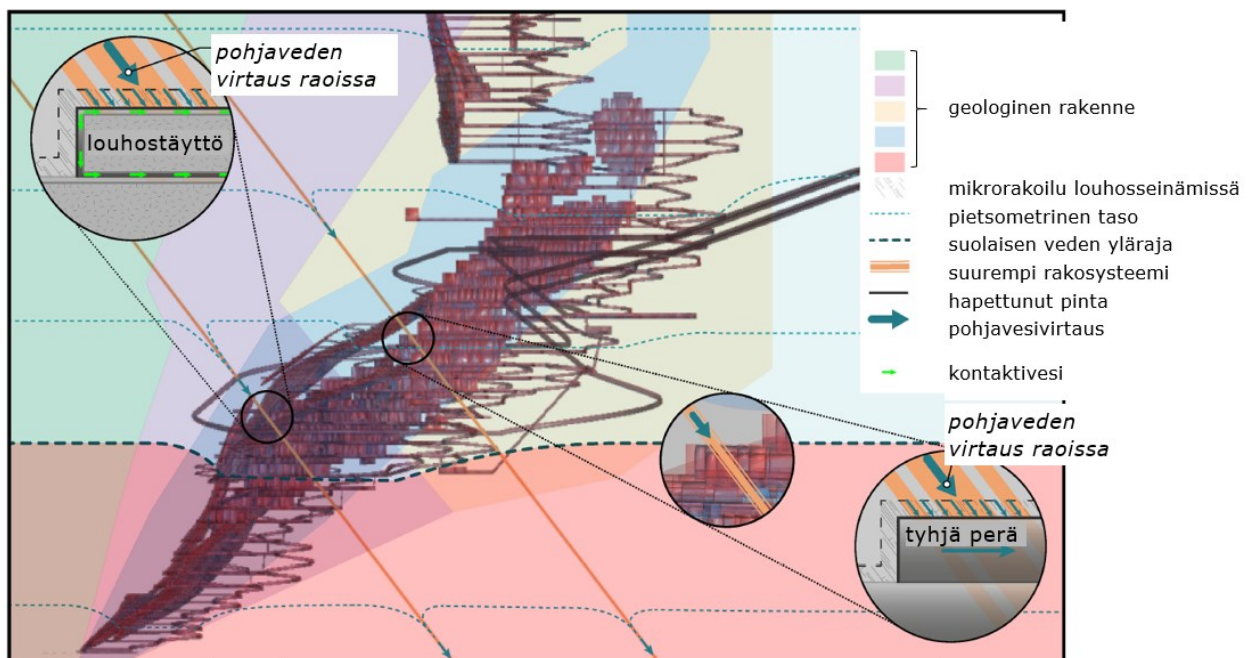
Maanalaisen kaivoksen veden tuotantovaiheen laatumallin konseptualisointi eli käsitteellistäminen esitetään kuvamuodossa alla (Kuva 14-1, Kuva 14-2 ja Kuva 14-3). Huomionarvoisia asioita mallissa ovat mm. seuraavat:

- Seinämän reaktiivinen massa muodostuu kahdesta eri tavoin määritellystä kerroksesta. Erillisinä kerroksina on tarkasteltu hapettunutta "kuori-kerrosta" (0,012 m) sekä seinämästä pidemmälle kallioon ulottuvaa räjäytystyön rikkomaa vyöhykettä. Näille kerroksille on määritetty rakaisuus/pinta-ala ja sitä kautta hapettumiselle altistuvan (reaktiivisen) massan osuus seinämän vyöhykkeen kokonaismassasta.
- Louhostäytön reaktiivisen massan määrittely vastaa sivukivialueen reaktiivisen massan määrittelyä.
- Pastatäytön reaktiivisena massana on mallissa käsitelty pastatäytön pinta ja reaktiivinen massa ulottuu noin 0,01 m syvyyteen. Huomioiden myös kanavoitumisvaikutukset pastatäytön ja louhosseinämän rajapinnassa, reaktiiviseksi massaksi on määritetty 0,1 %.

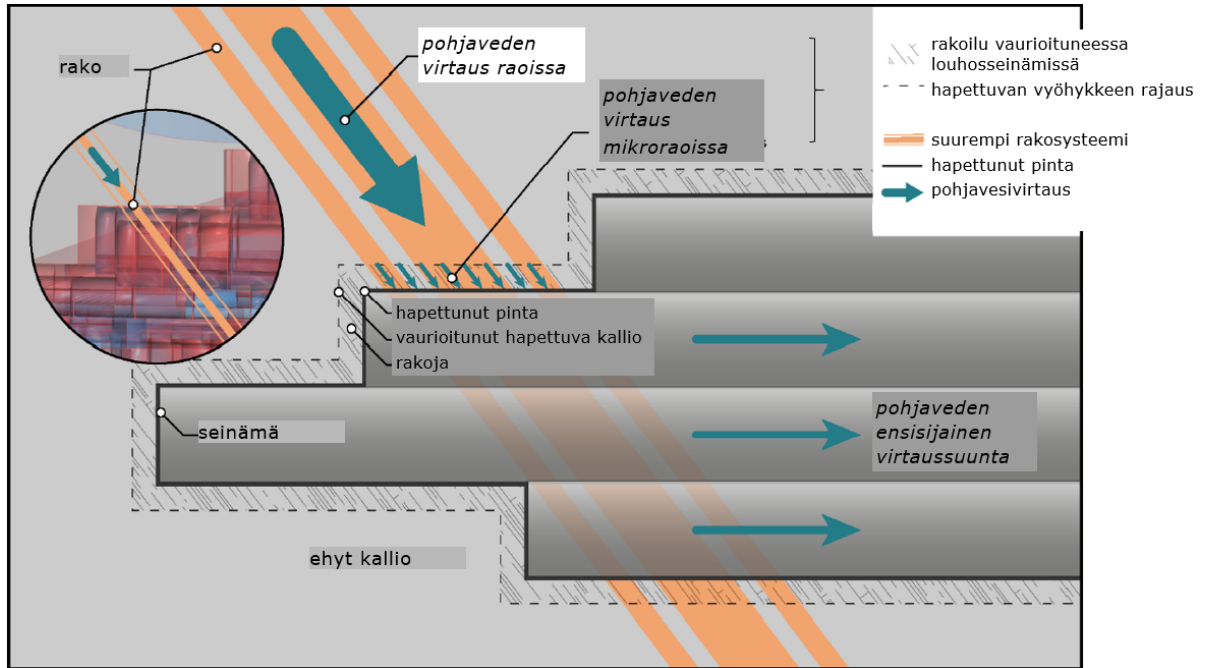
- Tasapainomallinnuksessa on oletettu, että adsorptiota tapahtuu vain juuri muodostuvaan pintaan, kuten raudan oksideihin ja sorptiopintana mallinnuksessa käytettiin ferrihydriittiä ($5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$). Ferrihydriitin muodostuminen laskettiin sulfaatin muodostumisesta. Adsorptiomalli oli Dzombak & Morel (1990) -määritelmän mukainen.

Sulkemisen jälkeistä konseptualisointia ei ole tehty kuvamuotoisena, mutta sanallisesti kuvattuna sulkemisen jälkeinen aika poikkeaa tuotantovaiheesta seuraavasti:

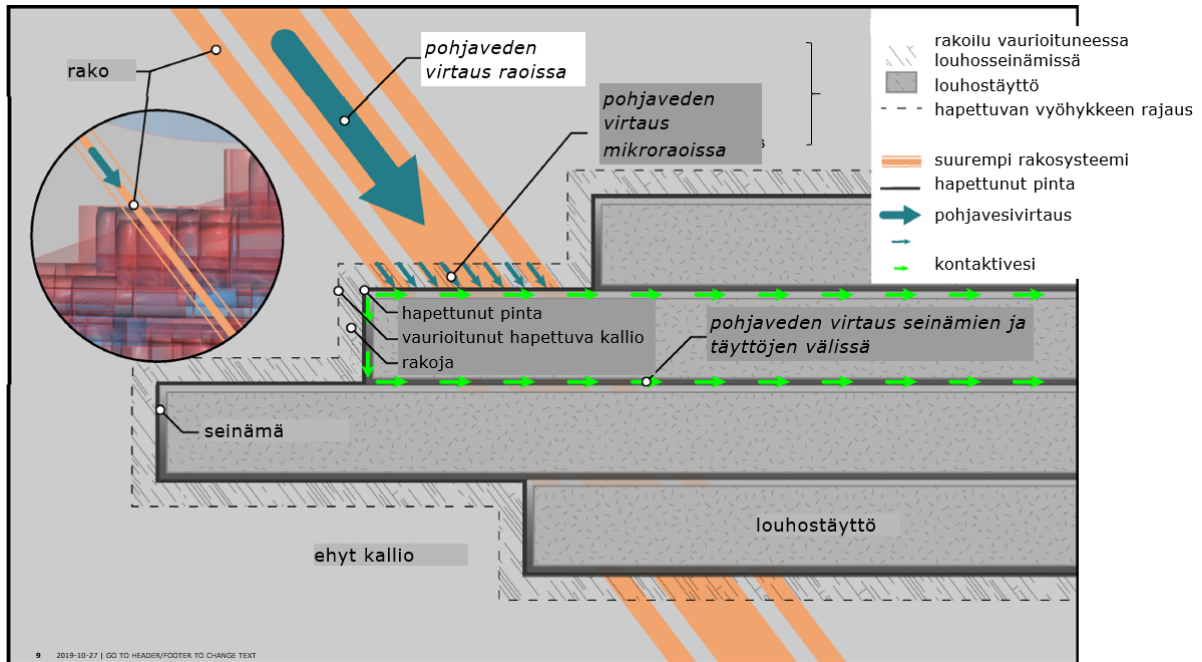
- Maanalainen kaivos täyttyy vähitellen vedellä ja sulfidimineraalien hapettumiselle alttiina oleva osa kaivoksesta pienenee vähitellen.
- Maanalaisen kaivoksen täytyttyä vedellä kokonaan kaivoksessa on valmiiksi hapettuneita seinämiä, mutta uusi hapettuminen on vähäistä ja hidasta.
- Pohjaveden esisijaisia virtausreittejä ovat tyhjäksi jääneet louhostilat, kuten vinotunnelit, mutta pohjaveden virtausta tapahtuu myös kallioperän rakovyöhykkeissä ja mikrorakoilussa sekä louhostäyttöjen ja louhosseinämien välissä.
- Vesilaadut kerrostuvat syvyysuunnassa painovoimaisesti: suolaisempi vesi painavampana painuu alaspäin.



Kuva 14-1. Yleiskuva maanalaisen kaivoksen kuivanapitovedenlaatuun vaikuttavista tekijöistä kaivoksen tuotantovaiheen aikana. (SRK Consulting Ltd. 2019a)



Kuva 14-2. Havaintokuva maanalaisen kaivoksen kuivanapitovedenlaatuun vaikuttavista tekijöistä kaivoksen tuotantovaiheen aikana. Kallio-perän rakosysteemi kohtaa räjäytysten rikkoman vyöhykkeen, jossa reaktiivinen mineraalipinta-ala lisääntyy alkuperäiseen kallioon verrattuna. (SRK Consulting Ltd. 2019a)



Kuva 14-3. Havaintokuva maanalaisen kaivoksen kuivanapitovedenlaatuun vaikuttavista tekijöistä kaivoksen tuotantovaiheen aikana. Tässä esimerkissä maanalaiset louhostilat on täytetty ja veden virtaus on siirtynyt seinämien ja louhostäyttöjen väliin. (SRK Consulting Ltd. 2019a)

14.2 Maanalaisen kaivoksen veden laatu, tarkastelu 1

Maanalaisen kaivoksen tuotannon aikaiset vesilaadut on määritelty kahdelle eri syvyysalueelle, -420 m yläpuolelle ja alapuolelle. Näiden kahden syvyysvyöhykkeen vedet on suunniteltu koottavaksi kahdelle eri syvyydellä sijaitsevalle pääpumppaamolle, mikä mahdollistaa tarvittaessa vesien erillään pitämisen. Alla esitetään maanalaisen kaivoksen tuotannon aikaisten kuivanapitovesien pitoisuudet (Taulukko 14-1) sekä sulkemisen jälkeiset vesilaadut maanalaisessa kaivoksessa (Taulukko 14-2). Typen määrän arvio on irrallinen muista aineista, asiaa käsitellään paremmin maanalaisen kaivoksen vedenlaadun tarkastelussa 2 (luvut 14.3 ja 14.4).

Taulukko 14-1. Kaivoksen kuivanapitovesien laatuarviot erikseen tason -420 m yläpuolisille ja alapuolisille vesille tuotannon aikana. (SRK Consulting Ltd. 2019a)

Parametri		Yksikkö	Tason -420 m yläpuoliset vedet		Tason -420 m alapuoliset vedet	
			Min	Max	Min	Max
Alumiini	Al	mg/l	0,0002	0,002	0,0002	0,003
Antimoni	Sb	mg/l	0,00003	0,008	0,00007	0,008
Arseeni	As	mg/l	0,000005	0,0009	0,000004	0,0008
Elohopea	Hg	mg/l	0,0000003	0,0003	0,0000003	0,0003
Fosfori	P	mg/l	0,001	0,29	0,002	0,29
Kadmium	Cd	mg/l	0,000005	0,002	0,00001	0,002
Kalium	K	mg/l	0,8	180	41	220
Kalsium	Ca	mg/l	5,7	48	240	290
Kloridi	Cl	mg/l	11	100	1100	1200
Koboltti	Co	mg/l	0,0001	0,027	0,0001	0,03
Kromi	Cr	mg/l	0,0002	0,028	0,0001	0,027
Kupari	Cu	mg/l	0,0003	0,007	0,014	0,021
Lyijy	Pb	mg/l	0,000001	0,0001	0,00003	0,0001
Magnesium	Mg	mg/l	2,3	8,7	260	270
Mangaani	Mn	mg/l	0,024	0,130	0,20	0,31
Natrium	Na	mg/l	6,9	190	530	700
Nikkeli	Ni	mg/l	0,001	1,5	0,004	1,6
Rauta	Fe	mg/l	0,0001	0,007	0,0004	0,008
Sinkki	Zn	mg/l	0,027	0,051	0,07	0,10
Sulfaatti	SO ₄	mg/l	7,1	380	180	550
Typpi	N _{tot}	mg/l	4,1-25 mg/l *			

*) erillisenä tuotettu laskennallinen typpipitoisuus skenaariossa

Taulukko 14-2. Maanalaisen kaivoksen veden laadun minimi- ja maksimi-arvot alkuvuosina sulkemisen jälkeen (eli vuosina 25-64 toiminnan alkamisesta) sekä 180 vuotta toiminnan alkamisen jälkeen. Lihavoilla tekstillä viitataan pitoisuuksiin, jotka ylittävät ylemmän kalliopohjaveden taustapitoisuuden.

Parametri		Yksikkö	Suljetun maanalaisen kaivoksen veden laatu Min. (vuodet 0-40 toiminnan päättymisestä)	Suljetun maanalaisen kaivoksen veden laatu Max. (vuodet 0-40 toiminnan päättymisestä)	Alkuvuosien trendi sulkemisen jälkeen (vuodet 0-40 toiminnan päättymisestä)	Suljetun maanalaisen kaivoksen veden laatu (vuosi 155 toiminnan päättymisestä)	Nykyinen ylempi kalliopohjavesi	Nykyinen alempi kalliopohjavesi	Ympäristölaatunormi pohjavedelle 1040/2006 ja muutos 341/2009
pH			7,4	7,5	lievästi nouseva		7,6	7,6	
Alumiini	Al	mg/l	0,001	0,002	ei selkeää trendiä	0,004	0,07	0,07	
Antimoni	Sb	mg/l	0,002	0,006	laskeva	0,003	0,0002	0,0005	0,0025
Arseeni	As	mg/l	0,00001	0,00003	ei selkeää trendiä	0,00002	0,001	0,0007	0,005
Elohopea*	Hg	mg/l	0,0002	0,00005	laskeva	0,00008	0,000002	0,000002	0,00006
Fosfori	P	mg/l	0,06	0,22	laskeva	0,09	0,02	0,02	
Kadmium*	Cd	mg/l	0,0004	0,02	laskeva	0,0007	0,00003	0,00007	0,0004
Kalium	K	mg/l	65	165	laskeva	80	6	280	
Kalsium	Ca	mg/l	220	330	lievästi laskeva	230	40	1670	
Kloridi	Cl	mg/l	750	800	ei selkeää trendiä	680	80	7470	25
Koboltti	Co	mg/l	0,002	0,012	laskeva	0,002	0,0008	0,0004	0,002
Kromi	Cr	mg/l	0,006	0,02	laskeva	0,009	0,001	0,0009	0,01
Kupari	Cu	mg/l	0,008	0,015	laskeva	0,008	0,01	0,15	0,02
Lyijy*	Pb	mg/l	0,0001	0,0003	laskeva	0,0002	0,0002	0,0004	0,005
Magnesium	Mg	mg/l	170	180	ei selkeää trendiä	160	16	1820	
Mangaani	Mn	mg/l	0,3	0,3	ei selkeää trendiä	0,3	0,2	1,4	
Natrium	Na	mg/l	380	450	ei selkeää trendiä	360	50	3620	
Nikkeli	Ni	mg/l	0,03	0,6	laskeva	0,09	0,004	0,01	0,01
Rauta	Fe	mg/l	0,0005	0,0006	ei selkeää trendiä	0,0005	0,69	0,7	
Sinkki	Zn	mg/l	0,2	0,2	lievästi nouseva	0,2	0,2	0,5	0,06
Sulfaatti	SO ₄	mg/l	210	410	laskeva	240	49,5	1220	150
Typpi	N _{tot}	mg/l	5	20	laskeva	8	0,1	0,2	

*) Kosteuskammiokokeen analyysituloksissa (SRK Consulting Ltd 2018b, SRK Consulting Ltd 2019b) tyypillisesti alle määrittäysrajan. Laskennalliset pitoisuudet lähtöedoissa voivat vaikuttaa tulokseen.

Maanalaisen kaivoksen kuivanapitovesissä merkittävimpinä kuormitustekijöinä näyttäytyvät nikkeli, natrium ja kloridi. Pienemmissä määrin esiintyy mm. kuparia ja sinkkiä. Sulkemisen jälkeen eroja ympäröivän kalliopohjaveden laatuun esiintyy lähinnä kaivoksen yläosassa, missä luontaiset kalliopohjaveden suola- ja metallipitoisuudet ovat alhaisempia kuin syvemmällä kalliiossa. Esimerkiksi nikkelin, koboltin, kadmiumin ja sulfaatin pitoisuudet voivat poiketa ympäröivästä kalliopohjavedestä.

14.3 Maanalaisen kaivoksen veden laadun arviointimenetelmä, tarkastelu 2

Veden laatuarviot maanalaiselle kaivokselle on laatinut Stantec Consulting Ltd. (2023). Suurimpana erona tarkastelun 1 vedenlaatumalliin on uuden pohjaveden virtausmallin tulosten käyttö lähtötietona, sekä sen eri tiivistyskenaarioiden huomioiminen. Pitoisuussyötteenä mallinnuksessa on käytetty kosteuskammio-kokeiden tuloksia seinämäkivistä. Lisäksi pitoisuussyötteenä on käytetty prosessivaihtoehtoon 1 rikastushiekasta valmistetun pastan monoliitin pitkäaikaisuuttokokeen tuloksia.

Arvioinnissa kosteuskammio-kokeen ja monoliitin uuttokokeen tuloksia on käytetty massatase- ja olosuhdeskaalattuna sekä tasapainotettuna mineraali- ja kaasufaaseihin. Mallinnus perustuu hankevaihtoehtoon VE1a, mutta koska erot päävaihtoehtojen välillä kohdistuvat vain pieneen osaan kaivoksen yläosassa eli vinotunneliin, tuloksia voidaan pitää relevantteina myös muille päävaihtoehtoillem.

Geokemiallisessa mallissa (Stantec Consulting Ltd. 2023) kaivos jaetaan kuuteen (~200 m syvään) osaan, joille kullekin saadaan virtauksen määrä ajan funktiona Itasca (2022) pohjavedenvirtausmallista. Geokemiallisessa mallissa on tarkasteltu kaivokseen tulevaa pohjaveden virtausta vastaaville skenaarioille kuin pohjavedenvirtausmallinnuksessa:

1) 80 % -tiivistysskenaario: injektointitehokkuudeksi on määritelty 80 %, ja vedenjohtavuudeksi 5×10^{-8} m/s. Virtausmäärät on saatu pohjavedenvirtausmallista käyttäen näitä oletuksia.

2) 65 % -tiivistysskenaario: injektointitehokkuudeksi on määritelty 65 %, ja vedenjohtavuudeksi 1×10^{-7} m/s eli kaksinkertainen verrattuna perusskenaarioon. Virtausmäärät on saatu pohjavedenvirtausmallista käyttäen näitä oletuksia.

65 % -tiivistysskenaariota mukaan virtaavat ovat ~5-8 % korkeammat kuin 80 % -tiivistysskenaariossa. Skenaarioiden rakentaminen perustuu realistisiin tekniisiin suunnitelmiin sekä pohjavedenvirtausmallinnukseen. Geokemiallisessa mallinnuksessa on hyödynnetty pohjavesiputkien tarkkailutuloksia sekä malminetsintäkairanreikistä otettuja vesinäytteitä (2015–2020), kaivokseen tulevien

pohjavesien laadun lähtötietona eli koostumuksena ennen kontaktia kaivokseen louhittujen tilojen kanssa.

Maanalaiseen kaivokseen tulevaan veden laatuun vaikuttavat tekijät on esitetty käsitteellisesti havaintokuvina. Kuva 14-4 havainnollistaa kaivoksen tuotannon aikaista tilannetta ja kuva 14-5 kaivoksen sulkemisen jälkeistä aikaa. Maanalaisen kaivoksen vuorovaikutukset veden ja kiintoaineksen välillä on käsitteellistetty pääsääntöisesti samalla tavalla kuin tarkastelussa 1. Tässä tarkastelussa ei kuitenkaan huomioitu erikseen seinämien hapettunutta kuorikerrosta, vaan seinämä, johon räjäytystyö on vaikuttanut, käsiteltiin yhtenä kokonaisuutena.

Laskennalliset oletukset seinämäkiville esitetään alla:

- Reaktiivista pintaa (eli mineraalipintaa) oletetaan olevan 27 m² yhden neliömetrin suuruista seinämäpinta-alaa kohti ja herkkyytstarkastelussa 161 m² louhosseinämäneliömetriä kohti. Oletus on kirjallisuusperusteinen (Morin & Hutt 2004). Kosteuskammiokokeen näytteessä taas pinta-alaa oletettiin olevan 7,4 m²/kg näytettä (Morin ym. 1996)
- Lämpötilakerroin oli 16 %. Tämä kuvaa reaktioiden tapahtumista maanalaisessa kaivoksessa verrattuna kosteuskammiokokeen olosuhteisiin, laskettuna Arrheniuksen yhtälöllä (Nicholson ym. 1988).
- Sulkemisen jälkeiselle ajalle käytettiin skaalauskerrointa 0,0001 (0,01 %), mikä huomioi reaktioiden hidastumisen vedellä kyllästyneissä olosuhteissa.

Massatase seinämävaikutukselle on laskettu seuraavalla yhtälöllä:

*Kuorma seinämästä (mg/viikko) = seinämäala (m²) * kosteuskammiokokeen kuorma (mg/kg/viikko) / kosteuskammionäytteen pinta-ala (m²/kg) * reaktiivinen pinta-ala seinämässä (m²/m²) * lämpötilakerroin * SF sulkemisvaiheen kerroin (kun kyseessä sulkeminen)*

Louhostäytön skaalaaminen suoritettiin seuraavalla tavalla:

- Reaktiivista pintaa (eli mineraalipintaa) oletetaan olevan 5 m² yhden neliömetrin suuruista louhostäyttöpinta-alaa kohti ja herkkyytstarkastelussa 22 m² louhostäyttöneliömetriä kohti. Oletus perustuu kirjallisuusarvoihin betonin rakoilusta (U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation 2016). Pastatäytön pitkäaikaiskäyttäytyminen testattiin pastamono-liitin uuttokokeella, joten laboratoriokokeen reaktiivinen pinta-ala oli monoliitin pinta-ala.
- Lämpötilakerroin ja sulkemisen jälkeistä aikaa kuvaava kerroin olivat samat kuin louhosseinille sovellettavat kertoimet (16 % ja 0,01 %).

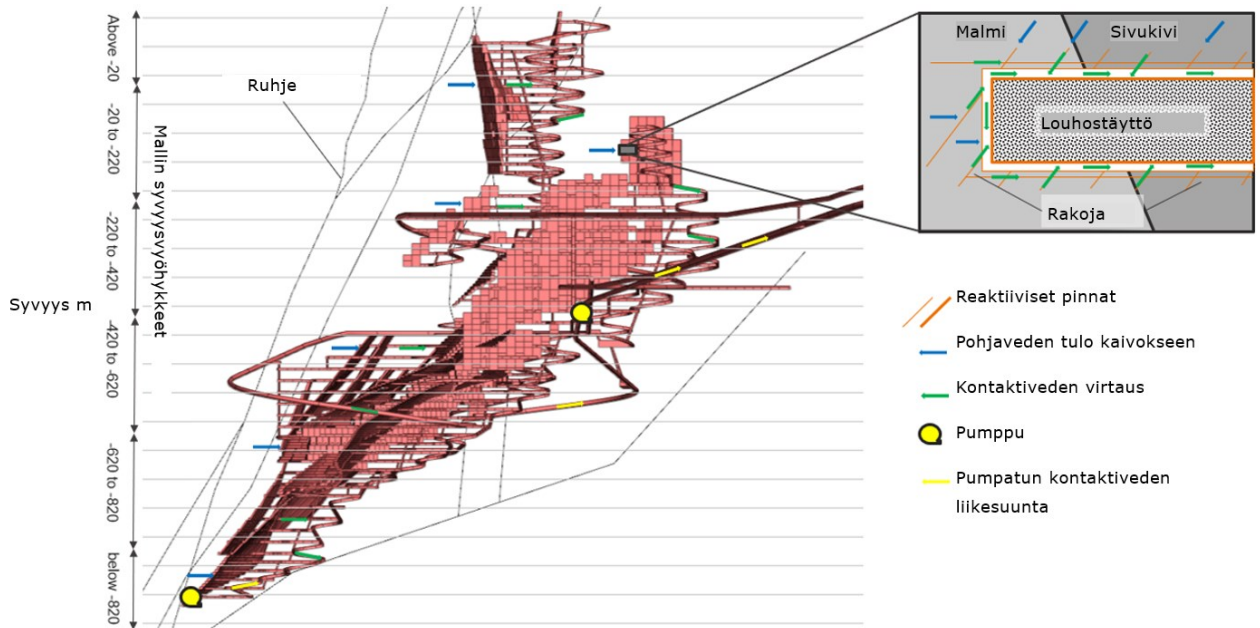
Huomioitavaa: Käytettävä louhostäyttö tulee olemaan pasta-kivimursketta, jossa sivukivimursketta on 0-30 %. Reaktiivisen pinta-alan on kuitenkin oletettu

muodostuvan ensisijaisesti pastasta eli rikastushiekasta (~65–95 %) ja sideaineista (4–8 %), toisin sanoen monoliittikoetta vastaavasta seoksesta. Mallissa käytetyt tulokset ovat monoliittikokeesta, jossa käytettiin prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekkaa (prosessivaihtoehdon 2 monoliittitestausken ollessa vielä keskeneräinen) ja sekoitusresepti vastasi aikaisempaa monoliittikoetta. Massatase louhostäyttöjen vaikutukselle on laskettu seuraavalla yhtälöllä:

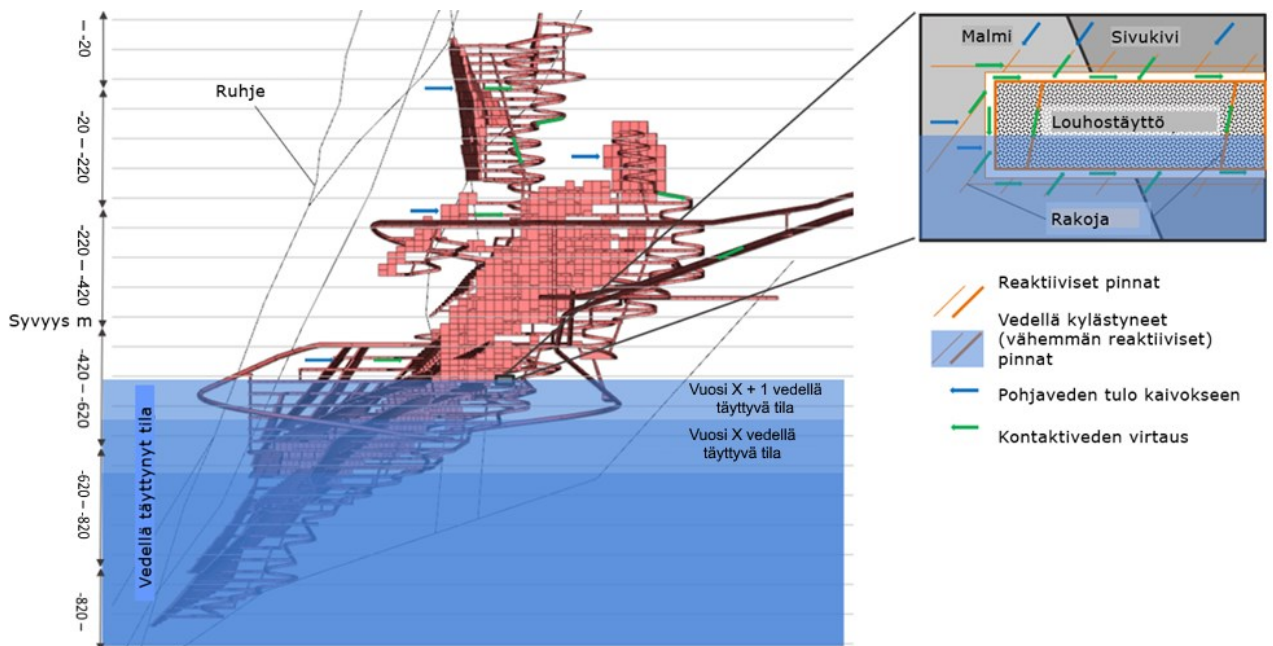
*Louhostäytön kuorma (mg/viikko) = louhostäytön pinta-ala (m²) * monoliittikokeen kuorma (mg/m²/viikko) * reaktiivinen pinta-ala (m²/m²) * lämpötilakerroin * sulkemisen vaiheen kerroin (kun kyseessä on sulkeminen)*

Typpikuorman laskenta perustui arvioituun räjähdysaineiden käyttöön kaivostöinnän eri vaiheissa (määrä), sekä oletukseen että 6 % käytetystä räjähdysaineesta liukenee veteen maanalaisen kaivoksen tiloissa. Oletus perustui verrokikohteeseen (Ramboll Finland Oy 2019). Mallinnuksessa typen on oletettu poistuvan kaivoksesta kuivanapitoveden mukana samana vuonna kuin se on räjäytystyön myötä kaivokseen tullut. Spesiaatioiksi oletettiin: 43 % tpestä on ammoniumina, 55 % tpestä on nitraattina ja 2 % nitriittinä. Vesilaadut on lisäksi tasapainomallinnettu PHREEQC mallinnusohjelman avulla. Mallinnuksessa tasapainoyhdisteiksi valittiin: PbSO₄, BaSO₄, CaCO₃, PbCO₃, CaCuAsO₄(OH), Cr(OH)₃, Fe(OH)₃, Al(OH)₃, CaSO₄·2H₂O, MgCO₃, Cu₂(OH)₂CO₃, CaHAsO₄·2H₂O, Pb₅(PO₄)₃Cl, SiO₂, MnCO₃, CaAl₂Si₃O₁₀·3H₂O, NaAlCO₃(OH)₂, CO₂ ja O₂. Tasapainoyhdisteiksi valittujen mineraalien sallittiin saostua mallissa, muttei uudelleenliueta. Kaasuille taas oli määritelty osapaine ja ne olivat mallissa rajoittamattomina.

Tasapainomallinnuksessa oletettiin, että adsorptiota tapahtuu vain juuri muodostuvaan pintaan, kuten raudan oksideihin ja sorptiopintana mallinnuksessa käytettiin liuoksesta saostuvaa ferrihydriittiä. Adsorptiomalli oli Dzombak & Morel (1990) määritelmien mukainen.



Kuva 14-4. Yleiskuva maanalaisen kaivoksen kuivanapitovedenlaatuun vaikuttavista tekijöistä kaivoksen tuotantovaiheen aikana. (Stantec Consulting Ltd. 2023)



Kuva 14-5. Maanalaisen kaivoksen veden laadun muodostuminen kaivoksen sulkemisen jälkeen, kaivoksen täyttyessä vedellä, konseptuaalisointi. (Stantec Consulting Ltd. 2023)

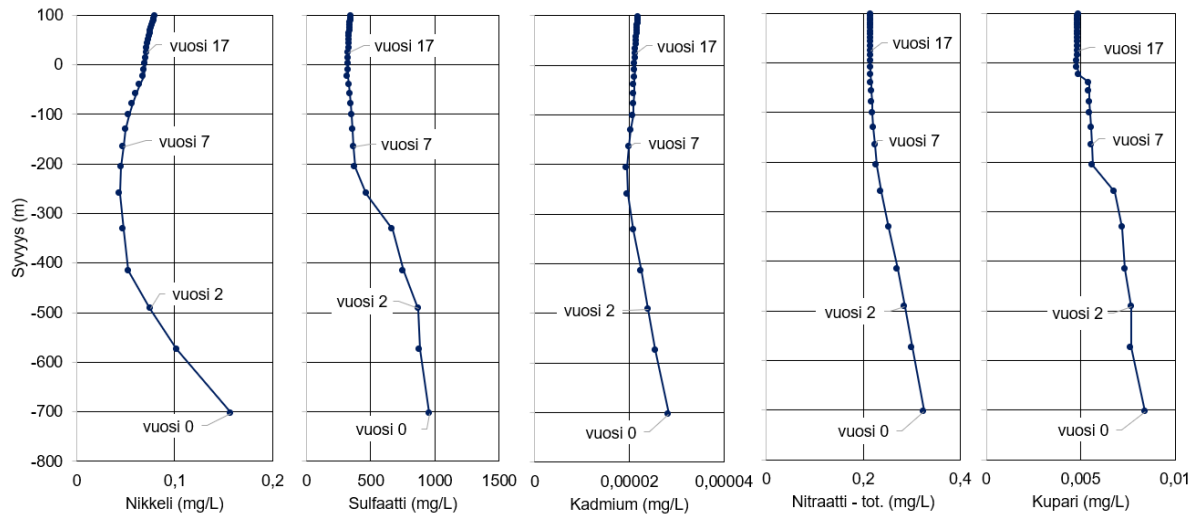
14.4 Maanalaisen kaivoksen veden laatu, tarkastelu 2

Maanalaisen kaivoksen tuotannon aikaiset vesilaadut on määritelty kahdelle eri syvyysalueelle, -420 m yläpuolelle ja alapuolelle. Näiden kahden syvyysvyöhykkeen vedet on suunniteltu koottavaksi kahdelle eri syvyydellä sijaitsevalle pääpumppaamolle, mikä mahdollistaa tarvittaessa vesien erillään pitämisen. Mallissa tason -420 m ylä- ja alapuoliset osat on jaettu edelleen kolmeen tasoon, joille on raportoitu erikseen tasojen virtauksien määrät sekä tärkeimpien aineiden pitoisuudet (Ni, Cu, Cd, SO₄ and N_{tot}) (Stantec Consulting Ltd. 2023). Alla esitetään maanalaisen kaivoksen tuotannon aikaisten kuivanapitovesien pitoisuudet sekä sulkemisen jälkeiset pitoisuudet maanalaisen kaivoksen tilat täyttävissä vedessä (Taulukko 14-3). Kuivanapitovedelle pitoisuudet ovat mallin vuosien keskiarvoja. Maksimi edustaa tämän ajanjakson korkeinta yksittäisen vuoden pitoisuutta. Sulkemisen jälkeisiä pitoisuuksia (nikkeli, kupari, kadmium, sulfaatti ja kokonaistyyppi) esitetään myös syvyysvyöhykkeittäin (Kuva 14-6). Eri syvyyksille muodostuvan veden laadun oletetaan säilyvän jokseenkin samankaltaisena myös pitkällä aikavälillä. Sulkemisen jälkeiset pitoisuudet on mallinnettu 80 % tiivistysskenaariolla. Tätä pidetään riittävänä, sillä kaivoksen täyttymisaikojen ero on suhteellisen vähäinen 80 % ja 65 % tiivistysskenaarioiden välillä ja 80 % tiivistysskenaario mahdollistaa teoriassa heikomman vedenlaadun kuin 65 % tiivistysskenaario, johtuen pienemmästä vesi-kiintoaine-suhteesta.

Taulukosta 14-3 nähdään, että syvällä kaivoksessa pitoisuudet ovat selkeästi korkeampia kuin kaivoksen ylemmässä osassa johtuen lähinnä pienemmistä virtaamista. Syväosan vesi muodostaa <20 % kokonaisvesimäärästä toiminnan aikana. Pumpkauksen loputtua matalammilta tasoilta vesi pääsee valumaan syviin osiin ja pienen tilavuuden omaava syvimmälle sijoittuva osa kaivoksesta täyttyy hyvin nopeasti. Kaivoksen syvimmän osan vedet siis laimenevat kaivoksen yläosasta tulevan veden seurauksena. Laimenemisen johdosta pitoisuudet ovat jo sulkemisen alkuvaiheessa matalia tuotantovaiheeseen verrattuna. Painovoimaisen kerrostumisen johdosta raskaat vedet pysyvät kaivoksen tiiviissä alaosissa ja kallioperän vähäisen vedenjohtavuuden takia niiden vuorovaikutus ympäröivän pohjaveden kanssa on vähäistä.

Taulukko 14-3. Maanalaisen kaivoksen veden laatu tuotantovaiheessa 80 % ja 65 % -tiivistyskenaariossa sekä sulkemisen jälkeen 80 % -tiivistyskenaariossa (vuosikeskiarvot ja vuosimaksimit). Tuotantovaiheelle mallinnettiin kaivoksen matala- ja syväosa (tason -420 ylä- ja alapuolella) erikseen. (Stantec Consulting Ltd. 2023)

Parametri	Yksikkö	Tuotantovaihe, 80% tiivistyskenaario				Tuotantovaihe, 65 % tiivistyskenaario				Sulkemisen jälkeen	
		Tason -420 m yläpuoliset vedet		Tason -420 m alapuoliset vedet		Tason -420 m yläpuoliset vedet		Tason -420 m alapuoliset vedet		Maanalainen kaivos	
		k.a.	maksimi	k.a.	maksimi	k.a.	maksimi	k.a.	maksimi	k.a.	maksimi
pH		8,0	8,1	7,7	7,8	7,9	8,2	7,7	7,8	7,9	7,9
Alk.	mg/l	52	74	32	38	56	130	34	79	45	47
Ag	mg/l	0,000035	0,000055	0,00012	0,00022	0,000034	0,000053	0,00011	0,00021	0,000034	0,000082
Al	mg/l	0,0024	0,0029	0,0020	0,0022	0,0040	0,044	0,0033	0,032	0,0017	0,0024
As	mg/l	0,000007	0,000028	0,000003	0,000006	0,000019	0,00026	0,00002	0,00039	0,000007	0,000008
B	mg/l	0,043	0,088	0,19	0,41	0,039	0,083	0,17	0,39	0,028	0,14
Ba	mg/l	0,011	0,024	0,011	0,033	0,013	0,040	0,013	0,063	0,014	0,015
Be	mg/l	0,000005	0,000014	0,000001	0,000001	0,000006	0,00003	0,000001	0,000004	0,000007	0,000008
Ca	mg/l	230	340	660	790	220	330	650	790	240	400
Cd	mg/l	0,000017	0,000019	0,000052	0,000073	0,000016	0,000019	0,000049	0,000070	0,000022	0,000028
Cl	mg/l	430	500	1500	1700	420	510	1500	1700	660	690
Co	mg/l	0,00097	0,0012	0,0055	0,010	0,00091	0,0012	0,0051	0,0098	0,0017	0,0027
Cr	mg/l	0,00042	0,00046	0,00052	0,00071	0,00042	0,00046	0,00051	0,00069	0,00039	0,00050
Cu	mg/l	0,0065	0,008	0,010	0,011	0,0061	0,0077	0,0099	0,011	0,0053	0,0084
Fe	mg/l	0,00020	0,00023	0,00033	0,00035	0,0038	0,083	0,0023	0,045	0,00022	0,00025
Hg	mg/l	0,000001	0,000002	0,000002	0,000004	0,000001	0,000002	0,000002	0,000004	0,000001	0,000002
K	mg/l	35	62	150	290	33	59	140	280	33	100
Li	mg/l	0,035	0,068	0,14	0,30	0,033	0,065	0,13	0,29	0,024	0,11
Mg	mg/l	45	53	140	150	44	53	140	150	68	71
Mn	mg/l	0,14	0,15	0,23	0,26	0,14	0,16	0,23	0,26	0,16	0,16
Mo	mg/l	0,087	0,19	0,46	0,99	0,079	0,18	0,41	0,93	0,062	0,32
N	mg/l	15	41	62	190	13	41	58	230	0,22	0,33
Na	mg/l	200	260	520	650	190	260	500	700	210	250
Ni	mg/l	0,040	0,060	0,34	0,65	0,036	0,057	0,31	0,62	0,080	0,16
P	mg/l	0,070	0,12	0,21	0,45	0,068	0,12	0,19	0,43	0,051	0,18
Pb	mg/l	0,000016	0,000021	0,000073	0,00015	0,000016	0,000036	0,000078	0,00021	0,000041	0,000045
Sb	mg/l	0,00092	0,0019	0,0044	0,0093	0,00084	0,0018	0,004	0,0088	0,00066	0,0031
Se	mg/l	0,068	0,16	0,35	0,79	0,061	0,15	0,32	0,74	0,039	0,26
Si	mg/l	0,78	1,5	0,66	1,0	0,86	1,7	0,67	1,0	0,92	0,99
Sn	mg/l	0,000044	0,000050	0,00023	0,00029	0,000044	0,000050	0,00022	0,00030	0,000090	0,000095
SO4	mg/l	540	850	1200	1600	510	820	1100	1500	400	960
Sr	mg/l	2,4	4,4	9,6	20	2,3	4,2	8,8	19	1,9	7
Ti	mg/l	0,00022	0,00024	0,00059	0,00072	0,00023	0,00025	0,00058	0,00070	0,00036	0,00037
Tl	mg/l	0,000062	0,00013	0,00030	0,00067	0,000056	0,00013	0,00027	0,00063	0,000039	0,00022
U	mg/l	0,00014	0,00016	0,00013	0,00023	0,00013	0,00015	0,00012	0,00022	0,00011	0,00017
V	mg/l	0,035	0,083	0,19	0,43	0,032	0,079	0,17	0,41	0,020	0,14
W	mg/l	0,048	0,11	0,25	0,56	0,044	0,11	0,23	0,53	0,027	0,19
Zn	mg/l	0,18	0,22	0,26	0,30	0,18	0,23	0,26	0,31	0,19	0,19
TDS	mg/l	1570	1980	4230	5090	1500	1920	4130	5030	1680	2450



Kuva 14-6. Maanalaisen kaivoksen veden laadun muodostuminen sulkemisen jälkeen eri syvyyksille, 80 % -tiivistyskenaariossa. Kuvaajissa näkyvät vuosiluvut havainnollistavat kaivoksen täyttymisen etene- mistä. Maanalainen kaivos loppuu noin tasolla +100 mmpy, tästä ylös- päin on vain vinotunnelia. Tunnelin alue on jätetty arvioimatta mallin- nusteknisistä syistä. Kuvaajissa "vuosi 0" kuvaa sulkemisen jälkeistä ensimmäistä vuotta. (Stantec Consulting Ltd. 2023)

Tarkastelussa 2 tuotannon aikaisen kuivanapitoveden merkittävimmäksi laatu- tekijäksi arvioidaan typen yhdisteet. Räjähdyksineistä aiheutuvan typen lisäyk- sen määrän arvio on erillinen muusta tarkastelusta ja perustuu esimerkkitä- pauksista saatuihin oletuksiin räjähteiden käytöstä ja käyttäytymisestä. Typen määrät ovat korkeita erityisesti kaivoksen syvän osan vesissä, mutta nämä muodostavat vain pienen osan maanalaisen kaivoksen vesistä, sillä syvällä kal- lio on tiivistä ja louhostiloihin tulee vain vähän vettä.

Mallinnuksessa suoritettiin eri tiivistyskenaarioiden lisäksi herkkyystarkasteluja (Stantec Consulting Ltd. 2023): toinen käyttämällä kuusinkertaista seinämä- pinta-alaa, ja toinen käyttämällä nelinkertaista louhostäyttöjen pinta-alaa. Suu- remman seinämäpinta-alan käyttäminen tarkastelussa lisäsi nikkeli- ja koboltti- pitoisuuksia 5–25 -kertaisiksi. Suuremman louhostäytön aiheuttama pitoisuus- muutos veden laadussa oli pienempi, mutta koski useita aineita.

Sulkemisvaihetta koskevassa tarkastelussa voidaan havaita, että sulkemisen jälkeen keskeisten alkuaineiden pitoisuudet vähenevät huomattavasti kiintoai- neen ja veden kontaktisuhteen muuttuessa. Kuivanapitopumppauksen loputtua myös kaivoksen yläosaan tulevat vedet laimentavat kaivoksen syvimmän osan vesiä. Typpipitoisuus pienenee, sillä räjäytystyön loputtua uutta räjähdysai- neperäistä typpikuormaa ei enää muodostu.

14.5 Maanalaisen kaivoksen tarkastelujen 1 ja 2 tulosten keskeiset erot

Maanalaisen kaivoksen kuivanapitoveden nikkelpitoisuus on tarkastelussa 2 pienempi kuin tarkastelussa 1. Sulkemisen jälkeiselle tilalle mallinnettujen pitoisuuksien erot ovat vähäisempiä. Sulfaattipitoisuus on tarkastelussa 2 selvästi tarkastelua 1 suurempi.

Tarkastelujen eroihin vaikuttavat joiltakin osin myös mallinnustekniset seikat. Mallinnukset on tehty pääpiirteissään samanlaista konseptualisointia ja oletuksia käyttäen, mutta esimerkiksi mineraalipinta-alan skaalaamisessa on pieniä eroja. Tämä tarkoittaa laboratoriokokeissa käytetyn mineraalipinta-alan ja mineraalimassan suhdetta, verrattuna maanalaisen kaivoksen mineraalipinta-alan ja mineraalimassan suhteeseen. Pienet erot tasapainoyhtälöissä voivat myös vaikuttaa tulosten eroihin: mm. tarkastelu 1 sallii tehokkaammin sulfaatin saostumisen, mikä voi selittää veden suuremman sulfaattipitoisuuden tarkastelussa 2.

15 Tarvekilouhoksen veden laatu

Tässä luvussa käsitellään tarvekilouhoksen kuivanapitoveden laatua ja laadun arviointitapaa. Lisäksi käsitellään louhokseen sulkemisen jälkeen muodostuvan louhosjärven veden laatua ja laadun arviointitapaa.

15.1 Tarvekilouhoksen veden laadun arviointimenetelmä

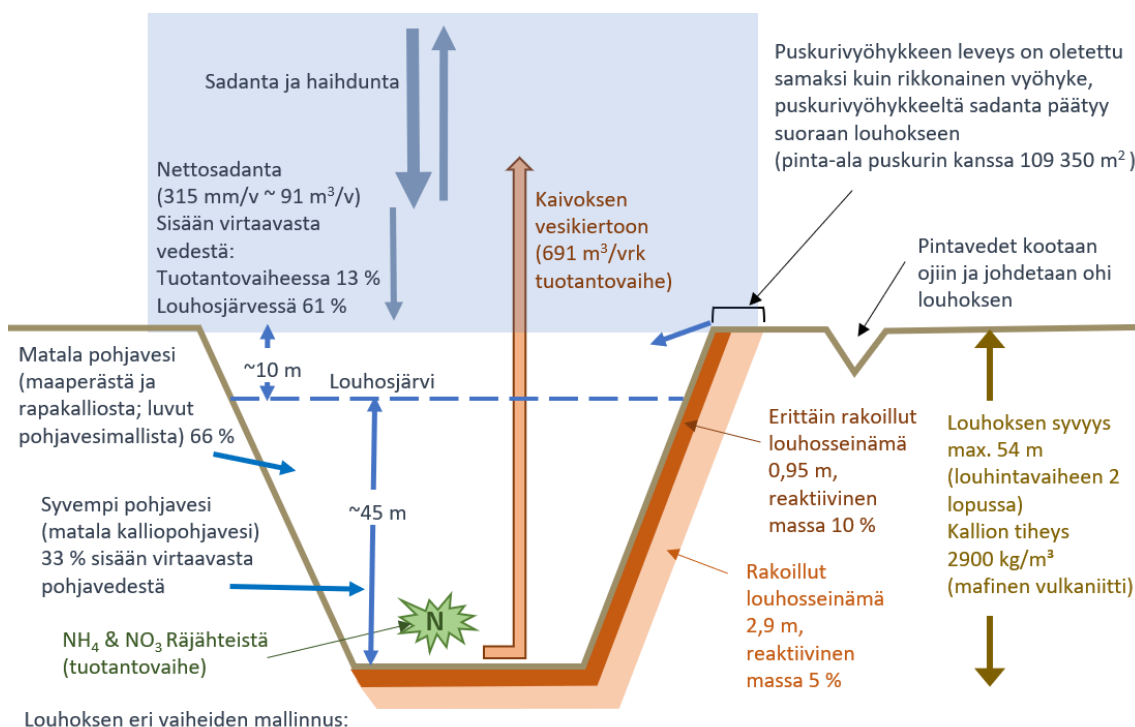
Tarvekilouhos on avolouhos, joka on jatkuvassa vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa (Kuva 15-1). Louhokseen tulee vettä sateen ja pohjaveden mukana. Sadanta lasketaan olettaen louhokselle 5 m puskurivyöhyke, josta kaikki sade päätyy kaivokseen. Sadanta muodostaa ~15 % koko vesimäärästä tuotannon aikana. Sadevesi on puhdasta vettä, mutta pohjaveden koostumus vaikuttaa kaivoksen veden laatuun. Louhoksen veden laatuun vaikuttaa myös kontakti louhosseinämien rakoilleen ja osin hienoainespitoisen kivimateriaalin kanssa. Louhosseinämillä tarkoitetaan tässä avolouhoksen seinämiä, penkereitä, pohjaa ja ajoramppeja, joiden kiviaines hapettuu ja rapautuu. Osa rapautumistuotteista liukenee, osa saostuu sekundäärimineraaleina ja osa pidättyy sorption kautta. Pidättyneitä aineita voi liueta uudelleen erityisesti olosuhteiden muuttuessa.

Kiviaineksesta vapautuvien aineiden määrä lasketaan erilaisin kertoimin (ks. Kuva 15-1). Rapautumiselle altistuva kivimäärä määritellään 2-vyöhykemallilla. Sisin ”erittäin rakoillut vyöhyke” on voimakkaasti räjäytystyön rikkomaa ja 0,95 m paksu. Ulompi ”rakoillut vyöhyke” on 2,9 m paksu. Räjäytysten vaikutus kallion rikkonaisuuteen on kirjallisuusperusteinen kokeisiin pohjautuva arvio (Sanchidrian & Singh 2012). Kummallekin rakoiluvyöhykkeelle arvioidaan lisäksi kertoimet, joiden avulla laboratoriossa tutkitun hienonnetun kivimateriaalin pinta-ala pystytään skaalaamaan rakoilleen kallion pinta-aloihin kummassakin rakoiluvyöhykkeessä. Lisäksi käytetään huuhtoutumiskerrointa. Veden laadun muodostumisessa on erittäin oleellista louhosseinän pinta-ala. Sulkemisen jälkeen veden alla oleva osa seinämästä oletetaan niin hitaasti rapautuvaksi, että rapautumistuotteet voidaan jättää huomioimatta. Kallioseinän reaktiivinen massa on tuotannon aikana noin 50 kertaa louhosjärvivaihetta suurempi, mikä on keskeisin syy kuivatusveden korkeampiin pitoisuuksiin verrattuna louhosjärven veden pitoisuuksiin. Pitoisuudet määritetään vuotuisina keskiarvoina.

Louhokseen virtaavasta pohjavedestä konseptualisoitiin 2/3 maaperän ja rapautuneen kallioperän pohjavettä edustavaksi ja 1/3 alemman ehyemmän kallion pohjavedeksi. Pohjavesien koostumukset määritettiin tarkkailuohjelman tiedoista. Virtauksen määrä malliin saatiin tarvekilouhoksen pohjavesimallista (AFRY Finland Oy 2022a). Pohjaveden virtaus louhokseen tuotantovaiheessa on suurimmillaan noin 10 kertaa suurempi kuin sulkemisen jälkeen täyttyneeseen louhosjärveen. Mallissa käytetty nettosadanta (315 mm/vuosi) ja vuotuinen

keskilämpötila (+0,6°C) perustuvat Ilmatieteenlaitoksen tietoihin Sodankylästä vuosina 1999-2019. Yksinkertaistettu malli laskee vuosikeskiarvoja. Todellisuudessa vuosien ja vuodenaikojen välillä on vaihtelua rapautumisen, lämpötilan, sadannan ja pohjavedenvirtauksen suhteen.

Sulkemisen jälkeen tarvekilouhos alkaa täyttyä vedellä, ja pohjaveden virtausnopeus louhokseen pienenee, kunnes louhosjärvi saavuttaa hydraulisen taseapainotilan. Tässä pohjaveden paine-erot ovat tasaantuneet ja louhoksesta voi alkaa kulkeutua vettä ympäristöön. Louhosjärven täyttymisvaiheessa aineiden pitoisuudet louhosvedessä laimenevat vähitellen veden yläpuolisen seinäpinta-alan pienentyessä ja sadeveden osuuden kasvaessa. Usein louhosjärvet myös kerrostuvat suolaisuuden ollessa kyllin korkea. Louhosjärveä ei kuitenkaan ole toistaiseksi tarkasteltu kerrostumismallin avulla, mutta laimeat pitoisuudet huomioiden veden pysyvä kerrostuneisuus olisi epätodennäköistä. Kyseinen järvimalli on tarkoitettu laatia ympäristölupahakemusvaiheessa: tuolloin arvioidaan, kerrostuuko louhosjärvi.



- Tuotantovaihe: reaktiivinen massa (louhosseinämät) ~68 000 tonnia; seinämän + pohjan pinta-ala ~156 000 m²; kuivatusmäärä ~691 m³/v (sis. nettosadannan ~91 m³/v); vedessä tyypeä räjähdysaineista (4 mg/l NH₄, 45 mg/l NO₃)
- Stabiili louhosjärvi: reaktiivinen massa (louhosseinämät) ~1 400 t; kuivaseinämän korkeus 10 m; läpivirtaama ~151 m³ (sis. nettosadannan); vedessä ei tyyppiyhdisteitä räjähteistä. Virtaus myös pois päin louhoksesta.

Kuva 15-1. Kuvaus tarvekilouhokseen vaikuttavista tekijöistä, jotka vaikuttavat kuivanapitoveden ja myöhemmin sulkemisen jälkeisen louhosjärven veden laadun muodostumiseen.

Typpikuorman laskenta kuivanapitovedessä perustuu arvioituun räjähdysaineiden käyttöön kaivostoiminnan eri vaiheissa sekä oletukseen että 6 % käytetystä räjähdysaineesta liukenee veteen (Ramboll Finland Oy 2019). Räjähdysaine on oletettu laskennassa emulsioräjähdysaineeksi ja typen osuudet esiintymismuotoineen emulsioräjähteen aineyhdistelmässä ovat Sjölundin kuvaaman (1997) laskentatavan mukaiset. Mallinnuksessa typen on oletettu poistuvan tarvekilouhoksen kuivanapitoveden mukana samana vuonna kuin se on räjäytystyön myötä louhokseen tullut.

Tarvekilouhoksen louhosseinämien käyttäytymisen lähtötietona on käytetty seinämäkivien NAG-testauksen (luku 4.3) pitoisuuksia. Lähtötieto on siis epätarkempi kuin se olisi käytettäessä lähtötietona esimerkiksi kosteuskammiokokeen tulosta. Tarvekiven sulfidipitoisuudet ovat alhaisia eikä pitkäaikaistestauksella arvioitu saavutettavan merkittävää lisäarvoa ympäristöriskien hallintaan. Lähtöaineistona käytettiin mafisen vulkaniitin näytteitä koko siltä osalta Kuusi-vaaraa, johon tarvekilouhoksen sijoituspaikkavaihtoehdot päävaihtoehdoissa VE1-VE3 sijoittuvat. Paikkavaihtoehtojen (VE1-VE3) geologisten erojen katsottiin olevan vähäisiä, joten kaikkia paikkavaihtoehtoja koskeva aineisto keskiarvoistettiin painotetusti. Painotuksessa huomioitiin sulfidipitoisuuksiltaan erilaisen kiviryhmien osuudet tarvekilouhoksen kairasydänaineistossa. Eri sulfidipitoisuusryhmiä edustavat laboratoriotulokset syötettiin geokemialliseen malliin painotettuina keskiarvoina.

Kiville tehtiin NAG-testin kylmäversiot tavanomaisessa NAG-testeissä epäillyn sakkautumisen takia. Näiden ja kaivoksen alueen sivukiville tehtyjen kosteuskammiokokeiden perusteella määritettiin eri kivilajien viikkoliuokset (menetelmä kuvaus esim. Barnes ym. 2015), joka toimii massataseyhtälön syötetietona.

Massataseyhtälö:

Louhoksen veden pitoisuus mg/l =

$$[\text{keskiarvoitettu kosteuskammiokokeen viikkoliuos (mg/kg/viikko)} \times \text{reaktiivinen massa (kg)}] \div [\text{pohjavesi \& nettosadanta louhokseen (l/viikko)}]$$

Lisäksi laboratorion ja louhoksen lämpötilaero on skaalattu Arrheniusken yhtälön avulla tuotetulla skaalauskerroimella (0,24).

Geokemiallisessa tasapainomallinnuksessa käytettiin Geochemist's Workbench-mallinnusohjelman versiota 15.0 ja seuraavia perusolettamuksia:

- Reaktiot tapahtuvat äkillisesti ja tasapainoon asti eli mineraalien muodostumiseen liittyviä kineettisiä tekijöitä ei ole huomioitu, eikä mahdollisia sekoittumiseen liittyviä vuorovaikutuksia.

- Adsorptiomalli: Dzombak & Morel (1990), 2-kerrosvakiokapasitanssimalli, $C=2,0 \text{ F/m}^2$.
- Ferrihydriitti ensisijaisena sorptiomineraalina, liukoisuus ja sorptio-ominaisuudet kirjastosta FeOH+(V8.R6+)AB_AW_20220607.sdat.
- Termodynaaminen kirjasto: thermo.com.V8.R6+_AW_17052022.tdat
- CO₂:n osapaine fugasiteetin logaritmina -3,5, H+ tasapainossa hiilidioksidin (kaasumainen) kanssa.
- HCO₃:n pitoisuutta muutettiin ionitasapainon ylläpitämiseksi. Lähtötietojen ionitasapainovirhe oli korkeimmillaan n. 5 % ennen tasapainomallinnusta.

Sulkemisen jälkeiselle ajalle arviointimenetelmä on sama kuin tuotantovaiheelle, mutta reaktiivisena massana on huomioitu vain tarvekilouhokseen muodostuvan louhosjärven pinnan yläpuoliset seinämät. Vastaavasti louhoksen läpi kulkevan uuden vesimassan määrä on pienentynyt painekorkeuseron pienentyessä verrattuna tuotantovaiheeseen. Räjähdyksineiden tuomaa typpilisää ei enää huomioida.

15.2 Tarvekilouhoksen veden laatu

Taulukossa 15-1 esitetään tarvekilouhoksen veden laatuarviot mallinnusraportin (AFRY Finland Oy 2022b) mukaan. Toiminnan aikaisen louhoksen kuivanapitoveden laatuarvio on tehty skenaariolle, jossa louhos on suurimmillaan ja louhinta maksimaalinen vuosilouhintaa (vaikka nämä kaksi tilannetta eivät todellisuudessa välttämättä esiinny samanaikaisesti). Vedenlaatumallissa vuosilouhintaa vaikuttaa lähinnä vain typen määrään vedessä (räjähteiden käytön seurauksena), minkä takia on haluttu tarkastella tilannetta, jossa kaikki tekijät ovat maksimissaan.

Tarvekilouhoksen täytyttyä alkaa laimenemiskehitys ja veden koostumus tasaantuu pitkän aikavälin tasolle, jolloin veden laatuun vaikuttavat enenevästi sadeveden ja pohjaveden ominaisuudet seinämävaikutuksen vastaavasti vähentyessä. Kasvavan sadeveden vaikutuksen myötä esimerkiksi alkaliniteetti ja suolaisuus laskevat. Taulukossa 15-1 esitetään tasapainotilassa olevan louhosjärven veden laadut.

Taulukko 15-1. Tarvekivilouhoksen kuivanapitoveden laatu tuotantovaiheessa sekä sulkemisen jälkeen muodostuvan louhosjärven veden laatu. Louhosjärvi on tarkasteltu kokonaan sekoittuneena (mahdollista painovoimaista suolaisuuskerrostumista ei huomioitu). Punaisella kurssiivilla merkittyjen alkuaineiden osalta pitoisuudet olivat alle määrittämissä louhosseissa, syötteeseen pitoisuudeksi arvioitiin 50 % määrittämissä.

Parametri	Yksikkö	Toimintavaiheen kuivanapitovesi (+0,6°C)	Stabiili louhosjärvi mg/l (+0,6°C)
pH		8,0	8,3
<i>Ag</i>	<i>mg/l</i>	<i>0,003</i>	<i>0,001</i>
<i>Al</i>	<i>mg/l</i>	<i>0,18</i>	<i>0,07</i>
<i>As**</i>	<i>mg/l</i>	<i><0,0001</i>	<i><0,0001</i>
B	mg/l	0,013	0,006
Ba	mg/l	0,15	0,06
<i>Be</i>	<i>mg/l</i>	<i><0,0001</i>	<i><0,0001</i>
Ca	mg/l	58	23
<i>Cd**</i>	<i>mg/l</i>	<i><0,0001</i>	<i><0,0001</i>
Cl	mg/l	18	8,1
Co	mg/l	0,0002	0,0001
Cr**	mg/l	<0,0001	<0,0001
Cu**	mg/l	<0,0001	<0,0001
Fe*	mg/l	0	0
Hg**	mg/l	0	0
K	mg/l	9,3	3,6
Mg	mg/l	7,9	3,3
Mn	mg/l	0,05	0,013
Mo	mg/l	0,008	0,003
Na	mg/l	13	5,9
Ni	mg/l	0,0003	<0,0001
<i>P</i>	<i>mg/l</i>	<i>0,0057</i>	<i>0,0017</i>
<i>Pb**</i>	<i>mg/l</i>	<i><0,0001</i>	<i><0,0001</i>
<i>Sb</i>	<i>mg/l</i>	<i>0,0005</i>	<i>0,0002</i>
Se	mg/l	0,0015	0,0006
<i>Sn</i>	<i>mg/l</i>	<i>0,0001</i>	<i><0,0001</i>
Sr	mg/l	0,11	0,05
Ti	mg/l	0,019	0,007
<i>Th</i>	<i>mg/l</i>	<i>0,002</i>	<i>0,0006</i>
<i>U</i>	<i>mg/l</i>	<i>0,0003</i>	<i>0,0001</i>
V	mg/l	0,01	0,005
W	mg/l	0,0015	0,0005
Zn	mg/l	0,0007	0,0002
NH ₄ -N	mg/l	5,8	0,07
NO ₃ -N	mg/l	6,7	0,11
SO ₄	mg/l	32	13
HCO ₃ ⁻	mg/l	176	83
TDS***	mg/l	364	136

* Fe saostuu ferriyhdyttinä geokemiallisissa tasapainomallisissa olosuhteiden ollessa sille otolliset (kuten tässä tapauksessa) ja poistaa vedestä hyvin tehokkaasti useita raskasmetalleja (**).

*** TDS merkitsee total dissolved solids eli liukoisen kiintoaineen kokonaismäärä

Tarvekilouhoksen seinämistä hapettumisen myötä vapautuvista aineista merkittävin on kupari, mutta myös nikkeliä vapautuu jossain määrin. Saostuminen ja kersaostuminen vaikuttavat merkittävästi veden laatuun. Ilman louhosvedessä tapahtuvien reaktioiden huomioimista teoreettinen kuparipitoisuus olisi louhoksesta pumpattavassa kuivanapitovedessä louhoksen ollessa laajimmillaan 0,05 mg/l. Louhoksen kuivanapitoveden pH on kuitenkin suhteellisen korkea (~8) ja kuparia poistuu vedestä luontaisesti mm. adsorption ja kersaostumisen (ferrihydriitti) myötä. Kuparin määrä on tasapainomallinnetussa veden laadussa alle yksi mikrogramma. Ilman tasapainoreaktioita nikkeliä olisi kuivanapitovedessä enimmillään 0,01 mg/l, mutta mm. adsorption ja kersaostumisen vaikutuksesta <0,001 mg/l. Tarvekilouhoksen geokemiallisessa mallissa reaktiivisen massan määrä on arvioitu varovaisuusperiaatetta noudattaen varsin suureksi ja mallia voidaan siksi pitää konservatiivisena.

16 Pohdintaa vedenlaatumallinnuksen herkkyyksistä ja epävarmuuksista

Vedenlaatumallinnuksen epävarmuudet voidaan karkeasti jakaa lähtötietojen epävarmuudesta johtuviin ja toisaalta konseptualisointiin ja siihen liittyvään parametrisointiin. On tärkeä tarkkailla epävarmuutta kokonaisuutena, ettei näennäinen täsmällisyys jollain osa-alueella harhauta aliarvioimaan lopputulosten todellisia epävarmuuksia. Käytetty mallinnustapa on perustaltaan sama kaikissa tässä raportissa esitettyjen mallien osalta ja se on ympäri maailmaa yleisesti käytetty kaivosten ympäristösuunnittelussa.

Tarkastelun perustana on arvio kivien (ja louhostäytön) hapettumis- ja liukoisuusominaisuuksista. Kosteuskammiokokeet ovat tällä hetkellä paras tapa arvioida aineiden vapautumista kivistä suoraan tai välillisesti hapettumisreaktioiden seurauksena pitkällä aikavälillä, sillä koejärjestely nopeuttaa hapettumisreaktioita. Kosteuskammiokokeiden tuloksia käytettiin syötteenä kaivannaisjätealueiden ja maanalaisen kaivoksen vedenlaadun arvioimisessa. Louhosjärven mallissa käytettiin NAG-uuton tuloksia, joiden skaalattavuus mallinnuksessa on epätarkkaa, sillä skaalaus käytännöt on laadittu ensisijaisesti kosteuskammiokeiden tulosten skaalaamiseen. Tässä NAG-uutteen ja kosteuskammiokeiden pitoisuuksien suuruusluokkaeron hahmottamiseksi käytettiin kuitenkin varsinaisen kaivosalueen kivien kosteuskammiokeiden ja NAG-uuton sulfaatinmuodostuksen suhdetta, minkä lisäksi käytettiin vertailuaineistoa kirjallisuudesta (esim. Barnes ym. 2015). Louhoksen kuivatusveden ja louhosjärven veden laadun mallintamisessa seinämien kosteuskammiokeiden puuttumisen ei arvioida johtavan merkittäviin epävarmuuksiin, sillä kiviaineksen sulfidipitoisuudet ovat alhaisia. Maanalaisen kaivoksen louhostäytön liukoisuutta arvioitiin monoliittikokeen perusteella.

Mallinnuksessa merkittävää epävarmuutta liittyy aina skaalauskerroimien valintaan. Lämpötilakerrointa käytetään laboratorion koeolosuhteiden ja todellisen kaivannaisjätealueen tai kaivoksen lämpötilaerosta johtuvan hapettumisnopeuseron kuvaamiseen. Esimerkiksi kaivannaisjätealueen sisäosan lämpötilan virheellinen määrittely voisi johtaa mallissa joko liian tehokkaaseen tai liian hitaaseen sulfidimineraalien hapettumiseen. Lämpötilan määrittelyn virhe pitäisi kuitenkin olla todella suuri ennen kuin se alkaisi vaikuttaa mallinnustuloksiin suuruusluokkatasolla. Maanalaisten kaivosten mallit ovat tyypillisesti herkkiä reaktiivisen massan määrittelylle. Maanalaisen kaivoksen tarkastelussa 2 molemmille reaktiivisille massoille eli seinämille ja louhostäytöille tehtiin herkkyystarastelu. Seinämävaikutusta tutkittiin perusskenaariota ~600 % suuremmalla reaktiivisella pinta-alalla ja louhostäytettä ~400 % suuremmalla pinta-alalla. Ennakoitua suurempi reaktiivinen massa voisi toteutua esimerkiksi, jos kaivoksen seinämät rikkoutuisivat louhinnassa ennakoitua enemmän tai louhostäytöihin

tulisi ennakoitua enemmän halkeamia. Molemmilla reaktiivisilla massoilla oli huomattava merkitys tässäkin mallissa ja erityisesti kaivoksen kuivanapitoveden nikkeli- ja kobolttipitoisuudet olivat herkkiä seinämän pinta-alan määrittelylle. Rikastushiekan kuivaläjäityksessä merkittävin tuotantovaiheen mallinnusepävarmuus liittyy vedellä kyllästymättömän rikastushiekan eli reaktiivisen massan määrittelyyn.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat yleinen huolenaihe. Vedenlaatumalleihin ilmastonmuutos vaikuttaa lämpötilakertoimen valinnan välityksellä. Yleisesti mallinnustöissä voidaan havaita, että tavanomaisten ilmastonmuutosskenaarioiden mukaiset lämpötilamuutokset pystyvät aiheuttamaan vain pientä muutosta geokemiallisten mallien tuloksiin. Kaivannaisjätealueilla sademäärän kasvu periaatteessa muuttaisi veden ja kiintoaineen kontaktisuhdetta ja pienentäisi pitoisuuksia – samaan aikaan kuin myös vastaanottavissa vesistöissä virtaamat kasvaisivat. Ilmastonmuutoksen merkittävin huolenaihe kaivannaisjätealueiden osalta lienevätkin lisääntyvät ääriolosuhteet. Erityisesti poikkeuksellisen kuumat ja kuivat jaksot voivat pienentää vedellä kyllästynyttä mineraaliaineksen osuutta kaivannaisjätealueilla eli lisätä reaktiivisen massan määrää, samaan aikaan, kun lämpö nopeuttaa hapettumisreaktioita. Tällaisten jaksojen jälkeen jätealueiden vesien laaduissa voi esiintyä selvää heikentymistä – joskin viiveellä. Näiden kausittaistilanteiden vaikutuksen tarkka todentaminen vuosikeskiarvoja käsittelevillä geokemiallisilla malleilla ei kuitenkaan ole mahdollista. Näin ollen ilmastonmuutoksesta johtuvaa äärimmäisten sääolosuhteiden lisääntymistä voidaan pitää keskeisenä mallinnusepävarmuutena.

17 Viitteet

AFRY Finland Oy 2020. EIA stage underground mine dewatering water nitrogen calculation – based on Stantec 2020 groundwater model inflow rates.

AFRY Finland Oy 2022a. Kuusivaaran tarvekilouhoksen numeerinen pohjavesi-mallinnus. Raportti laadittu AA Sakatti Mining Oy:lle. Projektiviite: 101013797-001. Dokumenttinumero: 101013797-E0005. Pvm 25.10.2022.

AFRY Finland Oy 2022b. AA Sakatti Mining Oy Sakatin kaivoshanke, Tarvekilouhoksen veden laadun mallintaminen.

AFRY Finland Oy 2023. Sakatin kaivoshanke; Ympäristövaikutusten arviointi; Kaivoksen vesitase. Raportti laadittu AA Sakatti Mining Oy:lle. Projektiviite: 101017183-001. Pvm 13.1.2023. Revisio H.

Anglo American 2019. Sakatti Cu-Ni-PGE project Pre-Feasibility A Study, Processing & Metallurgy 10th July 2019. Ei julkinen.

Barnes, A., Bowell, R., Warrender, R., Sapsford, K., Sexsmith, K., Charles, J., Declercq, J., Santonastaso, M. & Dey, B. 2015. Comparison between Long-Term Humidity Cell Testing and Static Net Acid Generation (NAG) Tests: Potential for NAG Use in Preliminary Mine Site Water Quality Predictions. Proceeding 10th ICARD IMWA 2015.

BIOSO4 Oy 2020. Lab Report. Water samples from AA Sakatti Mining Oy. Lab report 19.2.2020.

Brownscombe, W. 2016. The Geology and Geochemistry of the Sakatti Cu-Ni-PGE Deposit, N. Finland. Ph.D Thesis. Imperial College London.

Dzombak, D. & Morel, F. 1990. Surface Complexation Modelling: Hydrous Ferric Oxide. John Wiley & Sons, New York.

Etteieb, S., Magdouli, S., Zolfaghari, M., Brar, S. 2020. Monitoring and analysis of selenium as an emerging contaminant in mining industry: A critical review. Science of the Total Environment 698.134339.

Eurofins Ahma Oy 2022. AA Sakatti Mining Oy Sakatin kaivoshanke, Laboratorioraportti, Tutkimustodistus: AR-22-YB-030087-01.

Eurofins Labtium Oy 2021. AA Sakatti Mining Oy Sakatin kaivoshanke, Laboratorioraportti, Raporttinumero: 098907.

Geochemic Ltd. 2020. Geochemical characterisation of metallurgical test work process tailings samples from the Sakatti Ni-Cu-PGE Deposit, Finland.

Geochemic Ltd. 2021a. Humidity Cell Testing: ASTM D 5744-18, Wales (UK).

Geochemic Ltd. 2021b. Geochemical modelling MWF.

Geochemic Ltd. 2021c. Monolithic Leach Testing: EN 15863:2015, Wales (UK).

Golder Associates Oy 2021. Sakatti Mine Waste Facility – Perimeter Structure. Typical section. 21454922-0001-C-0001. Draft.

GTK 1995. Alueellinen geokemiallinen kartoitus Suomessa vuosina 1982-1994.

GTK 2020. Aineistopoiminta GTK:n Tapir-palvelusta kesäkuu 2020.

Halkoaho, T. 2014. Petrology of the Sakatti Ni-Cu-PGE deposit, Sodankylä, Finland. Part 1. Geological Survey of Finland, Eastern Finland Office, 15.12.2014. 96 s.

INAP (International Network for Acid Prevention) 2002. Prediction and kinetic control of AMD: Australian Mineral Industries Research Association (AMINRA), Project P387A, May 2002. 42 s.

Itasca Denver Inc. 2022. Prediction of Drawdown and Groundwater Inflow Rates over the Life of the Sakatti Project. Versio: August 2022.

Kratsov, T. 2017. Benefication test work for Anglo American Sakatti Mining Oy: Asbestos mineral in four composite ore samples. Outotec Research Center.

Mason, B. 1966. Principles of Geochemistry. 3rd Edition.

MIAC (Government of Western Australia Department of Mines and Petroleum Resources Safety) 2015. Management of fibrous minerals in Western Australian mining operations. Second edition.

Miranda-Trevino, J.C., Pappoe, M., Hawboldt, K., Bottaro, C. 2013. The Importance of Thiosalts speciation: Review of Analytical Methods, Kinetics and Treatment. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 43. 2013-2070.

Morin, K.A., Hutt, N.M., and Ferguson K.D. 1996. The International Kinetic Database: Rates of acid generation, neutralization, and metal leaching from mines around the world. IN: Proceedings of the 3rd International and 21st Annual Minerals Council of Australia Environmental Workshop, October 14-18, Newcastle, New South Wales, Australia, Volume 1, s.132-148.

Morin, K.A. and Hutt, N.M. 2004. The Minewall Approach for Estimating the Geochemical Effects of Mine Walls on Pit Lakes. Pit Lakes 2004; United States Environmental Protection Agency; Reno, Nevada; November 16-18, 2004.

Nicholson R., Gillham R., and Reardon E. 1988. Pyriteoxidation in carbonate-buffered solutions: 1. Experimental kinetics. Geochim. Cosmochim. Acta 52, 1077-1085.

Outotec 2016. APS Paste thickening testing to tailings. Ei julkinen.

Paterson & Cooke 2017. Sakatti PFS: Dewatering and Backfill Test Work Report. Ei julkinen.

Puumalainen, T. 2021. Kuusivaaran kvartäärisedimenteistä tehdyn Pro-Gradu-tutkielman alustavat tulokset 19.2.2021.

Ramboll Finland Oy 2019. Sotkamo Silver Oy. Typpikuormituksen hallintasuunnitelma.

Salonen, V., Valkama, M., Kultti, S. Åberg, A. & Koivisto E. 2018. Assessing basecase TMF-sites around Kuusivaara, Sodankylä. Report for AA Sakatti Mining. Salonen Environment & University of Helsinki/Dept. of Geosciences and geography.

Sanchidrian J., Singh A. (Ed.) 2012. Measurement and Analysis of Blast Fragmentation. CRC Press 2012.

Sjölund, G. 1997. Kväveläckage från sprängtesmassor. Examensarbete. Luleå Tekniska Universitet. Institutionen för Samhällsbyggnadsteknik.

Sobek AA ym. 1978. Field and laboratory methods applicable to overburden and minesoils. USEPA. Report EPA-600/2-78-054

SRK Consulting Ltd. 2015a. A Mineral Resource Model for the Sakatti Cu-Ni-PGE Sulphide Deposit, Sodankylä, Northern Finland. Ei julkinen.

SRK Consulting Ltd. 2015b. Sakatti Tailings Geochemical Characterisation (Static Testing Phase), Report prepared for AA Sakatti Mining Oy, December 2015. Ei julkinen.

SRK Consulting Ltd. 2016, Sakatti Tailings Geochemical Characterisation – Static Testing Update, May 2016. Ei julkinen.

SRK Consulting Ltd. 2017. Waste rock geochemical characterisation report for the Sakatti Cu-Ni-PGE-Au deposit, Finland. Anglo American Sakatti. Ei julkinen.

SRK Consulting Ltd. 2018a. Tailings geochemical characterisation report for the Sakatti Cu-Ni-PGE-Au deposit, Finland. Ei julkinen.

SRK Consulting Ltd. 2018b. Sakatti Waste Rock ARD Week 40 Humidity Cell Update and Recommendations Memo. Ei julkinen.

SRK Consulting Ltd. 2019a. Sakatti Cu-Ni-PGE project. Pre-feasibility A study. Water management. Ei julkinen.

SRK Consulting Ltd. 2019b. Sakatti PFS-A Tailings Storage Facility Design Report. Anglo American Sakatti, sisäinen raportti. Ei julkinen.

Stantec Consulting Ltd. 2023. Proposed Sakatti Cu-Ni-PGE Underground Mine Water Quality Report - In Support of an Environmental Impact Assessment and Environmental Permitting. Prepared for AA Sakatti Mining Oy. January 4, 2023.

Suomen ympäristökeskus 2011. Metallimalmikaivostoiminnan parhaat ympäristökäytännöt. Suomen Ympäristö 29/2011.

Työterveyslaitos 2018. Työhygieeninen esiselvitys, lausunto vaiheesta 3: koe-murskaus. Lausunto TYHYG 2018 375090.

U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation 2016. Joint Spacing for Concrete Structures, Technical Memorandum No. CGSL-8530-2016-13. Available at: https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/mands-pdfs/JointSpacingForConcreteStructures_09-2016_508.pdf.

Ympäristöministeriö 2014. Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta. Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2014.

Ympäristöministeriö 2019. Jätteen luokittelu vaaralliseksi jätteeksi – päivitetty opas. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:2.