

LIITE 15: SAKATIN KAIVOS, SULKEMISSUUNNITELMA,
AFRY FINLAND OY 2023



Sakatin kaivos, sulkemissuunnitelma

Asiakas: AA Sakatti Mining Oy

Projektinumero: 101017183-001



AFRY Finland Oy, dokumenttitiedot:

Asiakas: AA Sakatti Mining Oy

Projektinumero: 101017183-001

Versiomuutos	Päiväys
Alkuperäinen versio	13/01/2020
Karakterisointitiedon täydentäminen	03/11/2020
Prosessivaihtoehtoon 2 mukaisten veden laatujen sisällyttäminen	08/11/2021
Uuden pohjavesimallin perusteella päivitetyn maanalaisen kaivoksen vedenlaatumallin sisällyttäminen	16/01/2023
Pieniä tarkennuksia ja viitteiden päivitys	16/02/2023

Sisällysluettelo

1	Johdanto	11
1.1	Nykyaikainen vaiheittain tarkentuva sulkemissuunnittelu	11
1.2	Sakatin sulkemissuunnitteluprosessi	15
1.2.1	Anglo Americanin sulkemissuunnitteluperiaatteet.....	15
1.2.2	Sakatin sulkemissuunnitteluprosessin nykytila ja eteneminen	16
1.2.3	Riskinarvioinnin hyödyntäminen sulkemissuunnittelussa	18
1.3	YVA-vaiheen sulkemissuunnitelman keskeinen sisältö	18
1.3.1	YVA-vaiheen sulkemissuunnitelman sisältö ja työvaiheet.....	18
1.3.2	Sulkemissuunnittelun tarkastelujaksot	20
2	Suunniteltu kaivostoiminta ja hankevaihtoehdot	21
2.1	Kaivoksen kuvaus tiivistettynä	21
2.2	Hankevaihtoehdot YVA:ssa	21
3	Alueen nykytila, tiivistelmä.....	24
3.1	Vesistöt	24
3.2	Maa- ja kallioperä	25
3.3	Pohjavesi	27
3.4	Kasvillisuus ja eläimistö	28
3.5	Elinkeinot ja asutus	29
3.5.1	Asutus ja työllisyys.....	29
3.5.2	Poronhoito	29
3.6	Maisema ja kulttuuriympäristö.....	35
3.7	Ilmasto ja ilmanlaatu	36
3.7.1	Sadanta ja lämpötila.....	36
3.7.2	Tuuliolosuhteet.....	37
3.7.3	Ilman laatu	38
3.8	Maankäyttö ja kaavoitus.....	39
4	Kaivannaisjätteiden ja kaivoksen seinämäkivien karakterisointi ...	40
4.1	Karakterisointien laajuus	40
4.2	Pintamaan ominaisuudet.....	41
4.3	Sivukivien ja kaivoksen seinämäkivien ominaisuudet.....	43



4.3.1	Kivilajit ja mineralogia	43
4.3.2	Sivukivien ja kaivoksen seinämäkivien geokemialliset ominaisuudet	44
4.3.3	Sivukivien pitkäaikaikäkäyttäytyminen	47
4.3.4	Vinotunnelivaihtoehtojen vaikutus sivukivilaatuun ...	52
4.4	Malmin kuvaus.....	54
4.5	Rikastushiekkojen karakterisointi, prosessivaihtoehto 1	55
4.5.1	Prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekkojen mineralogia	55
4.5.2	Prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekkojen fysikaaliset ominaisuudet	56
4.5.3	Prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekkojen geokemialliset ominaisuudet	57
4.5.4	Prosessivesi ja kemikaalijäämät prosessivaihtoehdossa 1	63
4.5.5	Prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekkojen pitkäaikaikäkäyttäytyminen	63
4.5.6	Prosessivaihtoehdon 1 monoliitin uuttokoe	66
4.6	Rikastushiekkojen karakterisointi, prosessivaihtoehto 2	68
4.6.1	Prosessivaihtoehdon 2 rikastushiekkojen mineralogia	68
4.6.2	Prosessivaihtoehdon 2 rikastushiekkojen fysikaaliset ominaisuudet	70
4.6.3	Prosessivaihtoehdon 2 rikastushiekkojen geokemialliset ominaisuudet	70
4.6.4	Prosessivesi ja kemikaalijäämät prosessivaihtoehdossa 2	77
4.6.5	Prosessivaihtoehdon 2 rikastushiekkojen pitkäaikaikäkäyttäytyminen	78
4.6.6	Prosessivaihtoehdon 2 monoliitin uuttokoe	82
4.7	Viimeisimmät rikastuskokeet ja täydentävä karakterisointityö	85
4.8	Eri prosessivaihtoehtojen rikastushiekkojen geokemiallisten tulosten vertailu.....	86
4.9	Kuitumineraaliselvitykset	86



4.10	Prosessijätevesien puhdistuksessa syntyvät sakat ja maanalaisen kaivoksen kuivanapitovesien selkeytysaltaiden lietteet	88
5	Kaivannaisjätteiden jätealueet ja niiden rakenteet.....	89
5.1	Pintamaan sijoitusalueet.....	89
5.2	Sivukivien sijoitusalueet	89
5.3	Rikastushiekka-alueet	90
5.3.1	Matalarikkisen rikastushiekka-alue	90
5.3.2	Korkearikkisen rikastushiekan varastoallas	93
6	Kaivannaisjätteiden ja jätealueiden luokitukset	95
7	Kaivosalueen sulkemisen jälkeisen tilan käsitteellistäminen sekä sulkemiseen liittyvien riskien ja mahdollisuuksien tunnistaminen ..	97
7.1	Kaivoksen sulkemisen jälkeisen tilan käsitteellinen kuvaus ..	97
7.2	Sulkemisen jälkeiset pintavesien ja maaperän pohjavesien valumasuunnat	98
7.3	Sulkemisvaiheen ja sulkemisen jälkeisten riskien tunnistaminen	106
7.4	Sulkemiseen liittyvien mahdollisuuksien tunnistaminen.....	116
7.5	Sulkemiseen liittyvien riskien tunnistamisen yhteydessä havaitut puutteet ja selvitystarpeet.....	118
7.6	Jäännösriskien hallinta	118
8	Tavoitteet ja vaatimukset.....	119
8.1	Lainsäädännöstä tulevat vaatimukset	119
8.2	Yleiset vaatimukset.....	120
8.3	Paikkakohtaiset vaatimukset	120
9	Kaivosalueen eri toimintojen keskeiset sulkemiskäsitteet	123
9.1	Maanalaisen kaivoksen sulkeminen.....	123
9.2	Tarvekilouhoksen sulkeminen.....	123
9.3	Matalarikkisen rikastushiekka-alueen rakenteet ja sulkeminen	124
9.3.1	Vaiheittainen sulkeminen kuivaläjitysvaihtoehdossa	124



9.3.2	Matararikkisen rikastushiekka-alueen sulkemisrakenteet kuivaläjitysvaihtoehdossa	126
9.3.3	Matararikkisen rikastushiekka-alueen sulkemisrakenteet märkäläjitysvaihtoehdossa	127
9.4	Korkearikkisen rikastushiekka-altaan sulkeminen.....	128
9.5	Malmin välivarastoalueen ja sivukiven sijoitusalueiden sulkeminen	129
9.6	Pintamaan sijoitusalueen sulkeminen.....	129
9.7	Muut sulkemistoimenpiteet: tehdasalue, tiestö, voimalinjat, putkilinjat ja vesienkäsittely.....	129
9.8	Sulkemistyön vaiheet	132
10	Kaivoksen sulkemisen jälkeiset veden laadut	133
10.1	Maanalaisen kaivoksen veden laadut sulkemisen jälkeen...	133
10.1.1	Maanalaisen kaivoksen veden laatu, tarkastelu 1...	134
10.1.2	Maanalaisen kaivoksen veden laatu, tarkastelu 2...	137
10.2	Tarvekilouhoksen veden laatu sulkemisen jälkeen	141
10.3	Rikastushiekka-alueen suotovesi sulkemisen jälkeen	145
10.3.1	Rikastushiekka-alueen suotoveden laatu, tarkastelu 1	146
10.3.2	Rikastushiekka-alueen suotoveden laatu, tarkastelu 2	149
10.4	Vedenlaatuarvioihin perustuvat johtopäätökset seuraavia sulkemissuunnitteluvaiheita varten	151
11	Alustava arvio sulkemisen jälkeisistä ympäristövaikutuksista ja sosiaalisista vaikutuksista	153
11.1	Yleistä vaikutusarvioinnista	153
11.2	Sulkemisen jälkeiset pohjavesivaikutukset.....	153
11.2.1	Maanalaisen kaivoksen sulkemisen jälkeiset pohjavesivaikutukset	154
11.2.2	Tarvekilouhoksen sulkemisen jälkeiset pohjavesivaikutukset	156
11.2.3	Rikastushiekka-alueen sulkemisen jälkeiset pohjavesivaikutukset	157
11.2.4	Rikastushiekka-alueen pohjavesivaikutusten kohdistuminen sulkemisen jälkeisenä aikana	158

11.2.5 Kaivoksen muiden toimintojen sulkemisen jälkeiset pohjavesivaikutukset	159
11.3 Sulkemisen jälkeiset pintavesivaikutukset	159
11.4 Sulkemisen jälkeiset luontovaikutukset	161
11.5 Sulkemisen sosiaaliset vaikutukset ja vaikutukset elinkeinoihin.....	161
11.6 Sulkemisen jälkeiset vaikutukset ilman laatuun	161
12 Sulkemisvaiheen tarkkailun pääperiaatteet	163
13 Kustannuslaskenta ja vakuusarvion laatiminen	164
14 Varautuminen väliaikaiseen tai ennenaikaiseen sulkemiseen	165
14.1 Väliaikainen sulkeminen	165
14.2 Ennenaikainen sulkeminen.....	166
15 BAT ja hyvät käytännöt	167
15.1 BAT-arvio.....	167
15.2 Muut hyvät käytännöt	170
16 Viitteet.....	171

TIIVISTELMÄ

Tämä Sakatin kaivoksen sulkemista koskeva raportti on laadittu YVA-selostuksen liitteeksi. Tässä dokumentissa kuvataan alustavat sulkemistrategiat ja tarkastellaan YVA-vaihtoehtoja käsitteellisellä tasolla, kaivoksen sulkemisvaiheessa ja sulkemisen jälkeen. Tarkastelutapa on riskilähtöinen. Lisäksi kuvataan sulkemissuunnittelun eteneminen jatkossa pääpiirteissään.

Anglo American -konserniin kuuluva AA Sakatti Mining Oy (AASM) on vuonna 2011 perustettu suomalainen liiketoimintayksikkö, joka suunnittelee Sodankylässä sijaitsevan Sakatin monimetalliesiintymän hyödyntämistä. Sakatin monimetalliesiintymän päämetallit ovat kupari ja nikkeli, minkä lisäksi malmi sisältää platinaa, palladiumia, kobolttia, kultaa ja hopeaa. Louhinta kaavaillaan toteuttavaksi maanalaisena kaivoksena. Tarvekiveä tullaan louhimaan avolouhostoimintana.

Hankealueella maan pinnalle sijoitettavia toimintoja ovat maanalaisen kaivoksen sisäänkäynti- ja rikastamoalueet, sivukiven, malmin ja pintamaiden sijoitusalueet, sijoitusalueet rikastushiekoille, tiestöt, putkistot, sähkölinjat, vesienhallinta- ja käsittelyrakenteet, lämpölaitos, kemikaalien ja räjähdysaineiden varastot sekä varikot. Räjähdysaineiden varastointi siirtyy maan alle rakentamisvaiheen jälkeen. Saniteettivesien osalta käytetään kunnallista liittymää. Pastalaitos sijaitsee maan päällä vaihtoehtoisissa VE2a, VE2b, VE3a ja VE3b ja maan alla vaihtoehtoisissa VE1a ja VE1b.

YVA:ssa tarkasteltavat (sulkemistyön näkökulmasta keskeiset) päävaihtoehdot ovat seuraavat:

- **VE0:** Sakatin monimetalliesiintymän kaivoshanketta ei toteuteta
- **VE1:** Sakatin pääesiintymä ja satelliittiesiintymä NE louhitaan maanalaisena kaivoksena. Rikastamo, kaivoksen sisäänkäynti ja rikastushiekka-alue oheistoimintoihin sijoitetaan Kuusivaaran alueelle.
- **VE2:** Sakatin pääesiintymä ja satelliittiesiintymä NE louhitaan maanalaisena kaivoksena. Kaivoksen sisäänkäynti sijoittuu Viiankiaavan ja Kitisen väliselle alueelle (pohjoisemmaksi kuin VE1). Rikastamo ja rikastushiekka-alue oheistoimintoihin sijoitetaan Kuusivaaran alueelle.
- **VE3:** Sakatin pääesiintymä ja satelliittiesiintymä NE louhitaan maanalaisena kaivoksena. Kaivoksen sisäänkäynti sijoittuu Viiankiaavan ja Kitisen väliselle alueelle (pohjoisemmaksi kuin VE2). Rikastamo ja rikastushiekka-alue oheistoimintoihin sijoitetaan Kuusivaaran alueelle.

Sulkemisen kannalta keskeisimmät alavaihtoehdot ovat matalarikkisen rikastushiekan kuivaläjitys ja märkäläjitys. Lisäksi tarkasteluissa on mukana kahden eri prosessivaihtoehdon vaikutus rikastamolta tulevan rikastushiekan ja

prosessiveden koostumukseen, sekä edelleen niiden vaikutus rikastushiekka-alueen - ja maanalaiseen kaivokseen sijoitettavan louhostäytön ympäristövaikutuksiin.

Muodostuvat kaivannaisjätteet pyritään hyödyntämään kaivostoiminnan aikana kaivosalueen rakentamisessa sekä louhostäytöissä. Sivukivistä matalarikkinen sivukivi hyödynnetään kaivosalueen rakentamisessa ja korkearikkinen sivukivi kokonaisuudessaan maanalaisen kaivoksen louhostäytöissä pasta-kivimursketäytön raaka-aineena. Myös kaikki korkearikkinen rikastushiekka käytetään ja osa matalarikkisestä rikastushiekasta hyödynnetään louhostäyttöön valmistettavan pastan raaka-aineena.

Sivukiven, maanpoistomaiden ja korkearikkisen rikastushiekan sijoitusalueet puretaan sulkemisen yhteydessä. Sulkemisen jälkeen kaivannaisjätealueista on jäljellä enää matalarikkisen rikastushiekan sijoitusalue. Kaivoksen sulkemisen näkökulmasta keskeisessä roolissa onkin matalarikkisen rikastushiekka-alueen vuorovaikutus ympäristön kanssa. Ympäristövaikutuksia sulkemisen jälkeen säätelevät rikastushiekan ja suotovesien laatu, rikastushiekan lopullinen sijointutapa kuivaläjityksenä tai märkäläjityksenä sekä läjityksen sijoituspaikka. Maanalaisen kaivoksen vesien muodostumiseen vaikuttavat luontaisten tekijöiden ohessa louhostäyttö. Ensisijaisesti on tarkoitus käyttää sivukivistä ja rikastushiekasta muodostettua pasta-kivimursketäyttöä ja toissijaisesti pastatäyttöä. Vedellä täyttyneen maanalaisen kaivoksen vuorovaikutusta ympäristön kanssa säätelee myös kaivoksen yläosan tiivistys.

Sakatin kaivoksen sulkeminen käsittää useita erilaisia toimenpiteitä. Maanalaisen kaivoksen tekniikka puretaan soveltuvilta osin ja pääsy maanalaiseen kaivokseen estetään suluilla. Tarvittaessa maanalaista kaivosta voidaan myös lokeroida välisuluilla. Tarvekivilouhos luiskataan turvalliseksi. Lisäksi tarvekivilouhos pidetään aidattuna vähintään täyttymisvaiheen ajan. Matalarikkiselle rikastushiekka-alueelle rakennetaan monikerrospaneeleja. Kuivaläjitysvaihtoehdossa sulkeminen tapahtuu vaiheittain, osin jo kaivoksen toiminnan aikana. Lisäksi sulkemistoimenpiteisiin kuuluu infrastruktuurin purkaminen. Aktiivista vesienkäsittelyä jatketaan aktiivisen sulkemisen (toimenpidevaiheen) ajan.

Matalarikkisen rikastushiekan kuiva- ja märkäläjitysvaihtoehtojen erot korostuvat aktiivisen sulkemisen aikana, jolloin läjityksen muotoilutarpeet sulkemisen alkuvaiheessa ja läjityksen pinnan asennuskantavuus poikkeavat toisistaan. Kuivaläjitetyle rikastushiekalle jälkihoitotoimet voidaan aloittaa käytännössä heti läjityksen päätyttyä. Lisäksi on huomattava, että kuivaläjitysvaihtoehdossa rikastusalueen sulkeminen tapahtuu osin jo toiminnan aikana. Molemmilla rikastushiekan läjitysvaihtoehdoissa läjitykseen imeytyvän ja sieltä pois suotautuvan veden määrää pystytään rajoittamaan pinta- ja pohjarakenteiden yhdistelmän avulla. Märkäläjityksestä poistuu alkuvaiheessa kuivaläjitystä suurempia määriä vettä, kun vedenpinta vähitellen alentuu lietalajityksen loputtua

kohti vedenpinnan tasapainotilaa, mutta tarvittaessa suotovesien talteenottoa ja käsittelyä voidaan jatkaa jonkin aikaa aktiivisen sulkemisvaiheen jälkeenkin.

Sulkemisen jälkeiset ympäristövaikutukset ja -riskit kohdistuvat ensisijaisesti pohjaveteen rikastushiekka-alueen välittömässä läheisyydessä ja vain välillisesti pintavesien tilaan tai maaperään ja sen eliöstöön. Riskitarkastelussa on käsitelty erityisesti sulkemisen jälkeisten vaikutusten kohdistumista Viiankiaapaan sekä Kitisen jokivarren pohjavesiesiintymiin ja asutukseen. Riskitarkastelu on tehty kolmelle eri sulkemisen jälkeiselle aikajaksolle alkaen aktiivisten sulkemistöiden ajalle sijoittuvista riskeistä. Muita riskitarkastelussa käsiteltyjä aikajaksoja ovat aktiivisen sulkemistyön jälkeinen aika maanalaisen kaivoksen louhostilojen vedellä täyttymiseen asti sekä louhostilojen täyttymisen jälkeinen aika. Päävaihtoehtoissa VE2 ja VE3 sulkemistyön aikaisia tai sulkemisen jälkeisiä mahdollisia haitta-aineiden kulkeutumisreittejä voi suuntautua Kitisen jokivarteen ja asutuksen suuntaan. Päävaihtoehtoissa VE1 ja VE2 mahdollisia haitta-aineiden kulkeutumisreittejä suuntautuu Kuusivaaran eteläpuoliselle alueelle, missä on myös huomioitavia luontoarvoja. Tarkastellun aineiston perusteella, yksittäisiä hankevaihtoehtoja ei toistaiseksi esitetä suljettavaksi pois jatkosuunnittelusta sulkemisen jälkeisten riskien perusteella.

Sekä riskit että vaikutukset kulminoituvat kaivannaisjätteiden sijoitusalueiden sijaintiin ja aktiivisen sulkemisvaiheen aikana myös vesienkäsittelyalueiden sijaintiin. Maanalaisen kaivoksen sulkemisen jälkeinen kontakti ympäristön kanssa jää suhteellisen vähäiseksi. Sulkemisen jälkeen kaivosalueen (ja sen kaikkien osien) keskeisimpiä kuormitustekijöitä ovat nikkeli, kloridi ja sulfaatti. Aktiivisen sulkemisen aikana ja keskipitkällä aikavälillä kuormitustekijöitä ovat myös fosfori ja typpi. Alustavasti sulkemisen jälkeiset muutokset ympäristössä ovat pieniä – tai pienialaisesti kohtalaisia, jolloin vaikutusten kokonaismerkittävyys riippuu vastaanottavan alueen herkkyydestä.

Toiminnan päättymisellä on vaikutuksia alueen elinkeinoihin ja alueen käyttöön. Porotalouden osalta vaikutusten oletetaan lieventyvän kaivoksen sulkemisen myötä kaikissa vaihtoehtoissa. Työllisyyden kannalta kaivoksen sulkeminen vaikuttaa negatiivisesti toimintavaiheeseen verrattaessa. Alueen käytön näkökulmasta liikkumisen edellytykset alueella paranevat sulkemisen jälkeen.

Hankkeen sulkemissuunnittelun seuraavissa vaiheissa tarkastelusta karsiutuu vaihtoehtoja ja tarkastelu keskittyy ensisijaisen hankevaihtoehdon mahdollisimman hyvään sulkemiseen. Hankkeen riskien tunnistuksesta edetään varsinaiseen riskien arviointiin. Sulkemisskenaariota testataan sulkemisen jälkeisen numeerisen tarkastelun ja sen perusteella tehtävän vaikutusarvioinnin avulla. Tarvittaessa sulkemisratkaisuja parannellaan riski- ja vaikutusarviointien tulosten perusteella. Lisätietotarpeiden ja epävarmuuksien tarkastelu ohjaavat tarkentamaan systemaattisesti tietoa kohteen erityispiirteistä. Anglo Americanin

yhtiökohtaiset sulkemissuunnittelun ja sulkemistyön periaatteet ohjaavat työtä. Myös sulkemissuunnitelmien säännöllistä tarkastamista ja auditointeja käytetään vaiheittain tarkentuvassa sulkemissuunnittelussa.

1 Johdanto

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

Tässä raportissa tarkastellaan Sakatin kaivoksen sulkemista käsitteellisen esisuunnitelman tasolla. Raportti on laadittu YVA-selostuksen tueksi. Dokumentissa käsitellään kaivoksen sulkemiseen liittyvät mahdollisuudet ja riskit, kuvataan alustavat sulkemistratkaisut ja tarkastellaan kaivoksen eri hankevaihtoehtojen sulkemista käsitteellisellä tasolla. Koska kyseessä on YVA-vaiheen sulkemissuunnitelma, keskeistä on tarkastella YVA:ssa käsiteltäviä hankevaihtoehtoja sulkemistyön ja sulkemisen jälkeisen ajan näkökulmista. Lisäksi kuvataan pääpiirteissään sulkemissuunnittelun eteneminen seuraavissa kaivoshankkeen suunnitteluvaiheissa.

1.1 Nykyaikainen vaiheittain tarkentuva sulkemissuunnittelu

Yleisten kansainvälisten suositusten mukaan kaivoksen sulkemissuunnittelu tarkentuu vaiheittain ja päivitysten kautta (esim. ICMM, 2019, Australian Government, Dept. of industry, Tourism and Resources, 2006, Vastuullisen kaivos-toiminnan verkosto, 2017). Sulkemissuunnittelun etenemistä suhteessa kaivoshankkeen etenemiseen on havainnollistettu kuvassa 1-1 ja se mukailee karkeasti ICMM:n sulkemissuunnittelun suosituksia. Yleensä sulkemissuunnitelmaa kutsutaan käsitteelliseksi suunnitelmaksi ("conceptual plan") lähes kaivos-toiminnan loppuun asti. Sulkemissuunnitelmaa luonnehditaan lopulliseksi tai yksityiskohtaiseksi, kun suljettavan kohteen lopullinen muoto ja tila ovat varmoja ja suunnitelman perusteella voidaan laatia sulkemistyön urakkatarjoukset.



Kuva 1-1. Kaivoksen sulkemissuunnittelun eteneminen suhteessa hankkeen etenemsvaiheeseen, mukaillen karkeasti ICMM:n sulkemissuunnittelun suosituksia.

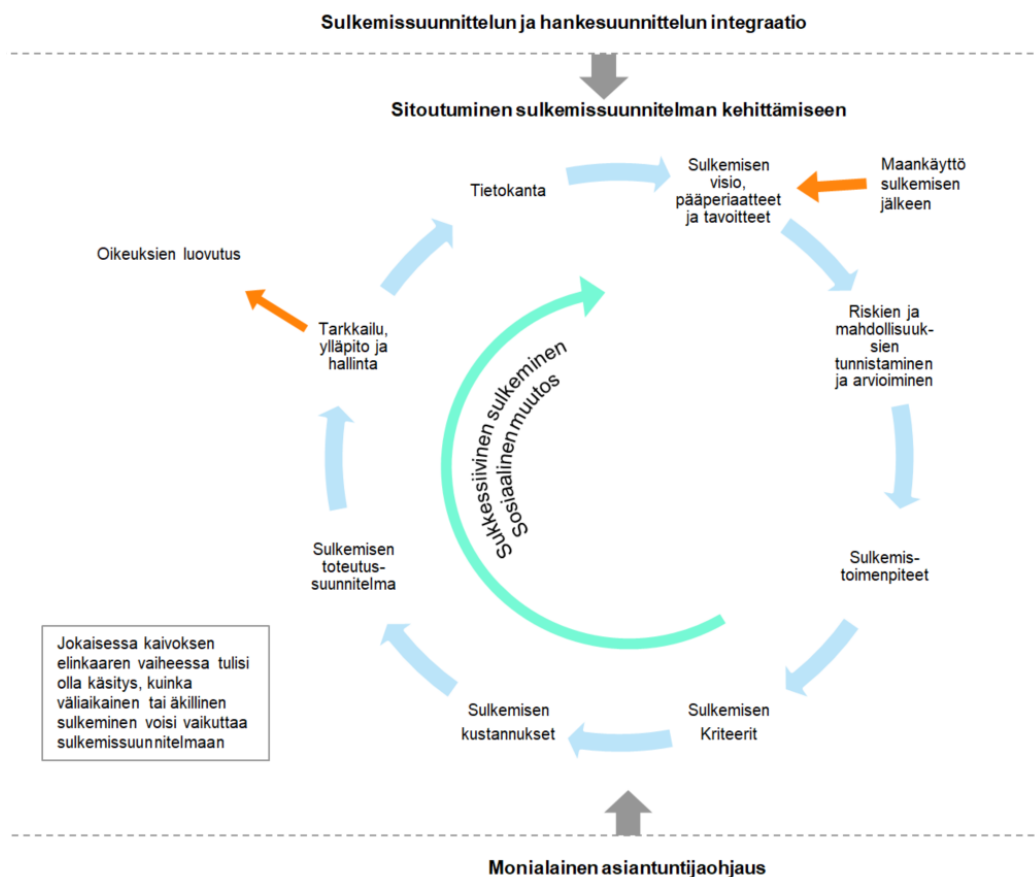
Vaiheittain tarkentuva sulkemissuunnittelu sisältää työvaiheiden toistoja: sulkemistoimenpiteiden suunnitelmia tarkennetaan ja parannetaan aikaisempien suunnittelukierrosten riski- ja vaikutusarvioiden tulosten pohjalta. Pyritään saavuttamaan edellistä suunnittelukierrosta parempi riskien ja vaikutusten hallinta.

Sulkemistratkaisujen on oltava kestäviä ympäristön, turvallisuuden ja talouden kannalta. Sulkemisella on varmistettava paikalle jäävien rakenteiden vakaus pitkällä aikavälillä ja ettei alueesta aiheudu sulkemisen jälkeen haittaa ympäristölle tai ihmisten ja eläinten terveydelle. Sulkemissuunnittelun tavoitteiden on oltava sellaisia, joita vasten kaivoksen sulkemisen jälkeistä tilaa voidaan selkeästi arvioida.

Kaivoksen sulkemissuunnittelun kannalta on oleellista, että kaivoksen sulkemisen jälkeiset ympäristövaikutukset ja jäännösriskit tunnetaan. Jotta sulkemisen jälkeiset vaikutukset ympäristöön saadaan hyväksyttävälle tasolle, sulkemissuunnittelun työvaiheita (erityisesti toimenpidesuunnittelua ja vaikutusarviointia) joudutaan usein toistamaan lukuisia kertoja. Lopulta, sulkemisen aikaisen ja jälkeisen tarkkailun tehtävänä on varmistaa, että tavoitteet todellakin saavutetaan. Sulkemissuunnittelua kuvataankin kehänä, toistojen sarjana ICMM sulkemisoppaassa Integrated Mine Closure: Good Practice Guide (2019).

ICMM:n sulkemisoppaan (2019) mukaan hyvässä sulkemiskäytännössä keskeisessä asemassa ovat sulkemissuunnittelun työstäminen osana kaivosalueen eri

toimintojen suunnittelua ja sitoutuminen sulkemissuunnitelman kehittämiseen. Jo varhain hankesuunnitteluvaiheessa ryhdytään koostamaan kaivosalueesta ympäristöineen aineistoa, joka auttaa ymmärtämään sekä vaikutusalueetta että juuri kyseisessä kohteessa ympäristövaikutuksia sääteleviä tekijöitä. Tietämys kohteen erityispiirteistä (eli ICMM:n 2019 tarkoittama "knowledge base") mahdollistaa sekä sulkemisen tavoiteasettelun että riskien ja mahdollisuuksien tunnistamisen sulkemissuunnittelussa. Kun kaivoksen sulkemiselle on asetettu tavoitteet ja sulkemisen riskit sekä mahdollisuudet on tunnistettu, voidaan tehdä ehdotus sulkemistoimenpiteistä. Tämän jälkeen arvioidaan ennusteena sulkemisen jälkeiset vaikutukset sekä täyttyvätkö sulkemiselle asetetut kriteerit. Näiden työvaiheiden jälkeen voidaan edetä sulkemisen kustannusarviointiin, suunnitella toteutus ja määritellä sulkemisen tavoitteiden ja kriteerien täyttymistä valvova tarkkailu. Sulkemissuunnittelun edetessä työvaiheet toistuvat kehämäisesti, tietämys kohteen erityispiirteistä tarkentuu mahdollistaen entistä yksityiskohtaisemman sulkemissuunnittelun (Kuva 1-2).



Kuva 1-2. Kaivoksen sulkemissuunnittelun kehämäisyys ja elementit ICMM:n (2019) mukaan.

Sulkemissuunnittelun yhteydessä tietämystä kohteen erityispiirteistä lisätään systemaattisesti ja (tieto)puutteita analysoiden. Alueen hydrologiasta ja hydrogeologiasta on oltava perusteellinen käsitys. Maa- ja kallioperä

dokumentoidaan hyvin ja kaivannaisjätteiden pitkäaikaiskäyttäytymisestä tarvitaan luotettavaa tietoa. Kaivosalueen eri osien, kuten sivukivialueiden, tila sulkemisen aikana on arvioitava ja pystyttävä ennustamaan näillä alueilla tapahtuvat muutokset sulkemisen jälkeisissä olosuhteissa pitkällä aikavälillä. Kaivoksen eri toimintojen yhteys toisiinsa ja kaivosalueen vuorovaikutus ympäristönsä kanssa on pystyttävä kuvaamaan eri aikaväleillä. Sulkemissuunnittelussa tuotetaan suuri määrä tietoa, jonka avulla voidaan laskea ja mallintaa haitta-aineiden vapautuminen, pidäytyminen, kulkeutuminen sekä niiden pitoisuudet ja vaikutukset, esimerkiksi vastaanottavassa vesistössä.

Ensimmäinen sulkemistoimenpiteitä koskeva suunnitelmaluonnos perustuu suurpiirteiseen riskien ja vaikutusten tarkasteluun sekä kokemusperäiseen arviointiin niiden hallintakeinoista. Lisäksi suunnitelmaluonnoksen laadinnassa hyödynnetään (Euroopan unionin alueella) myös peittorakenteita koskevia Best Available Technique (BAT)-päätelmiä. Eri tahot käyttävät ensimmäisestä sulkemistoimenpiteitä koskevasta suunnitelmaluonnoksesta eri nimiä: se voi olla esimerkiksi "alustava sulkemisskenaario". Tämä ensimmäinen sulkemisskenaario on kaivosalueen eri osien sulkemistoimenpiteiden yhdistelmä ja toimii ensimmäisen vaikutusarvioinnin ja riskinarvioinnin perustana. Toisin sanoen laaditaan suunnitelmaluonnos sulkemistratkaisusta ja selvitetään, millaisia ympäristövaikutuksia ja jäännösriskejä kaivosalueeseen liittyy, jos se suljetaan tämän suunnitelmaluonnoksen mukaisesti.

Jos sulkemisen jälkeiset vaikutukset tai jäännösriskit eivät ole hyväksyttävissä, palataan sulkemistratkaisun suunnitelmaluonnoksen äärelle ja laaditaan paranneltu versio "sulkemisskenaario 2.0". Uuden sulkemisskenaarion kanssa edetään uudelleen vaikutusten ja riskien arviointiin. Sulkemissuunnittelun uuden kierroksen voi käynnistää myös kaivoksen toiminnassa tapahtuva muutos. Vaikutusten ja riskien arvioinnin merkitystä sulkemissuunnittelussa on käsitelty myös BAT-päätelmässä 5 (EC, 2018) sekä ICMM:n oppaassa Integrated Mine Closure: Good practice guide (2019). Vastaava suunnittelun syklisyys on läsnä myös Anglo Americanin omassa sulkemissuunnitteluohjeistuksessa (kappale 1.2).

Jo ensimmäisen sulkemisskenaarion 1.0 määrittely edellyttää kaivoksen toteuttamistavan lukitsemista kohtuullisella tarkkuudella. Sulkemisskenaarion numeerinen vaikutusarviointi lukuisine mallinnustöineen on varsin mittava ja monivaiheinen työ. Tästä syystä tarkasteltaessa monia vaihtoehtoja, kuten YVA-menettelyssä tehdään, voidaan päätyä määrittelemään sulkemistratkaisut alustavalla tasolla ja tarkastelemaan niiden perusteella kaivosalueen sulkemisen jälkeistä tilaa käsitteellisellä tasolla. Tässä raportissa esitetään Sakatin monimetallikaivoshankkeen alustava sulkemissuunnitelma ja hankevaihtoehtojen sulkemisen tarkastelu käsitteellisellä tasolla.

1.2 Sakatin sulkemissuunnitteluprosessi

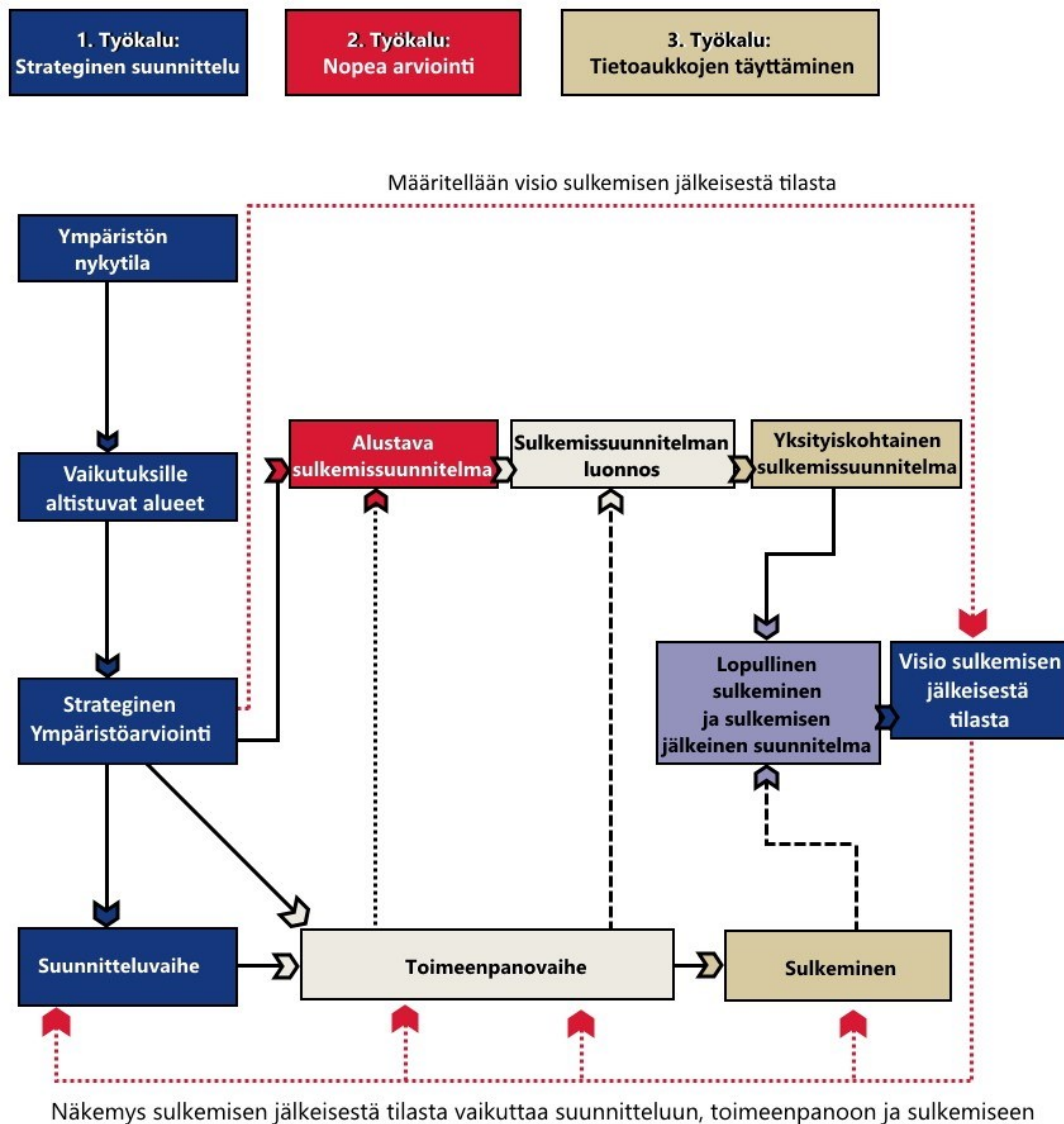
Sakatin sulkemissuunnittelu etenee Anglo Americanin sulkemissuunnittelun "työkalupakin" (Anglo American 2019: Mine Closure Toolbox) ohjeistuksen mukaisesti. Käytettävät sulkemissuunnitteluperiaatteet ja sulkemissuunnittelun nykytila ja eteneminen kuvataan tässä kappaleessa.

1.2.1 Anglo Americanin sulkemissuunnitteluperiaatteet

Anglo Americanilla on käytössä yhtiön oma sulkemisstandardi (Anglo American 2018). Yhtiön lähestymistavassa sulkemissuunnittelu integroidaan tiiviisti kaivoksen elinkaaren eri suunnittelu- ja toimintavaiheisiin. Standardia sovelletaan kussakin kohteessa yhdessä paikallisen lainsäädännön ja ohjeiden kanssa.

Sulkemissuunnittelun työkalupakki (Anglo American 2019) on osa standardia. Se sisältää opastuksen, miten standardin minimivaatimuksiin päästään (Kuva 1-3). Alla esitetään poimintoja Anglo Americanin sulkemissuunnitteluun liittyvistä periaatteista, kaivoksen suunnitteluvaiheen osalta:

- Sulkemissuunnitelman ja kustannusarvion on aina oltava Anglo Americanin Mine Closure Tool Box:n ohjeistuksen mukainen. Sulkemissuunnitelma tarkistetaan vähintään kolmen vuoden välein. Myös vastuunjako varsinaisen sulkemistyön osalta tulee esittää selkeästi.
- Kohteen sulkemisesta laaditaan visio, jota ylläpidetään ja johon liitetään tavoitteet, ml. sulkemisen jälkeinen maankäyttö. Kaivoksen johdon tulee hyväksyä visio ja tukea sen toteutumista.
- Sulkemisen osalta suoritetaan riskinarviointi sekä tarkastellaan epävarmuuksia ja täydentävän tiedon tarvetta. Riskinarviointi ja arvio täydentävän tiedon tarpeesta päivitetään sulkemissuunnitelmaa päivitettäessä. Epävarmuuksia pienennetään niiltä osin, kuin se on käytännössä mahdollista ja merkittäviä riskejä pyritään pienentämään suunnittelun keinoin.
- Sulkemissuunnitelman tulee vastata lainsäädännön vaatimuksia ja sidosryhmille tehtyjä sitoumuksia.
- Sulkemissuunnittelu on pro-aktiivista ja yhdistyy koko kaivoksen toiminnan suunnitteluun, kaivoksen koko elinkaaren ajan.
- Sulkemisen kriteerit tuodaan myös osaksi kaivoksen taloudellista suunnittelua ja ns. LOM ("*life of mine*") -suunnitelmaa.
- Kaivoskohteen taloudellisessa ja LOM-suunnittelussa on mukana ainakin 5-vuotinen jälkihoitosuunnitelma, jolla on tarkasti määritellyt tavoitteet.



Kuva 1-3. Anglo American, The Mine Closure Toolbox -ohjeistuksen periaatekuva. Työ etenee strategisesta suunnittelusta alustavaan arviointiin ja sen jälkeen epävarmuuksien pienentämisen kautta tapahtuvaan suunnitelman tarkentamiseen ja parantamiseen. (Anglo American 2019)

1.2.2 Sakatin sulkemissuunnitteluprosessin nykytila ja eteneminen

Sakatin kaivoshankkeen tämänhetkinen sulkemissuunnitelma käsittää kaikki YVA-selostuksessa tarkasteltavat hankevaihtoehdot. Sulkemissuunnitelmassa on tarkasteltu käsitteellisellä tasolla kunkin hankevaihtoehdon sulkemisen jälkeistä tilaa huomioiden sulkemisen kannalta keskeisimmät kaivoksen toiminnot. Käsitteellisessä tarkastelussa on pyritty määrittelemään erilaiset vuorovaikutukset, joihin kuuluu sekä kaivosalueen sisäisiä vuorovaikutuksia että alueen vuorovaikutuksia ympäristön kanssa. Keskeisimpiä vuorovaikutuksia ovat

veden sataminen tai virtaus kaivoksen eri osiin ja kulkeutuminen niistä pois sekä kaivosalueen eri osien kaasunvaihto ilmakehän kanssa. Lisäksi tarkastellaan käsitteellisesti kaivosalueen yksittäisiä osia, kuten maanalaista kaivosta. Tämä tarkoittaa, että määritellään esimerkiksi, kuinka vesi liikkuu kaivoksessa ja millaisia kemiallisia reaktioita siellä voi tapahtua. Käsitteellisestä tarkastelusta voidaan edetä kaivoksen sulkemisen jälkeisen tilan numeeriseen mallintamiseen. Numeerista mallinnusta ei yleensä pystytä toteuttamaan suuren vaihtoehtomäärän ollessa tarkastelussa. Tässä vaiheessa Sakatin kaivoshankkeessa on jo toteutettu kaivoksen sulkemisen jälkeisen tilan numeerinen mallinnus maanalaiselle kaivokselle, tarvekilouhokselle ja yhdelle rikastushiekka-alueen YVA-vaihtoehtoista. Hankkeen ympäristölupavaiheessa numeerista mallintamista tullaan käyttämään myös haitta-aineiden kulkeutumisreittien tarkastelussa.

Sulkemissuunnittelua on jo toteutettu alustavalla tasolla, yhtiön periaatteiden mukaisesti, integroituna kaivoksen muuhun suunnitteluun. Kaivosalueen eri osien suunnitteluun on soveltuvilta osin sisällytetty myös niiden sulkeminen käsitteellisellä tasolla. Nämä alustavat sulkemiskäsitteelliset ratkaisut pohjautuvat kokemukseräiseen tietämykseen ja nykyaikaiseen käsitykseen parhaasta käyttökelpoisesta tekniikasta. On siis varmistettu, että kaivokseen suunniteltavat eri toiminnot, kuten rikastushiekka-alue ja maanalainen kaivos, ovat suljettavissa vähintään yhdellä, nykyaikaisen käsityksen mukaisesti hyväksyttävällä ja taloudellisesti realistisella tavalla.

Sulkemissuunnittelun seuraavassa työvaiheessa eli ympäristölupavaiheessa hyödynnetään laajasti eri alojen osaamista sekä työmenetelmiä. Tietämystä kohteen erityispiirteistä on kasvatettu ja edelleen kasvatetaan, systemaattisesti, analysoiden puutteita ja pienentäen epävarmuuksia. Ympäristölupavaiheeseen tultaessa tarkastelussa ei ole mukana enää YVA-vaiheen eri vaihtoehtoja toimintojen sijoituspaikoille, prosessiratkaisulle ja rikastushiekan läjitystasalle. Tällöin pystytään etenemään tarkempaan riskien käsittelyyn ja kattavamman vaikutusten numeeriseen arviointiin, mikä puolestaan mahdollistaa myös tähän mennessä suunniteltujen sulkemistoimenpiteiden tarkemman arvioinnin ja tarvittaessa parantamisen. Kaikissa tarkentuissa suunnitteluvaiheissa on siis mahdollista, että lisääntyvä tieto voi johtaa myös yksittäisten sulkemistoimenpiteiden muokkaamiseen tai sulkemisskenaarioiden muokkaamiseen kokonaisuutena. Mikäli ennuste sulkemisen jälkeisistä vaikutuksista ei ole hyväksyttävällä tasolla tai jokin merkittävä jäännösriski on liian suuri, sulkemisskenaario tarkistetaan ja laaditaan tarvittaessa päivitetty skenaario, jolle tehdään jälleen vaikutus- ja riskiarviointi. Tämän jälkeen lasketaan sulkemisen kustannukset ja laaditaan vakuusarvio.

1.2.3 Riskinarvioinnin hyödyntäminen sulkemissuunnittelussa

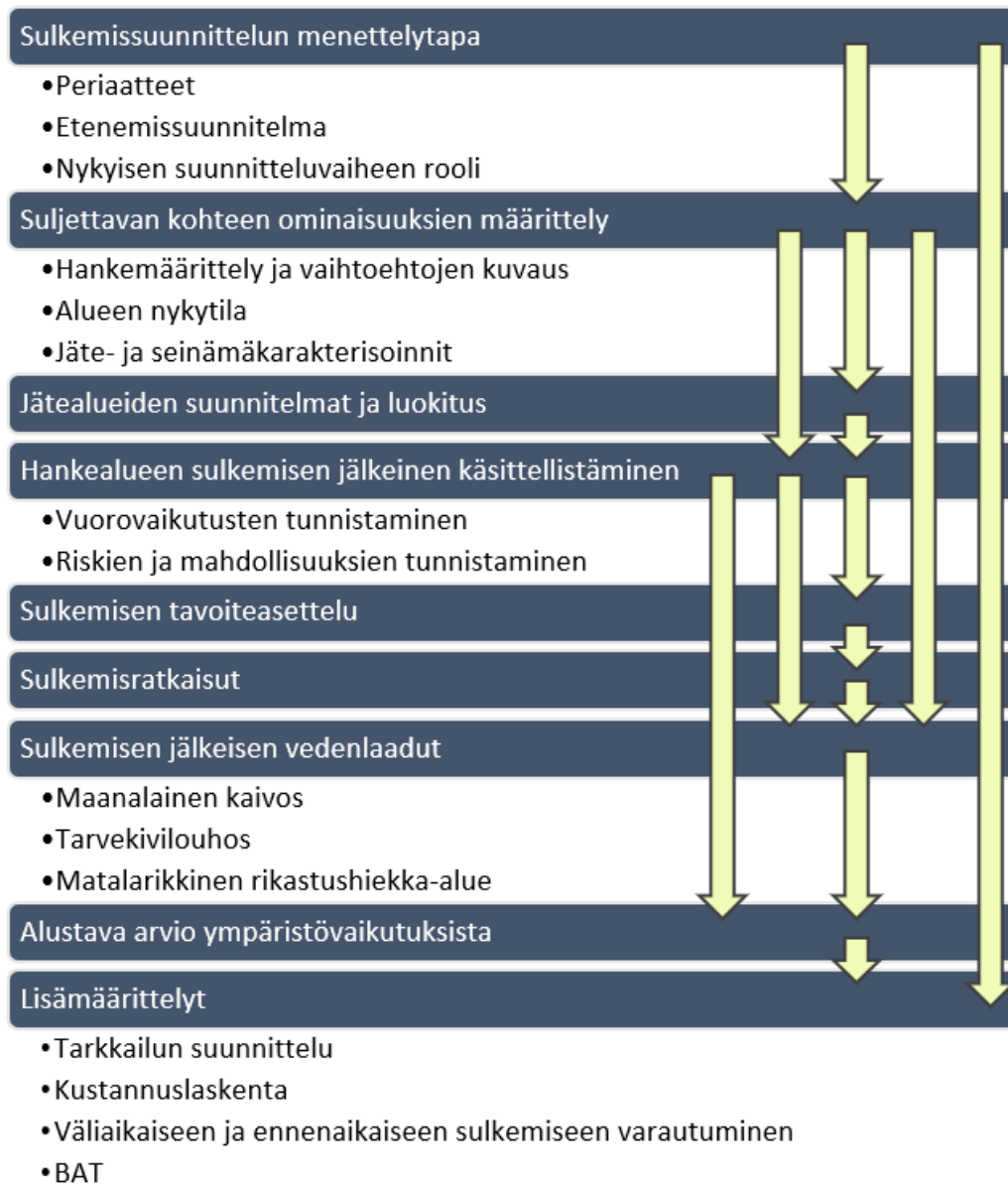
Toistaiseksi Sakatin kaivoksen sulkemissuunnittelussa on suoritettu riskien tunnistaminen, muttei varsinaista riskien arviointia. Sulkemissuunnittelun tulevissa työvaiheissa sovellettava riskinarviointimenetelmä on Mine Closure Toolbox:n mukainen (Anglo American 2019). Menettelyssä tarkastellaan riskejä käytettäessä kaavailtuja riskien pienentämistoimenpiteitä sekä ilman. Riskejä tarkastellaan yleisen käytännön mukaisesti sekä todennäköisyyden että vaikutusten merkittävyyden kannalta. Tarvittaessa myös jäännösriskeille nimetään toimenpide- tai tarkastelutarpeita. Lisäksi suoritetaan tarkastelu koskien kriittisten toimenpiteiden tehoa.

1.3 YVA-vaiheen sulkemissuunnitelman keskeinen sisältö

Tässä kappaleessa kuvataan YVA-vaiheen sulkemissuunnitelman keskeinen sisältö ja toteutustapa. Lisäksi kuvataan riskien tunnistuksessa käytetyt tarkastelun ajanjaksot.

1.3.1 YVA-vaiheen sulkemissuunnitelman sisältö ja työvaiheet

Kappaleissa 1.1 ja 1.2.2 kuvataan sitä, kuinka sulkemissuunnittelua tehdään useina kierroksina ja työ tarkentuu vähitellen. Yksittäisen suunnittelukierroksenkin sisällä on kuitenkin lukuisia peräkkäisiä työvaiheita: yhden työvaiheen lopputulos on jonkin toisen työvaiheen lähtötieto. YVA-vaiheen sulkemissuunnitelman toteutustapa ja tiedon syöttäminen työvaiheesta toiseen esitetään alla kaaviona kuvassa 1-4.



Kuva 1-4. YVA-vaiheen sulkemissuunnitelman rakenne ja tiedon siirtyminen työvaiheesta toiseen.

1.3.2 Sulkemissuunnittelun tarkastelujaksot

Sulkemissuunnittelussa, sisältäen riskien ja sulkemisen jälkeisten vaikutusten tarkastelun, on yleensä käytännöllistä soveltaa erillisiä tarkastelujaksoja, joiden olosuhteet poikkeavat selvästi toisistaan. Sakatin kaivoshankkeen sulkemissuunnitelmassa on käytetty seuraavia tarkastelujaksoja:

- Vaihe 0, "suunnittelu- ja rakentamisvaihe".
 - Keskeiset sulkemistratkaisut luodaan osana kaivoksen suunnittelua.
- Vaihe 1, "aktiivinen toimenpidevaihe" alkaa jo kaivoksen toiminnan aikana. Vaihe päättyy, kun aktiiviset sulkemistoimet on saatu päätökseen ja maanpäälliset rakenteet ovat jokseenkin lopullisessa tilassaan.
 - Vaihe 1 on ensimmäinen aikajakso, johon kohdistuvia riskejä tarkastellaan sulkemissuunnitelmaa laadittaessa.
- Vaihe 2, "keskipitkä aikaväli" alkaa vaiheen 1 päättyessä ja päättyy sen jälkeen, kun maanalainen kaivos tai tarvekilouhos on täyttynyt vedellä.
 - Tämä on toinen aikajakso, johon kohdistuvia riskejä tarkastellaan sulkemissuunnitelmaa laadittaessa.
- Vaihe 3, "pitkä aikaväli" alkaa vaiheen 2 päättyessä ja jatkuu satoja vuosia.
 - Tämä on kolmas aikajakso, johon kohdistuvia riskejä tarkastellaan sulkemissuunnitelmaa laadittaessa.

2 Suunniteltu kaivostoiminta ja hankevaihtoehdot

Tässä kappaleessa kuvataan Sakatin kaivoshankkeen YVA:ssa tarkasteltavat hankevaihtoehdot. Hankevaihtoehtojen osalta luvussa on keskitytty kuvaamaan sulkemisen kannalta merkittävimpiä toimintoja.

2.1 Kaivoksen kuvaus tiivistettynä

Sakatin monimetalliesiintymän päämetallit ovat kupari ja nikkeli. Rikastetutannon on arvioitu olevan yhteensä keskimäärin 250 000 t/v. Kuparin ja nikkelin lisäksi talteen saadaan arvometalleista myös platinaa, palladiumia, kobolttia, kultaa ja hopeaa. 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 kaivoksen elinkaareksi voidaan arvioida yli 20 vuotta.

Louhinta suunnitellaan toteuttavaksi maanalaisena kaivoksena. Rakentamiseen tarvittavaa kiviainesta voidaan louhia myös maanpäällisestä tarvekivilouhoksesta.

2.2 Hankevaihtoehdot YVA:ssa

YVA-selostuksessa arvioidaan kolmea päävaihtoehtoa VE1, VE2 ja VE3, joiden erona on kaivoksen toimintojen sijoittuminen hankealueelle. Lisäksi jokaiseen päävaihtoehtoon kuuluu kaksi alavaihtoehtoa a ja b. Alavaihtoehdot määrittelevät päävaihtoehdon sisällä vinotunnelin toteutustavan, matalarikkisen rikastushiekan läjitystavan sekä kaivoksen yhdystien linjauksen. Alla taulukossa 2-1 on kuvattu vaihtoehtojen keskeisimmät erot. Kartalla (Kuva 2-1) on kuvattu kunkin vaihtoehdon toimintojen sijoittuminen hankealueelle.

Hankkeen toteuttamatta jättämisen vaikutukset arvioidaan omana vaihtoehtonaan, vaihtoehto VE0.

YVA-selostukseen päävaihtoehdoista ja alavaihtoehdoista on muodostettu kaikkiaan seitsemän eri arvioitavaa yhdistelmää (VE0, VE1a, VE1b, VE2a, VE2b, VE3a ja VE3b).

Lisäksi Sakatin kaivoshankkeen YVA-menettelyssä on tarkasteltu varsinaisten hankevaihtoehtojen lisäksi kahta eri rikastusprosessivaihtoehtoa, prosessivaihtoehtoa 1 ja 2.

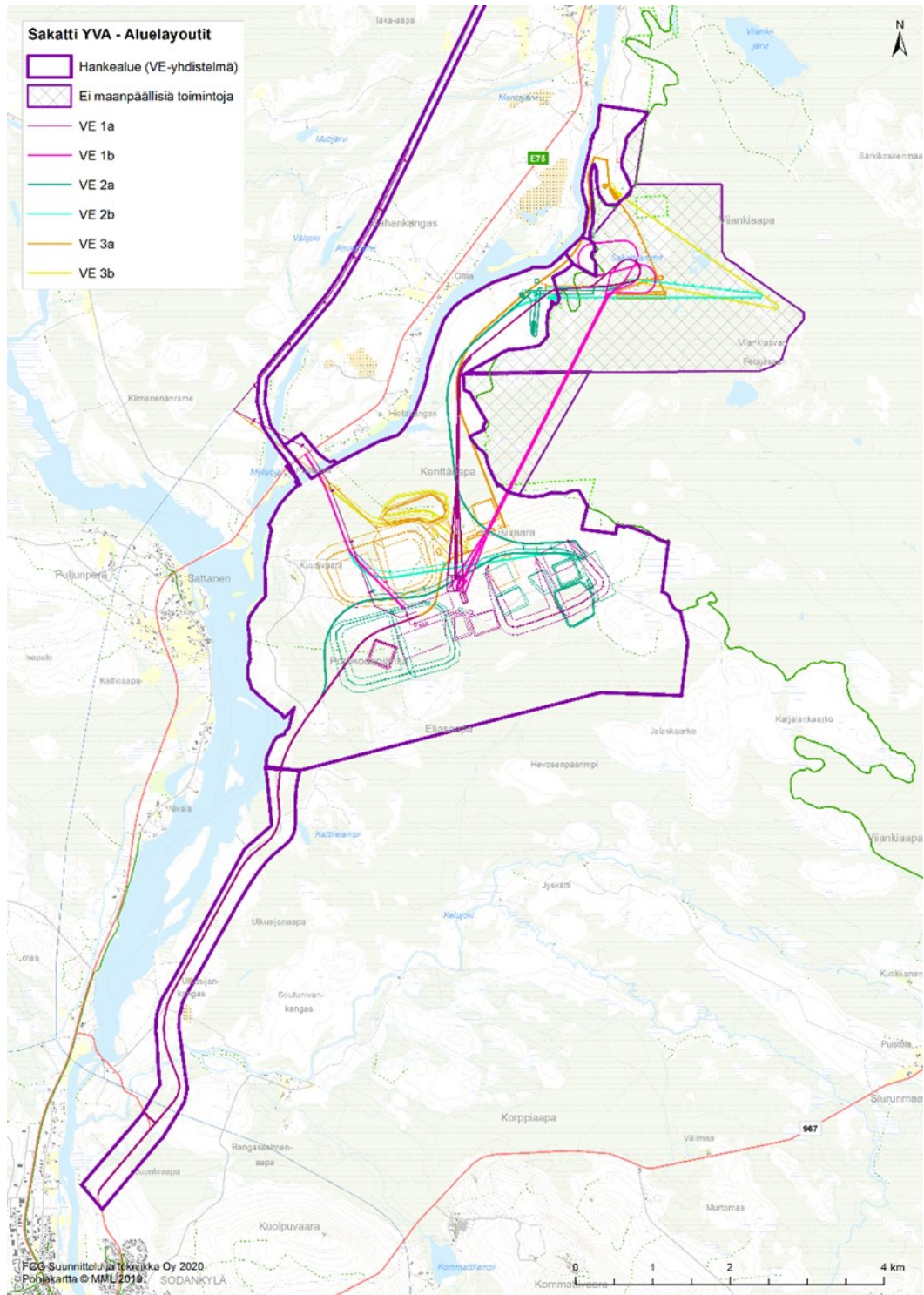
Sulkemissuunnitelmassa hankevaihtoehtoja käsitellään niiltä osin, kuin vaihtoehdoilla on eniten merkitystä sulkemistoimenpiteiden toteuttamiseen tai sulkemisen jälkeisen ajan ympäristövaikutuksiin. Näin ollen sulkemissuunnitelmassa hankevaihtoehdot esiintyvät seuraavilta osin:

- päävaihtoehdot VE1, VE2 ja VE3 rikastushiekka-alueen sijoituspaikkavaihtoehtoina

- matalarikkisen rikastushiekan läjitystapa (alavaihtoehto a kuivaläjitys sekä alavaihtoehto b märkäläjitys) sekä
- prosessivaihtoehdot 1 ja 2 rikastushiekkojen laatuun vaikuttavana tekijänä (ja edelleen rikastushiekasta valmistettavan louhostäytön laatuun vaikuttavana tekijänä)

Taulukko 2-1. Hankevaihtoehdot YVA-selostuksessa.

	VE0	VE1	VE2	VE3
Kaivoksen sisäänkäynti	Ei toteuteta	Läntinen Kuusi-vaara	Pahanlaaksonmaa, esiintymän lounaispuolella	Pahanlaaksonmaa, esiintymän pohjoispuolella
Tehdasalue, altaat ja sijoitusalueet	Ei toteuteta	Läntinen Kuusi-vaara	Itäinen Kuusivaara	Pohjoinen Kuusi-vaara
Pastalaitos	Ei toteuteta	Maanalainen	Pahanlaaksonmaa	Pahanlaaksonmaa
Rikastushiekka-alueiden sijainti	Ei toteuteta	Itäinen Kuusi-vaara	Läntinen Kuusi-vaara	Läntinen Kuusi-vaara
Malmin maanpäällinen kuljetin	Ei toteuteta	Malmi maan pinnalle Kuusivaarassa, lyhyt hihnakuuljetin	Hihnakuuljetin Pahanlaaksonmaa – Kuusivaara	Hihnakuuljetin Pahanlaaksonmaa – Kuusivaara
Maanalaisen vinotunnelin toteutustapa	Ei toteuteta	Suoravintunneli	Alavaihtoehto a: Spiraalivintunneli (edellyttää nostokuilun ja -tornin) Alavaihtoehto b: Mutkavintunneli	
Rikastushiekan läjitystapa	Ei toteuteta	Alavaihtoehto a: Rikastushiekka läjitetään kuivaläjityksenä Alavaihtoehto b: Rikastushiekka läjitetään märkäläjityksenä		
Yhdystie ja silta	Ei toteuteta	Alavaihtoehto a: Eteläinen yhdystievaihtoehto: uusi yhdystie välille Kelukoski–Kuusivaara sekä uusi silta vt 5:n uuden linjauksen mukaisesti Alavaihtoehto b: Pohjoinen yhdystievaihtoehto: uusi yhdystie välille vt 4–Kuusivaara sekä uusi silta Kitisen yli Kitisen ja Sattasen yhtymäkohdasta pohjoiseen		



Kuva 2-1. Hankealueen rajausta ja YVA-selostuksessa arvioitavat hankevaihtoehdot Sakatin maanpäällisten toimintojen sijoittumiselle, yhdysteille ja vinotunnelin sijainnille. Kuvassa esitetään vain sulkemissuunnittelun osalta oleelliset toiminnot.

3 Alueen nykytila, tiivistelmä

Tässä luvussa kuvataan alueen ja ympäristön nykytilaa, johon suunniteltu Sakatin kaivoshanke sijoittuu. Nykytilat on kuvattu tarkemmin hanketta koskevassa YVA-selostuksessa sekä sen täydennysasiakirjassa ja tässä ne esitetään tiivistettynä.

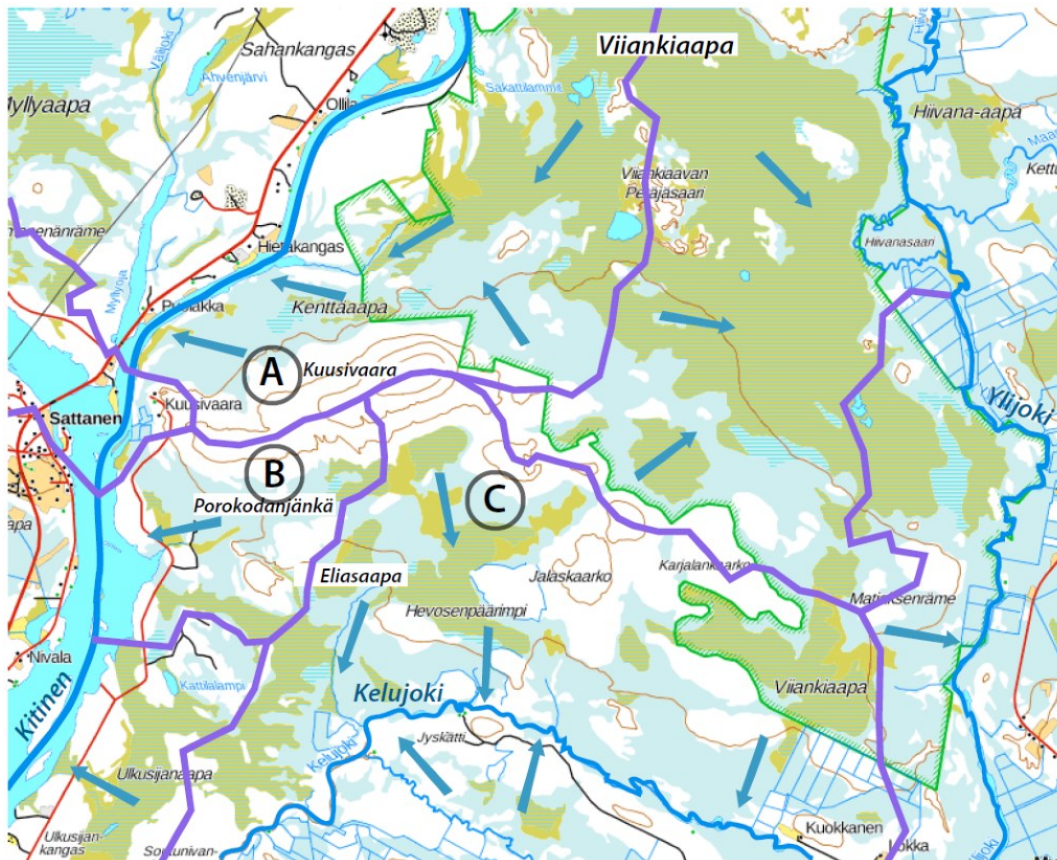
3.1 Vesistöt

Suunniteltu kaivosalue sijaitsee Kemijoen (65) vesistöalueella, Kitisen keski-osan Kersilön valuma-alueella (65.821). Kaivos Hankkeen läheisyydessä sijaitsevat vedet ovat pääosin virtavesiä. Järvien pinta-ala on suurimmillaan muutamia satoja hehtaareja. Suurimmat järvet ovat Viiankiaavan pohjoispuolella sijaitsevat Iso Moskujärvi eli Kotijärvi (234 ha), Pikku Moskujärvi eli Alajärvi tai Vähä Moskujärvi (88,5 ha), Viiankijärvi (45 ha) sekä Kotajärvi (13 ha).

Kaivoksen toiminnan aikana puhdistetut ylijäämavedet on suunniteltu johdettavan Kitiseen, joka on voimakkaasti säännöstelty joki. Kitisessä on seitsemän voimalaitosta. Lokan ja Porttipahdan tekojärvien säännöstely vaikuttaa joen virtaamiin. Esimerkiksi talviaikana tehty juoksutukset kohottavat virtaamia talvikuukausien luontaisia virtaamia suuremmiksi. Toisaalta tulvavirtaamat eivät kohoa poikkeusolosuhteita lukuun ottamatta erityisen korkeiksi.

Alueen virtavesistöjen ekologinen tila on pääosin luokiteltu ”hyväksi” ja Kitiseen länsipuolelta laskevan Ala-Postojoen tila on luokittelun perusteella ”erinomainen”. Pintavesien virtaus on alueella pääosin suovesien liikettä, mutta vesistöjen lähellä virtausta tapahtuu merkittävästi myös luonnonojissa.

Viiankiaavan länsiosassa pintavesien virtaus suuntautuu länteen kohti Kitistä Kuusivaaran pohjoispuolelta. Tämä valuma-alue purkautuu Sakattiojaan (Kuva 3-1). Vaihtoehdoissa VE2a, VE2b, VE3a ja VE3b kaivoksen sisäänkäynti ja tarvekilouhos sijoittuisivat tälle valuma-alueelle. Viiankiaavan itäosasta pintavesien virtaus suuntautuu itään kohti Ylijokea. Kuusivaaran pohjoispuolella virtaus suuntautuu Kenttäävaaran kautta kohti Kitistä. Vaihtoehdoissa VE3a ja VE3b matalarikkinen rikastushiekka-alue sijaitsee tällä puolella Kuusivaaraa. Kuusivaaran eteläpuolella vaaran itäisessä päässä pintavesien virtaus suuntautuu Hevosennäpärin ja Eliasaavan kautta kohti Kelujokea ja suoalueen luoteisosassa Porokodanjängän kautta Kitiseen (Kuva 3-1). Matalarikkinen rikastushiekka-alue sijaitsee tällä alueella vaihtoehdoissa VE1a ja VE1b. Kuusivaaran läntiseltä etelälaidalta valumasuunta on Porokodanjängän kautta Kitiseen. Matalarikkinen rikastushiekka-alue sijoittuu tälle valuma-alueelle vaihtoehdoissa VE2a ja VE2b. Vaihtoehdoissa VE1a ja VE1b maanalaisen kaivoksen sisäänkäynti sijaitsee Kuusivaarassa osavaluma-alueiden rajalla. Kaivoksen sulkemisen jälkeen kaikissa tarkasteltavissa vaihtoehdoissa maan päälle jäävä jätealue on rikastushiekka-alue, joka suljetaan toiminnan päättyttyä. Muut kaivostoimintaan liittyvät rakenteet ja jätteiden sijoitusalueet puretaan pois.

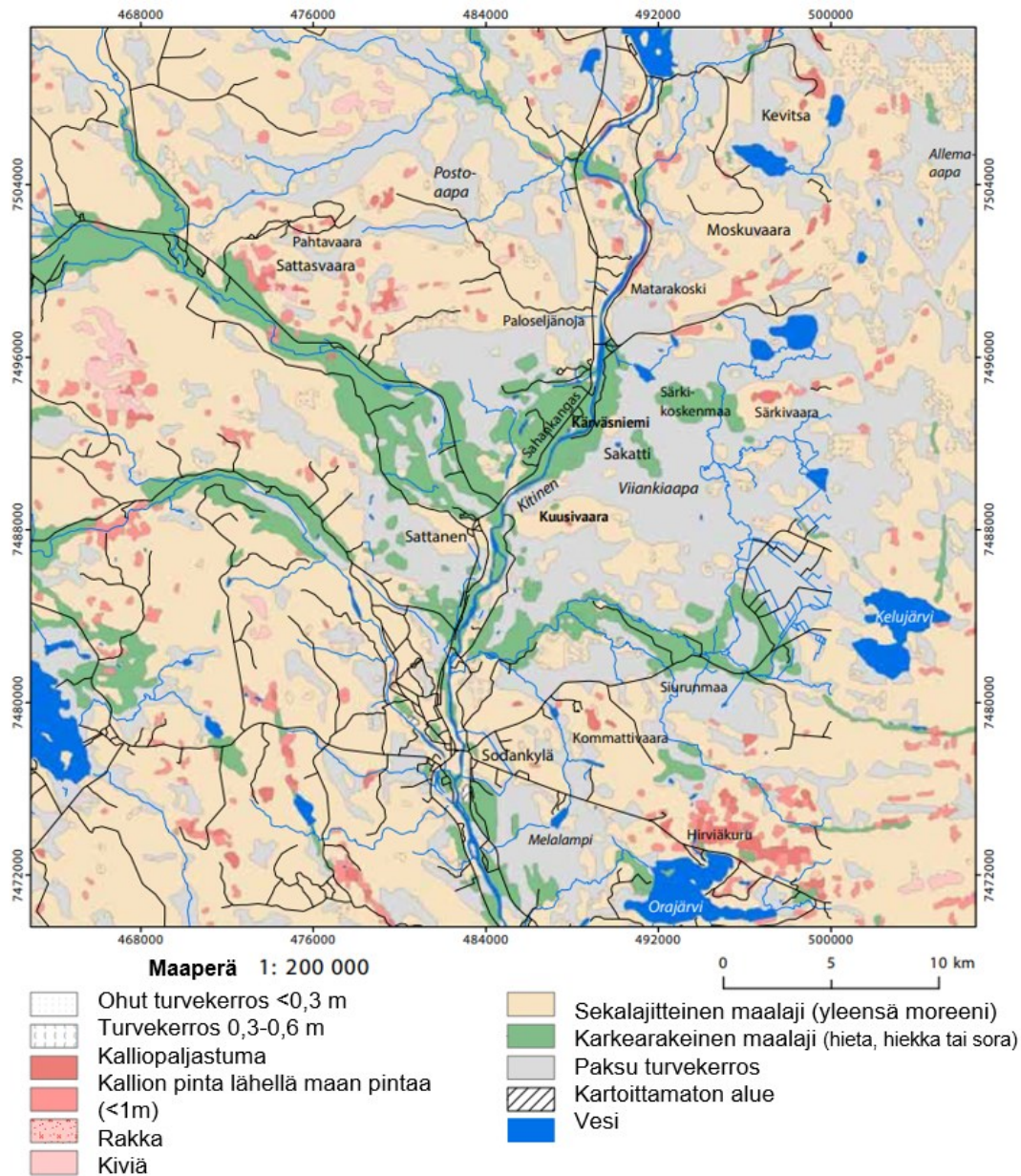


Kuva 3-1. Valuma-aluejakauma kuvaa sekä pintavesien että pinnanläheisten pohjavesien liikesuuntaa (kuva: Salonen ym. 2018). Kaavaillut kaivoksen toiminnot sijoittuvat valuma-alueille, jotka ovat merkitty kirjaimin A, B ja C.

Pintavesien ja pinnanläheisten pohjavesien virtausta alueella käsitellään myös kappaleessa 7, jossa kuvataan käsitteellisesti kaivosalueen sulkemisen jälkeistä tilaa ja jälkihoidettavan kohteen vuorovaikutussuhde ympäristöönsä.

3.2 Maa- ja kallioperä

Kiteistä kallioperää peittävät maakerrokset koostuvat kvartäärikauden jäätikkösyntyisistä kerroksista (moreeni), jokien kerrostamista lajittuneista kerrostumista (hiekkä, sora) ja tuulen kerrostamista maalajeista. Painanteissa ja alavilla alueilla esiintyy turvetta. Ote maaperäkartasta esitetään alla (Kuva 3-2).



Kuva 3-2. Sakatin alueen maaperä (Salonen 2019a GTK:n maaperäaineiston pohjalta).

Moreenien kokonaispaksuus on keskimäärin 3,8 m (Salonen 2019). Moreeni on pääsääntöisesti jaettavissa kahteen eri kerrokseen. Alempi kerros on tiivistä, suhteellisen silttipitoista ja hieman savea sisältävää. Ylempi kerros on löyhempää, hiekkaista ja vain vähän silttiä ja savea sisältävää. Jokien kerrostamat maalajit ovat hyvin lajittuneita ja niiden hienoainespitoisuus on vähäinen. Niitä tavataan sekä moreenikerrostuman päällä että paikoin moreenikerrosten välissä. Viiankiaavan kehitys liittyy kiinteästi jääkauden loppuvaiheen tapahtumiin ja suon alla sijaitsee joen muinaisten uomien verkosto.

Sakatin esiintymät kuuluvat Keski-Lapin vihreäkivi-vyöhykkeeseen. Vyöhykkeellä on myös muita merkittäviä mineraaliesiintymiä, kuten Kittilän kultakaivos ja Kevitsan monimetallikaivos. Sakatin mineralisaatiossa on useita eri malmityyppejä: massiivinen, juonimainen ja pirotteinen. Isäntäkivenä ja esiintymän ympärillä tavataan mm. oliviiniperidotiittia, afaniittia, mafisia vulkaniittejä, gabroa ja breksiaa.

Kallioperän pintaosa on hyvin rapautunutta, ns. rapakalliota. Vyöhykkeen paksuus vaihtelee ja se on paksuimmillaan siirrosvyöhykkeiden tuntumassa. Kallioperässä on pystyasentoisia siirroksia, jotka läpäisevät esiintymän luodekaakko-suunnassa. Lisäksi alueella on pohjaruhjeeksi kutsuttu, esiintymän alapuolella sijaitseva, pohjoiseen ja länteen kallistuva siirros.

3.3 Pohjavesi

Sakatin hankealueella ja sen lähiympäristössä pohjavettä muodostuu erityisesti moreeni- ja hiekkapeitteisillä alueilla suoalueen keskellä ja reunoilla. Pohjavesivirtausten kannalta erityisen tärkeitä ovat muinaisen Kitisen uoma- ja särkkäkerrostumat, jotka ulottuvat pitkälle Viiankiaavalle ja jatkuvat turvekerrostumien alla. Automaattisen pohjaveden pinnankorkeuden mittauksen avulla on todettu, että Viiankiaavan keskellä turpeessa pohjaveden luontainen vuotuinen korkeusvaihtelu on suurimmillaan 50 cm suuruusluokassa (Åberg ym. 2019). Reunempana vaihtelu on suurempaa, sora- ja hiekkamailla vaihtelu on 50–100 cm ja moreenissa jopa 200 cm suuruista (Itasca Denver Inc. 2023). Avonevat ovat kautta vuoden varsin vetisiä, eikä pintavesien virtausta juuri tapahdu kevättulvan ja jatkuvampien rankkasateiden ajanjakson ulkopuolella. Pohjaturpeen heikon vedenjohtavuuden vuoksi suon vesi on orsiveden kaltaista. Viiankiaavalla korkean veden vaihe liittyy pitkälti kevään sulamiskauteen, joka esitetään osana laajempaa selvitystä Viiankiaavan hydrogeologiaan vaikuttavista tekijöistä (Salonen 2020).

Viiankiaavan hankealueella olevalla osalla pohjaveden virtaussuunnat ovat pääsääntöisesti idästä länteen ja suurelta osin samankaltaisia pintavesien virtauksen kanssa (Åberg ym. 2019, Itasca Denver Inc. 2023). Vedenjakajien sijainti on esitetty pintavesikuvauksen yhteydessä (Kuva 3-1). Myös Viiankiaavan suo-
jelalueen pinta- ja pohjavedet jakautuvat useampaan eri osa-alueeseen. Viiankiaavan Natura-alueella ja sen ympäristössä pohjaveden purkautumiseen kuuluu kausivaihtelua, erityisesti sulamisvesien nostamiin vedenpintoihin liittyen (Salonen 2019). Pohjavettä purkautuu myös ympärivuotisesti lähteistä tai hetteiköistä.

Maakerrosten alapuolella on rikkonainen kallio, jossa vedenjohtavuus on selvästi syvempää kallioperää suurempi (SRK Consulting Ltd. 2019a). AASM Oy:n kairauksissa tavattu savinen rapauma hidastaa veden virtausta (Åberg ym. 2022). Ehjässä kalliossa vesi ei liiku. Pystysuuntaisten rakojen vedenjohtokyky on melko alhainen, kaivoksen alapuolelle jäävässä pohjaruhjeessa

merkittävämpi. Veden laatujen perusteella pohjaruhjeen vesi ei juurikaan ole vuorovaikutuksessa rapautuneen kallion pohjaveden kanssa. Viiankiaavan alueella alempi, suhteellisen tiivis moreenikerros erottaa laajalti ylimpiä maaperäkerroksia kallioperän ruhjeisesta yläosasta. Moreenikerros ei ole kuitenkaan täysin yhtenäinen ja paikoin ruhjeinen kallioperä on kontaktissa myös lajittuneiden sedimenttien kanssa.

Alueella ei ole laajoja toisiinsa yhteydessä olevia yhtenäisiä pohjavesivarastoja, vaan pohjavesimuodostumat ovat toisistaan erillisiä ja pieniä (Åberg ym. 2017). Maaperän ja kallioperän koostumukset vaikuttavat pohjaveden koostumukseen. Alhainen happipitoisuus korreloi usein korkeampien pitoisuuksien kanssa. Matala kalliopohjavesi edustaa valtaosin tyypillistä Ca-Mg-HCO₃-tyypin pohjavettä, jonka metallien pitoisuudet ovat alhaisempia tai samaa suuruusluokkaa kuin turpeen huokosvedessä tai maaperän pohjavedessä. Syvä kalliopohjavesi on suolaisempaa kuin matala, edustaen murtovettä. Muutamassa kohdassa yli 800 m syvyydestä on mitattu hyvin suolaisia vesiä (> 10 g/l).

3.4 Kasvillisuus ja eläimistö

Viiankiaapa sijaitsee pohjoisboreaalisella aapasuovyöhykkeellä ja tarkemmin määriteltynä se kuuluu Perä-Pohjolan aapasoihin. Viiankiaavan alue on erittäin monimuotoinen suoluontotyyppien muodostama kokonaisuus. Natura-alue käsittää samalla valuma-alueella sijaitsevan hydrologisesti yhtenäisen kokonaisuuden. Natura-alueen lisäksi alueella esiintyy avosoita, puustoisempia kosteikkoja, lettoja ja lähteisiä suoympäristöjä. Osalla kosteikoista on tehty ojituksia liittyen niittämiseen.

Kitisen joenrantavyöhykkeellä esiintyy laajoja kangasmaakuvioita sekä kosteikkoalueita. Metsäalueet käsittävät sekä kuivahkoa mäntymetsää että tuoreempia kuusi-sekapuukankaita. Suojelualueen ulkopuolella metsät ovat pääosin metsätalouden käytössä. Lisäksi ranta-alueella esiintyy lehtoja ja lehtomaisia kankaita.

Alueen luontokartoituksissa on löydetty useita arvokkaita luontotyyppejä ja luonnon monimuotoisuuden kannalta merkittäviä kohteita. Näihin lukeutuvat lammet, lähteet, lehtokuviot ja rehevät korvet. Hankealueella on myös metsälain mukaisia kohteita Natura-alueen ulkopuolella.

Hankealueella esiintyvistä putkilokasveista laaksoarho, neidonkenkä, lapinleikki ja lettorikko kuuluvat EU:n luontodirektiivin liitteen II ja IV b lajistoon. Sammallajistosta kiiltosirppisammal, isonuijasammal ja lapinsirppisammal lukeutuvat EU:n luontodirektiivin liitteen II lajistoon. (FCG 2020)

Linnuista hankealueella esiintyy lintudirektiivi I:n lajeista metso, kaakkuri, liro ja kurki. Lisäksi alueella on tavattu kolme erityisesti suojeltavaa lintulajia. Nämä lajit ovat lainsäädännöllisesti rinnastettavissa Euroopan unionin

luontodirektiivin liitteen IV lajeihin. Lajien esiintymiseen liittyvät tiedot ovat salaisia. (FCG 2020)

Direktiivilajeihin lukeutuvista eläinlajeista hankealueella on tavattu jättiläiskeltä ja kirjojokikorento (EU direktiivin liitteet II ja IV), saukko ja pohjanharmoyökkönen (liite II) sekä viitasammakko (liite 4). (FCG 2020)

Edellä mainittujen direktiivilajien lisäksi hankealueella esiintyy muiden suoje-luohjelmien nojalla suojeltuja lajeja.

3.5 Elinkeinot ja asutus

3.5.1 Asutus ja työllisyys

Suunniteltu kaivos sijoittuu Lapin maakuntaan, Sodankylän kuntakeskuksesta valtatietä 4 pitkin noin 15 km koilliseen. Sodankylässä asuu noin 8 800 asu-kasta. Sodankylän kunta on monitaajamainen. Kunnan asukkaista pääosa asuu kirkonkylällä tai sen lähialueella. Suurimmat kylät ovat Sattanen, Vuotso ja Vaalajärvi (Sodankylän kunta 2018).

Hankealueen läheisyydessä on pääasiassa nauhamaista maaseutuasutusta, joka sijoittuu valtatie 4 varrelle. Asutusta on keskittynyt myös hankealueen läheisyydessä sijoittuville kylämaisille alueille Kersilöön, Sattaseen ja Mosku-vaaraan (Pöyry Finland Oy 2018). Työpaikat jakautuivat aloittain siten, että eniten työpaikkoja tarjoaa palveluala, toiseksi eniten jalostus ja kolmantena on alkutuotanto. Sodankylässä toimii useita kaivostoiminnan ja louhinnan toimi-alalle keskittyneitä yrityksiä.

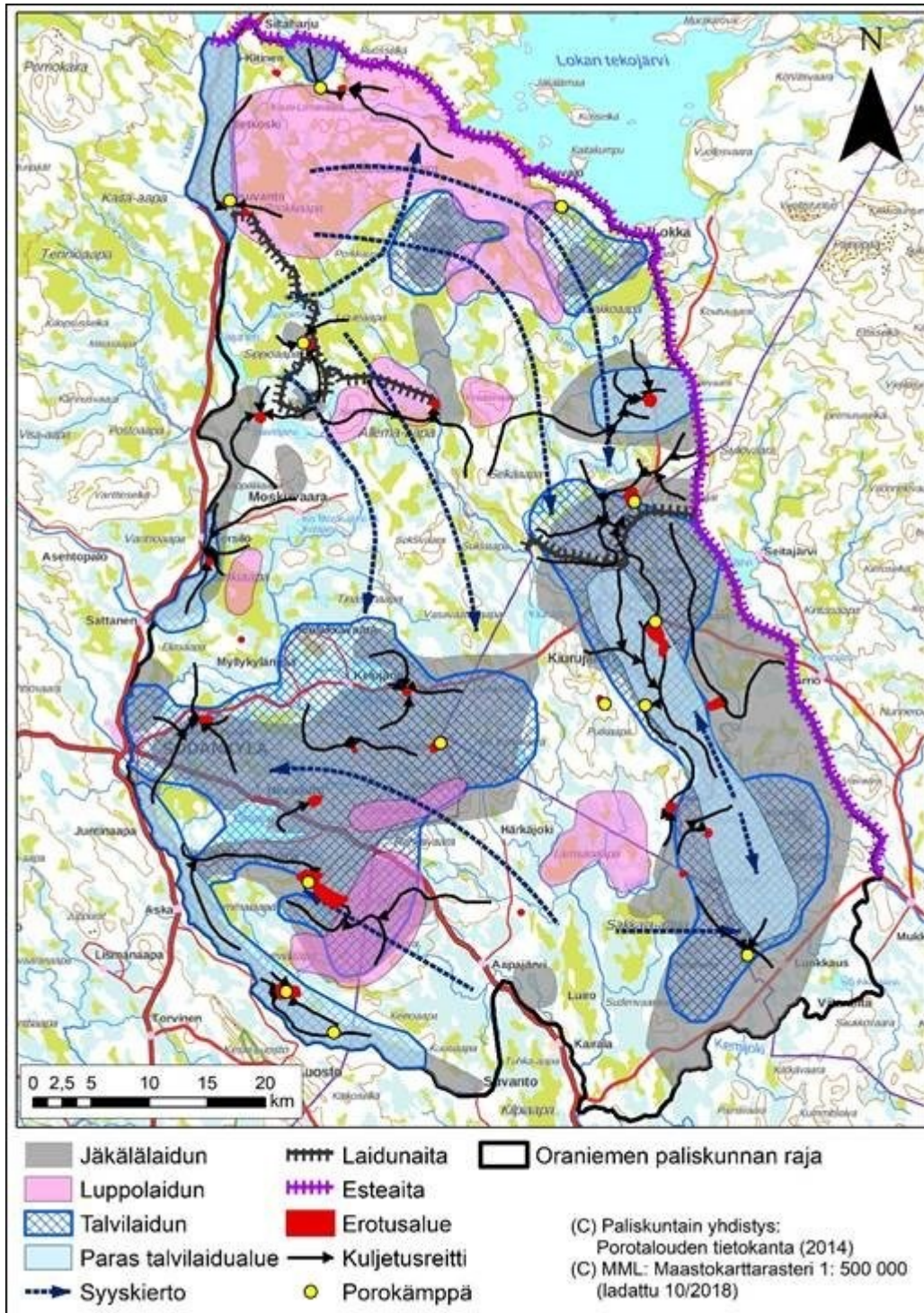
3.5.2 Poronhoito

Sodankylän kunnan alueelle kokonaan sijoittuvia paliskuntia ovat Lappi, Sattasniemi ja Syväjärvi. Suurin osa Oraniemen paliskunnasta sekä pienemmät osat Kemin-Sompion ja Pyhä-Kallion paliskunnista sijoittuvat myös Sodankylän kunnan alueelle. Suunniteltu Sakatin kaivos ja sen infrastruktuuri tehdasaluei-neen sijoittuu Oraniemen paliskunnan alueelle. YVA:n pohjoisessa yhdys-tievaihtoehdossa (VE1b, VE2b ja VE3b) hankkeen silta- ja tieyhteydet ovat Sattasniemen paliskunnan puolella, joten mm. liikenteen muodossa toiminta vai-kuttaa myös Sattasniemen paliskuntaan. Alue kuuluu poronhoitolaissa määrit-tyy erityisesti poronhoitoa varten tarkoitettuun alueeseen. Alueella olevaa maata ei saa käyttää siten, että siitä aiheutuu huomattavaa haittaa poronhoi-dolle (PHL 2§).

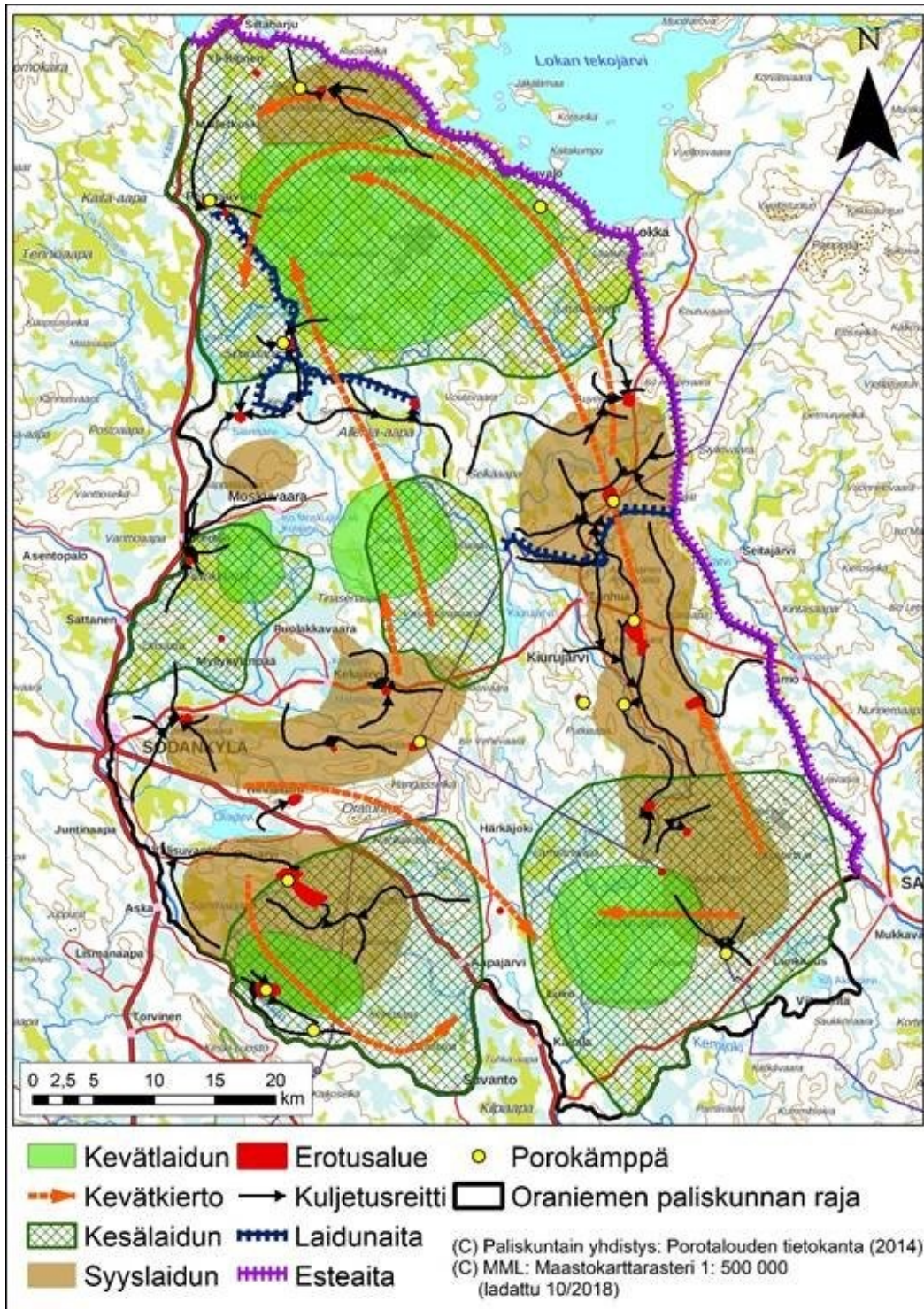
Oraniemen paliskunnan alue sijoittuu Sodankylän ja Savukosken kuntiin. Palis-kunnan kokonaispinta-ala on 4 085 km² ja se rajautuu etelässä Kemijokeen ja Kitiseen, länsireunalta Kitiseen, pohjoisessa Porttipahdan patoon ja Lokan al-taan eteläpuolelle ja itäraja kulkee Lokan, Seitajärven, Värriön ja Savukosken kylien kautta.

Oraniemen paliskunnassa poronomistajille poronhoitohistorian ja poronhoitokulttuurin merkitys on suuri. Paliskunnassa on kuusi tokkakuntaa, joihin jakautumista linjaavat toiminta-alueen joet ja kylät sekä Koitelaistunturi. Tokkakuntien välillä ei ole kiinteitä raja-aitoja. Porojen laidunkierto noudattaa pääosin vallitsevaa tokkakuntarakennetta. Laidunkiertoalueet esitetään karttakuvissa (kuvat 3-3 ja 3-4).

Sattasniemen paliskunta sijoittuu Sodankylän kuntaan. Paliskunnan kokonaispinta-ala on 2413 km² ja se rajautuu pohjoisessa Porttipahdan altaaseen ja itäreunalta Kitiseen. Sattasen paliskunnassa poronhoitohistoria on pitkä ja poronhoitokulttuurin sosiaalinen merkitys on suuri. Laidunkiertoalueet esitetään karttakuvissa (kuvat 3-5 ja 3-6).

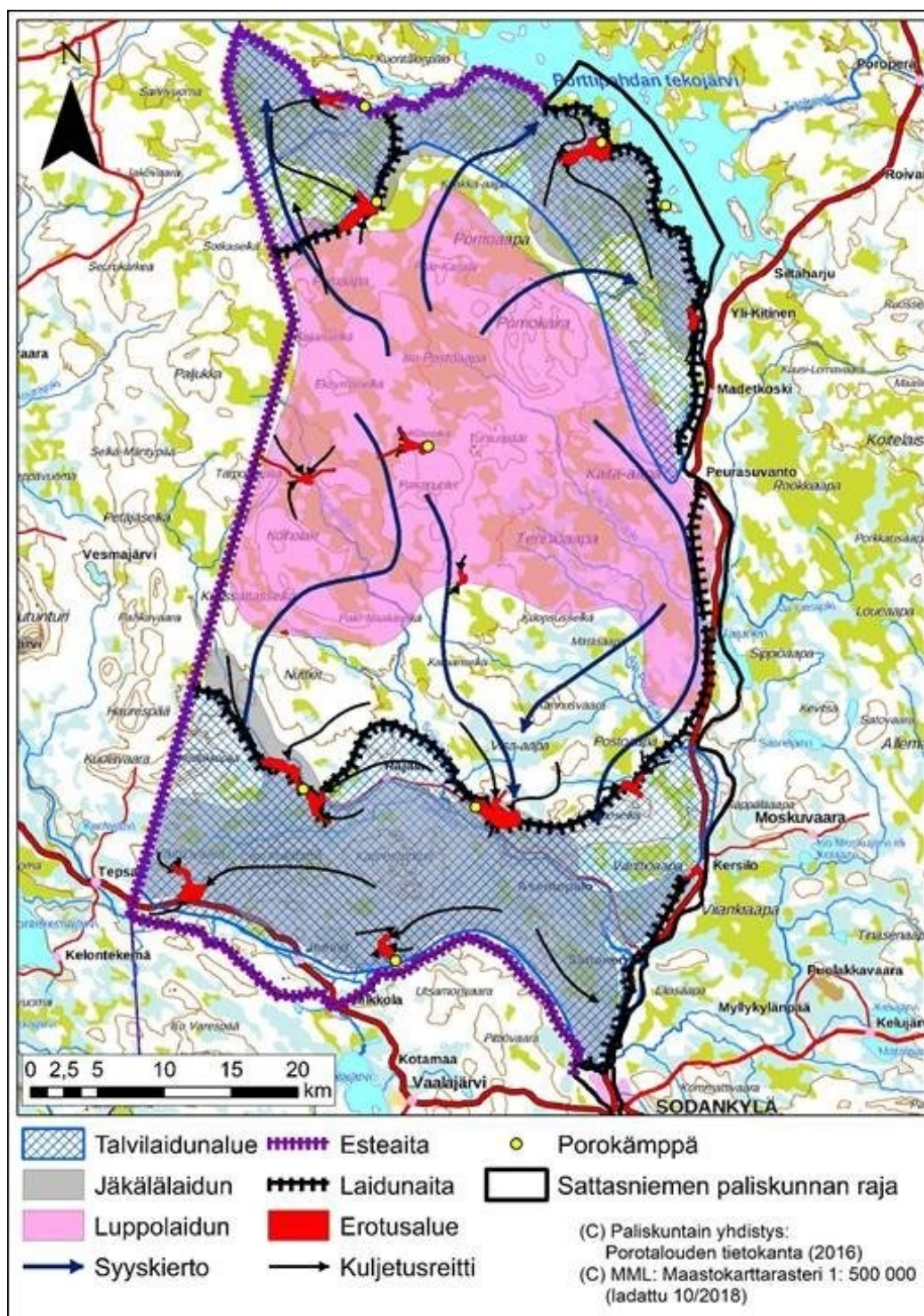


Kuva 3-3. Oraniemen paliskunnan porolaitumet ja rakenteet talvikaudella (FCG/UEF 2020).

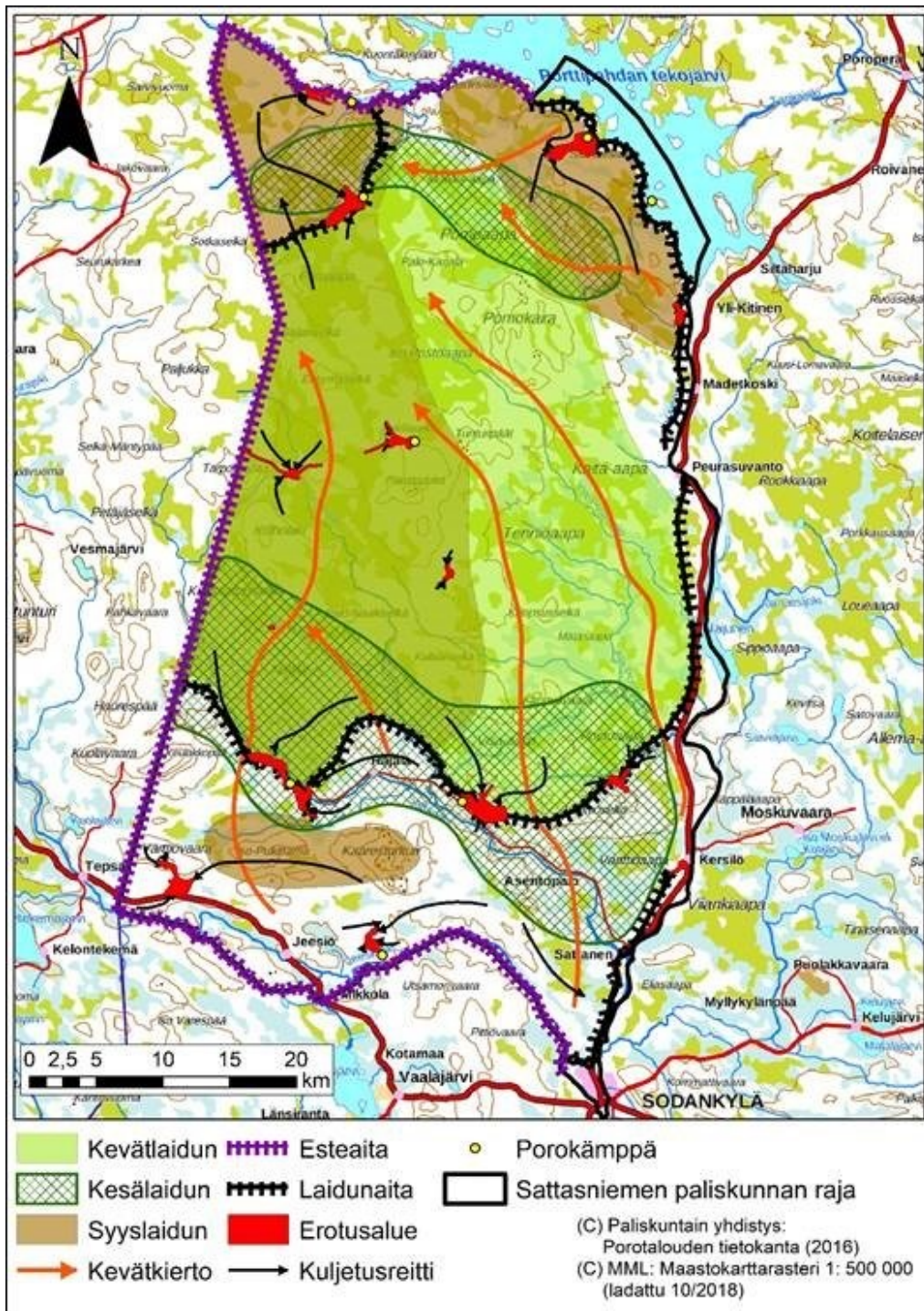


Kuva 3-4. Oraniemen paliskunnan kevät-, kesä- ja syyskauden laitumet, sekä kevätkierto ja poronhoidon rakenteet (FCG/UEF 2020).

Suunniteltu Sakatin kaivosalue on kesälaidun ja poronkulkupaikka, kuten Kiti-sen joenvarsi yleisemminkin. Kesälaitumena Viiankiaavan uskotaan lähtökoh-
taisesti säilyvän ja toimivan, talviaikana laiduntaminen siellä ei todennäköisesti
ole poroille mahdollista ilman merkittävää talviruokintaa. Tällä hetkellä palis-
kunnassa on tarharuokintaa. Talviruokinta jakautuu pienemmille alueille, kui-
tenkin osa poroista on irrallaan. Hankealue sijoittuu pääosin yhden yksittäisen
poronhoitajan alueille. Viiankiaavalla on yksi tokka ympäri vuoden. (FCG/UEF
2020)



Kuva 3-5. Sattasniemen paliskunnan laidunalueet ja poronhoidon rakenteet talvikaudella (FCG/UEF 2020).



Kuva 3-6. Sattasniemen paliskunnan kesä-syyskauden laidunalueet ja poronhoidon rakenteet (FCG/UEF 2020).

3.6 Maisema ja kulttuuriympäristö

Sodankylän ympäristö sijoittuu maisemamaakuntajaossa Peräpohjola-Lapin maisemakuntaan ja edelleen Aapa-Lapin seutuun (Ympäristöministeriö 1993).

Maisemamaakuntajakoa on edelleen tarkennettu valtakunnallisesti ja maakunnallisesti arvokkaiden maisema-alueiden päivitys- ja täydennysinventoinneissa 2011–2013 (Muhonen & Savolainen 2013). Alue kuuluu Aapa-Lapin soihin ja metsäkairoihin ja alueelle tyypillisten avoimien aapasoiden ja asumattomien metsäkairojen yllä kohoa yksittäisinä muodostumina tai pieninä ryhminä vaa-roja ja yksittäisiä tuntureita (FCG 2020). Hankealueen läheisyydessä ei sijaitse valtakunnallisesti eikä maakunnallisesti arvokkaita maisema-alueita.

Lähin valtakunnallisesti merkittävä rakennetun kulttuuriympäristön kohde, Puolakkavaaran asutuskylä (RKY 4285), sijaitsee noin 7 km hankealueesta itään, Paarnitsa-aavan turvetuotantoalueen pohjoispuolella. Puolakkavaara on ”myöhäisiä 1960-luvulla perustettuja asutuskylä, jonka rakenne viivasuoran tien varressa sekä tyypitaloihin perustuva rakennuskanta ovat hyvin säily-neitä”. (Museovirasto 2009)

Kitisen länsirannalla on muutamia kulttuurihistoriallisesti merkittäviä kohteita. Sodankylän pohjoispuolinen rakennuskanta Kitisen varrella on vanhimmillaan peräisin vuodelta 1946, mutta kohteet ovat hajallaan eivätkä muodosta arvokkaita aluekokonaisuuksia. Seudulla on myös valtatie 4 edeltäjänä pidetty historiallinen kulkureitti Ruijanpolku (myös Ruijanreitti, RKY 5235). Ruijanpolun alkupiste oli Sodankylän Rieston kylältä alkanut reitti Kemijoelta aina Jäämelle saakka. Rieston kylä on jäänyt 1960-luvun lopulla Lokan tekojärven alle, mutta 35 kilometrin osuus reitistä Sodankylän Sompiojärven ja Laanilan välillä on merkitty entiselle paikalleen 2000-luvulla (Metsähallitus, luontoon.fi-palvelu).

Hankealueella ja sen läheisyydessä sijaitsee useita kiinteitä muinaisjäännöksiä, joista osa sijaitsee hankealueen sisällä. Lisäksi hankealueella tai sen läheisyydessä on havaittu muita tunnettuja tai mahdollisia kulttuuriperintökohteita: mm. Viiankivuopajan niittyladon jäännökset, Venekivenrannan venevajan jäännökset ja Pikku Moskujärven ladon jäännös. Museoviraston kartoituksissa havaittiin lisäksi Kuusivaaran itärinteellä erikoinen kivipaasi, joka muistuttaa Lapissa uhripaikkoina käytettyjä seitakiviä. Inventoinnin yhteydessä tehdyissä koepistoissa viitteitä uhraamisesta ei kuitenkaan löydetty. (FGC 2020)

3.7 Ilmasto ja ilmanlaatu

Meteorologinen havaintoaineisto on haettu Ilmatieteen laitoksen tietokannoista Sodankylän Tähtelän sääasemalta. Haettu aineisto sisältää vuorokausisadan sekä vuorokauden keskilämpötilan aikavälille 1961–2020 (Ilmatieteen laitos, 2020).

3.7.1 Sadanta ja lämpötila

Ilmatieteenlaitoksen aineistoa Sodankylän Tähtelän sääasemalta on käsitelty määrittämällä haetusta aineistosta kuukauden keskilämpötila (°C) ja

sadekertymä (mm) aikaväleille 1961–2020 (60 vuotta) ja 1991–2020 (30 vuotta). Kuukauden keskilämpötila (°C) ja sadekertymä (mm) lasketaan kyseisen kuukauden vuorokausiarvoista. Kuukauden keskilämpötila on keskiarvo vuorokausien keskilämpötiloista ja sadesumma on vuorokausimäärien summa.

Kuukausikeskiarvoista on laskettu edelleen vuosisadanta kuukausisadantien sadesummana ja lämpötilan vuosikeskiarvo kuukauden keskilämpötilojen keskiarvoina.

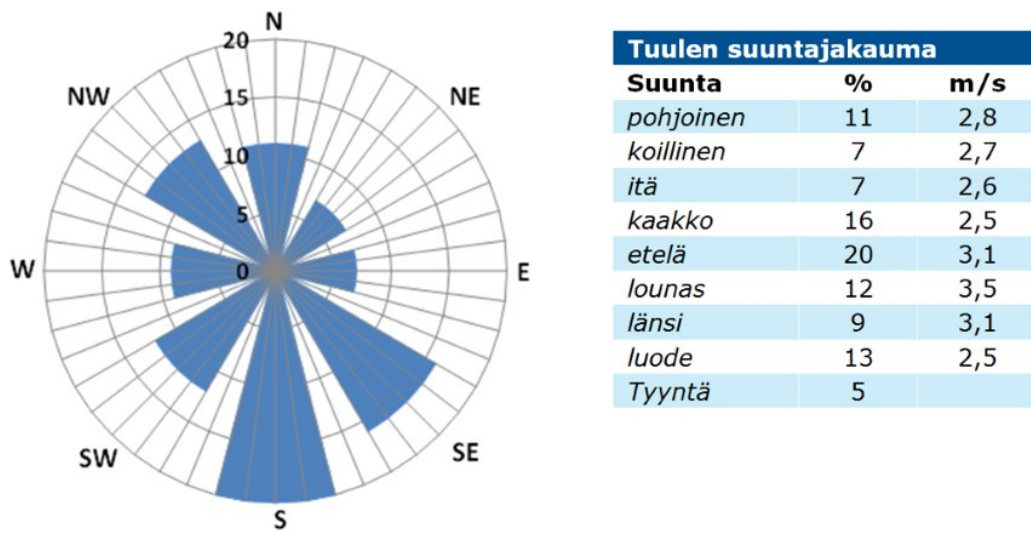
Vuosisadantojen sadesummien keskiarvo on aikavälillä 1961–2020 ollut 521 mm/vuosi. Viimeisen kolmenkymmenen vuoden (1991–2020) eli nykyisen ilmaston vuosisadantojen sadesummien keskiarvo on ollut 543 mm/vuosi. Vuoden keskilämpötila on aikavälillä 1961–2020 ollut -0,3°C ja vuosina 1991–2020 vastaavasti +0,4°C. Lasketut kuukauden sadesummat sekä kuukauden keskilämpötila-arvot on esitetty taulukossa 3-1.

Taulukko 3-1. Sodankylän sääasema, lasketut kuukauden sadesummat ja kuukauden keskilämpötilat aikaväleille 1961–2020 ja 1991–2020. (Ilmatieteen laitos, 2020)

	Sadanta [mm] 1961–2020	Sadanta [mm] 1991–2020	Lämpötila [°C] 1961–2020	Lämpötila [°C] 1991–2020
Tammi	33	36	-13,8	-12,5
Helmi	28	31	-12,8	-12,1
Maalis	28	30	-7,8	-7,1
Huhti	28	32	-1,5	-0,8
Touko	37	40	5,3	5,6
Kesä	58	61	11,7	11,9
Heinä	70	76	14,6	15,0
Elo	59	56	11,8	12,4
Syys	54	52	6,4	7,0
Loka	49	47	-0,1	0,0
Marras	41	42	-6,6	-5,8
Joulu	36	41	-11,3	-9,6
Summa	521	543	-	-
Keskiarvo	-	-	- 0,3	+0,4

3.7.2 Tuuliolosuhteet

Vallitseva tuulensuunta alueella on etelä, jonka osuus tuulen suuntajakaumassa on 20 %. Tuulen keskinopeus on 2,7 m/s. Täysin tyyntä alueella on keskimäärin 5 % ajasta. Tuulen suuntajakauma on esitetty tarkemmin alla kuvassa



Kuva 3-7. Vallitsevat tuulensuunnat ja -nopeudet, Sodankylä, Tähtelä, 1981–2010 (Ilmatieteen laitos).

3.7.3 Ilman laatu

Sodankylän ja Lapin ilmanlaatu on mittausten perusteella määritetty yleensä tasolle ”hyvä”. Suurin ongelma on alailmakehän otsonin ajoittaiset korkeat pitoisuudet. Lähin kohde, jossa otsonipitoisuuksia mitataan, sijaitsee Sodankylän Tähtelässä. Alailmakehän otsoni on kaukana päästölähteistä sijaitsevien puhtaiden tausta-alueiden ongelma, sillä otsonia kuluu tyypillisesti reaktioissa muiden ilmansaasteiden kanssa. Otsonipitoisuudet vaihtelevat voimakkaasti vuositasolla sääoloista riippuen (FCG, 2020).

Sodankylän alueella ei sijaitse ilmanlaatuun merkittävästi vaikuttavia lupavollisia teollisuus- tai energiantuotantolaitoksia, joten ilmansaasteet päätyvät alueelle pääasiassa kaukokulkeumana. Vähäisiä paikallisia ilmapäästöjä aiheuttaa hankealueelle valtatie 4 liikenteestä. Muita paikallisia ilmapäästöjä aiheuttavia lähteitä ovat hankealueesta noin 15 km pohjoiseen sijaitseva Kevitsan kaivos sekä Sodankylän taajama-alue noin 15 km etäisyydellä etelässä. 10 kilometriä hankealueesta kaakkoon sijaitsee Paarnitsa-aavan turvetuotantoalue.

Hankealueen läheisyydessä on mitattu säännöllisesti pölylaskeuman nykytilannetta vuosien 2016–2018 aikana 20 eri mittauspisteestä (Ahma Ympäristö, 2016-2018). Mittauspisteet ulottuvat noin 20 kilometrin säteelle Viiankiaavalta. Pölylaskeuman mittauksia on analysoitu noin kuukauden välein elokuusta 2016 lähtien. Pölymittauksia on jatkettu 2021-2022 keskittyen Kuusivaaran ympäristöön. Mittauksia on 12 mittauspisteestä. Mittausraportti ei ole vielä valmistunut tätä sulkemissuunnitelmaraporttia laadittaessa. Laskeumasta on määritetty pölyn kiintoainepitoisuus ja haihdutusjäännös sekä hehkutusjäännös kiintoaineesta ja suodoksesta. Tuloksista on laskettu pölyn kiintoainelaskeuma (alle 45 µm hiukkaset), epäorgaaninen laskeuma ja orgaaninen laskeuma.

Lisäksi tammikuussa 2017 pöylaskeumasta on analysoitu alkuainepitoisuuksia alumiinin, arseenin, boorin, bariumin, berylliumin, kadmiumin, koboltin, kromin, kuparin, raudan, elohopean, mangaanin, molybdeenin, nikkelin, lyijyn, antimonin, seleenin, tinan, strontiumin, talliumin, uraanin, vanadiinin ja sinkin osalta.

Mittauksissa saadut laskeuma-arvot epäorgaanisen laskeuman osalta olivat yhtä pistettä lukuun ottamatta alle 1 g/m²/kk. Kaikkien mittausten keskiarvo oli noin 0,2 g/m²/kk. Poikkeava piste sijaitsee 5 km Kevitsan kaivoksesta länteen. Kiintoainelaskeumalla ei ole raja- tai ohjearvoja, mutta viihtyvyyshaitan rajana on käytetty arvoa 10 g/m²/kk.

3.8 Maankäyttö ja kaavoitus

Alueella on voimassa Pohjois-Lapin maakuntakaava (Valtioneuvoston vahvistus 27.12.2007, lainvoimaisuus 28.1.2008). Hankealue sijoittuu maakuntakaavassa maa- ja metsätalousvaltaiselle alueelle (M4519) sekä Viiankiaavan suojelualueelle (SL 4313). Maa- ja metsätalousalueen kaavamääräys kuuluu: "Merkinnällä osoitetaan pääasiassa maa- ja metsätaloustalouteen tarkoitettuja alueita, joita voidaan käyttää pääasiallista käyttötarkoitusta sanottavasti haittaamatta ja luonnetta muuttamatta myös muihin tarkoituksiin". Suojelualueen kaavamääräys vastaavasti: "Merkinnällä osoitetaan luonnonsuojelulain nojalla suojeltuja tai suojeltavaksi tarkoitettuja alueita".

Hankealue sijoittuu maakuntakaavan todennäköiselle mineraalivarantoalueelle, joka on merkitty ek-1 merkinnällä. Hankealue sijoittuu myös erityisesti poronhoitoa varten tarkoitettulle alueelle. Määräyksen mukaan alueella olevaa valtion maata ei saa käyttää sillä tavoin, että siitä aiheutuu huomattavaa haittaa poronhoidolle. Valtion maan luovuttaminen tai vuokraaminen saa tapahtua vain sillä ehdolla, että maanomistajalla tai vuokramiehellä ei ole oikeutta saada korvausta porojen aiheuttamasta vahingosta (Poronhoitolain 2.2 §:n mukaan).

Pohjois-Lapin maakuntakaavan 2040 on vireillä, samoin Sakatin vaihemaakuntakaava. Hankealueen eteläpuoliskolla on voimassa Kelujärvi-Rajala osayleiskaava, joka on hyväksytty Sodankylän kunnanvaltuustossa vuonna 2009. Se kattaa Sattasen kyläalueen ja Kitisen rantavyöhykkeen, Kelujärvi-Puolakka-vaara-Siurunmaan, Sattasjoki-Rajalan, Jeesiöjoen ja Ala-Postojoen. Hankealue sijoittuu kaavassa pääosin maa- ja metsätalousvaltaiselle alueelle (M). Viiankiaavan suojelu- ja Natura-alue on merkitty kaavaan. Kaavaan on myös merkitty mm. suojeltujen ja silmälläpidettävien kasvien tai eläinlajien esiintymisalueet ja luonnon monimuotoisuuden kannalta erityisen tärkeät alueet. Lähi-alueen yleiskaavoja ei tarkemmin käsitellä tässä.

4 Kaivannaisjätteiden ja kaivoksen seinämäkivien karakterisointi

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. Lisäksi karakterisoinnissa tuotetaan lähtötieto osakohteiden vesien laadun arviointiin.

Tässä kappaleessa esitetään tiivistelmänä keskeisiä karakterisointitietoja. Laajempi tarkastelu esitetään kaivannaisjätteitä käsittelevässä raportissa (AFRY Finland Oy 2023).

4.1 Karakterisointien laajuus

Karakterisointimenetelmät on kuvattu kaivannaisjätteitä käsittelevässä raportissa (AFRY Finland Oy 2023). Raportissa on käsitelty myös näytteenoton laajuus ja edustavuus. Yhteenveto geokemiallisesta tutkimuksesta esitetään alla (Taulukko 4-1).

Taulukko 4-1. Geokemialliset karakterisointimenetelmät matriiseittain.

Menetelmä	Matriisi			
	Pinta- maat	Sivukivet	Rikastushiekat, prosessivaihtoehto 1	Rikastushiekat, prosessivaihtoehto 2
Mineraloginen tutkimus		X	X	X
Kuningasvesiuutto	X	X		
Nelihappouutto			X	X
ABA-testi		X	X	X
NAG-testi		X	X	X
NAG-testin uutteen alkuaineanalyysi		X	X	X
1-vaiheinen ravistelutesti			X	
2-vaiheinen ravistelutesti	X	X		X
Kosteuskammiokoe		X	X	X
Monoliitin uuttokoe			X	X
Prosessiveden analyysi			(x)*	X
Prosessiveden rikastusmikaalijäämien analyysi			(x)*	X
Dekanttiveden analyysi			(x)*	X

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

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. Lisäksi on sovellettu muita riskien ja ympäristövaikutusten hallinnan kannalta tarvittavia tutkimuksia.

Kaivannaisjätteen fysikaalisista ominaisuuksista keskeisin selvitettävä asia on materiaalin raekoko. Raekokoanalyysijä on suoritettu rikastushiekalle ja maaperänäytteille kuivaseulontana, pesuseulontana ja hydrometrianalyysinä. Rakentamisessa käytettävälle maa-ainekselle sekä rakennettavien alueiden pohjamaalle on tehty myös erilaisia geoteknisiä selvityksiä.

4.2 Pintamaan ominaisuudet

Alueen maaperä on monimuotoista sisältäen sekä lajittuneita kerroksia että moreeneja. Monin paikoin hankealueita peittää myös turve. Geologian tutkimuskeskuksen ylläpitämästä TAPIR-taustapitoisuuksien tietokannasta on tehty poiminta 15 km säteellä Sakatin esiintymästä. Poimittu tieto sisälsi keskeisten moreenissa esiintyvien alkuaineiden taustapitoisuudet sekä PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) mukaiset kynnysarvot kullekin metallille (Taulukko 4-2). Taustapitoisuudet on määritetty moreenista kuningasvesiuutolla (<https://gtkdata.gtk.fi/Tapir/pages/sstp.html>). Alueilla, joilla taustapitoisuus on kynnysarvoa korkeampi, pysyvän jätteen määrittelyssä sovelletaan alkuainepitoisuuksien osalta taustapitoisuutta, kynnysarvon sijaan. Sakatin lähialueiden moreenissa on luontaisesti kynnysarvot ylittäviä pitoisuuksia arseenia, kobolttia, kromia, nikkeliä ja vanadiinia. Kuusivaaran alueen osalta on laadittu tarkempi selvitys (Puumalainen 2021) maaperän kemiallisista ominaisuuksista. Aineisto kattaa koekuoppien maa- ja kallioperäkairausnäytteiden analyysitiedot (Taulukko 4-3).

Taulukko 4-2. Moreenin kuningasvesiliukoiset taustapitoisuudet Sakatin alueella (GTK – TAPIR tietokanta, 2020). Oranssilla merkityt pitoisuudet ylittävät Vna 214/2007 mukaisen kynnysarvon.

Alkuaine		yksikkö	N	keskiarvo	mediaani	maksimi	SSTP*	Kynnysarvo
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
Elohopea	Hg	mg/kg	55	0,01	0,01	0,03	0,027	0,5
Kadmium	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

Alkuaine		yk-sikkö	N	kes-kiarvo	medi-aani	mak-simi	SSTP*	Kynnys-arvo
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	-
Palladium	Pd	mg/kg	51	0	0	0	0,0003	-
Platina	Pt	mg/kg	51	0	0	0,01	0,0025	-

*) Suurin sallittu taustapitoisuus laskettuna 25. ja 75. persentiilien avulla:

$SSTP = \text{suurimmat suositellut taustapitoisuudet} = P_{75} + 1,5 \times (P_{75} - P_{25})$. SSTP-arvon laskenta perustuu SFS-ISO-standardiin 19258.

Taulukko 4-3. Koekuoppa- ja maakairausnäytteiden analyysi, keskiarvo- ja mediaanipitoisuudet (Puumalainen 2021). Suluissa olevat kromi- ja nikkelpitoisuudet ovat Kuusivaaran alueen suurimmat suositellut taustapitoisuudet (GTK, Taustapitoisuusrekisteri TAPIR, otteen nouto: Puumalainen 2021).

Keskiarvo, pitoisuudet	Kynnys-arvo (VNa 214/2007):	2	5	0.5	1	20	100	100	60	50	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
Silttimoreeni	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	Kynnys-arvo (VNa 214/2007):	2	5	0.5	1	20	100	100	60	50	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
Silttimoreeni	4	0,05	1,11	0,01	0,02	26,3	148,5	67,3	2,9	86,1	57,2	65,7

Keskiarvo, pitoisuudet	Kynnys- arvo (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
Rapautunut pintakallio	8	0,06	3,37	0	0,03	42,7	152,3	209,8	2,2	123,3	66,4	165

4.3 Sivukivien ja kaivoksen seinämäkivien ominaisuudet

Pääsääntöisesti samoja kivilajeja esiintyy sekä sivukivenä että maanalaiseen kaivoksen louhittujen tilojen seinämäkivinä. Sivukivilajien määräsuhteisiin vaikuttavat jossain määrin kaivoksen vinotunnelivaihtoehdot. Näitä eroja on kuvattu tarkemmin kaivannaisjätteiden karakterisointia ja vesien laatua koskevassa raportissa (AFRY Finland Oy 2023). Samassa raportissa käsitellään myös näytteenoton edustavuus.

4.3.1 Kivilajit ja mineralogia

Kaivoksen louhinnassa muodostuu kahdenlaista sivukiveä: korkearikkistä sekä matalarikkistä. Sakatin esiintymän 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 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 vulkanoklastisia kivilajeja, mafisen sarjan kivilajeja, serpentiniittia ja vähäisessä määrin massiivisulfidia, jota esiintyy kaivoksen seinämissä, ei varsinaisena sivukivenä (SRK Consulting Ltd. 2017). Pääsääntöisesti samoja kivilajeja kuitenkin esiintyy sekä sivukivenä että kaivoksen seinämäkivinä. Sivukivilajien määräsuhteisiin vaikuttavat jossain määrin kaivoksen vinotunnelivaihtoehdot. Näytteenoton edustavuutta ja vinotunnelivaihtojen välisiä eroja on kuvattu tarkemmin kaivannaisjätteiden karakterisointia ja vesien laatua koskevassa raportissa (AFRY Finland Oy 2023).

Sakatin malmin ja sivukivien osalta on tarkasteltu myös alkuaineiden jakaantumista eri mineraalien kesken. Kupari esiintyy pääsääntöisesti kuparikiisussa, 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

harvinaisempaan nikkelimineraalina tavataan polydymiittiä. Nämä ovat kaikki sulfidimineraaleja. Pienissä määrin nikkeliä esiintyy myös tavallisissa rautasulfideissa, kuten magneettikiisussa ja rikkikiisussa. Nikkeliä esiintyy myös joissakin Sakatin silikaattimineraaleissa. Esimerkiksi serpentiinissä nikkeliä on jopa 2800 mg/kg ja oliviinissa 2400 mg/kg. Myös esimerkiksi talkissa, kloriittissa ja krysotiilissa on yli 1000 mg/kg nikkelpitoisuuksia.

4.3.2 Sivukivien ja kaivoksen seinämäkivien geokemialliset ominaisuudet

Sivukiven alkuainepitoisuudet tutkittiin kuningasvesiuuttoliuoksesta (Taulukko 4-4). Osana kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013) mukaista luokittelua pysyväksi jätteeksi, pitoisuuksia verrataan PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) kynnysarvoihin tai alueellisiin taustapitoisuuksiin. PIMA-asetuksen ylempiä ja alempia ohjearvoja käytetään taulukossa vain viitteellisinä suuruusluokan kuvaajina. Niillä ei ole merkitystä kaivannaisjätteen luokittelussa. Kaikkien sivukivilajien nikkelpitoisuus ylitti valtioneuvoston asetuksen 214/2007 kynnysarvon 50 mg/kg. Myös koboltin, kromin ja kuparin pitoisuudet ylittivät yleisesti kynnysarvot. Katto puolen vulkanoklastisissa kivissä ainoastaan nikkelpitoisuus ylitti kynnysarvon, muiden tarkasteltavien metallien ja metalloidien pitoisuudet olivat alle kynnysarvon. Vanadiinipitoisuuksista kynnysarvo 100 mg/kg ylittyi ainoastaan serpentiinissä, mutta mafisen sarjan ja massiivisulfidin keskimääräiset pitoisuudet ovat lähellä kynnysarvoa.

Taulukko 4-4. 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	N	Arseeni (As)	Kadmium (Cd)	Koboltti (Co)	Kromi (Cr)	Kupari (Cu)	Elohopea (Hg)	Nikkeli (Ni)	Lyijy (Pb)	Antimoni (Sb)	Vanadiini (V)	Sinkki (Zn)
Kivilaji		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
Breksia	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
Jalka-puolen mafiset	2	0,21	0,14	46,3	1290	2325	<0,005	512	6,28	<0,01	74,6	31,8
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
Serpenti-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

Kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013) mukaisessa luokittelussa pysyväksi jätteeksi tarkastellaan alkuainepitoisuuksien lisäksi myös sekä sulfidisen rikin määrää että neutralointipotentiaalisuhdetta eli neutralointikyvyn ja hapontuotokyvyn 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 kokonaispitoisuudet ovat yleensä 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; NPR>3) ABA-testin perusteella. Afaniitti-, gabro- ja kattopuolen (esiintymän yläpuolen) vulkanoklastiset näytteet olivat joko ei-happoa tuottavia (NAF) tai hapontuotokyvyltään epävarmoja (1<NPR<3). Keskimäärin em. kivilajit luokiteltiin hapontuotto-ominaisuuksien osalta pysyviksi (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 kynnsarvot.

Suurin osa (85 %) peridotiittinäytteistä oli ei-happoa tuottavia (NAF), mutta kolme näytettä luokiteltiin hapontuotokyvyltään epävarmoiksi ja yksi näytteistä happoa tuottavaksi (PAF; NPR<1). Molemmat massiivisulfidinäytteet olivat odotetusti mahdollisesti happoa tuottavia (PAF), sillä niiden sulfidisen rikin pitoisuudet olivat 34,4 ja 33,1 m-%. Keskimääräiset ABA-testin tulokset kivilajeittain on esitetty taulukossa 4-5.

Taulukko 4-5. 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 massa.%, AP=hapontuotokyky yksikössä kg CaCO₃ ekv./t, NP=neutraloimispotentiaali yksikössä kg CaCO₃ 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

Nettophaponpitoisuutta (NAG) käytetään ABA-testin tuloksen varmistamiseksi. Lisäksi NAG-uutteen analyysin avulla selvitettiin, mikä osuus metallien ja metallidien kokonaispitoisuudesta on pitkällä aikavälillä hapettuvissa. Ainoastaan massiivisulfidin NAG-pH oli selvästi hapan. 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). Muiden kivilajien NAG-pH:t olivat selvästi emäksisiä.

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. Osassa näytteistä tulokseen voi vaikuttaa mahdollinen peroksidin ennenaikainen hajoaminen kokeessa. Lisäksi tuloksia käytettäessä on huomioitava, että NAG-testissä sulfidimineraalit hapetetaan nopeasti, yhdellä kerralla. Kenttäolosuhteissa vastaava hapettuminen veisi vuosikymmeniä tai vuosisatoja. Tuloksissa gabrossa ja massiivisulfidissa kuparin ja nikkelin vapautumista voidaan pitää huomattavana, muuten aineiden vapautuminen hapetuksessa oli kauttaaltaan vähäistä.

Kiville on tehty myös ravistelutesti ja tulokset on esitetty kaivannaisjätteiden karakterisointia ja vesien laatuja koskevassa raportissa (AFRY Finland Oy 2023). Koska ravistelutestin (EN 12457-3) tuloksilla ei ole käyttöarvoa sulkemissuunnittelussa, tuloksia ei käsitellä sulkemissuunnitelmassa.

On huomioitava, että hapontuotto sekä hapontuoton ja neutralointikapasiteetin suhde eivät riitä kaivannaisjätealueiden rakenteiden ja sulkemisen suunnitteluperusteeksi, vaikka pysyvän jätteen luokittelu ja BAT keskittyvät näihin luokitteluperusteina. Osa haitallisista metalleista (esimerkiksi nikkeli) voi vapautua pysyellään hyvin liukoisena myös neutraalissa vedessä, erityisesti jos suotuisia kersaostumisolosuhteita ei muodostu. Koska Sakatin maanalaisen kaivoksen seinämissä ja sivukivessä on arvioitu muodostuvan neutraalin metallipitoisen valuman riski, ensisijaisena arviointiperusteena suunnittelussa on käytetty pitkäaikaikäkäyttämisen testausta (kappale 4.3.3).

4.3.3 Sivukivien pitkäaikaiskäyttäytyminen

Sivukiven pitkäaikaiskäyttäytymisen testimenetelmänä on käytetty kosteuskammiokoetta. Kosteuskammiokoeket raportoitiin 40 viikon testauksen jälkeen toukokuussa 2018. Testattavia sivukivinäytteitä oli alun perin 8 kpl, ja niistä kahden, ei-happoa muodostavan peridotiitin ja ei-happoa muodostavan afaniiitin, koe lopetettiin 20 viikon jälkeen, vähäisen hapettumisen sekä haponmuodostuskapasiteetin ja neutralointikapasiteetin kulumissuhteen perusteella.

Taulukko 4-6 on koottu keskeisten parametrien käyttäytyminen kosteuskammiokoekessa. Yleisesti näytteiden pH pysytteli lievästi emäksisinä koko kokeen ajan lukuun ottamatta massiivisulfidia, joka happamoitui heti kokeen alussa (Kuva 4-1). Sähkönjohtavuus oli yleisesti alle 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Tässäkin poikkeuksen muodostaa massiivisulfidi, jonka sähkönjohtavuus vaihteli välillä 1 309–3 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Massiivisulfidi ei ole sivukivilaji, mutta se oli mukana kosteuskammiokoekessa kaivoksen seinämäkivenä.

Tarkasteltaessa hapontuottokyvyn ja neutralointikapasiteetin suhteellista kulumista kosteuskammiokokeen aikana voidaan todeta, että neutralointikapasiteetti kului lähes kaikissa näytteissä joko hapontuottokapasiteettia hitaammin tai jokseenkin samaa tahtia (Kuva 4-2). 40 viikon kuluessa neutralointikapasiteetista oli kulunut alle 10 % kaikissa kivissä, paitsi massiivisulfidissa. Samalla aikajaksolla hapontuottokapasiteetista oli kulunut 5–35 % (Kuva 4-3). Massiivisulfidissa neutralointikapasiteetin suhteellinen kulutus oli hapontuottokapasiteetin kulumista huomattavasti nopeampaa: 40 viikossa neutralointikapasiteetista oli kulunut noin 35 % ja hapontuottokyvystä vain 1–2 %.

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 peridotiitinäytteessä 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, mutta valumaveden pH ei kuitenkaan ole riittävän korkea saostamaan kaikkia sulfidien hapettumisen seurauksena liuenneita metalleja.

Kosteuskammiokokeen raekoko, vesi-kiintoainesuhde, lämpötila ja kokeen muut olosuhteet eivät vastaa todellisen läjityksen olosuhteita. Kosteuskammiokokeen tulos ei siis ole kaivannaisjätealueen suotovesilaatu. Arvio sivukivialueiden suotoveden laadusta muodostetaan mallinnuksen keinoin käyttäen kosteuskammiokokeen tuloksia syötetietoina.

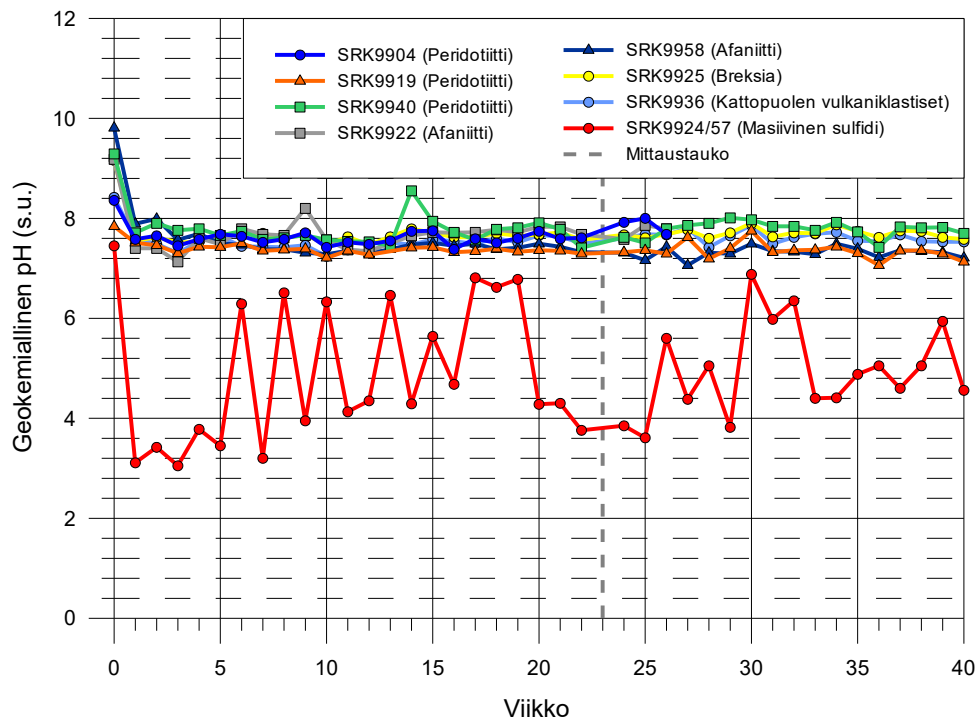
Taulukko 4-6. Sivukivien kosteuskammiokokeen tulokset keskiarvoina viikkojaksoittain (viikot 0-3, 4-20 ja 21-40) (koottu SRK Consulting Ltd:n aineistosta vuodelta 2018).

Näyte (tunnus)	Parametri Yksikkö	Typpi mg/kg/ vk	Fluori mg/kg/ vk	Kloridi mg/kg/ vk	Alkaliteetti (CaCO ₃) mg/kg/ vk	Sulfaatti- rikki mg/kg/ vk	Sulfaatti (las- kennallinen) mg/kg/ vk	kokonais- rikki mg/kg/ vk	Ei-sulfaattinen rikki (lasken- nallinen) 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 vulkaniklasti- set (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
Massiivisul- fidi (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 Yksikkö	Alumiini mg/kg/ vk	Eloho- pea mg/kg/ vk	Pii mg/kg/ vk	Antimoni mg/kg/ vk	Kalsium mg/kg/ vk	Arseeni mg/kg/ vk	Natrium mg/kg/ vk	Barium 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
Näyte (tunnus)	Parametri Yksikkö	Magne- sium mg/kg/ vk	Beryl- lium mg/kg/ vk	Kalium mg/kg/ vk	Rauta mg/kg/ vk	Boori mg/kg/ vk	Kadmium mg/kg/ vk	Kromi mg/kg/ vk	Koboltti mg/kg/ vk
	vk. 0-3	4,68	0,000057	16,85	0,010765	0,005018	0,000045	0,000634	0,000094

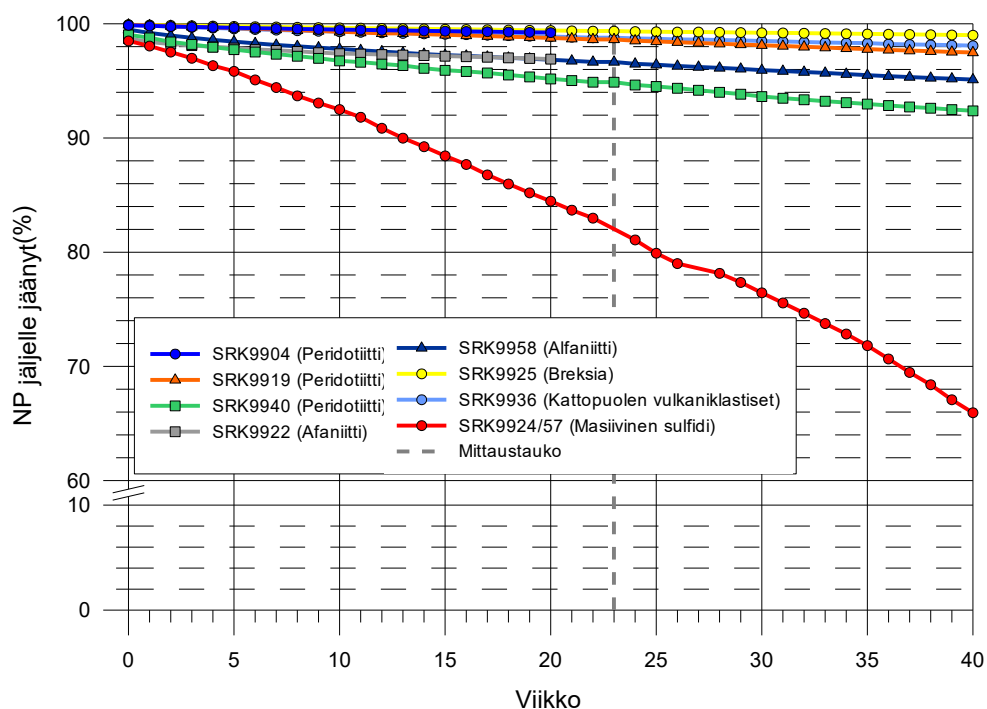
Peridotitiitti (SRK9904)	vk. 4-20	1,34	0,000047	8,62	0,008911	0,002632	0,000038	0,000469	0,000070
	vk. 21-40	-	-	-	-	-	-	-	-
Peridotitiitti (SRK9919)	vk. 0-3	42,02	0,000057	8,80	0,010778	0,003743	0,000045	0,000747	0,000435
	vk. 4-20	18,22	0,000048	4,63	0,009066	0,002400	0,000040	0,000477	0,000490
	vk. 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
Peridotitiitti (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	Seleen
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
Peridotitiitti (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	-	-	-	-	-	-	-	-
Peridotitiitti (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
Kattopuolen vulkaniklasti- set (SRK9936)	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
	vk. 21-40	0,000167	0,000111	0,000555	0,001253	0,000742	0,000403	0,005551	0,000392
Peridotitiitti (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
	Parametri	Strontium	Tallium	Uraani	Vanadiini	Sinkki	Vismutti	Hopea	
Näyte (tunnus)	Yksikkö	mg/kg/ vk	mg/kg/ vk	mg/kg/ vk	mg/kg/ vk	mg/kg/ vk	mg/kg/ vk	mg/kg/ vk	
Peridotitiitti (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	-	-	-	-	-	-	-	
Peridotitiitti (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	



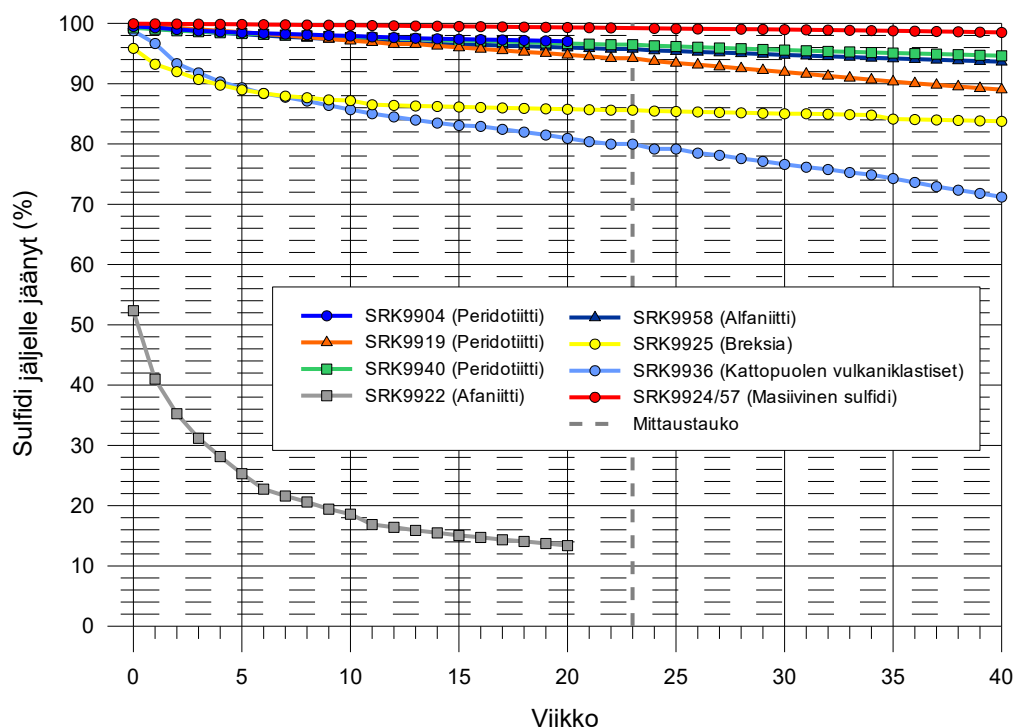
Breksia (SRK9925)	vk. 0-3	0,089459	0,001130	0,000282	0,052669	0,002000	0,000056	0,000282
	vk. 4-20	0,051494	0,000920	0,000230	0,019931	0,000846	0,000046	0,000230
	vk. 21-40	0,036964	0,001072	0,000268	0,010797	0,000536	0,000054	0,000268
Kattopuolen vulkaniklasti- set (SRK9936)	vk. 0-3	0,016290	0,001152	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 4-1. Viikkoliuosten pH:n kehittyminen kosteuskammiokokeen edetessä. (Kuvaaja on laadittu SRK Consulting Ltd:n aineistosta vuodelta 2018.)



Kuva 4-2. Jäljellä oleva neutralointikapasiteetti kosteuskammiokokeen aikana. (Kuvaaja on laadittu SRK Consulting Ltd:n aineistosta vuodelta 2018.)



Kuva 4-3. Jäljellä olevan sulfidin määrä kosteuskammiokokeen aikana (Kuvaaja on laadittu SRK Consulting Ltd:n aineistosta vuodelta 2018.)

4.3.4 Vinotunnelivaihtoehtojen vaikutus sivukivilaatuun

Kaikissa kuudessa vinotunnelivaihtoehdossa suurimpina kivilajiryhminä ovat afaniitti, peridotiitti ja mafiset vulkaniitit. Vinotunnelivaihtoehtojen eroista on tehty tulkinta AA Sakatti Mining Oy:n toimesta. Vaihtoehtoon VE1a osalta kivilajimalli ja näytteet perustuvat vuoden 2020 täydentäviin kairauksiin, ja muiden vaihtoehtojen osalta kivilajien esiintyminen tunnelilinjalla perustuu geologiseen tulkintaan kivilajien jatkuvuudesta.

- Vinotunnelilinjalla VE1a pääkivilajit ovat afaniitti ja mafinen vulkaniitti. Peridotiitin osuus on varsinaisella vinotunnelilinjalla osuudella pieni, ja suuri taas malmin läheisyydessä.
- Verrattuna vaihtoehtoon VE1a vinotunnelilinja VE1b kulkee suurempana, sijaitsee lännempänä ja on hieman lyhyempi. Kivilajien suhteen vinotunnelilinja VE1b ei poikkea VE1a:sta. Pääkivilajit ovat afaniitti ja mafinen vulkaniitti ja kivilajien massaosuudet ovat hyvin samanlaiset kuin VE1a:ssa.
- Vinotunnelilinjalla VE2a pääkivilajeja ovat mafiset kivet.
- Vinotunnelilinjalla VE2b pääkivilajit ovat jakautuneet suhteellisen tasaisesti kolmen eri kivilajin suhteen, joita ovat afaniitti, jalkapuolen mafiset kivet ja peridotiitti.
- Vinotunnelilinjalla VE3a pääkivilajit ovat afaniitti ja peridotiitti.
- Vinotunnelilinjalla VE3b kivilajit ovat jakautuneet suhteellisen tasaisesti afaniitin ja peridotiitin välillä.

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 näyttävät keskimäärin matalampirikkisinä (0,4 ja 0,3) kuin VE3a (0,8). Kaikkien tunnelilinjausten alueelle sijoittuu kohonneita metallipitoisuuksia omaavia kiviä (Taulukko 4-7), jotka käsittävät peridotiitteja ja duniitteja. Kaikille tunnelilinjauksille sijoittuu myös matalien metallipitoisuuksien kiviä. Vinotunnelilinjalle VE1a sijoittuu erityisen paljon minimaalisen rikkipitoisuuden ja erityisen korkean neutraalointikapasiteetin kiviä (mm. mafinen sarja, kvartsiitit, metasedimentit ja breksia).

Taulukko 4-7. Sakatin esiintymän ja vinotunnelinlinjojen 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 5-10	Flogopiitti Ortopyrokseeni Klinopyrokseeni Kromiitti	MgO > 36 %
		Ortokumulaatti	Serpentiini	20-70	Klinopyrokseeni Flogopiitti Talkki Magnetiitti
	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 Dolomiitti	
		Aktinoliitti	15-35		
		Biotiitti	5-35		
		Kloriitti	5-25		
MAFISET KIVET					
Afaniitti	Afaniitti, ultramafinen vulkaaninen kivi	Plagioklaasi	10-20	Serpentiini Aktinoliitti Biotiitti Turmaliini Magnetiitti	S < 0.5 %
		Sarvivälke	15-30		
		Klinopyrokseeni	5-15		
		Ortopyrokseeni	15-35		
		Kloriitti	5-15		
Gabro	Gabbro	Plagioklaasi	20-35	Biotiitti Kloriitti Epidootti Magnetiitti Ilmeniitti Kalsiitti	
		Sarvivälke	10-45		
		Aktinoliitti	5-15		
Mafinen sarja	Mafinen vulkaaniitti	Plagioklaasi	10-40	Aktinoliitti Biotiitti Kloriitti Kvartsi	
		Sarvivälke	10-60		

	Mafinen tuffiitti	Plagioklaasi	20-45	Talkki	
		Kloriitti	5-20	Magnetiitti	
		Dolomitti	0-20	Kalsiitti	
	Täpläkivi (Spotty Rock), komatiittinen basalti	Kvartsi	10-30	Granaatti	
		Turmalini	5-15	Kaoliniitti	
		Biotiitti	25-35		
	Skapoliitti-kiille -kivi (2Ma)	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	Turmalini	
		Muskoviitti	10-20	Dolomiitti	
		Kloriitti	15-20		
Breksia	Breksia, poly- miktinen kong- lomeraatti	Karbonaatti (Cal+Dol)	20-60	Biotiitti	
		Kvartsi	5-25	Kloriitti	
		Albiitti	10-30	Amfiboli	
		Talkki	5-15	Magnetiitti	
Kvartsiitti	Kvartsiitti	Kvartsi	90-100	Muskoviitti Kaoliniitti	
	Albitiitti	Albiitti	50-80	Talkki	
		Kvartsi	5-20	Kalsiitti	
		Dolomitti	5-20		

4.4 Malmin kuvaus

Malmi kuvataan tässä ennen rikastushiekan kuvausta, sillä malmin ominaisuudet vaikuttavat osaltaan rikastushiekankin ominaisuuksiin.

Sakatin malmi on jaettu seuraaviin malmityyppeihin:

- Massiivinen malmi ("Massive Sulphide")
 - pääasiallinen isäntäkivi peridotiitti
- Juonistomalmi ("Stockwork")
 - pääasiallinen isäntäkivi afaniitti
- Pirotealmi ("Disseminated")
 - pääasiallinen isäntäkivi peridotiitti

Malmimineraalit ovat pitkälti samat kaikissa malmityypeissä. Käytännössä kaikki kupari on sitoutunut kuparikiisuun (CuFeS_2). Satunnaisesti tavataan pieniä määriä borniittia (Cu_5FeS_4), kubaniittia (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. Päämalmimineraali on kaikissa malmityypeissä ja esiintymän eri osissa pentlandiitti ($(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$). Se on muuttunut lohkorakoja ja raereunoja myöten vähäisessä määrin violariitiksi ($\text{Fe-Ni}_2\text{S}_4$). Satunnaisesti tavataan polydymiittiä (Ni_3S_4) ja milleriittiä (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 nikkeliä esiintyy ei-sulfidisessa muodossa, lähinnä Mg-Fe -silikaattien 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 tällöin voitaisi saavuttaa. Niinpä ei-sulfidinen nikkeli lasketaan käytännössä menetettäväksi. Ei-sulfidisen nikkelin osuus kokonaisnikkelistä on käänteisessä suhteessa kokonaisnikkelpitoisuuteen. Eli korkeanikkelisissä massiivisissa malmeissa ei-sulfidisen nikkelin osuus on hyvin pieni, kun taas piroteمالmissa ei-sulfidinen nikkeli voi olla jopa 50 % kokonaisnikkelistä.

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

4.5 Rikastushiekkojen karakterisointi, prosessivaihtoehto 1

Tässä kappaleessa esitetään tietoja PFS-A-vaiheen prosessisuunnittelua koskevasta koosteraportista (Anglo American 2019a), rikastushiekan ja louhostäytössä käytettävän pastan karakterisointiraporteista (SRK Consulting Ltd. 2018a, Paterson & Cooke 2017). Näytteenoton edustavuutta käsitellään tarkemmin kaivannaisjätteiden karakterisointia ja vesien laatuja koskevassa raportissa (AFRY Finland Oy 2023). Samassa raportissa käsitellään myös näytteenoton edustavuus.

4.5.1 Prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekkojen mineralogia

Matalarikkisen ja korkearikkisen rikastushiekan XRD-tulokset on esitetty taulukossa (Taulukko 4-8). Matalarikkisessä näytteessä on 35 % serpentiiniä (klinokrysotiilia). Klinokrysotiili on krysotiilin muoto, joka voi esiintyä myös asbestimuotoisena. Toiseksi eniten, 28 %, matalarikkisestä rikastushiekasta on magnetiittia ja/tai magnesiumferriittiä. Matalarikkisestä rikastushiekasta 11 % on oliivinia, 10 % kloriittia, 9 % biotiittiä (flogopiittiä) ja 7 % amfibolia (magnesium-riebeckiittiä). Korkearikkisen rikastushiekka koostuu pääasiassa magneettikiisusta (63 %), joka on rautasulfidimineraali. Korkearikkisen

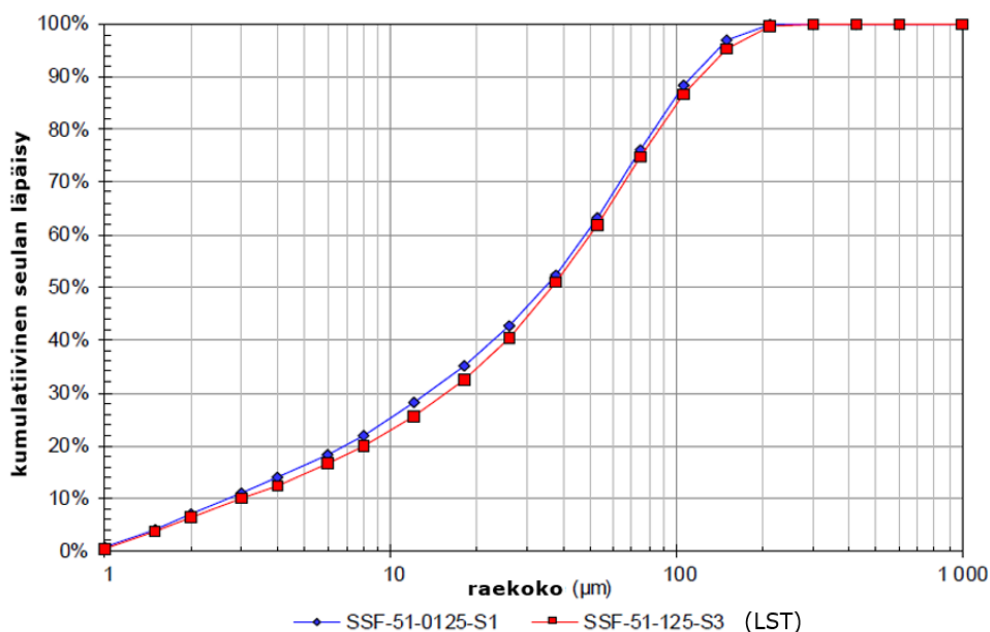
rikastushiekka sisältää myös 8 % serpentiiniä (voi sisältää asbestimuotoisia kuituja) ja 29 % magnetiittia (rautaoksidi) ja / tai magnesiumferriittiä (magnesiumrautaoksidi).

Taulukko 4-8. Yhteenvetotaulukko Sakatin rikastushiekköjen XRD-tuloksista. Rikastushiekat, prosessivaihtoehto 1.

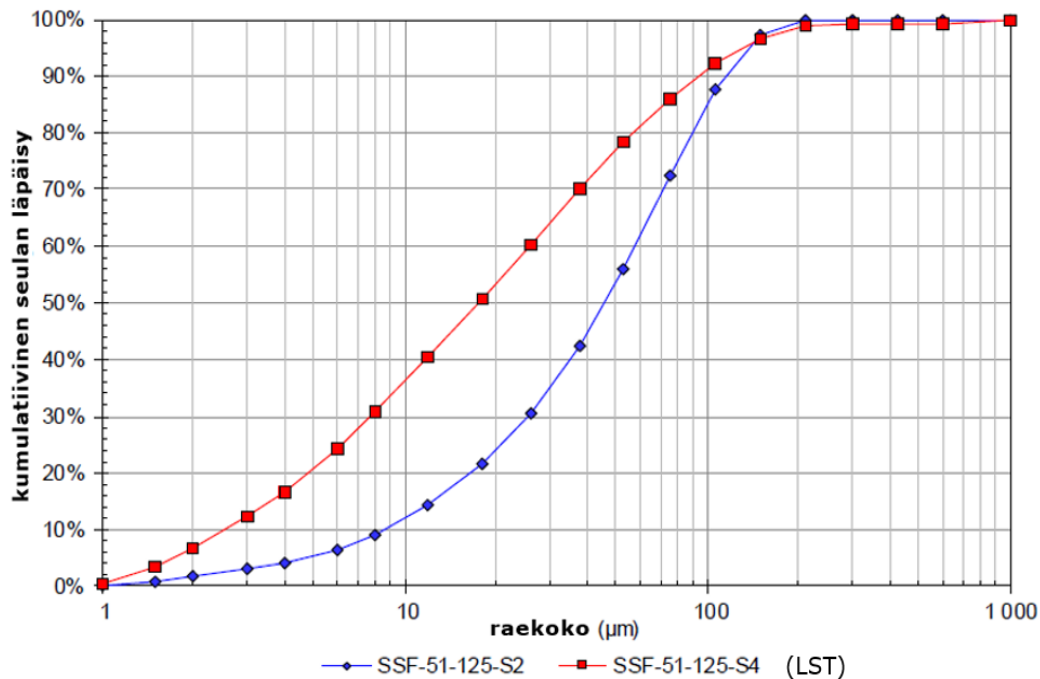
Mineraali	Osuus (%)	
	Matalarikkinen rikastushiekka (LST)	Korkearikkinen rikastushiekka (HST)
Magneettikiisu	0	63
Serpentiini	35	8
Magnetiitti/	28	29
Oliviini	11	0
Kloriitti	10	0
Biottiitti/flogopiitti	9	0
Magnesium-riebeckiitti (amfiboli)	7	0

4.5.2 Prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekköjen fysikaaliset ominaisuudet

Prosessivaihtoehdon 1 mukaiset rikastushiekköjen raekoot esitetään alla (kuvat 4-4 ja 4-5, kuvissa esitetty kaksi eri näytettä). Matalarikkisen rikastushiekan keskiraekoko on molemmissa näytteissä 40 mikrometriä ja korkearikkinen rikastushiekan näytteissä noin 20 ja 50 mikrometriä.



Kuva 4-4. Matalarikkisen rikastushiekan (LST) raekokojakauma, prosessivaihtoehto 1 (Paterson & Cooke 2017).



Kuva 4-5. Korkearikkisen rikastushiekan (HST) raekokojakauma, prosessivaihtoehto 1 (Paterson & Cooke 2017).

4.5.3 Prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekkojen geokemialliset ominaisuudet

Korkea- ja matalarikkisten rikastushiekkojen metallien ja metalloidien kokonaispitoisuudet selvitettiin nelihappouuttomenetelmällä, poiketen esimerkiksi sivukivinäytteistä, joille alkuaineiden kokonaispitoisuudet määritettiin kuningasvesiuutolla. Nelihappouuton tulokset ja vertailuarvot on esitetty taulukossa 4-9. Kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013) mukaan luokittelussa pysyväksi kaivannaisjätteeksi pitoisuuksia verrataan PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) kynnysarvoihin tai alueellisiin taustapitoisuuksiin. Nelihappouutolla määritettyjä pitoisuuksia on tässä verrattu 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 rikastushiekkassa kobolttin, kromin, kuparin, nikkelin ja vanadiinin pitoisuudet ylittivät PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) liitteen mukaiset kynnysarvot. Korkearikkisessä rikastushiekkassa taas kobolttin, kromin, kuparin ja nikkelin pitoisuudet ylittivät PIMA-asetuksen liitteen mukaiset kynnysarvot. Kynnysarvojen ylityksiin perustuen Sakatin kaivoksella muodostuvia rikastushiekkajoja ei voida luokitella kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013) mukaisesti pysyviksi jätteiksi.

Taulukossa 4-9 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 taustapitoisuusarvoihin (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. Vanadiinin pitoisuus matalarikkisessä rikastushiekassa (108 mg/kg) oli hieman yli PIMA-asetuksen mukaisen kynnysarvon (100 mg/kg).

Taulukko 4-9. Alkuaineiden kokonaispitoisuudet nelihappouutosta määritettynä sekä vertailuarvoina käytetyt PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) ja GTK:n taustapitoisuusrekisterin (TAPIR) arvot. Rikastushiekat, prosessivaihtoehto 1. Vertailuarvot perustuvat kuningasvesiuttoon.

Parametri	Yksikkö	Kynnysarvo	Alempi ohjearvo	Alemman ohjearvon määrittäysperuste (terveys/ ekologinen)	Ylempi ohjearvo	Ylemmän ohjearvon määrittäysperuste (terveys/ ekologinen)	Taustapitoisuus moreenin hienoainek-sessa (kansallinen)	Taustapitoisuus moreenissa (keskim.) ¹	Taustapitoisuus moreenissa (max.) ¹	Matalarikkinen rikastushiekka (LST)	Korkearikkinen rikastushiekka (HST)
Arseeni (As)	mg/kg	5	50	terveys	100	ekologinen	1 (0,1-2,5)		-	1,3	3,1
Kadmium (Cd)	mg/kg	1	10	ekologinen	20	ekologinen	0,03(0,01-0,15)	-	-	0,2	0,19
Koboltti (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
Kupari (Cu)	mg/kg	100	150	ekologinen	200	ekologinen	22 (5-110)	38,11	100,15	559	986
Elohopea (Hg)	mg/kg	0.5	2	ekologinen	5	ekologinen	0,005 (<0 005-0,05)	-	-	0,01	0,01
Nikkeli (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
Antimoni (Sb)	mg/kg	2	10	terveys	50	ekologinen	0,02 (0,01-0,2)	-	-	0,37	0,21
Vanadiini (V)	mg/kg	100	150	ekologinen	250	ekologinen	38 (10-115)	62,86	124,17	108	67



Parametri	Yksikkö	Kynnysarvo	Alempi ohje-arvo	Alemman ohje-arvon määrittäysperuste (terveys/ ekologinen)	Ylempi ohje-arvo	Ylemmän ohje-arvon määrittäysperuste (terveys/ ekologinen)	Taustapitoisuus moreenin hienoainekassa (kansallinen)	Taustapitoisuus moreenissa (keskim.) ¹	Taustapitoisuus moreenissa (max.) ¹	Matala-rikkäinen rikastushiekka (LST)	Korkeariikkäinen rikastushiekka (HST)
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

115 km:n säteellä koordinaateista 490437, 7492133 (EUREF FIN TM35FIN)

Matala- ja korkeariikkiselle rikastushiekalle tehtyjen ABA-testien tulokset on esitetty taulukossa 4-10. Tulosten mukaan korkeariikkisen rikastushiekan sulfidisen rikin pitoisuus oli odotetusti korkea ollen 30,4 %, minkä vuoksi aines luokitellaan mahdollisesti happoa tuottavaksi (PAF). Korkeariikkäinen rikastushiekka voidaan sen sulfidisen rikin pitoisuuden ja NPR-tuloksen < 3 (0,01) perusteella luokitella kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013) mukaisesti ei-pysyväksi jätteeksi. Matalariikkisen rikastushiekan sulfidisen rikin pitoisuus oli 0,22 % ja sen NPR arvo >3 (6,65). Matalariikkäinen 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 matalariikkäinen rikastushiekka luokitellaan ei-pysyväksi jätteeksi.

Taulukko 4-10. ABA-testin tulokset. Rikastushiekat, prosessivaihtoehto 1.

Parametri	Yksikkö	Matalariikkäinen rikastushiekka (LST)	Korkeariikkäinen 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 määritysrajan

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

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-testien tulokset on esitetty taulukossa 4-11. 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. Korkearikkinen 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 määritysrajan, joten aines on ei-happoa tuottavaa.

Taulukko 4-11. 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)		

NAG-uutteesta analysoitiin liuenneet metallit. Loppuliuos edustaa vain laboratoriokokeessa esiintyvää tilannetta, jossa kaikki hapettuvissa olevat sulfidit on hapetettu nopeasti. Todellisella rikastushiekka-alueella vastaava hapettuminen tapahtuu kymmenien tai satojen vuosien kuluessa. NAG-testin loppuliuoksen avulla määritellään se prosenttiosuus aineesta, joka on hapettumisreaktioiden kautta vapautuvissa suoraan tai välillisesti. Tulosten yhteenveto on esitetty taulukossa Taulukko 4-12.

Taulukko 4-12. 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
Beryllium	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
Magnesium	Mg	mg/kg	38	5890
Mangaani	Mn	mg/kg	0,1	55
Molybdeeni	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

Yksivaiheisen ravistelutestin (standardi EN 12457-4) tarkoituksena oli selvittää metallien liukoisuutta lyhyellä aikavälillä. Ravistelutestin metallipitoisuudet L/S 10-suhteessa on esitetty alla olevassa taulukossa (Taulukko 4-13). 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-vesikontaktisuhde (L/S 10) vastaa luonnonolosuhteita. Tulokset eivät siis kuvaa esimerkiksi suotoveden laatua lyhyellä tai pitkällä aikavälillä.

Taulukko 4-13. Yksivaiheisen ravistelutestin EN 12457-4 tulokset. Uuttosuhte L/S 10.

Parametri		Yksikkö	Matalarikkinen rikastus-hiekka (LST)	Korkearikkinen rikastus-hiekka (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
Beryllium	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
Magne-sium	Mg	mg/l	13	12,4
Mangaani	Mn	mg/l	0,008	0,008
Molyb-deeni	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 tai vastaava merkintä tarkoittaa, että pitoisuus on alle määrittäysrajan.

4.5.4 Prosessivesi ja kemikaalijäämät prosessivaihtoehdossa 1

Prosessivaihtoehdon 1 rikastuskokeen osalta prosessivesinäyte edustaa ns. dekanttivesinäytettä, joka on siis lietteenä laboratorioon toimitettujen rikastushiekkanäytteiden päältä dekantoitu vesinäyte. Matalarikkisen rikastushiekan dekanttiveden pH oli lievästi emäksinen ollen 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 määrittämissä. 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 analyysia. Korkearikkisen rikastushiekan dekanttivettä ei ole tutkittu.

4.5.5 Prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekkojen pitkäaikaiskäyttäytyminen

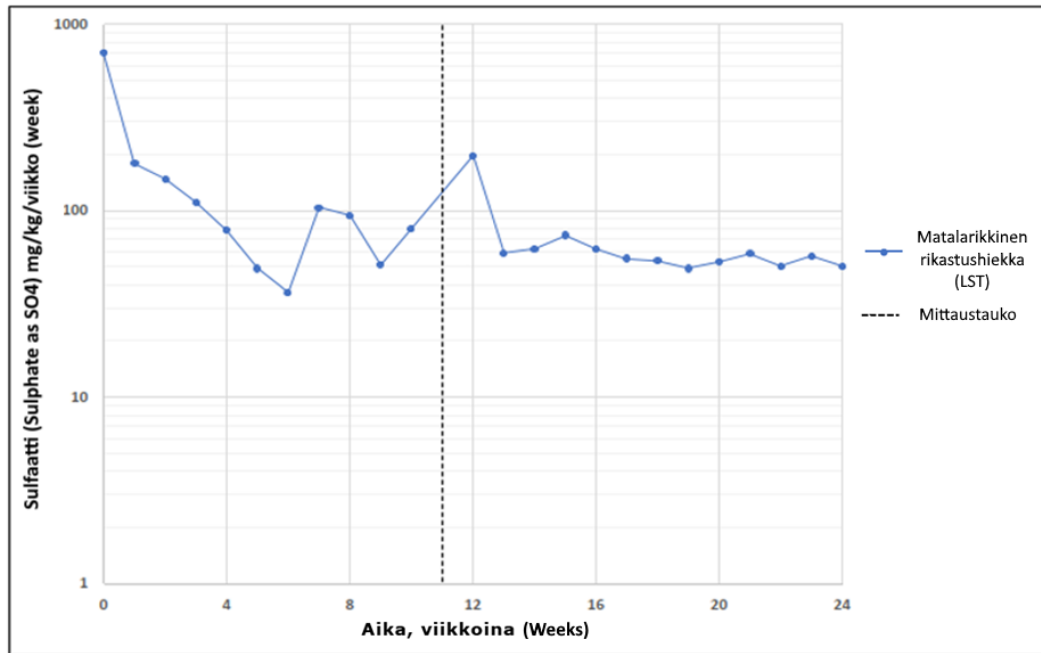
Prosessivaihtoehdon 1 matalarikkisen rikastushiekan pitkäaikaiskäyttäytymistä arvioitiin 24 viikkoa kestäneellä kosteuskammiokokeella. Kosteuskammiokokeella saadaan yleispiirteistä tietoa rikastushiekan käyttäytymisestä ja tuloksia voidaan hyödyntää suotovesilaadun mallintamisessa. Suoraan tulokset eivät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

Kosteuskammiokokeen alussa näytteestä huuhtoutuu prosessivesijäämiä ja valmiiksi liukoisessa 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.

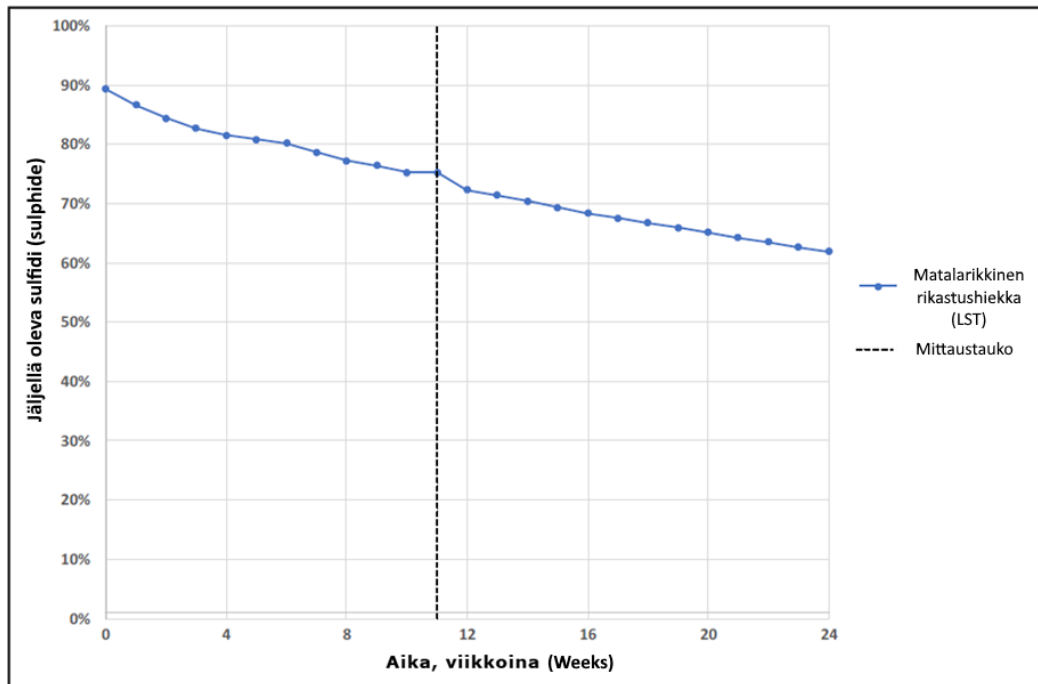
Kosteuskammiokokeessa pH pysyi neutraalilla ja lievästi emäksisellä alueella koko kokeen ajan (pH 7,2–8,4). Vastaavasti sulfaatin muodostus (Kuva 4-6) oli vähäistä ja melko tasaista, pois lukien kokeen ensimmäiset huuhtelukerrat. Hapontuottokyky kului kokeessa nopeampaa tahtia kuin neutralointikapasiteetti (Kuva 4-7 ja 4-8).

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 4-9). Myös koboltin, kuparin ja arseenin liukeneminen oli testausjaksolla suhteellisen tasaista.

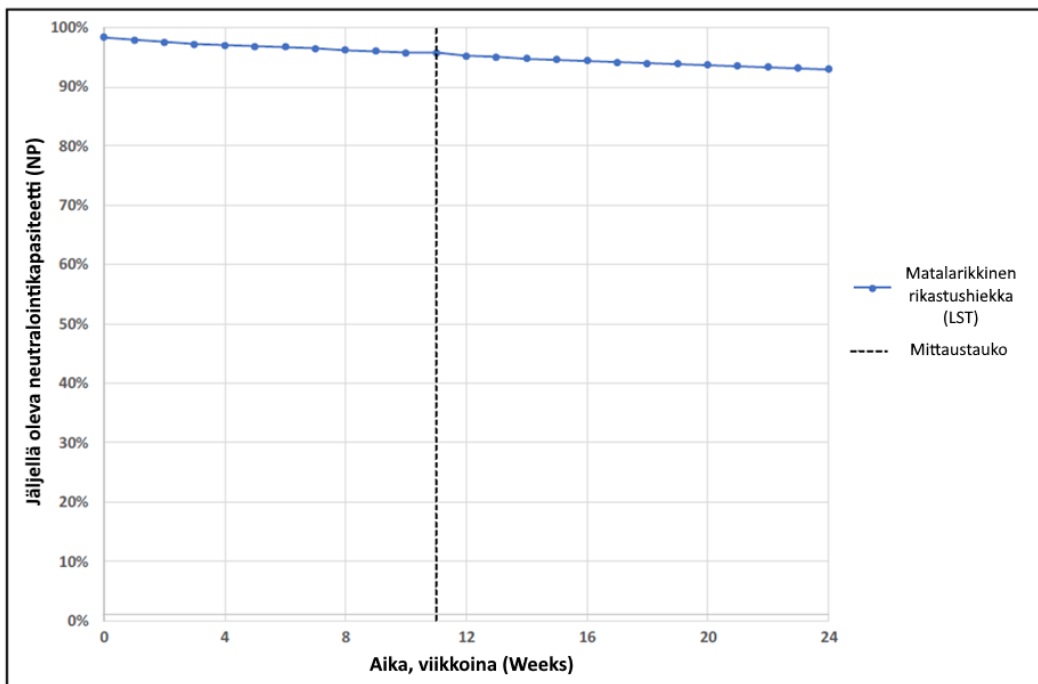
Prosessivaihtoehdon 1 korkearikkisen rikastushiekan pitkäaikaiskäyttäytymistä ei ole erikseen tutkittu. Sakatin kaivos Hankkeessa korkearikkisen rikastushiekka tullaan hyödyntämään kokonaisuudessaan louhostäyttöön valmistettavan pastan raaka-aineena. Tästä johtuen korkearikkistä rikastushiekkaa on tutkittu osana pastatäyttöä. Pastatäytön pitkäaikaiskäyttäytymistä tutkittiin monoliitin uuttokokeella, jonka tutkimustuloksia on kuvattu luvussa 4.5.6.



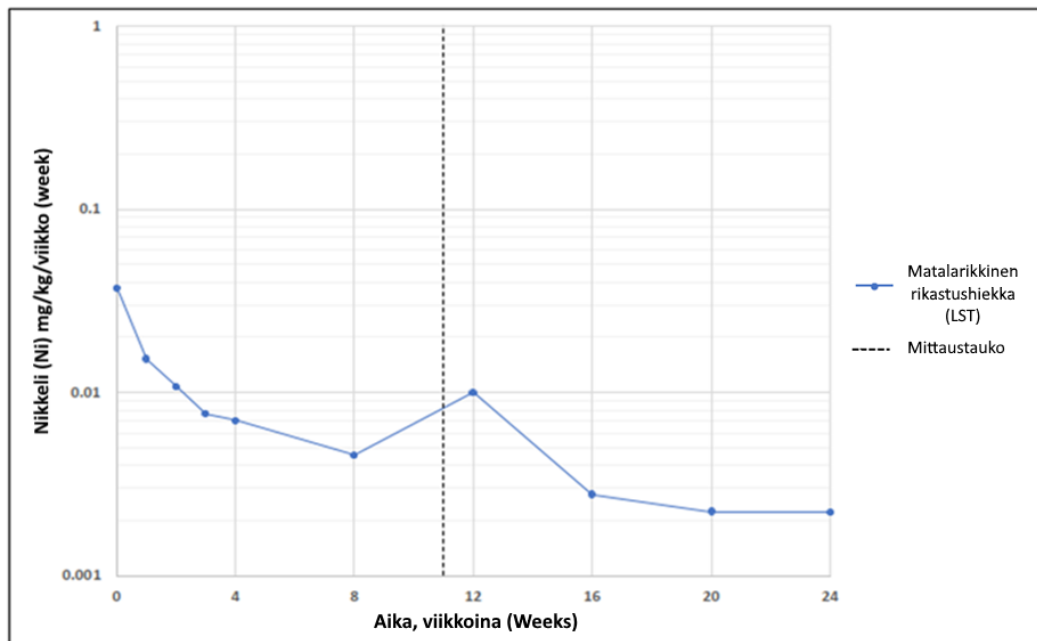
Kuva 4-6. Sulfaatin vapautuminen kosteuskammiokokeessa, matalarikkisen rikastushiekka, prosessivaihtoehto 1. (SRK Consulting Ltd. 2018b)



Kuva 4-7. Jäljellä oleva sulfidi prosentteina alkuperäisestä, matarikkinen rikastushiekka, prosessivaihtoehto 1. (SRK Consulting Ltd. 2018b)



Kuva 4-8. Jäljellä oleva neutralointikapasiteetti prosentteina alkuperäisestä, matarikkinen rikastushiekka, prosessivaihtoehto 1. (SRK Consulting Ltd. 2018b)



Kuva 4-9. Nikkelin vapautuminen kosteuskammiokeessa, matarikkinen rikastushiekka, prosessivaihtoehto 1. (SRK Consulting Ltd. 2018b)

4.5.6 Prosessivaihtoehdon 1 monoliitin uuttokoe

Monoliitin uuttokokeella tutkittiin louhostäyttöön valmistettavan pastan käyttäytymistä vesikontaktissa ajan funktiona. Geokemiallista testausta varten valmistettiin rikastushiekasta ja sideaineesta yksi pastatäyttöä edustava sylinterimäinen näytekappale eli monoliitti. Monoliitin annettiin kovettua 28 vuorokautta, minkä jälkeen sille tehtiin uuttokoe, jossa lopullinen uuttosuhte (L/S) oli 5. Kokeen kesto oli 64 vuorokautta.

Monoliitin uuttokokeen tulokset on esitetty taulukossa 4-14. Uutteen pH oli kaikissa vaiheissa emäksinen. Rikkipitoisuutena esitetty sulfaattipitoisuus kasvoi kokeen loppua kohden, samoin kuin todennäköisesti sulfidisina 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. Vedenlaatumallinnuksessa tulokset skaalataan vastaamaan todellisia olosuhteita ja yhdistetään muihin maanalaisen kaivoksen veden laatuun vaikuttaviin tekijöihin.



Taulukko 4-14. Monoliitin uuttokokeen uutteen pitoisuudet eri uuttovaiheissa, prosessivaihtoehto 1 (SRK Consulting Ltd. 2018b). Huom. Monoliitin uuttokokeen tulos ei ole sama asia kuin maan-alaisen kaivoksen kuivanapitoveden laatu.

Para- metri	Uutteen konsentraatio									
		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	
	Yk- sikkö	6 h	24 h	54 h	96 h	216 h	384 h	864 h	1536 h	M.R. *
Sähkön- joht.	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
Alkali- teetti	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
Magne- sium	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
Molyb- deeni	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- rikki	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

Para- metri		Uutteen konsentraatio								
		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
	Yk- sikkö	6 h	24 h	54 h	96 h	216 h	384 h	864 h	1536 h	M.R. *
Koko- naistyyppi	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. = määritysraja

4.6 Rikastushiekköjen karakterisointi, prosessivaihtoehto 2

Prosessivaihtoehtoon 2 rikastushiekköjen karakterisoinnin kuvaus perustuu Geochemic Ltd:n laatimaan tutkimusraporttiin (Geochemic Ltd. 2020), ellei toisin mainita. Tarkastelun edustavuutta käsitellään tarkemmin kaivannaisjätteidien karakterisointia ja vesien laatuja koskevassa raportissa (AFRY Finland Oy 2023).

4.6.1 Prosessivaihtoehtoon 2 rikastushiekköjen mineralogia

Mineralogisen analyysin välineinä olivat sekä XRD (jauheröntgendiffraktio) että BMA (bulk mineral analysis, käyttäen pyyhkäisyelektronimikroskooppia ja energiadiispersiivistä röntgenmikroanalysaattoria, SEM-EDX).

Tulosten tulkinnessa 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). Myös taulukossa 4-15 esitettävä näytteiden mineraalikoostumus edustaa BMA-tekniikalla tuotettua tietoa.

Korkearikkisistä rikastushiekkäinäytteistä (GCL0121-001) valtaosa on rauta-sulfideja, joista magneettikiisua on 43 %, rikkikiisua 2,1 %, pentlandiittia 0,7 % ja kuparikiisua 0,1 %. Matalarikkisen rikastushiekan näytteessä (GCL0121-002) sulfidien osuus on selvästi matalampi (edellä mainittuja sulfidimineraaleja on yhteensä 0,1 %). Karbonaatteja (dolomiittia ja kalsiittia) on molemmissa näytteissä 1,4–1,9 %. Kuten tyypillisesti ultramafisissa malmiesiintymissä,

rikastushiekkänäytteissä esiintyy useita eri silikaattimineraaleja; oliviinia, ortopyrokseenia ja klinopyrokseenia, amfioleja, maasälpää ja kiilleryhmän mineraaleja. Lisäksi esiintyy serpentinisäation kautta muuntuneita mineraaleja kuten antigoriitti, lizardiitti ja krysotiili, jotka kaikki ovat yhdisteen $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ polymorfisia muotoja.

Taulukko 4-15. Rikastushiekkänäytteiden röntgendifraktiolla ja SEM-EDX-tekniikalla määritetty mineraalikoostumus. Prosessivaihtoehto 2.

		Paino- %			
		Korkearikkinen rikastushiekka		Matalarikkinen rikastushiekka	
Mineraali	SEM-EDX -luokittelu	SEM	XRD	SEM	XRD
Magneettikiisu (Pyrroitiitti)	$Fe_{(1-x)}S$ ($x=0-0.17$) (XRD:n perusteella todennäköisesti monokliininen)	43,3	31,6	0,1	n.d
Rikkikiisu (Pyriitti)	FeS_2	2,1	n.d	0,1	n.d
Pentlandiitti	$(Fe,Ni)_9S_8$	0,7	n.d	0,1	n.d
Kuparikiisu	$Cu FeS_2$	0,1	n.d	0,1	n.d
Karbonaatit	Pääasiassa dolomittia $CaMg(CO_3)_2$, hieman kalsiittia $CaCO_3$	1,4	n.d	1,9	2,3
Rautaoksidit	Ks. huomiot alla	19,6	21,6	0,5	n.d
Serpentiini	Pääasiassa antigoriittia $(Mg,Fe^{**})_3Si_2O_5(OH)_4$ vähän sepioliittia $Mg_4Si_6O_{15}(OH)_2 \cdot 6(H_2O)$ (SEM-EDX-arvio mahdollisesti alakannttiin hienosta partikkelikoosta johtuen)	13,5	8,2	34,6	20,0
Oliiviini	$(Mg,Fe)_2SiO_4$ Pääasiassa fosteriittia	6,1	n.d	10,3	4,7
Ortopyrokseeni	Enstatiittia $Mg_2Si_2O_6$ ja ferrosiittia $(Fe^{**},Mg)_2Si_2O_6$	4,8	n.d	14,8	n.d
Talkki	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ (mahdollisesti ei tunnistettu SEM-EDX:llä hienosta partikkelikoosta johtuen)	n.d	7,9	n.d	10,3
Kiillesaviryhmä	Pääasiassa kloriittia $(Mg,Fe^{**})_5Al(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$ (SEM-EDX-arvio mahdollisesti alakannttiin hienosta partikkelikoosta johtuen)	2,9	30,8	14	43,1
Amfiboli	Pääasiassa aktinoliittia $Ca_2(Mg,Fe^{**})_5Si_8O_{22}(OH)_2$ vähäinen määrä ferrogrediittia $Fe^{**}_5Al_2Si_6Al_2O_{22}(OH)_2$	3,4	n.d	13,5	9,5
Klinopyrokseeni	Pääasiassa diopsidia $CaMgSi_2O_6$, hieman hedenbergiittia $CaFe^{**}Si_2O_6$	1,4	n.d	7,2	n.d
Maasälpäryhmä	Pääasiassa anortiittia $CaAl_2Si_2O_8$, hieman albiittia $NaAlSi_3O_8$	0,3	n.d	2,1	8,7
Muut mineraalit	Ks. huomiot alla	0,2	n.d	0,2	n.d
Kvartsi	SiO_2	0,1	TR	0,6	1,4

Rautaoksidit koostuvat pääasiassa magnetiitista (määritetty XRD:llä), kromimagnetiitista, hematitiitista ja götiitistä.

Kiillesaviryhmä sisältää pieniä määriä magnesiumkloriittia ja biotiittia.

Muut mineraalit sisältävät ilmeniittia, sulfaatteja, apatiittia, rutiilia ja wolframiittia

n.d = ei tunnistettu

TR = hieman

Mineralogisella analyysillä (BMA) selvitettiin myös kuparin, nikkelin ja rikin määriä rikastushiekkojen mineraaleissa (Taulukko 4-16). Molemmissa

rikastushiekoissa valtaosa nikkelistä on pentlandiitissa. Nikkeliä on pieninä pitoisuuksina myös magneettikiisussa, rikkikiisussa ja serpentiinissä molemmissa rikastushiekoissa.

Huomionarvoista on, että mineralogisen analyysin (BMA) tulosten mukaan kuparin ja nikkelin pitoisuudet korkearikkisessä rikastushiekassa sekä kuparin, nikkelin ja rikin pitoisuudet matalarikkisessä rikastushiekassa ovat paljon matalammat kuin ICP-OES- ja ICP-MS-tekniikoilla määritettyjen alkuaineanalyysien mukaan. Tämä viittaa joko siihen, että alkuainepitoisuudet ovat alle määrittämissä sellaisissa mineraaleissa, jotka esiintyvät näytteessä runsaina, eivätkä näin ollen tule tunnistetuiksi, tai siihen, että mineraloginen analyysi (BMA) ei tunnista mineraalia esimerkiksi siksi, että se sisältyy hienojakoiseen fraktioon.

Taulukko 4-16. Kuparin, nikkelin ja rikin osuudet Sakatin rikastushiekkojen 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

4.6.2 Prosessivaihtoehdon 2 rikastushiekkojen 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 4.5.2).

4.6.3 Prosessivaihtoehdon 2 rikastushiekkojen geokemialliset ominaisuudet

Rikastushiekkojen alkuainepitoisuudet on määritetty nelihappouuttona. Taulukossa 4-18 on esitetty rikastushiekkänäytteiden alkuaine- ja hivenainepitoisuudet. Tuloksia on verrattu PIMA-asetuksen kynnysarvoihin (VNA 214/2007).

Kokonaispitoisuuksia tarkasteltiin myös GAI-indeksin avulla, jossa verrataan tutkittavan alkuaineen pitoisuutta sen keskimääräiseen pitoisuuteen maankuorella. 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 4-17). INAP-protokollan (2002) mukaan GAI-arvo >3 indikoi alkuaineen merkittävää rikastumista.

Taulukko 4-17. 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 ovat tyypillisiä ultramafisissa kivissä. Koboltin, kromin, kuparin, ja nikkelin pitoisuudet sekä korkearikkisessä että matalarikkisessä rikastushiekassa ylittävät PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) mukaisen, maaperän pilaantuneisuutta osoittavan kynnsarvon, johon viitataan myös kaivannaisjäteasetuksessa (190/2013), osana pysyvän jätteen määritelmää. Lisäksi korkearikkisen rikastushiekan vanadiinipitoisuuskin ylitti kynnsarvon. Kullekin alkuaineelle lasketut, maankuoren keskimääräisiin pitoisuuksiin perustuvat GAI-arvot osoittavat, että molemmissa rikastushiekoissa vismutin, nikkelin, seleenin ja telluurin pitoisuudet ovat merkittävän korkeita. Lisäksi korkearikkisessä rikastushiekassa on merkittävän korkeat hopea-, kupari-, ja reniumpitoisuudet sekä hieman kohonneet koboltin ja germaniumin pitoisuudet. Matalarikkisessä rikastushiekassa on myös hieman kohonneet hopea-, kupari-, ja germaniumpitoisuudet. Germanium voidaan kuitenkin jättää huomiotta, sillä määrittäysraja oli korkeampi kuin maankuoren keskimääräinen pitoisuus.

Taulukko 4-18. Nelihappouutosta määritetyt mineraalien kokonaispitoisuudet. Rikastushiekat, prosessivaihtoehto 2.

Analyysi		Vertailuarvot		Pitoisuudet		GAI-arvo	
Määritettävä aine	Yksikkö	Maan- kuoren keskim. pitoi- suus	VNA 214/2007 kynnys- arvo	Korkea- rikkinen rikastus- hiekkä, GCL0121-001 (HST)	Matalarikki- nen rikastus- hiekkä, GCL0121-002 (LST)	Korkeariikki- nen rikastus- hiekkä, GCL0121-001 (HST)	Matalarikki- nen rikastus- hiekkä, 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
Seleen	mg/kg	0,05		62,6	1,5	9	4
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-testin tulokset on koottu taulukkoon 4-19. Taulukossa laskennallisille neutralointipotentiaaliarvolle (NP) ja niiden perusteella lasketuille nettoneutralointipotentiaalille (NNP) ja neutralointipotentiaali-suhteelle (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 1978). Hapontuottopotentiaali perustuu oletukseen, että sulfidirikki on pääosin magneettikiisua. Korkearikkinen rikastushiekan kokonaisrikkipitoisuus on 13,85 %, josta 12,25 % (~88 %) on sulfidirikkiä. Sulfidirikki on määritetty natriumkarbonaattiuutolla, joka poistaa näytteestä sulfaattirikin. Matalarikkinen 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 4-19. 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
Kokonaisrikki	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	Kokonaisrikki	kg CaCO ₃ eq/t	432,81	7,50
C-NP	Laskennallinen	kg CaCO ₃ eq/t	30,83	47,50
T-NP	EN15875	kg CaCO ₃ eq/t	56,23	87,83
C-NPR	Laskennallinen		0,07	6,33
T-NPR	Laskennallinen		0,13	11,71
C-NNP	Laskennallinen	kg CaCO ₃ eq/t	-401,98	40,00
T-NNP	Laskennallinen	kg CaCO ₃ eq/t	-376,58	80,30
NAG				
NAG-pH			2,91	9,65
NAG-pH 4,5		kg H ₂ SO ₄ eq/t	19,45	0,00
NAG-pH 7		kg H ₂ SO ₄ eq/t	96,21	0,00
NAG yhteensä		kg H ₂ SO ₄ eq/t	115,66	0,00
ABCC-NP				
pH 4:ään		kg CaCO ₃ eq/t	33,00	48,00
pH 2,5:een		kg CaCO ₃ eq/t	60,60	73,23

Analyytti	Menetelmä	Yksikkö	Korkearikkinen rikastushiekka, GCL0121-001 (HST)	Matalarikkinen rikastushiekka, GCL0121-002 (LST)
Aineksen luokittelu hapontuottokyvyn perusteella			PAF	NAF

	Ei happoa tuottava (Non Acid Forming, NAF)
	Mahdollisesti happoa tuottava (Potentially Acid Forming, PAF)

Sulfidirikin jakauma eri mineraaleissa on esitetty taulukossa 4-20. Korkearikkisen rikastushiekan sulfidirikistä 92 % on magneettikiisussa ja 7 % rikkikiisussa. Matalarikkisessä rikastushiekassa sulfidirikki jakaantuu melko tasaisesti magneettikiisuun, rikkikiisuun, pentlandiittiin ja kuparikiisuun.

Taulukko 4-20. Sulfidisen rikin jakautuminen eri sulfidimineraaleihin. Rikastushiekat, prosessivaihtoehto 2.

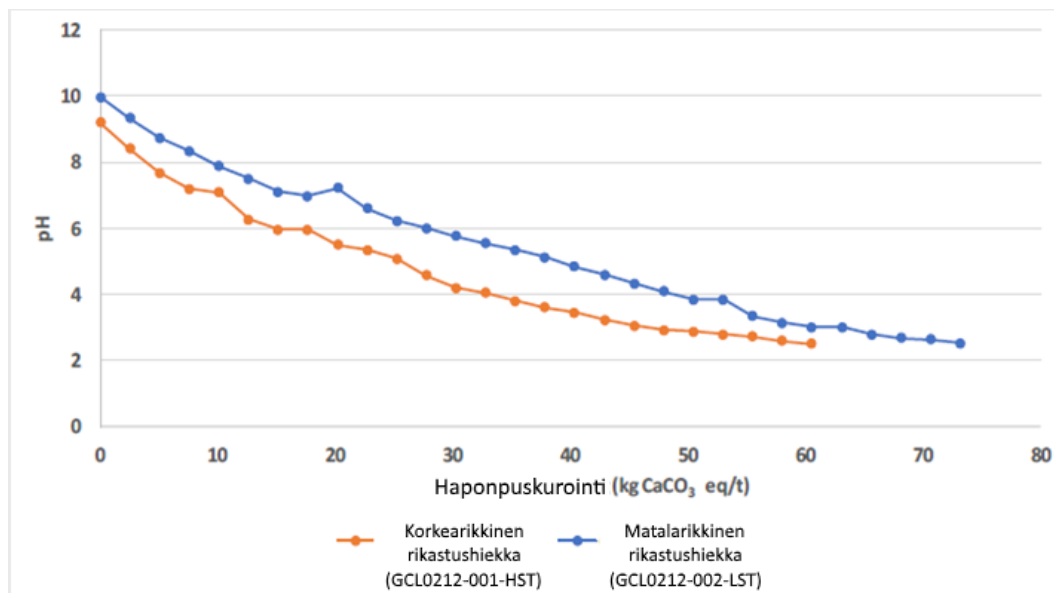
Mineraali	Korkearikkinen rikastushiekka (HST)		Matalarikkinen rikastushiekka (LST)	
	S, m-%	%	S, m-%	%
Magneettikiisu	11,26	92 %	0,03	23 %
Rikkikiisu	0,8	7 %	0,05	34 %
Pentlandiitti	0,16	1 %	0,03	21 %
Kuparikiisu	0,02	0 %	0,03	22 %
Yhteensä	12,25	100 %	0,14	100 %

Korkearikkisen rikastushiekan neutralointipotentiaalisuhde (NPR) on alle 1 ja nettoneutralointikapasiteetti (NNP) alle 20 kg CaCO₃ eq/t molemmilla laskentamethodilla (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 karbonaattietä titrausmenetelmällä määritetty) johtuen happamuus ilmenee viiveellä neutralointipotentiaalin hiipuessa.

Matalarikkinen rikastushiekka NPR > 3 ja NNP > 20 kg CaCO₃ eq/t molemmilla määritysmenetelmillä (C-NP and T-NP) laskettuna. Tulokset 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 4-10. Puskurikapasiteetti (ABCC) pH 4:ään on lähellä C-NP-arvoa (33,0 kg CaCO₃ eq/t korkearikkiselle rikastushiekalle ja 48,0 kg CaCO₃ eq/t matalarikkiselle rikastushiekalle). Puskurikapasiteetti pH 2,5:een on lähellä T-NP-arvoa (60,6 CaCO₃ eq/t korkearikkiselle rikastushiekalle ja 73,2 kg CaCO₃ eq/t matalarikkiselle rikastushiekalle). Puskurikapasiteettikuvaajan

mukaan puskurikapasiteetti pH 7:ään on hyvä (yli 10 kg CaCO₃ eq/t) molemmilla rikastushiekoilla.



Kuva 4-10. Haponpuskurointikuvaaja (ABCC). Rikastushiekat, prosessivaihtoehto 2.

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

- Kaksivaiheinen ravistelutesti
 - Tulos edustaa välitöntä kontaktiliukoisuutta.
- Varastoidun rikastushiekan näytteen pinnalle kertyvän dekanttiveden analyysi
 - Tulos edustaa alkavaa näytteen hapettumista.
- NAG-utteen analyysi
 - Tulos edustaa kokonaishapetusta.

Taulukossa 4-21 on esitetty dekanttivedestä sekä ravistelutestin liuoksesta ja NAG-utteesta mitatut alkuaineiden liukoisuudet. Sähkönjohtavuus, pH, alkaliteetti ja happamuus esitetään pitoisuuksina testiliuoksessa. Muut parametrit esitetään massapitoisuuksina (mg/kg tai µg/kg).

Kupari on suhteellisen runsaana esiintyvä metalli Sakatin rikastushiekoissa ja tyypillisesti sulfideihin sitoutunut raskasmetalli, mutta sen pitoisuus dekanttivedessä ja ravistelutestien tuloksissa oli alle määritysrajan 0,3 µg/l. Dekanttivedessä ja ravistelutesteissä hapettumisen vaikutus ei vielä ole edustettuna ja lisäksi liuosten lievä emäksisyys vaikuttaa siten, että Cu²⁺-ionit ovat heikko-liukoisia ja tyypillisesti adsorboituvat rautaoksidien pinnoille. Hapettavassa NAG-testissä vapautui 8,4 % korkearikkeisen rikastushiekan

kokonaiskuparimäärästä. Matalarikkisesta rikastushiekasta kuparia vapautui hapetettaessa vain vähän (530 µg/kg) todennäköisesti tiukan mineraaleihin sitoutumisen takia, mukaan lukien silikaattimineraalit. Myös koboltin lyhyen aikavälin liukoisuus oli vähäistä, mutta korkearikkisen rikastushiekan NAG-testin mukaan 64 % näytteen kokonaiskobolttimäärästä olisi pitkällä aikavälillä hapeuttuvissa. Nikkeliä vapautui korkearikkisen rikastushiekan dekanttiveteen 168 µg/kg, mikä viittaa siihen, että nikkeliä olisi korkearikkisessä rikastushiekassa jossain määrin jo valmiiksi helppoliukoissa muodossa. Myös korkearikkisen rikastushiekan ravistelutestissä tavattiin nikkeliä, mutta dekanttivettä pienempänä määränä. Korkearikkisen rikastushiekan NAG-testissä nikkeliä vapautui 67,4 % rikastushiekassa olevasta nikkelistä eli merkittävä osa korkearikkisen rikastushiekan nikkelistä on hapettumisreaktioiden myötä pitkällä aikavälillä vapautuvassa muodossa. Matalarikkisen rikastushiekan NAG-testissä nikkeliä vapautui vain 1 % rikastushiekassa olevasta nikkelistä.

Taulukko 4-21. Yhteenveto dekanttiveden, 2-vaiheisen ravistelutestin ja NAG-testin loppuliuksen määritystuloksista. 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)						
Analyytti	Yksikkö	Dekantti- vesi	EN12457- 3 (S1)	EN12457- 3 (S2)	Summa EN12457- 3	NAG	De- kantti- vesi	EN12457- 3 (S1)	EN12457- 3 (S2)	Summa EN12457-3	NAG, en- nen reak- tiota	NAG, re- aktion jälkeen	
Nesteen ja kiinteän aineen suhde		0,33	2	8	10	100	0,31	2	8	10	100	100	
pH		8	8,3	8,4		2,9	8,8	9,05	9,2		8,8	9,65	
Sähkön- johtavuus	uS/cm @ 25°C	3047	1011	254		3511	2658	638	183		536	196	
Alkaliteetti pH 8.3:een	mg/l CaCO ₃	0,00	0,00	0,00		8,5	5,5	2,5					
Alkaliteetti pH 4,5:een (yhteensä)	mg/l CaCO ₃	216	125	54		224	104	41,5					
pH H ₂ O ₂ li- säyksen 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					
Netto- happamuus (a)	mg/l CaCO ₃	433	85	-10	-144	-67	-20						
Kloridi	mg/kg	47,9	37	7,9	44,9		74,3	62,6	18,5	81,1			
Sulfaatti- rikki	mg/kg	93,7	132,6	77,8	210,4		76,8	98,6	74,4	173			
Kokonais- rikki	mg/kg	262,3	568	355,2	923,2	62100	112,6	125	132,8	257,8	1070	1370	
Ei-sulfaat- tinen rikki	mg/kg	168,6	435,4	277,4	712,8		35,88	26,4	58,4	84,8			
Natrium	mg/kg	112,5	113,6	46,8	160,4	229	101,4	185,8	90,4	276,2	665	797	
Magne- sium	mg/kg	66	139,8	84,8	224,6	29300	22,0	31	42,7	73,72	4000	79,5	
Kalium	mg/kg	22,1	50,4	56,3	106,7	340	19,6	45,8	83,2	129	1250	1570	
Kalsium	mg/kg	16,5	71,8	175,2	247	7400	3,15	15,98	65,4	81,34	3930	1330	
Rauta	mg/kg	<0,0063	<0,038	<0,152	<0,19	39600	<0,0059	<0,038	<0,15	<0,19	<1,9	6,93	

		Korkearikkinen rikastushiekka (HST)					Matalarikkinen rikastushiekka (LST)					
Analyytti	Yksikkö	Dekantti- vesi	EN12457- 3 (S1)	EN12457- 3 (S2)	Summa EN12457- 3	NAG	De- kantti- vesi	EN12457- 3 (S1)	EN12457- 3 (S2)	Summa EN12457-3	NAG, en- nen reak- tion	NAG, re- aktion jälkeen
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	<0,031	<0,2	<0,8	<1	<10	<10
Kadmium	µg/kg	<0,026	<0,16	<0,64	<0,8	107	<0,025	<0,16	<0,64	<0,8	<8	<8
Kromi	µg/kg	<0,33	<2	<8	<10	443	<0,31	<2	<8	<10	10800	13300
Koboltti	µg/kg	1,92	1,69	4,23	5,93	81800	0,168	<1	<4	<5	<50	<50
Kupari	µg/kg	<0,099	<0,6	<2,4	<3	66000	<0,094	<0,6	<2,4	<3	531	<30
Lyijy	µg/kg	<0,066	<0,4	<1,6	<2	2080	<0,062	<0,4	<1,6	<2	30,7	<20
Mangaani	µg/kg	24,1	117,4	81,6	199	290000	2,47	<6	<24	<30	6010	<300
Elohopea	µg/kg	0,003	0,02	0,08	0,1	1	<0,003	<0,02	<0,08	<0,1	<1	<1
Nikkeli	µg/kg	168	190	368	558	2600000	15,0	8,04	46,8	54,8	567	144
Fosfori	µg/kg	346,5	458	274,4	732,4	1000	248	220	120,8	340,8	<1000	<1000
Seleen	µg/kg	5,15	13,8	<8	<21,8	12100	2,08	4,18	9,04	13,2	436	653
Hopea	µg/kg	<0,17	<1	<4	<5	<50	<0,16	<1	<4	<5		<50
Titaani	µg/kg	0,42	<2	<8	<10	596	1,33	3,08	<8	<11,08	206	204
Vanadiini	µg/kg	<0,33	<2	<8	<10	<100	<0,31	<2	<8	<10	<1090	<100
Sinkki	µg/kg	<0,33	<2	<8	<10	12800	<0,31	<2	<8	<10	<100	<100

<Arvo Alle määritysrajan

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

Liuenneen kokonaisrikin pitoisuus on sekä korkearikkisen että matalarikkinen rikastushiekan dekanttivedessä korkeampi kuin sulfaattirikin pitoisuus. Ei-sulfaattisen rikin esiintyminen voi johtua tiосуolojen esiintymisestä rikastushiekanäytteissä. Ei-sulfaattista rikkiä havaittiin myös ravistelutestin molemmissa vaiheissa. Tiосуoloja muodostuu malmin prosessoinnin aikana, sekä malmin hienonnuksessa että kemiallisten kokooja-aineiden vaikutuksesta sulfidimembraalien pinnoilla. Lisäksi tiосуoloja voi läjitysolosuhteissa muodostua sulfidien epätäydellisen hapettumisen kautta rikastushiekan hapellisessa osassa. Tiosulfaatti on huomionarvoinen aine, koska se hapettuu edelleen sulfaattiksi, muodostaen happamuutta viiveellä. Fosforin vapautuminen kaksivaiheisessa ravistelutestissä oli korkearikkisellä rikastushiekalla 732 µg/kg ja matalarikkisellä rikastushiekalla 341 µg/kg. Prosessikemikaalit ovat keskeinen fosforin lähde.

4.6.4 Prosessivesi ja kemikaalijäämät prosessivaihtoehdossa 2

Prosessivaihtoehdon 2 rikastuskokeessa otettiin prosessivesinäytteet suoraan koetilanteesta sekä matalarikkisestä että korkearikkisestä rikastushiekanäyttestä. Lisäksi lietteenä laboratorioon toimitettujen rikastushiekanäytteiden päältä dekantoitiin vesinäytteet eli otettiin dekanttivesinäytteet, joita on kuvattu kappaleessa 4.6.3.

Matalarikkinen rikastushiekan prosessiveden pH oli emäksinen, 9,6. Sulfaattia prosessivedessä oli 250 mg/l ja nikkeliä 8 µg/l. Koboltti, kupari ja sinkki

pitoisuudet jäivät alle määrittäysrajojen ($<0,1 \mu\text{g/l}$, $<5 \mu\text{g/l}$ ja $<5 \mu\text{g/l}$). Fosforipitoisuus oli $1,2 \text{ mg/l}$. Tiosulfaattia prosessivedessä oli 24 mg/l . Natriumetyyliksantaatin jäämäpitoisuus oli $1,7 \text{ mg/l}$.

Korkearikkistä rikastushiekkaa muodostavien prosessijätevirtojen vesissä pH-arvot olivat 9,6 ja 9,2 ja sulfaattipitoisuudet 260 mg/l ja 180 mg/l , nikkelipitoisuudet $8 \mu\text{g/l}$ ja $10 \mu\text{g/l}$. Koboltin pitoisuudet olivat $<0,1 \mu\text{g/l}$ ja $0,2 \mu\text{g/l}$. Kuparin ja sinkin pitoisuudet jäivät alle määrittäysrajojen ($<0,1 \mu\text{g/l}$). Fosforipitoisuudet olivat $1,4 \text{ mg/l}$ ja $0,5 \text{ mg/l}$. Tiosulfaattipitoisuus oli toisessa virrassa 25 mg/l ja toisessa määrittäysrajan ($<5 \text{ mg/l}$) alapuolella. Natriumetyyliksantaatin jäämäpitoisuus oli $2,5 \text{ mg/l}$. Se analysoitiin vain toisesta korkearikkiseen rikastushiekkaan päätyvistä prosessijätevirroista. Tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että tulokset eivät sellaisenaan edusta minkään kaivannaisjätealueen veden laatua, sillä prosessivesi on vain yksi jätealueiden vesien laatuun vaikuttavista tekijöistä.

4.6.5 Prosessivaihtoehdon 2 rikastushiekkojen pitkäaikaiskäyttäytyminen

Matala- ja korkearikkisiä rikastushiekkoja on testattu standardin ASTM D 5744-18 mukaisella kosteuskammiokokeella. Taulukoissa 4-22 ja 4-23 on esitetty korkearikkisen ja matalarikkisen rikastushiekan kosteuskammiokokeen tulokset keskiarvoina viikkojaksoittain (viikot 0–3, 4–20 ja 21–54). Otteita rikastushiekkojen kosteuskammiokokeiden tuloksista on esitetty myös kuvissa 4-11 - 4-13.

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. Matalarikkisestä rikastushiekasta vapautuvan sulfaatin määrä on pysynyt matalana ja trendi on hitaasti aleneva. Korkearikkisestä rikastushiekasta liukenevan sulfaatin määrä on ollut selvästi korkeampi ja siinä on tapahtunut enemmän vaihtelua. Nikkeliä on liennut korkearikkisestä rikastushiekasta huomattavia määriä koko kokeen ajan ja erityisesti kahdessa eri vaiheessa. Nikkelin liukeneminen matalarikkisestä rikastushiekasta on ollut hyvin vähäistä. Fosforia liukeni korkearikkisestä rikastushiekasta alkuhuuhtelussa merkittävä määrä. Myös matalarikkisestä rikastushiekasta liukeni fosforia alkuhuuhtelussa, mutta korkearikkistä rikastushiekkaa vähemmän. Fosforipitoisuus alkuhuuhtelussa liittyy fosforiin prosessikemikaaleissa.

Taulukko 4-22. Korkearikkisen rikastushiekan kosteuskammiotestin viikkojaksoittaiset tulokset keskiarvoina (viikot 0-3, 4-20 ja 21-54), prosessivaihtoehto 2. (Perustuu Geochemic Ltd:n tuotamaan aineistoon 2021a).

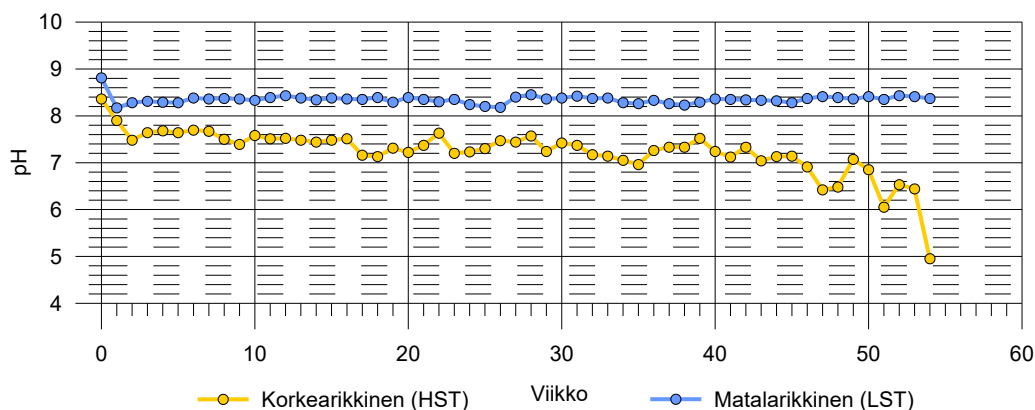
Geokemia, Viikkojaksot 0-3, 4-20 ja 20-54. Tulokset esitetty keskiarvoina					
Ainesosa	Fluori	Ammoniumtyppi	Kloridi	Nitriitti NO ₂ :na	Nitraatti NO ₃ :na
yksikkö	mg/kg/viikko	mg/kg/viikko	mg/kg/viikko	mg/kg/viikko	mg/kg/viikko
Viikot 0-3	0,93	0,14	11,04	0,37	0,65
Viikot 4-20	0,33	0,04	3,50	0,11	0,28
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

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

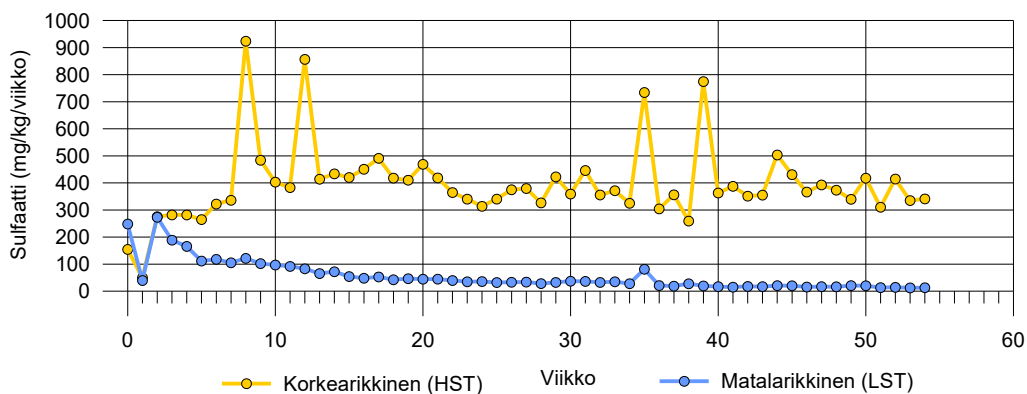
Taulukko 4-23. Matalarikkisen rikastushiekan kosteuskammiotestin viikkojaksoittaiset tulokset keskiarvoina, prosessivaihtoehto 2. (Perustuu Geochemic Ltd:n tuottamaan aineistoon 2021a).

Geokemia, Viikkojaksot 0–3, 4–20 ja 20–54. Tulokset esitetty keskiarvoina					
Ainesosa	Fluori	Ammonium	Kloridi	Nitriitti 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	0,92	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	Beryllium	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	Seleeni	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

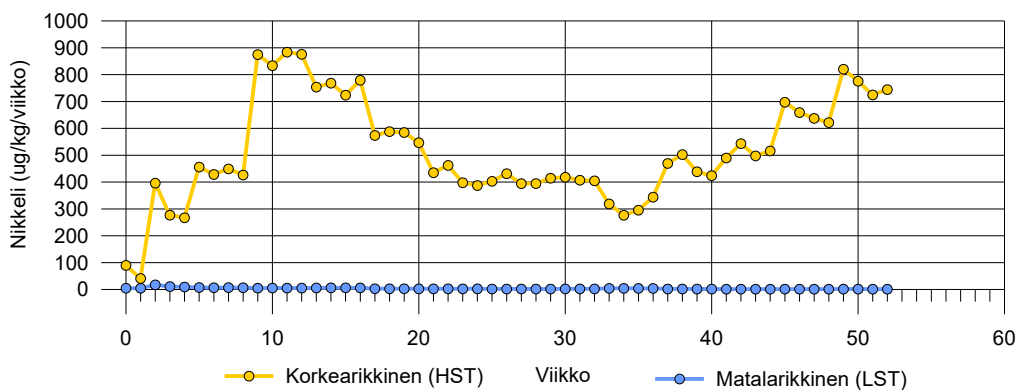
* Torium: Näytetulokset alkavat viikolta yhdeksän. Tässä tapauksessa Viikot 4-20 keskiarvo on laskettu viikoilta 9-20.



Kuva 4-11. Kosteuskammiokokeiden viikko-pH, prosessivaihtoehto 2 (Geochemic Ltd. 2021).



Kuva 4-12. Sulfaatin muodostuminen kosteuskammiokokeen aikana, prosessivaihtoehto 2 (Geochemic Ltd. 2021).



Kuva 4-13. Nikkelin vapautumisnopeus kosteuskammiokokeessa, prosessivaihtoehto 2 (Geochemic Ltd. 2021).

4.6.6 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 uuttosuhde (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 4-24 ja Taulukko 4-25. 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 rikastushiekoihin 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 liukenemispotentiaalia. Tuloksia käytetään skaalaamalla ne kenttäolosuhteisiin, kuvaamaan louhostäyttöjen vaikutusta maanalaisen kaivoksen veden laatuun, yhtenä osana veden laadun mallintamista.

Taulukko 4-24. Monoliitin 1 uuttokoe, prosessivaihtoehdo 2 (mg/m²). Taulukossa on esitetty aineiden liukoisuus laskettuna monoliitin pinta-alaa kohden kunakin ajanjaksona (Geochemic Ltd. 2021a). Huom. monoliitin uuttokokeen tulos ei ole maanalaisen kaivoksen kuivanapitovesien laatu.

Parametri		Uutteen konsentraatio, Monoliitti 1								
		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
Alkaliiteetti	mg/m ² CaCO ₃	1600	2300	2400	2600	8200	8300	3500	1400	2
Alumiini	mg/m ²	23	32	36	36	59	57	67	58	0,001
Antimoni	mg/m ²	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001



Parametri		Uutteen konsentraatio, Monoliitti 1								
		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. *
Arseeni	mg/m ²	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0049	0,0054	<0,0001	0,0001
Barium	mg/m ²	0,3	0,68	0,86	0,91	1,4	1,5	2	1,9	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	<0,00005	0,00005
Boori	mg/m ²	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,45	0,54	0,58	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	380	860	1100	1100	1800	1800	2700	3000	0,05
Kloridi	mg/m ²	64	76	78	77	190	140	260	230	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	0,022	0,017	0,017	0,018	0,041	0,044	0,12	0,13	0,0002
Fluoridi	mg/m ²	<0,1	<0,1	4,4	4,5	7,5	8,3	13	12	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	0,0023	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	0,00005
Litium	mg/m ²	0,065	0,1	0,11	0,12	0,19	0,19	0,3	0,3	0,001
Magnesium	mg/m ²	0,29	0,81	1,1	1,2	0,79	0,73	0,61	0,67	0,005
Mangaani	mg/m ²	<0,0001	<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	<0,000005	0,00021	0,00025	0,000005
Molybdeeni	mg/m ²	0,011	0,011	0,012	0,012	0,025	0,024	0,048	0,046	0,00005
Nikkeli	mg/m ²	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,034	0,036	0,0005
Fosfori	mg/m ²	0,12	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,38	0,29	0,002
Kalium	mg/m ²	400	440	410	390	680	620	950	810	0,05
Seleen	mg/m ²	0,082	0,051	0,059	0,064	0,1	0,12	0,21	0,24	0,00005
Pii	mg/m ²	28	58	88	110	140	140	130	110	0,05
Hopea	mg/m ²	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	0,00001
Natrium	mg/m ²	330	350	330	320	560	510	870	670	0,05
Strontium	mg/m ²	1,9	3,6	3,7	3,8	6,6	6,6	10	11	0,0002
Sulfaattirikki (S)	mg/m ²	150	180	190	200	360	420	840	1100	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	1,3	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 4-25. Monoliitin 2 uuttokoe, prosessivaihtoehto 2 (mg/m²). Taulukossa on esitetty aineiden liukoisuus laskettuna monoliitin pinta-alaa kohden kunakin ajanjaksona (Geochemic Ltd. 2021a). Huom. monoliitin uuttokokeen tulos ei ole maanalaisen kaivoksen kuivanapitovesien laatu.

Parametri		Uutteen konsentraatio, Monoliitti								
		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	
	Yk-sikkö	6 h	24 h	54 h	96 h	216 h	384 h	864 h	1536 h	M.R.*
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
Alkaliteetti	mg/m2 CaCO3	1500	2400	2700	2100	9700	10000	2900	1300	2
Alumiini	mg/m²	27	38	39	39	60	56	67	56	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	0,0045	0,0045	0,0049	<0,0001	0,0001
Barium	mg/m²	0,3	0,6	0,71	0,75	1,2	1,2	1,6	1,6	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	0,0041	0,00005
Boori	mg/m²	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,49	0,49	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	520	950	1100	1200	1900	2000	3000	3700	0,05
Kloridi	mg/m²	65	76	82	78	140	140	240	210	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	0,042	0,023	0,023	0,023	0,046	0,054	0,11	0,13	0,0002
Fluoridi	mg/m²	<0,1	4,2	4,6	4,6	8	8	12	16	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	0,0034	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	0,00005
Litium	mg/m²	0,1	0,12	0,14	0,14	0,23	0,24	0,4	0,42	0,001
Magnesium	mg/m²	0,4	0,94	1,4	1,7	1,1	1,1	0,91	0,89	0,005
Mangaani	mg/m²	0,0065	<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	0,0041	<0,000005	<0,000005	0,000005
Molybdeeni	mg/m²	0,018	0,02	0,021	0,018	0,04	0,04	0,077	0,073	0,00005
Nikkeli	mg/m²	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,042	0,051	0,0005
Fosfori	mg/m²	0,26	0,19	0,2	0,2	0,25	0,24	0,55	0,46	0,002
Kalium	mg/m²	430	440	460	430	700	630	950	810	0,05
Seleen	mg/m²	0,052	0,072	0,079	0,081	0,15	0,15	0,25	0,21	0,00005
Pii	mg/m²	22	49	79	91	120	120	110	92	0,05
Hopea	mg/m²	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	0,0021	0,00001
Natrium	mg/m²	330	340	350	330	580	510	830	660	0,05

Parametri		Uutteen konsentraatio, Monoliitti								
		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. *
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. = määritysraja

4.7 Viimeisimmät rikastuskokeet ja täydentävä 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 4-26 esitetään 16 matalarikkisen rikastushiekkänyhteen nelihappouutolla määritettyjen rikki-, koboltti-, kupari- ja nikkelipitoisuuksien jakauma. Pitoisuudet ovat samaa suuruusluokkaa edellä esitettyjen matalarikkisen rikastushiekan pitoisuuksien kanssa prosessivaihtoehdoissa 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 4-26. Alkuaineiden kokonaispitoisuudet matalarikkisten rikastushiekkojen nelihappouutosta 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

4.8 Eri prosessivaihtoehtojen rikastushiekkojen geokemiallisten tulosten vertailu

Yleisesti metallipitoisuudet olivat molempien prosessivaihtoehtojen matalarikkisessä rikastushiekassa pienemmät kuin korkearikkisessä rikastushiekassa. Korkea- ja matalarikkisten rikastushiekkojen nelihappouuton metallipitoisuudet olivat metallista riippuen keskimäärin hieman pienemmät prosessivaihtoehto 2:ssa. Prosessivaihtoehdossa 2 sekä kokonaisrikkipitoisuus että sulfidirikkipitoisuus olivat selvästi pienempiä kuin prosessivaihtoehdossa 1. Neutralointipotentiaalisuhteen osalta tulokset olivat prosessivaihtoehtojen välillä samansuuntaiset, ja sekä prosessivaihtoehto 1:n että prosessivaihtoehto 2:n korkearikkisen rikastushiekka voitiin määritellä mahdollisesti happoa tuottavaksi (PAF). Molempien prosessivaihtoehtojen matalarikkiset rikastushiekat määriteltiin ei-happoa tuottaviksi (NAF).

Prosessivaihtoehto 1:ssä tehtiin kosteuskammio-koetta ainoastaan matalarikkiselle rikastushiekalle, lisäksi prosessivaihtoehdosta 1 on kosteuskammio-tuloksia vain viikkoon 24 asti, kun taas prosessivaihtoehto 2:sta on tuloksia raportoitu viikolle 54 asti. Kun vertaillaan prosessivaihtoehto 1:n ja prosessivaihtoehto 2:n matalarikkisten rikastushiekkojen tuloksia, voidaan todeta, että 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 melko vähäistä. Arseenin vapautuminen oli suurempaa prosessivaihtoehto 2:n rikastushiekassa.

Monoliitin uuttokokeessa molempien prosessivaihtoehtojen monoliittien uuttoliuoksen emäksisyydet kasvoivat selvästi kokeen alkuvaiheessa. Sulfaatin vapautuminen käynnistyi prosessivaihtoehtoon 2 monoliitissa nopeammin verrattuna prosessivaihtoehtoon 1 monoliittikokeeseen. Kuparin ja arseenin vapautuminen prosessivaihtoehto 2:n monoliitista oli prosessivaihtoehtoon 1 monoliittia vähäisempää.

4.9 Kuitumineraaliselvitykset

Mineralogisen karakterisoinnin yhteydessä (SRK Consulting Ltd. 2018b) 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 näyttemateriaalia, jossa oli mukana keskimääräisten näytteiden lisäksi myös erityisiä näytteitä, joihin kohdistui kuitumineraaliepäilyjä silmämääräisiin havaintoihin perustuen.

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 amfibolikuidut, joiden kemiallinen koostumus on lähellä yllä mainittujen mineraalien koostumusta ja joilla voidaan olettaa olevan samankaltaisia terveysvaikutuksia kuin asbestilla.

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

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 asbestimineraalien tunnistamisessa. Kiderakenteita on selvitetty XRD:llä. Kuitutunnistuksessa on käytetty mikroskopiaa, sekä optista- että pyyhkäisyelektronimikroskopiaa. Kuitumineraalihavainnot malmin ja sivukiven perustutkimuksissa ovat olleet kohdullisen hyvin linjassa työhygieenisen esiselvityksen tulosten (Työterveyslaitos 2018) kanssa.

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.

4.10 Prosessijätevesien 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, kaatopaikkasijoitus sekä ulkopuolisen jätehuoltopalvelun käyttäminen. Ratkaisu tehdään jatkoselvitysten pohjalta.

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 luokittelevat kaivannaisjätteiksi.

5 Kaivannaisjätteiden jätealueet ja niiden rakenteet

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.

5.1 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. Pintamaata ei oletettavasti tule jäämään käyttämättä kaivoksen sulkemisen jälkeen.

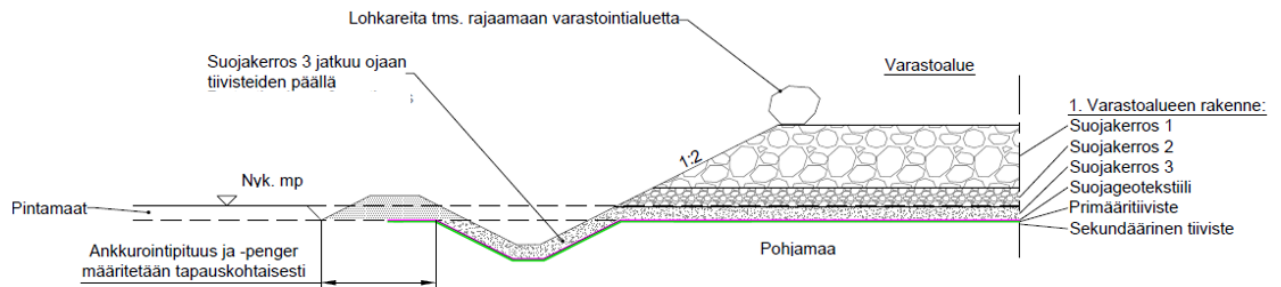
5.2 Sivukivien sijoitusalueet

Sakatin kaivosalueella on korkearikkiselle ja matalarikkiselle sivukivelle omat väliaikaiset 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

Pohjarakenne esitetään myös kuvassa 5-1.



Kuva 5-1. Sivukiven sijoitusalueiden rakenne.

5.3 Rikastushiekka-alueet

Korkearikkinen rikastushiekka pumpataan lietteenä erilliseen varastoaltaaseen. Matalarikkinen rikastushiekka läjitetään sitä varten rakennettavalle rikastushiekka-alueelle. Matalarikkinen rikastushiekka läjitysvaihtoehdot ovat kuivaläjäytys (alavaihtoehto a) ja märkäläjäytys (alavaihtoehto b). Kuivaläjäytystä käytettäessä rikastushiekka-alue jaetaan kahteen lohkokseen. Läjäytys aloitetaan toisesta lohkoksesta ja vasta sen täytyttyä läjäytys 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.

5.3.1 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

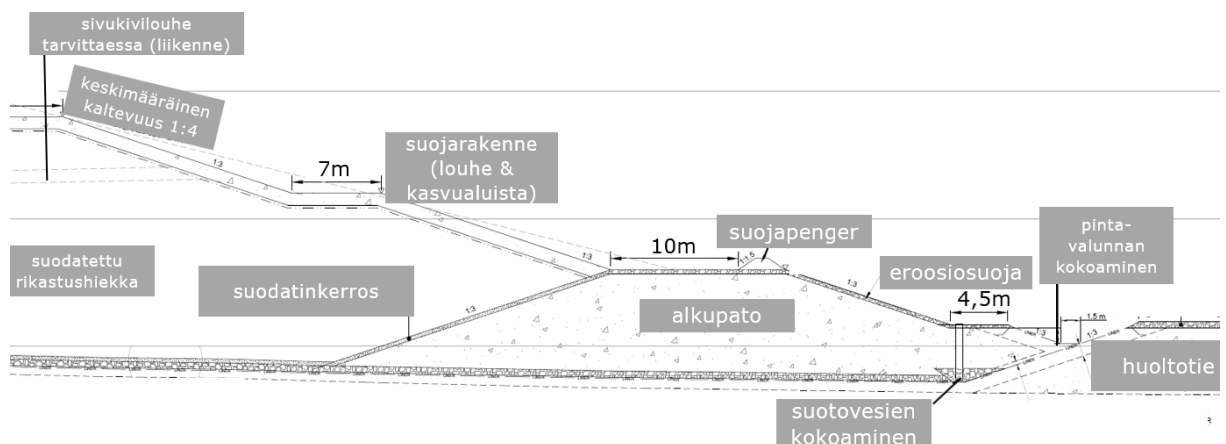
Matalarikkinen rikastushiekka-alueen kuivaläjäytysvaihtoehdon tiivis pohjarakenne (ylhäältä alas) on 2021 valmistuneiden suunnitelmien mukaisesti seuraava:

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

Alkupadon rakenne muodostuu (ulkoa sisään päin) eroosiosuojatusta varsinaisesta alkupadosta, joka rakennetaan vinotunnelin porauksesta syntyvästä matalarikkisesta sivukivirouheesta, sekä suodatinrakenteesta. Tiivis pohjarakenne ulottuu alkupadon alle. Tuotannon aikana suotovedet kootaan alkupadon ulko-reunalta. Ratkaisu tarkentuu suunnittelun edetessä.

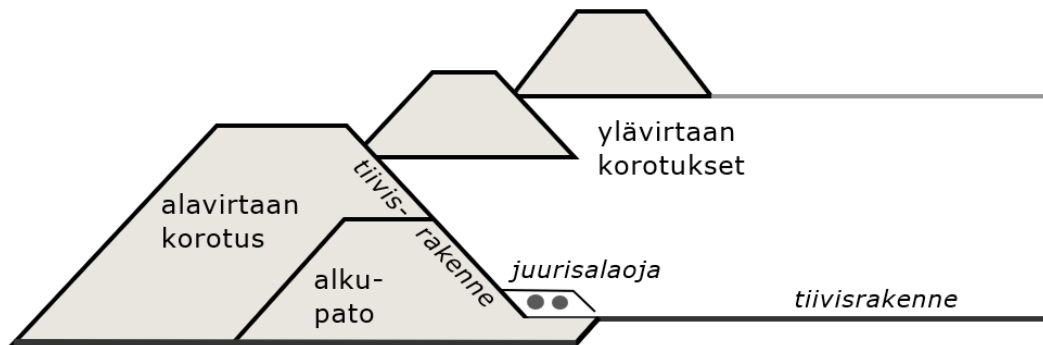
Kuivaläjitysalueella noin 110 metrin etäisyydelle alkupadosta ja luiskasta läjittävä rikastushiekka tiivistetään 95 %:iin maksimi-proctor-sullontatiheydestä. Kuivaläjitysalueen muissa osissa läjityksen tiivistysaste on 85 %. Alkupadon lisäksi kuivaläjitysalueen sisäpuolisissa rakenteissa hyödynnetään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

Uutta yllä kuvattua rakennetta on käytetty rikastushiekka-alueen sulkemisen jälkeisten suotovesien laadun ja määrän arvioinnissa, tarkasteltaessa prosessivaihtoehdossa 2 muodostuvan rikastushiekan sijoittamista (Kuva 5-2).



Kuva 5-2. Matalarikkisen rikastushiekka-alueen perustaminen – rakenneratkaisu kuivaläjitykselle vuodelta 2021 (Golder Associates Oy 2021), YVA-vaihtoehdot VE1a, VE2a ja VE3a. Tätä rakenneratkaisua on käytetty myös mallinnettaessa rikastushiekka-alueen suotovesien määrää ja laatua, rikastushiekan ollessa prosessivaihtoehdon 2 mukaista.

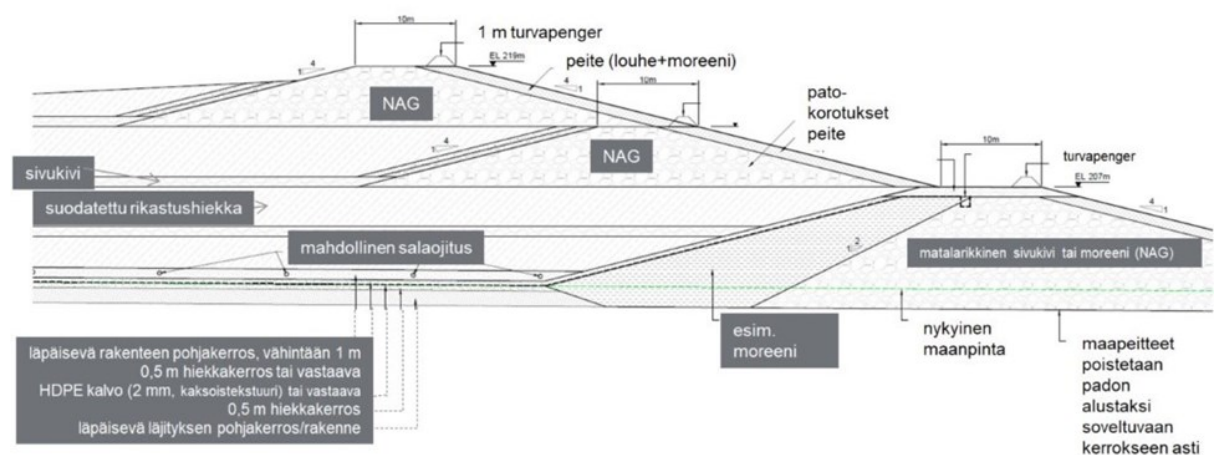
Märkäläjitysvaihtoehdolle oletetaan tarvittavan eristysominaisuuksiltaan kuivaläjitystä vastaava pohjarakenne. Huomioiden läjitysratkaisujen tekniset erot, täysin samasta rakenteesta ei välttämättä kuitenkaan ole kysymys. Matalarikkisen rikastushiekka-altaan padot rakennetaan louheesta ja moreeniitiivisteestä. 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 5-3). Reunapadon sisäluiskan juureen rakennetaan juurisalaoja, jolla pyritään kuivattamaan rikastushiekkaa ja lisäämään kantavuutta sisäänpäin korotuksia varten.



Kuva 5-3. Märkäläjäytysvaihtoehtojen alustava patokorotustapa.

Vuoden 2018 suunnitelman mukainen rakennevaihtoehto

Kannattavuuden esiselvitysvaiheessa A laadittu suunnitelma kuivaläjitettävän matalarikkisen rikastushiekka-alueen rakenteesta on havainnollistettu kuvassa 5-4. 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 (Kuva 5-4) käytetään erillisiä korotuspennereitä, kun taas uudemmassa suunnitelmassa (Kuva 5-2) korotus tapahtuu rikastushiekalla käyttäen louhetta sisältävää suojarakennetta. Mahdollisena täydentävänä rakenteena oli salaojitus läjityksen alaosassa.



Kuva 5-4. Sakatin kannattavuuden esiselvitysvaiheessa A suunniteltu alustava rakenne matalarikkisen rikastushiekkan 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, rikastushiekkan 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.

5.3.2 Korkearikkisen rikastushiekan varastoallas

Kaivoksen toiminnan aikana korkearikkisen rikastushiekka märkäläjitetään varastoaltaaseen. Säilytyksen aikana korkearikkisen 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.

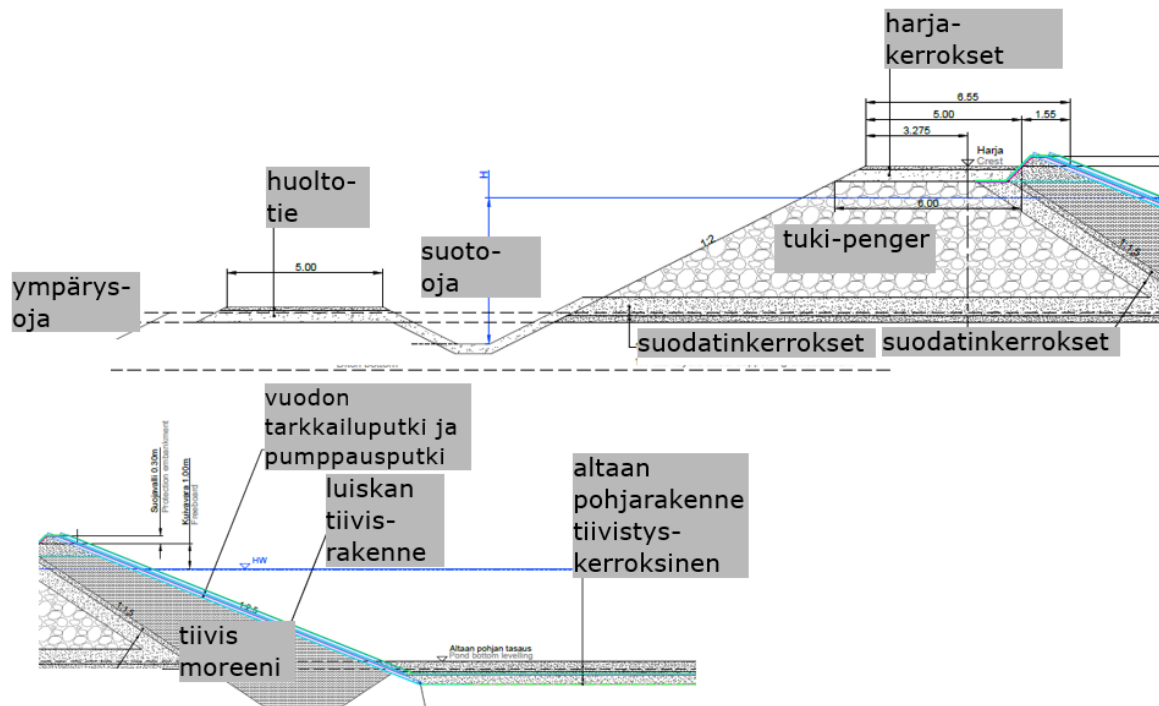
Luiskan tiivisrakenne (altaan sisäpuolelta alkaen) on 2021 valmistuneiden suunnitelmien mukaisesti seuraava:

- 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 korkearikkisen 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 5-5).



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

6 Kaivannaisjätteiden ja jätealueiden luokitukset

Kaivannaisjätteiden ja jätealueiden luokituksia perusteineen on kuvattu tarkemmin raportissa AFRY Finland Oy (2023). Tässä kappaleessa esitetään tiivistelmä luokittelun tuloksista.

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 nikkelipitoisuus saattaisi soveltua moreenien luokitteluperusteeksi. Jätenuumeroksi pintamaille tulee joka tapauksessa 01 01 01 – metallimineraalien louhinnassa syntyvät jätteet (VNA 978/2021, liite 3). Kaivoksen toiminnan aikainen pintamaiden sijointialue luokituu muuksi kaivannaisjätteen jätealueeksi.

Sekä korkea- että matalarikkiset sivukivet edustavat ei-pysyvää ja ei-vaarallista kaivannaisjätettä (VNA 190/2013, liite 1). Jätenuumeroksi tulee 01 01 01 – metallimineraalien louhinnassa syntyvät jätteet (VNA 978/2021, liite 3). Kaivoksen toiminnan aikaiset sivukivialueet luokituvat muiksi kaivannaisjätteen jätealueiksi. Vinotunnelin sijaintivaihtoehdot eivät vaikuta luokitukseen.

Sakatin kaivoksen kahden prosessivaihtoehdon korkea- ja matalarikkisen rikastushiekan ominaisuuksia on tarkasteltu ympäristövaarallisen jätteen, vaaraominaisuus HP 14, kriteerien mukaan, kuten Ympäristöministeriön oppaassa ”Jätteen luokittelu vaaralliseksi jätteeksi – päivitetty opas 02/2019” on esitetty (Ympäristöministeriö 2019). Jäteluokituksen määrittäviksi komponenteiksi tulevat nikkelin ja kromin yhdisteet ja pitoisuudet ylittävät vaaralliselle jätteelle asetetut pitoisuusrajat *Aquatic Chronic*, H410-vaaraominaisuuden suhteen. Luokittelussa alkuaineen kokonaismäärä huomioidaan sen haitallisimmassa mahdollisessa esiintymismuodossa, vaikka vain hyvin pieni osuus aineesta olisi haitallisimmassa mahdollisessa esiintymismuodossa.

- Molemmille prosessivaihtoehdoille voidaan rikastushiekoille voidaan nikkelin ja kromin 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 jätenuumeroksi tulee 01 03 05* - muut rikastushiekat, jotka sisältävät vaarallisia aineita. Korkearikkisen rikastushiekka tulee luokittumaan jätenuumerolle 01 01 04* - sulfidimalmin käsittelyssä syntyvät happoa muodostavat rikastushiekat (VNA 978/2021, liite 3).
- Myös molemmille prosessivaihtoehdoille voidaan 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. Korkearikkisen rikastushiekka tulee luokittumaan jätenumerolle 01 01 04* - sulfidimalmin käsittelyssä syntyvät happoa muodostavat rikastushiekat (VNA 978/2021, liite 3).

Erityisesti matalarikkisen rikastushiekan osalta luokittelu tullaan kuitenkin vielä tarkistamaan jätehuoltosuunnitelman laadinnan yhteydessä. Valittavalla prosessivaihtoehdolla ei ole vaikutusta jäteluokitukseen. Korkearikkisen rikastushiekan varastoallas luokituu vaarallisen jätteen osuuden perusteella suuronnettomuuden vaaraa aiheuttavaksi kaivannaisjätteen jätealueeksi. Todennäköisesti myös matalarikkisen rikastushiekka-alue luokituu suuronnettomuuden vaaraa aiheuttavaksi.

Kaivostoiminnan prosessijätevesien puhdistuksessa muodostuvat sakat eivät ole varsinaisesti kaivannaisjätettä, vaan teollisuuden vesienkäsittelyn sakkoja. 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 nimike 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).

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

7 Kaivosalueen sulkemisen jälkeisen tilan käsitteellistäminen sekä sulkemiseen liittyvien riskien ja mahdollisuuksien tunnistaminen

Tässä luvussa tarkastellaan kaivosalueen sulkemisen jälkeistä tilaa käsitteellisesti tasolla. Toisin sanoen kuvataan jälkihoidettavan kaivoksen vuorovaikutussuhdetta ympäristöön. Lisäksi kuvataan käsitteellistämisen pohjalta kaivoksen sulkemiseen ja sulkemisen jälkeiseen tilaan liittyviä riskejä ja mahdollisuuksia.

Koko kaivosalueen kattava käsitteellinen tarkastelu on alustava ja sen tarkoituksena on tukea sulkemiseen liittyvien riskien ja mahdollisuuksien tunnistamista sekä ohjata hankkeen suunnittelua. Tämä alueellinen tarkastelu ei sisällä kaivosalueen eri toimintojen, kuten maanalaisen kaivoksen tai rikastushiekka-alueen sisäistä tarkastelua. Kaivoksen eri toimintoja koskeva käsitteellistäminen on tehty toimenpidesuunnittelun ja geokemiallisen mallinnuksen yhteydessä. Osa-alueiden sulkemisen jälkeisen tilan käsitteellistäminen esitetäänkin veden laatujen kuvaamisen yhteydessä (kappaleet 8 ja 10).

7.1 Kaivoksen sulkemisen jälkeisen tilan käsitteellinen kuvaus

Sulkemisen jälkeisen tilan käsitteellistämällä pyritään määrittelemään jälkihoidettavan kaivoksen vuorovaikutussuhde ympäristöönsä. Tämä sisältää mahdollisten haitta-aineiden ja haittatekijöiden kulkeutumisreittien alustavan tunnistamisen. Lisäksi käsitteellistämisessä avataan kaivoksen eri toimintojen välisiä vuorovaikutuksia alueen sisällä. Käsitteellinen malli toimii yhtenä sulkemisen tavoiteasettelun työkaluna. Sen avulla tunnistetaan paikkakohtaisesti kaivosalueen sulkemisen jälkeiseen tilaan liittyvät mahdolliset haittavaikutukset, jotka sulkemissuunnittelun keinoin on pyrittävä ehkäisemään. Käsitteellistäminen esitetään tekstien ja karttojen yhdistelmänä.

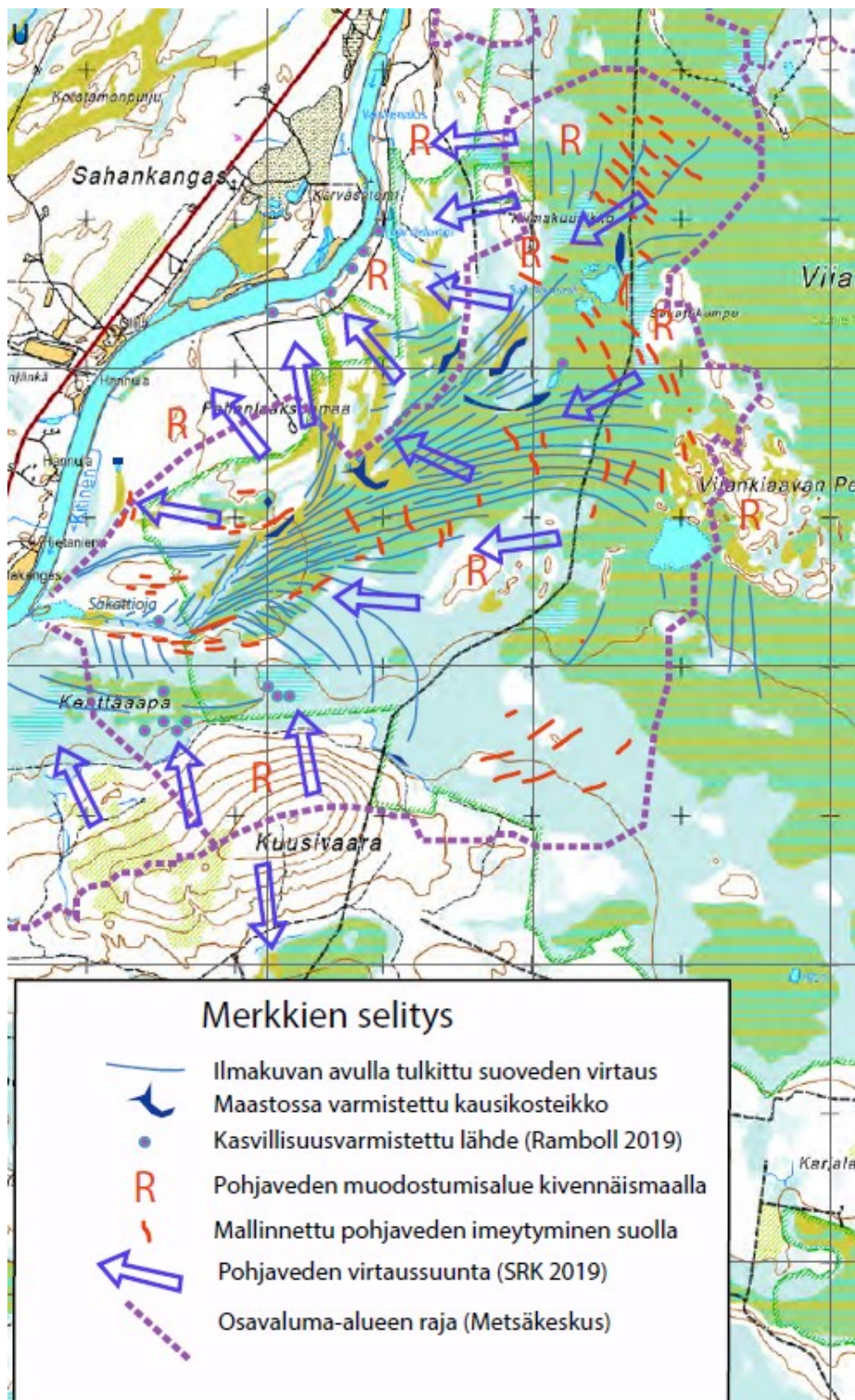
Sakatin kaivosalueen osat toiminnan päättyessä eri vaihtoehtoissa:

- Suljettava matalarikkinen rikastushiekka-alue (VE1-VE3), kuivaläjitys tai märkäläjitys
- Käytöstä poistuneet, purettavat sivukiven ja pintamaan läjitysalueet
- Käytöstä poistuva teollisuusalue
- Tiestö ja voimalinjat
- Käytöstä poistuvat vesienkäsittelyalueet ja vesienkäsittelysakka-allas
- Maanalainen kaivos
- Tarvekilouhos

7.2 Sulkemisen jälkeiset pintavesien ja maaperän pohjavesien valumasuunnat

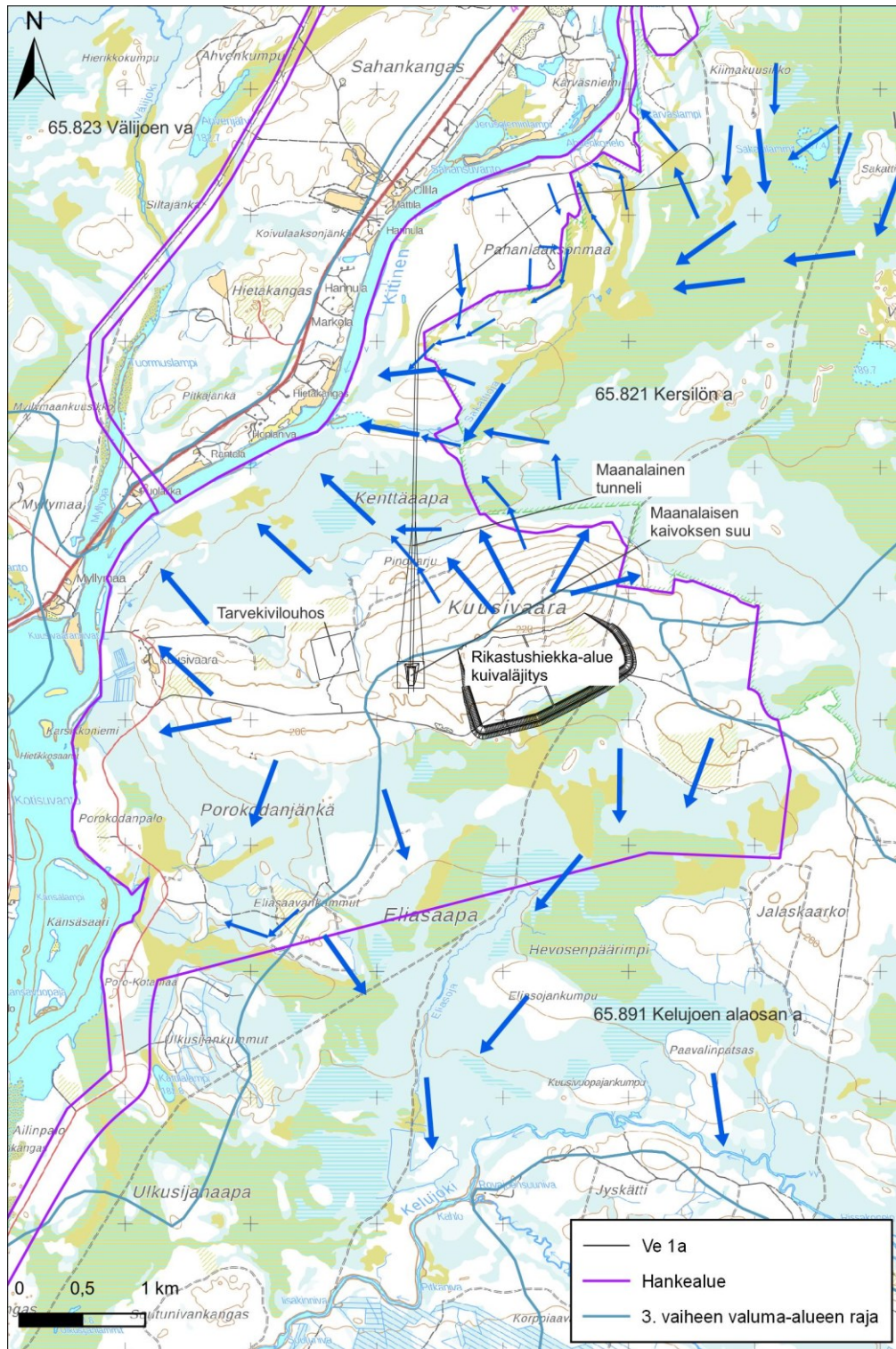
Kaivoksen toiminnan aikana vesien kulkusuunnat voidaan valita ja niitä ohjataan pumppausten avulla. Toimintavaiheen aikana käsitellyt ylijäämävedet ohjataan purkuputken kautta Kitiseen. Sulkemisen jälkeen vaikuttavat luontaiset valumasuunnat. Hankealueen nykytilan hydrologiset ja hydrogeologiset olosuhteet soveltuvat joiltakin osin lähtöoletuksiksi myös sulkemisen jälkeisen tilan tarkasteluun. Alue muuttuu kaivostoiminnan ja sulkemisen jälkeen, jolloin alueella tulee olemaan vedellä täytetty maanalainen kaivos (sisältäen osin myös kiinteillä massoilla täytettyjä louhostiloja) ja tarvekilouhinnan seurauksena on muodostunut louhosjärvi. Rikastushiekka-alue taas muodostaa toisaalta gradienttia lisäävän elementin maastoon, mutta toisaalta pohjaveden muodostumista paikallisesti estävän pinnan.

Viiankiaavan länsiosa muodostaa oman osavaluma-alueensa, joka purkautuu kapeaa vyöhykettä (Sakattioja) pitkin Kitiseen. Kitisen jokilaakso, sisältäen mm. Pahanlaaksonmaan, on oma osavaluma-alueensa, samoin Sakattiojan suun eteläpuoleinen Kitisen jokivarsi. Kuusivaara muodostaa vedenjakajan ja sen eteläpuolella vedet purkautuvat suoalueille. Myös itäisen Viiankiaavan vedet purkautuvat etelään. Havaintokuva alueen nykytilan hydrologiasta esittää kuvassa 7-1.



Kuva 7-1. Alueen hydrologinen ja hydrogeologinen nykytila, erityisesti Sakattiojan valuma-alue. (Salonen 2020).

Vaihtoehdoissa VE1a ja VE1b (Kuva 7-2) rikastushiekka-alue (kuiva- tai märkäläjäytys), matala- ja korkearikkisen sivukiven sijoitusalueet, pintamaan sijoitusalueet, sekä maanalaisen kaivoksen sisäänkäynti sijaitsevat Kelujoen alaosan valuma-alueella (65.891). Vesivarastoallas, korkearikkisen rikastushiekan ja vesienkäsittelysakan varastoaltaat sekä tarvekilouhos sijaitsevat Kersilön valuma-alueella (65.821). Rakennettu rikastushiekka-alue (erityisesti märkäläjäytysvaihtoehdossa) korottaa gradienttia suhteessa ympäristöön, joten nykytilaa kuvaava valuma-aluejako ei välttämättä edusta täysin sulkemisen jälkeistä valuma-aluejakoa. Vähäisen suotautumisen mahdollisuutta itään (valuma-alue 65.892) ei siis voida sulkea pois, joskin se voidaan erityistoimenpiteillä minimoida.

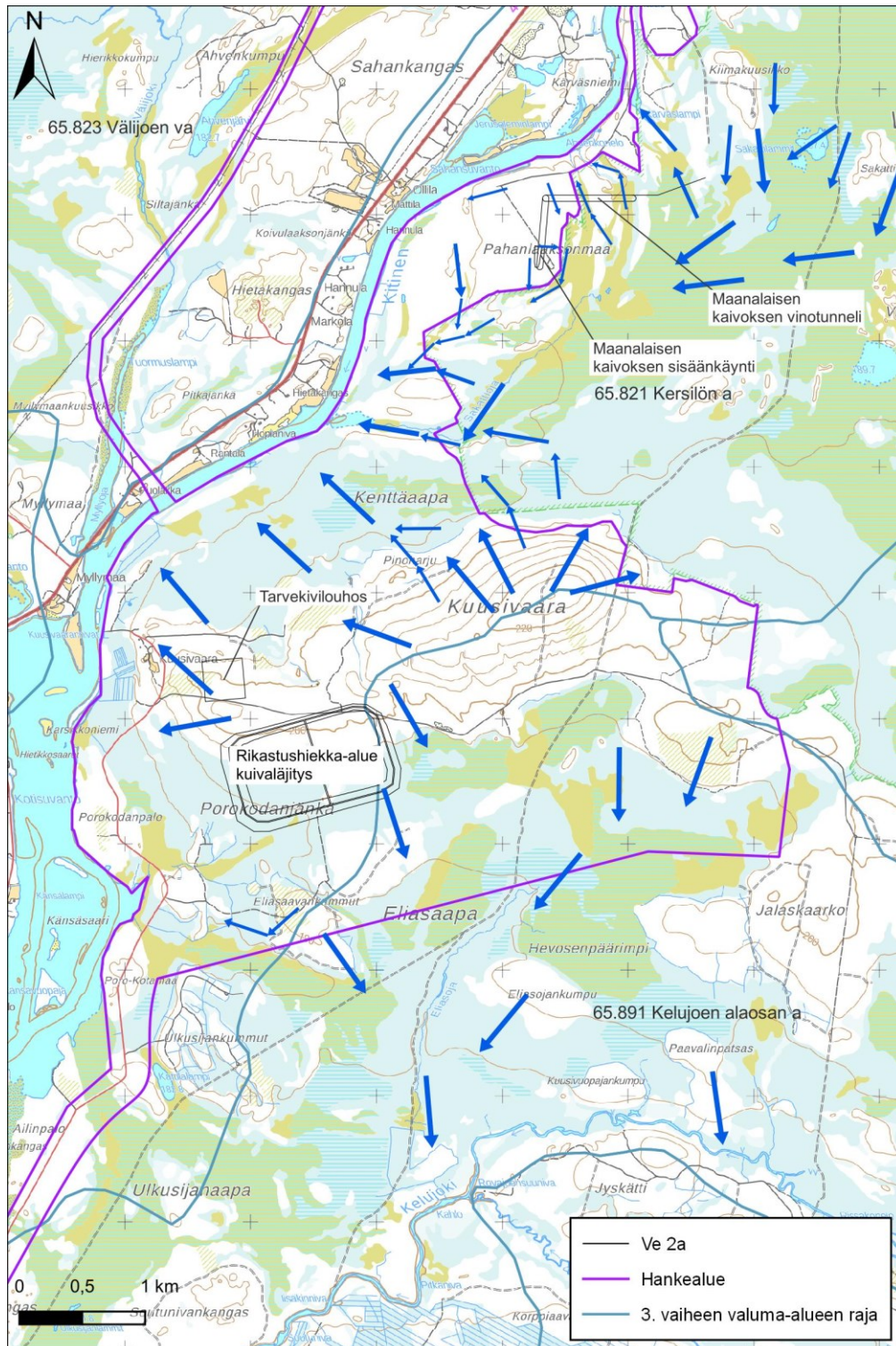


Kuva 7-2. Pintavesien ja pinnanlähteiden pohjavesien luonnolliset valumasuunnat vaihtoehtojen VE1a ja b mukaisissa hankesuunnitelmissa.

Vaihtoehtoissa VE2a ja VE2b (Kuva 7-3) pintamaan sijoitusalue, matala- ja korkearikkisen sivukiven sijoitusalueet, vesienkäsittelysakan ja korkearikkisen rikastushiekan varastoaltaat, vesivarastoallas, sekä prosessialue sijaitsevat Kelluon alaosan valuma-alueella (65.891). Kuiva- tai märkäläjitettävä rikastushiekka-alue sekä tarvekivilouhos sijaitsevat pääosin Kersilön valuma-alueella (65.821), näistä rikastushiekka-alue Kuusivaaran eteläpuolisella ja tarvekivilouhos pohjoispuolisella mikrovaluma-alueella. Rakennettu rikastushiekka-alue (erityisesti märkäläjitysvaihtoehdossa) korottaa gradienttia suhteessa ympäristöön, mutta tässä vaihtoehdossa nykytilan mukaista valuma-aluejakoa voidaan pitää toimivana myös sulkemisen jälkeiselle ajalle.

Maanalaisen kaivoksen sisäänkäynti on pohjoisempana Pahanlaaksonmaalla. Kaivoksen sisäänkäynnin läheisyyteen on sijoitettu myös pastalaitos, kaivosvesien keräilyallas, ilmanvaihtoasema ja propaanipoltin sekä vaihtoehdossa VE2a nostotorni.

Pintavesien ja maanpinnan läheisten pohjavesien käyttäytymistä vaihtoehdoissa VE2a ja VE2b on kuvattu käsitteellisesti alla olevassa kuvassa 7-3.

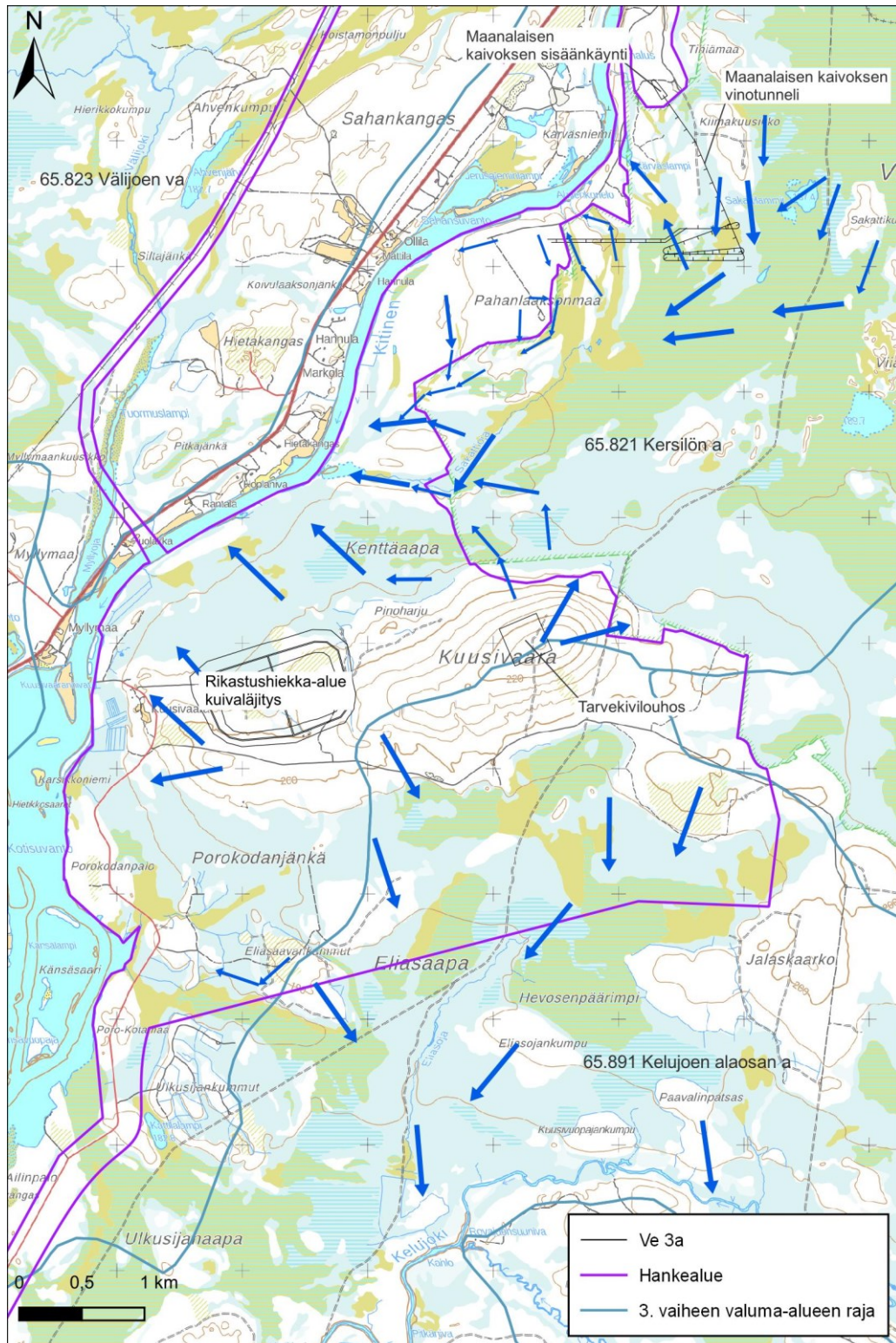


Kuva 7-3. Pintavesien ja pinnanläheisten pohjavesien luonnolliset valumasuunnat vaihtoehtojen VE2a ja VE2b mukaisissa hankesuunnitelmissa.

Vaihtoehtoissa VE3a VE3b ainoastaan pintamaan läjitysalue sijaitsee Kelujoen alaosan valuma-alueella (65.891), muut Kuusivaraan tehdasalueelle sijoittuvat toiminnot sijaitsevat Kersilön valuma-alueella (65.821). Rakennettu rikastushiekka-alue (erityisesti märkäläjitysvaihtoehdossa) korottaa gradienttia suhteessa ympäristöön, joten sulkemisen jälkeisen suotautuman kulkeutumisreitti voisi suuntautua Kersilön valuma-alueen eri osiin (mikrovaluma-alueisiin) molemmilla puolilla Kuusivaaraa. On epävarmaa, voidaanko Kelujoen alaosan valuma-aluetta sulkea pois mahdollisen suotautuman vastaanottajana.

Maanalaisen kaivoksen sisäänkäynti sijaitsee vaihtoehtoihin VE2a ja VE2b nähden vielä pohjoisempana Pahanlaaksonmaassa. Vaihtoehdossa VE3a pastalaitos ja nostotorni sijaitsevat hieman etelämpänä kuin maanalaisen kaivoksen sisäänkäynti ja vaihtoehdossa VE3b pastalaitos sijaitsee kaivoksen sisäänkäynnin vierellä. Kaivosvesien keräilyallas on kummassakin vaihtoehdossa kaivoksen sisäänkäynnin luona.

Pintavesien ja maanpinnan läheisten pohjavesien käyttäytymistä vaihtoehtoissa VE3a ja VE3b on kuvattu käsitteellisesti alla olevassa kuvassa (Kuva 7-4).



Kuva 7-4. Pintavesien ja pinnanläheisten pohjavesien luonnolliset valumasuunnat vaihtoehtojen VE3a ja VE3b mukaisissa hankesuunnitelmissa.

7.3 Sulkemisvaiheen ja sulkemisen jälkeisten riskien tunnistaminen

Rikastushiekan läjityksen suunnittelun yhteydessä on suoritettu riskien arviointi, joka kuitenkin liittyy ensisijaisesti rakentamis- ja tuotantovaiheisiin. Rakentamis- ja tuotantovaiheisiin liittyvillä riskeillä voi tosin olla yhtymäkohtia myös sulkemiseen. Tässä YVA-vaiheen sulkemissuunnitelmassa käsitellään ensisijaisesti sulkemiseen ja sulkemisen jälkeiseen aikaan liittyviä riskejä. Ympäristölupavaiheen sulkemissuunnitelmassa tulee olemaan jäljellä vain yksi hankevaihtoehto ja tällöin riskien tunnistaminen tarkentuu ja työ etenee riskinarviointiin, jossa tarkasteluun otetaan mukaan riskien todennäköisyyden ja vaikutusten vakavuuden tarkastelu.

Alustava yhteenveto keskeisistä sulkemisen jälkeiseen aikaan liittyvistä riskeistä esitetään taulukossa 7-1. Taulukossa esitetään vasemmalta oikealle tunnistettu riski, hallintakeinot sekä riskin tarkempi kuvaus päähankevaihtoehtojen VE1, VE2 ja VE3 tasolla. Taulukossa käsitellään erikseen kolme eri aikajaksoa:

Vaihe 1. Aktiivinen sulkeminen

Vaihe 2. Maanalaisen kaivoksen ja tarvekilouhoksen täyttyminen vedellä

Vaihe 3. Maanalaisen kaivoksen ja tarvekilouhoksen täyttymisen jälkeinen aika

Sulkemissuunnitelma on alustava ja tarkastelussa pyritään erityisesti vertailemaan YVA:ssa käsiteltäviä hankevaihtoehtoja sulkemisen aikana ja sulkemisen jälkeisessä tilanteessa. Tarkastelu on tehty vain karkealla tasolla ja vahvasti yksinkertaistettuna. Esimerkiksi haitta-aineiden kulkeutumisriskien osalta on oletettu kaikissa vaihtoehtoisissa tasapuolisesti, että haitta-aineiden kulkeutuminen voi periaatteessa aina tapahtua gradientin sallimaan suuntaan, vaikka todellisuudessa haitta-aineiden kulkeutuminen sääteleviä tekijöitä on enemmän, esimerkiksi maaperän vedenjohtavuusominaisuudet tai ojitukset ja muut rakenteet.

Taulukko 7-1. Sulkemisen jälkeiseen aikaan liittyviä riskejä (alustava).

Tunnistettu riski	Hallinta	VE1	VE2	VE3
Vaihe 1. Aktiivinen sulkeminen				
1. Haitta-aineiden kulkeutuminen maanalaisesta kaivoksesta arvokkaille luontoalueille.		Ei relevantti. Pohjavesivirtaus suuntautuu edelleen kohti louhostiloja.	Ei relevantti. Pohjavesivirtaus suuntautuu edelleen kohti louhostiloja.	Ei relevantti. Pohjavesivirtaus suuntautuu edelleen kohti louhostiloja.

Tunnistettu riski	Hallinta	VE1	VE2	VE3
2. Haitta-aineiden kulkeutuminen maanalaisesta kaivoksesta Kitiseen ja jokilaakson pohjavesiin.		Ei relevantti. Pohjavesivirtaus suuntautuu edelleen kohti louhostiloja.	Ei relevantti. Pohjavesivirtaus suuntautuu edelleen kohti louhostiloja.	Ei relevantti. Pohjavesivirtaus suuntautuu edelleen kohti louhostiloja.
3. Haitta-aineiden kulkeutuminen tarvekilouhoksesta arvokkaille luontoalueille.		Ei relevantti. Pinta- ja pohjavesivirtaus suuntautuvat edelleen kohti louhosta.	Ei relevantti. Pinta- ja pohjavesivirtaus suuntautuvat edelleen kohti louhosta.	Ei relevantti. Pinta- ja pohjavesivirtaus suuntautuvat edelleen kohti louhosta.
4. Sulfidimineraalien hapettumisen edistymisen toiminnan aikana: jätealueille varastoituvan helposti mobilisoituvan haitta-ainemäärän nousu	Matalarikkinen rikastushiekka: vaihteellinen peittäminen kuivaläjäityksessä Korkearikkinen rikastushiekka ja matalarikkinen rikastushiekka märkäläjäityksessä: vedenkylästävä tila	VE1a, VE2a ja VE3a. Matalarikkisen rikastushiekan kuivaläjäytys: Happivuo kuivaläjäityksessä voi olla jonkin verran suu-rempi kuin märkäläjäityksessä. Rikastushiekan hieno raekoko rajoittanee kuitenkin happivuota läjitykseen. Lisäksi vaihteellisen sulkeminen lyhentää sulfidimineraalien hapettumiseen tarvittavaa altistumisaikaa. On kuitenkin todennäköistä, että ainakin pitkään altistuvilla pinnoilla tapahtuu hapettumista ja hapettumistuotteita varastoituu läjitykseen jossain määrin, suhteellisen helposti mobilisoituvassa muodossa. Näitä poistuu läjityksestä myös sulkemistyön aikana ja peittämisen jälkeen, joskin läjitysprofiiliin ja sen osana toimivan peiterakenteen sallimissa rajoissa.		
		VE1b, VE2b ja VE3b. Matalarikkisen rikastushiekan märkäläjäytys: Rikastushiekan hieno raekoko ja vedenkylästävä tila rajoittavat happivuota läjitykseen. On kuitenkin todennäköistä, että kuivemmissa pintaosissa tapahtuu hapettumista ja hapettumistuotteita varastoituu läjitykseen jossain määrin, suhteellisen helposti mobilisoituvassa muodossa. Rikastushiekan suhteellisen korkea neutralointipotentiaali voi ehkä toimia erityisen tehokkaasti, sillä vedenkylästävät olosuhteet eivät rajoita neutralointipotentiaalin toimintaa, vaikka ne rajoittavatkin hapontuoton toimintaa. Varastoituneita haitta-aineita poistuu erityisesti huokosveden poistuessa läjityksestä sulkemistyön aikaan.		
5. Vaikeudet sulke- misratkaisun suunnitel- mien mukaisessa toteuttamisessa ma- talarikkisen rikastus- hiekan läjitykselle.	Kuivaläjäytys: vaihteellinen peittäminen, tuotannon aikaiset tekniset kokemukset peittämisestä.	VE1a, VE2a ja VE3a. Matalarikkisen rikastushiekan kuivaläjäytys: Peittämiseen liittyvien riskien arvioidaan olevan suhteellisen vähäisiä. Alueen muotoilu ja kantavuus ovat todennäköisesti hyvät heti tuotannon päättyessä ja sulkemisrakenteiden teknisen toteutuksen testaaminen on ollut mahdollista jo tuotantovaiheessa.		

Tunnistettu riski	Hallinta	VE1	VE2	VE3
	Märkäläjäytys: riittävä kuivattaminen ja tarvittaessa kantavan kerroksen lisääminen osalle rikastushiekka-alasta ennen peittämistä	VE1b, VE2b ja VE3b. Matalarikkisen rikastushiekan märkäläjäytys: Alueen muotoilu kuperaksi vaatii massan siirtoja ja kovera ratkaisu (keskuslampi) vaatii pitkälläkin aikavälillä toimivan vedenpoistorakenteen. Myös yksisuuntaisesti kalteva vaihtoehto vaatii massan siirtoja jossain määrin. Haasteet liittyvätkin pitkälle veden poistoon lakialueelta. Myös kantavuuden saavuttaminen sulkemistyön suorittamista varten (erityisesti keskustassa) voi viedä huomattavasti aikaa. Tiiviskerroksen toteuttaminen saattaa olla haasteellista, sillä kaikkialla peittorakenteen alapuolisen kerroksen kantavuus ei ilman tukitoimia välttämättä riitä tiivistämiseen. Toisaalta tiiviskerroksen tarve saattaa osoittautua melko vähäiseksi huomioiden vedenkylästävät olosuhteet suurimmassa osassa läjitystä. Mahdolliset vaikeudet heijastuvat ensisijaisesti peittämisviiveinä.		
6. Haitta-aineiden kulkeutuminen rikastushiekka-alueelta arvokkaille luonto-alueille.	Sijoituspaikka, pohjarakenteet, suotovesien koaminen, tarkkailu	Suhteellisen epätoennäköinen. Vesien aktiivinen kokoaminen on edelleen käytössä.	Suhteellisen epätoennäköinen. Vesien aktiivinen kokoaminen on edelleen käytössä.	Suhteellisen epätoennäköinen. Vesien aktiivinen koaminen on edelleen käytössä.
7. Haitta-aineiden kulkeutuminen rikastushiekka-alueilta Kitiseen tai jokilaakson pohjavesiin.	Sijoituspaikka, pohjarakenteet, suotovesien koaminen, tarkkailu	Mahdollinen riski (esim. maanrakennustöistä johtuvat muutokset ojastoissa tms.) pintavesien ja ylempien pohjavesien virtaus kohti Kelujokea ja Kitistä.	Mahdollinen riski (esim. maanrakennustöistä johtuvat muutokset ojastoissa tms.) pintavesien ja ylempien pohjavesien virtaus kohti Kitistä.	Mahdollinen riski (esim. maanrakennustöistä johtuvat muutokset ojastoissa tms.) pintavesien ja ylempien pohjavesien virtaus kohti Kitistä.
8. Haitta-aineiden kulkeutuminen sivukivialueilta herkkiin kohteisiin (rakenteiden purkamisen aikana).	Sijoituspaikka, suotovesien koaminen, työvaiheille sovitettu toiminnan tarkkailu	Suhteellisen epätoennäköinen. Vesien aktiivinen kokoaminen on edelleen käytössä. Pintavesien ja ylempien pohjavesien virtaus kohdistuu Porokodanjängän ja Eliasaavan suuntaan ja edelleen Kelujoen suuntaan.	Suhteellisen epätoennäköinen. Vesien aktiivinen kokoaminen on edelleen käytössä. Pintavesien ja ylempien pohjavesien virtaus kohdistuu Eliasaavan suuntaan ja edelleen Kelujoen suuntaan.	Suhteellisen epätoennäköinen. Vesien aktiivinen koaminen on edelleen käytössä. Pintavesien ja ylempien pohjavesien virtaus kohdistuu Kenttäaavan ja Kitisen suuntaan (huom. jokivarren asutus).
9. Haitta-aineiden kulkeutuminen	Sijoituspaikka, pohjarakenteet,	Suhteellisen epätoennäköinen. Vesien	Suhteellisen epätoennäköinen. Vesien	Suhteellisen epätoennäköinen.

Tunnistettu riski	Hallinta	VE1	VE2	VE3
vesivarastoaltaalta ja vesienkäsitte-lysakan varastoinnista herkkiin kohteisiin (vesienkäsitteily on edelleen käytössä muun sulkemistyön aikana)	suoto-vesien ko-koaminen, vesita-seen hallinta, tarkkailu	ja vesitaseen aktiivi-nen hallinta on edelle-keen käytössä. Pinta-vesien ja ylempien pohjavesien virtaus kohdistuu Poroko-danjängän ja Eliasaavan suuntaan ja edelleen Kelujen suuntaan.	ja vesitaseen aktiivi-nen hallinta on edelle-keen käytössä. Pinta-vesien ja ylempien pohjavesien virtaus kohdistuu Eliasa-avan suuntaan ja edelleen Kelujen suuntaan.	Vesien ja vesita-seen aktiivinen hal-linta on edelleen käytössä. Pintave-sien ja ylempien pohjavesien virtaus kohdistuu Kenttä-aavan ja Kitisen suuntaan.
10. Pölypäästöt ar-vokkaille luontoalu-eille.	Sulkemistratkeisu-jen rakentamisen pölyävimpien työ-vaiheiden välttä-minen äärimmäi-sissä tuulioioissa	Mahdollinen sopi-vissa sääoloissa.	Mahdollinen sopi-vissa sääoloissa.	Mahdollinen sopi-vissa sääoloissa.
11. Pölypäästöt asu-tulle alueelle.	Sulkemistratkeisu-jen rakentamisen pölyävimpien työ-vaiheiden välttä-minen äärimmäi-sissä tuulioioissa	Mahdollinen sopi-vissa sääoloissa.	Mahdollinen sopi-vissa sääoloissa.	Vallitsevissa tuu-lioloissa pölyn le-viäminen asutulle alueelle on hieman todennäköisempää kuin muissa vaihto-ehdoissa.
12. Sortumat ja vaa-ralliset massavirrat.	Sijoituspaikka, stabiliteettitarkas-telut, auditointi, tarkkailu. Vesien kokoaminen (ja pohjaveden pin-nan säätely) käy-tössä. Kuivaläjitys-vaihtoehdossa sulke-mistyö on osittain toteutettu jo toi-minnan aikana.	Suuntautuminen Eliasaavalle ja Hevo-senpää-rimmelle ja edelleen Kelujen suuntaan. VE1a. Kuiva ja kan-tava lähtötilanne eh-käisee merkittäviä sortumia aktiivisen jälkihoitotyön ai-kana. VE1b. Mahdollinen kohonnut riski jos patoja puretaan osin muotoilun/vesien johtamisen takia.	Suuntautuminen Po-rokodanjängän ja Ki-tisen suuntaan (huom. asutus). VE2a. Kuiva ja kan-tava lähtötilanne eh-käisee merkittäviä sortumia aktiivisen jälkihoitotyön ai-kana. VE1b. Mahdollinen kohonnut riski jos patoja puretaan osin muotoilun/vesien johtamisen takia	Suuntautuminen Kitisen suuntaan (huom. asutus). VE3a. Kuiva ja kantava lähtöti-lanne ehkäisee merkittäviä sortu-mia aktiivisen jälki-hoitotyön aikana. VE1b. Mahdollinen kohonnut riski jos patoja puretaan osin muotoilun/ve-sien johtamisen ta-kia

Tunnistettu riski	Hallinta	VE1	VE2	VE3
Vaihe 2. Maanalaisen kaivoksen ja tarvekilouhoksen täyttäminen vedellä				
1. Haitta-aineiden kulkeutuminen maanalaisesta kaivoksesta arvokkaille luontoalueille.		Ei relevantti. Pohjavesivirtaus suuntautuu edelleen kohti louhostiloja.	Ei relevantti. Pohjavesivirtaus suuntautuu edelleen kohti louhostiloja.	Ei relevantti. Pohjavesivirtaus suuntautuu edelleen kohti louhostiloja.
2. Haitta-aineiden kulkeutuminen maanalaisesta kaivoksesta Kitiseen ja jokilaakson pohjavesiin.		Ei relevantti. Pohjavesivirtaus suuntautuu edelleen kohti louhostiloja.	Ei relevantti. Pohjavesivirtaus suuntautuu edelleen kohti louhostiloja.	Ei relevantti. Pohjavesivirtaus suuntautuu edelleen kohti louhostiloja.
3. Haitta-aineiden kulkeutuminen tarvekilouhoksesta arvokkaille luontoalueille.		Ei relevantti. Pinta- ja pohjavesivirtaus suuntautuvat edelleen kohti louhosta.	Ei relevantti. Pinta- ja pohjavesivirtaus suuntautuvat edelleen kohti louhosta.	Ei relevantti. Pinta- ja pohjavesivirtaus suuntautuvat edelleen kohti louhosta.
4. Sulfidimineraalien hapettumisen edistymisen toiminnan aikana: jätealueille varastoituvan helposti mobilisoituvan haitta-ainemäärän nousu	Kuivaläjäytys: vaiheittainen peittäminen kuivaläjäytyksessä Märkäläjäytys: vedenkylästäminen tila	VE1a, VE2a ja VE3a. Matalarikkisen rikastushiekan kuivaläjäytys: Rikastushiekan hieno raekoko on luultavasti rajoittanut happivuota läjitykseen tuotannon aikana. Lisäksi vaiheittainen sulkeminen on lyhentänyt sulfidimineraalien hapettumiseen tarvittavaa altistumisaikaa. On kuitenkin todennäköistä, että ainakin osassa läjitystä on tapahtunut hapettumista ja hapettumistuotteita on varastoitunut läjitykseen suhteellisen helposti mobilisoituvassa muodossa. Näitä poistuu läjityksestä myös peittämisen jälkeen läpivirtaaman myötä, joskin läjitysprofiiliin ja siihen kuuluvan peiterakenteen sallimissa rajoissa.		
		VE1b, VE2b ja VE3b. Matalarikkisen rikastushiekan märkäläjäytys: Rikastushiekan hieno raekoko ja vedenkylästäminen tila ovat rajoittaneet happivuota läjitykseen merkittävästi jo tuotannon aikana. On kuitenkin todennäköistä, että kuivemmissa pintaosissa on tapahtunut hapettumista ja hapettumistuotteita on varastoitunut läjitykseen, suhteellisen helposti mobilisoituvassa muodossa. Rikastushiekan suhteellisen korkea neutralointipotentiaali on saattanut toimia erityisen tehokkaasti, sillä vedenkylästämiset olosuhteet eivät rajoita neutralointipotentiaalin toimintaa, vaikka ne rajoittavatkin hapontuoton toimintaa. Näitä poistuu läjityksestä erityisesti tuotannonaikaisen huokosveden hitaan poistumisen myötä, myös peittämisen		

Tunnistettu riski	Hallinta	VE1	VE2	VE3
		jälkeen, joskin läjitysprofiiliin ja siihen kuuluvan peiterakenteen sallimissa rajoissa.		
5. Vaikeudet peite- rakenteen suunnitel- mien mukaisessa to- teuttamisessa.	Peittorakenne on jo valmis ja tässä vaiheessa tark- kailu on ensisijai- nen hallintakeino, erityisesti ensim- mäisinä vuosina peittämisen jäl- keen.	VE1a, VE2a ja VE3a. Matalarikkisen rikastushiekan kuivaläji- tys: Peitteessä voi esiintyä eroosio-ongelmia, erityisesti kas- vittumisen ollessa vielä heikkoa. Mahdolliset eroosio-ongel- mat liittyvät ensisijaisesti jäätymis-sulamissykleihin.	VE1b, VE2v ja VE3b. Matalarikkisen rikastushiekan märkäläji- tys: Riippuen valitusta vesienpoiston toteutustavasta (lakialu- eelta), esiintyy joko vähäisiä tai merkittäviä ylläpitotarpeita. Jäätymis-sulamissyklit voivat vaurioittaa myös vedenpoistoon tarkoitettuja muotoiluja tai rakenteita.	
6. Haitta-aineiden kulkeutuminen rikas- tushiekka-alueelta arvokkaille luonto- alueille.	Sijointupaikka, pohjarakenteet ja peiterakenteet	Pintavesien ja ylem- pien pohjavesien vir- taus ei suuntaudu Viiankiaapaa kohti. Kulkeutumisriski on kuitenkin mahdoli- nen, mutta alentu- nut, Eliasaavalle ja Hevosennäpään- melle ja edelleen Ke- lujoen suuntaan.	Pintavesien ja ylem- pien pohjavesien vir- taus ei suuntaudu Viiankiaapaa kohti. Kulkeutumisriski on kuitenkin mahdoli- nen, mutta alentu- nut, Porokodanjän- gän ja Kitisen suun- taan (huom. asu- tus).	Pintavesien ja ylempien pohjave- sien virtaus ei suuntaudu Viian- kiaapaa kohti. Kul- keutumisriski on kuitenkin mahdoli- nen, mutta alentu- nut, Kitisen suun- taan (huom. asu- tus).
7. Haitta-aineiden kulkeutuminen rikas- tushiekka-alueelta Kitiseen tai jokilaak- son pohjavesiin.	Sijointupaikka, pohjarakenteet ja peiterakenteet	Mahdollinen riski, pinta- ja pohjavesi- virtaus kohti Kelu- joa ja Kitistä.	Mahdollinen riski, pinta- ja pohjavesi- virtaus kohti Kitistä.	Mahdollinen riski, pinta- ja pohjavesi- virtaus kohti Ki- tistä.
8. Haitta-aineiden kulkeutuminen (aiemmilta) sivuki- vialueilta herkkiin kohteisiin	Sivukivialueiden rakenteet on jo purettu ja maape- rän hyvä tila var- mistettu.	Ei relevantti.	Ei relevantti.	Ei relevantti.
9. Haitta-aineiden kulkeutuminen vesi- varastoaltaalta ja vesienkäsittelysakan varastoinnista her- kkiin kohteisiin (ve- sienkäsittelyyn	Sijointupaikka, ve- sienkäsittelyn purku oikeassa järjestyksessä, tarkkailu. Sakka hyödynnetään ja loppusijoitetaan	Mahdollinen riski lä- hinnä altaiden ja sakka-altaiden pur- kamisessa. Pintave- sien ja ylempien pohjavesien virtaus Porokodanjängän ja	Mahdollinen riski lä- hinnä altaiden ja sakka-altaiden pur- kamisessa. Pintave- sien ja ylempien pohjavesien virtaus Eliasaavan suuntaan	Mahdollinen riski lähinnä altaiden ja sakka-altaiden pur- kamisessa. Pinta- vesien ja ylempien pohjavesien virtaus Kenttäaavan ja

Tunnistettu riski	Hallinta	VE1	VE2	VE3
purkaminen ajoittuu vaiheen 2 alkuun, jolloin muut aktiiviset sulkemistoimet on jo tehty)	pääosin jo ennen vesienkäsittelyn lopullista purkamista.	Eliasaavan suuntaan ja edelleen Kelujoen suuntaan. Ei virtausta Viiankiaavan suuntaan.	ja edelleen Kelujoen suuntaan. Ei virtausta Viiankiaavan suuntaan.	Kitisen suuntaan. Ei virtausta Viiankiaavan suuntaan.
10. Pölypäästöt arvokkaille luontoalueille.	Peiterakenteet, kasvittuminen	Pienenevä riski, peiterakenteiden ja kasvillisuuden vakiintuessa	Pienenevä riski, peiterakenteiden ja kasvillisuuden vakiintuessa	Pienenevä riski, peiterakenteiden ja kasvillisuuden vakiintuessa
11. Pölypäästöt asutulle alueelle.	Peiterakenteet, kasvittuminen	Pienenevä riski, peiterakenteiden ja kasvillisuuden vakiintuessa	Pienenevä riski, peiterakenteiden ja kasvillisuuden vakiintuessa	Pienenevä riski, peiterakenteiden ja kasvillisuuden vakiintuessa
12. Sortumat ja vaaralliset massavirrat.	Sijoituspaikka, stabiilitietarkastelut, auditointi, tarkkailu	Suuntautuminen Eliasaavalle ja Hevosenspäärimelle ja edelleen Kelujoen suuntaan. VE1a. Vähäinen riski, mikäli hiljattain asennetun rakenteen eroosion tai vaurioiden takia läjitykseen kertyisi erityisen paljon vettä. VE1b. Mahdollinen riski jos kuivatusjärjestelyt vaurioituvat.	Suuntautuminen Porokodanjängän ja Kitisen suuntaan (huom. asutus). VE1a. Vähäinen riski, mikäli hiljattain asennetun rakenteen eroosion tai vaurioiden takia läjitykseen kertyisi erityisen paljon vettä. VE1b. Mahdollinen riski jos kuivatusjärjestelyt vaurioituvat.	Suuntautuminen Kitisen suuntaan (huom. asutus). VE1a. Vähäinen riski, mikäli hiljattain asennetun rakenteen eroosion tai vaurioiden takia läjitykseen kertyisi erityisen paljon vettä. VE1b. Mahdollinen riski jos kuivatusjärjestelyt vaurioituvat.

Vaihe 3. Maanalaisen kaivoksen ja tarvekilouhoksen täyttymisen jälkeen

1. Haitta-aineiden kulkeutuminen maanalaisesta kaivoksesta arvokkaille luontoalueille.	Vinotunnelin sijoittaminen. Pääsy ehyen syväkallion alueelle mahdollisimman vähäruheista reittiä, vinotunnelin ja pystykuilujen yläosan tiivistäminen	Maanalaisen kaivoksen läpivirtaama jää vähäiseksi, arvioituna vedellä täyttymisen loppuvaiheen mallinnettujen virtaamien perusteella (VE1a). Haitta-aineiden kulkeutuminen tapahtuisi Kitisen	Maanalaisen kaivoksen läpivirtaama oletetaan vähäiseksi (vrt. VE1a:n arvio). Haitta-aineiden kulkeutuminen ilmenisi todennäköisimmin Ruosteojan suuntaan, mistä kulkeutuminen tapahtuisi	Maanalaisen kaivoksen läpivirtaama oletetaan vähäiseksi (vrt. VE1a:n arvio). Haitta-aineiden kulkeutuminen voisi ilmetä Viiankiaavan länsireunan alueella, mistä
--	---	---	--	--

Tunnistettu riski	Hallinta	VE1	VE2	VE3
		suuntaan. (Oletus, että haitta-aineiden kulkeutumisen lähtö-alue olisi vinotunnelin tai ilmanvaihtotunnelin yläosissa)	edelleen kohti Kitistä. (Oletus, että haitta-aineiden kulkeutumisen lähtö-alue olisi vinotunnelin tai pystykuilujen yläosissa)	kulkeutumista tapahtuisi edelleen kohti Kitistä. (Oletus, että haitta-aineiden kulkeutumisen lähtöalue olisi vinotunnelin tai pystykuilujen yläosissa)
2. Haitta-aineiden kulkeutuminen maanalaisesta kaivoksesta Kitiseen ja jokilaakson pohjavesiin.	Pääsy ehyen syväkallion alueelle mahdollisimman vähäruheista reittiä, vinotunnelin ja pystykuilujen yläosan tiivistäminen	Maanalaisen kaivoksen läpivirtaama jää vähäiseksi, arvioituna vedellä täyttymisen loppuvaiheen vaihtoehdolle VE1a mallinnettujen virtaamien perusteella. Haitta-aineiden kulkeutumisriski olisi todennäköisesti suurin kallion rikkonaisessa yläosassa. Lisäksi painavampi suolapitoisempi vesi kaivoksen syväosista ei pyri syrjäyttämään kevyempää yläpolista pohjavettä. Mahdollisella haitta-aineiden kulkeutumisreitillä laime-neminen on merkittävä tekijä: vaikutus ilmenisi todennäköisimmin maanalaisen kaivoksen välittömässä läheisyydessä.		
3. Haitta-aineiden kulkeutuminen tarvekilouhoksesta arvokkaille luonto-alueille.	Louhosjärven valuma-alueen hyvä jälkihoito. Louhosjärven veden laatu on arvioitu suhteellisen hyväksi. Tarvittaessa voidaan rakentaa purku-uoma haluttuun purkusuuntaan.	Louhosjärven veden haitta-ainepitoisuu-det ovat alhaiset. Pintavesien ja ylem-pien pohjavesien vir-taus ei suuntaudu Viiankiaavalle.	Louhosjärven veden haitta-ainepitoisuu-det ovat alhaiset. Pintavesien ja ylem-pien pohjavesien vir-taus ei suuntaudu Viiankiaavalle.	Louhosjärven ve-den haitta-ainepi-toisuudet ovat alhaiset. Mahdolli-nen pohjaveden virtaus Kenttäaa-van suuntaan ja mahdollisesti osin Natura-alueen suuntaan.
4. Sulfidimineraalien hapettumisen edis-tyminen toiminnan aikana: jätealueille varastoituvan hel-posti mobilisoituvan haitta-ainemäärän nousu	Kuivaläjitys: vai-heittainen peittä-minen kuivaläji-tyksessä Märkäläjitys: ve-denkylästävä tila	VE1a, VE2a, ja VE3a. Matalarikkisen rikastushiekan kuivaläji-tyks: Hapettumistuotteita lienee varastoitunut läjitykseen aina-kin jossain määrin. Näitä poistuu peitetystä läjityksestä hi-taasti läpivirtaaman myötä, joskin peittorakenne ja pinnan kal-tevuus rajoittavat veden kulkemista rikastushiekan läpi. Mikäli rikastushiekassa on päässyt jo varhaisessa vaiheessa muo-dostumaan merkittäviä määriä kolmenarvoista rautaa, hapet-tumisreaktioita voi esiintyä vielä peittämisen jälkeenkin. Peit-teen läpi tapahtuvan imeytymisen säätely (ja sitä kautta läpi-virtaaman säätely) on keskeisessä roolissa kuormituksen mi-nimoinnissa.		

Tunnistettu riski	Hallinta	VE1	VE2	VE3
		VE1b, VE2b ja VE3b. Matalarikkisen rikastushiekan märkäläji- tys: Hapettumistuotteita lieenee varastoitunut läjitykseen jos- sain määrin, suhteellisen helposti mobilisoituvassa muodossa. Näitä poistuu peitetystä läjityksestä hitaasti läpivirtaaman myötä, joskin peittorakenne ja pinnan kaltevuus rajoittavat ve- den kulkemista rikastushiekan läpi. Läjitys pysyy pääosiltaan vedellä kyllästyneenä.		
5. Vaikeudet peite- rakenteen suunnitel- mien mukaisessa to- teuttamisessa	Peittorakenne on jo valmis ja vau- rioriskien kannalta merkittävimmät vuodet ovat jo ta- kana. Tarkkailua kuitenkin jatke- taan, joskin tark- kailutiheys on ai- kaisempaa har- vempi.	VE1a, VE2a ja VE3a. Matalarikkisen rikastushiekan kuivaläji- tys: Painumat voivat vahingoittaa peittorakennetta ja lisätä ha- pen tai veden kulkeutumista rikastushiekkaan. Kuitenkin vai- keudet suunnitelmien mukaisessa toteuttamisessa ovat kuiva- läjityksessä märkäläjiytystä epätodennäköisempiä. Pitkällä ai- kavälillä mahdollisten eroosioriskien oletetaan vähenevän (painuminen, kasvittuminen).		
		VE1b, VE2b ja VE3b. Matalarikkisen rikastushiekan märkäläji- tys: Painumat vahingoittavat peittorakennetta ja lisäävät ha- pen kulkeutumista rikastushiekkaan. Pitkällä aikavälillä mah- dollisten eroosioriskien oletetaan vähenevän. Riippuen vali- tusta muotoilusta vesienpoiston toteutustavasta (lakialueelta), saattaa edelleen esiintyä pienempiä korjaustarpeita.		
6. Haitta-aineiden kulkeutuminen rikas- tushiekka-alueelta arvokkaille luonto- alueille	Sijoituspaikka, pohjarakenteet ja peiterakenteet	Pintavesien ja ylem- pien pohjavesien vir- taus ei suuntaudu Viiankiaavalle. Mah- dollinen mutta alen- tunut kulkeutumis- riski suuntautuu Eliasaavalle ja Hevo- senpäärimmelle ja edelleen Kelujoen suuntaan.	Pintavesien ja ylem- pien pohjavesien vir- taus ei suuntaudu Viiankiaavalle. Mah- dollinen, mutta alen- tunut kulkeutumis- riski suuntautuu Po- rokodanjängän ja Ki- tisen suuntaan (huom. asutus).	Pintavesien ja ylempien pohjave- sien virtaus ei suuntaudu Viian- kiaavalle. Mahdolti- nen, mutta alentu- nut kulkeutumis- riski suuntautuu Ki- tisen suuntaan (huom. asutus).
7. Haitta-aineiden kulkeutuminen rikas- tushiekka-alueelta Kitiseen tai jokilaak- son pohjavesiin.	Sijoituspaikka, pohjarakenteet ja peiterakenteet	Mahdollinen, mutta alentunut riski, pinta- ja pohjavesivirtaus kohti Kelujokea ja Ki- tistä. Luontainen lai- meneminen pienen- täisi toteutuneen ris- kin vaikutuksia.	Mahdollinen, mutta alentunut riski, pinta- ja pohjavesivirtaus kohti Kitistä. Luontai- nen laimeneminen pientäisi toteutu- neen riskin vaikutuk- sia.	Mahdollinen, mutta alentunut riski, pinta- ja pohjavesi- virtaus kohti Ki- tistä. Luontainen laimeneminen pie- nentäisi toteutu- neen riskin vaiku- tuksia.

Tunnistettu riski	Hallinta	VE1	VE2	VE3
8. Haitta-aineiden kulkeutuminen (aiemmilta) sivukivialueilta herkkiin kohteisiin	Sivukivialueiden rakenteet on jo purettu ja maaperän hyvä tila varmistettu.	Ei relevantti.	Ei relevantti.	Ei relevantti.
9. Haitta-aineiden kulkeutuminen (aiempien) vesienkäsittelyyn liittyvien rakenteiden alueelta herkkiin kohteisiin	Vesienkäsittelyyn liittyvät rakenteet on jo purettu ja maaperän hyvä tila varmistettu.	Ei relevantti.	Ei relevantti.	Ei relevantti.
10. Pölypäästöt arvokkaille luontoalueille.	Pölyn lähteet on peitetty ja kasvituminen edennyt pitkälle.	Ei relevantti.	Ei relevantti.	Ei relevantti.
11. Pölypäästöt asutulle alueelle.	Pölyn lähteet on peitetty ja kasvituminen edennyt pitkälle.	Ei relevantti.	Ei relevantti.	Ei relevantti.
12. Sortumat ja vaaralliset massavirrat.	Sijoituspaikka, stabiiliteettitarkastelut, auditointi, tarkkailu (tarkkailutarve jo vähäisempi)	Merkittävästi alentunut riski. Suuntautuminen Eliasaaalle ja Hevosennäpärille ja edelleen Kelluon suuntaan.	Merkittävästi alentunut riski. Suuntautuminen Porokodanjängän ja Kitisen suuntaan (huom. asutus).	Merkittävästi alentunut riski. Suuntautuminen Kitisen suuntaan (huom. asutus).

Riskivertailussa ei ole toistaiseksi huomioitu sijoituspaikkavaihtoehtojen geoteknisiä eroja riskejä lisäävinä tai vähentävinä tekijöitä. Tarkastelua ei ole suoritettu myöskään minkään yksittäisen eliölajin perspektiivistä, vaan yleisesti luontoarvojen runsauden ja monimuotoisuuden näkökulmasta. Myös tarkastelu syväpohjaveden osalta puuttuu. Oletettavasti kuitenkin rakoilu syvemmällä kallioperässä ei ole riittävän yhtenäistä tarjoamaan erityisen merkittäviä sulkemisen jälkeisiä haitta-aineiden kulkeutumisreittejä.

Matalarikkisen rikastushiekan osalta kuiva- ja märkäläjäityksen erot korostuvat aktiivisen sulkemisen aikana, jolloin lähtötilanteen muotoilutarpeet ja stabiiliteetti poikkeavat toisistaan. Kuivaläjäytys on valmiimpi jälkihoidon aloittamiseen lähtötilanteessa: märkäläjäitykselle tarvitaan kuivatusjako kantavuuden mahdollistamiseksi – joillakin rikastushiekan märkäläjäytysalueilla peittorakenteen tiivistämistavoitteet voivat jopa edellyttää kantavien tukikerroksien

asentamista, lisäksi sen kuivanapitoa pidetään alustavasti helpompana toteuttaa ja ylläpitää sulkemisvaiheessa ja sulkemisen jälkeen. Toisaalta kuivaläjäytyksen oletetaan mahdollisesti tarjoavan jossain määrin edullisemmat olosuhteet haitta-aineiden vapautumiselle sulfidien hapettumisen seurauksena toimintavaiheessa, mikä voi heijastua varastokuormana läjityksessä. Varastokuormalla tarkoitetaan rikastushiekkaan varastoituneita aineita, jotka ovat vapautuneet rikastushiekasta ja prosessivedestä toiminnan aikana. On kuitenkin mahdollista, että rikastushiekan hieno raekoko, tiiviys ja kosteus estävät hapen kulkeutumista kohtuullisesti myös kuivaläjäytyksessä, eikä ero rikastushiekasta vapautuneiden aineiden osalta ole läjitystapojen välillä välttämättä sittenkään erityisen suuri.

Muilta osin riskit kulminoituvat kaivannaisjätteiden sijoitusalueiden ja vesienkäsittelyalueiden sijaintiin. Vaihtoehtoissa VE3a ja VE3b, sekä jossain määrin vaihtoehtoissa VE2a ja VE2b mahdollisia (selvitettäviä) sulkemisen jälkeisiä haitta-aineiden kulkeutumisreittejä suuntautuu Kitisen jokivarteen ja asutuksen suuntaan. On kuitenkin huomattava, että myös Kuusivaaran eteläpuolisella alueella, jonne vaihtoehtoissa VE1(a-b) ja VE2(a-b) voisi teoriassa suuntautua sulkemisen jälkeistä haitta-aineiden kulkeutumista, esiintyy merkittäviä luontoarvoja.

Infrastruktuuria (ml. voimalinjat) ei ole vielä sisällytetty sulkemistyön riskien tunnistamiseen. Infrastruktuurin purkamisen myötä porotalouteen kohdistuvien vaikutusten oletetaan lieventyvän kaikissa hankevaihtoehtoissa.

Yllä esitetyn riskien tunnistamisen pohjalta vaihtoehtojen välisiä eroja ei pystytä kuvaamaan numeerisesti. Vaihtoehtojen vahvuudet ja heikkoudet kohdistuvat erityyppisiin asioihin ja eri alueille eikä riskejä vertaileva lähestymistapa tuota tässä tapauksessa varsinaista paremmuusjärjestystä. Yksikään vaihtoehtoista ei näyttäydy toteuttamiskelvottomana, sulkemisen näkökulmasta tarkastellun aineiston valossa.

Maanalaisen kaivoksen yläosan tiivistämisvaihtoehtojen eroja ei ole vielä tarkasti arvioitu sulkemisen näkökulmasta, mutta tehokkaamman injektoinnin voidaan olettaa alentavan myös sulkemisriskejä (esim. haitta-ainepitoisten vesien kulkeutuminen maanalaisesta louhoksesta).

7.4 Sulkemiseen liittyvien mahdollisuuksien tunnistaminen

Mahdollisuuksien tunnistamisella tarkoitetaan tarkastelua, jossa tunnistetaan sulkemisen jälkeen hyödynnettävissä olevat materiaalit, laitteet, rakennukset tai rakennelmat. Lisäksi määritellään maankäyttömahdollisuudet ja niiden sopeuvuus ympäristön ja sidosryhmien tarpeisiin. Tässä yhteydessä selvitetään myös luonnon monimuotoisuuden kannalta saavutettavissa olevat hyödyt – tai pohditaan, kuinka sulkemistoimien avulla voidaan minimoida kaivoksen koko

elinkaaren haitat alueen luontoon. Sulkeminen kytkeytyy myös ”*net positive impact*”-periaatteeseen: erilaisten ekologisten toimenpiteiden ja kompensatioiden ekologisen kokonaishyödyn tulee olla suurempi kuin kokonaishaitta. Ympäristövaikutusten arvioinnin yhteydessä Anglo American on laatinut ekologista kompensatiota käsittelevän suunnitelman (FCG 2020).

Kaivokselle tarvittavat rakennukset voidaan suunnitella kierrätettäviksi. Betonirakenteista n. 10 %, teräsrakenteista 100 %, seinistä 90 % ja katoista 90 % voidaan kierrättää. (Anglo American 2019)

Sähkö- ja automaatiolaitteiden kierrätys ei ole kannattavaa. Osa laitteista voidaan ottaa käyttöön toisessa teollisuuslaitoksessa (Anglo American 2019).

Kaivoslaitteet voidaan uusiokäyttää 100 %:sti (Anglo American 2019).

Rakennuksille, voimalinjalle ja tiestölle voi ilmetä jatkokäyttöä. Kaivoksen sulkemisen jälkeen kaivosalue voidaan pääosin joko luovuttaa uuteen maankäyttöön tai palauttaa jokseenkin entisen kaltaiseen tilaan. Hyötyjinä sulkemisen jälkeisen maan käytön muutoksessa voivat olla teollisuusalueelle tulevat uudet yritykset, metsätalous, porotalous tai mahdollisesti jopa luonnon monimuotoisuus.

Hankevaihtoehtojen VE1-VE3(a-b) osalta erot sulkemiseen liittyvissä mahdollisuuksissa eivät vaikuta merkittävältä tarkastellun aineiston valossa.

Kuivaläjityksen (VE1a, VE2a, VE3a) yleisiin mahdollisuuksiin kuuluu märkäläjitystä joustavammat mahdollisuudet läjityksen loppumuotoilussa. Lopullisia pinnanmuotoja voidaan siis rakentaa joustavammin jo rikastushiekan läjityksen aikana. Kuivaläjityksen katsotaan myös muodostavan stabiileja sulkemisen jälkeisiä maanmuotoja myös kylmillä alueilla. Lisäksi kuivaläjityksen sulkemisen jälkeisiin etuihin kuuluu verrattain vähäinen vesienhallinnan tarve ja alhaiset ylläpitokustannukset (Neuffer & Scott 2015). Lisätaustoituksena edellä esitetyille mainittakoon olemassa oleva Pogo Mine -kaivoksen rikastushiekan kuivaläjitysalue Alaskassa. Läjitysalueen sulkemista silmällä pitäen tehdyissä geoteknisissä tutkimuksissa havaittiin, että *in situ* -materiaalien tehollinen kitka-kulma ja kuivatiheydet ovat yhtäpitäviä aikaisempien luiskastabiliteetti-arvioiden kanssa. Kairaukset ja lämpötilaseuranta indikoivat, että läjityksessä on myös ikiroutaa. Kairausten ja huokospainemittausten perusteella tulkittuna pohjaveden pinta on jäänyt läjityksen pohjan tuntumaan. Raekooltaan silttiä vastaavaksi kuvatus rikastushiekan läjitys vaikuttaa sulkemista silmällä pitäen vakaalta (Neuffer ym. 2014).

7.5 Sulkemiseen liittyvien riskien tunnistamisen yhteydessä havaitut puutteet ja selvitystarpeet

Keskeisimmät epävarmuudet tämänhetkisessä riskien tunnistamisessa liittyvät haitta-aineiden sulkemisen jälkeisten kulkeutumisriskien tarkempaan ymmärtämiseen. Seuraavassa työvaiheessa (ympäristölupalupavaiheen sulkemissuunnitelma) ei tarkastelussa ole enää lukuisia hankevaihtoja, joten pystytään tarkentamaan tietoa myös haitta-aineiden kulkeutumisreiteistä.

7.6 Jäännösriskien hallinta

Kaivoksen sulkemiseen liittyviä jäännösriskejä ja vaikutuksiin liittyviä epävarmuuksia tullaan systemaattisesti pienentämään sulkemissuunnittelun edetessä. Koska tämä raportti edustaa ensisijaisesti hankevaihtoehtojen tarkastelua sulkemisen näkökulmasta, varsinaista sulkemiskäytäntöjen yksityiskohtaista arviointia ei ole vielä suoritettu. Kappaleessa 7.3 kuvattavat riskit ja alustavat riskien hallintakeinot huomioidaan hankkeen työsuunnittelussa.

8 Tavoitteet ja vaatimukset

Kaivoksen sulkemista ohjaavat: kaivoslaki (621/2011), laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta (390/2005) ja ympäristönsuojelulaki (527/2014) sekä valtioneuvoston asetus kaivannaisjätteistä. Lainsäädännön yleiset vaatimukset varmistavat, että suljettu kaivosalue on turvallinen ja kaivannaisjätealueet on suljettu asianmukaisesti eikä niistä aiheudu ympäristön pilaantumista. Lainsäädännön yleisiä vaatimuksia on käsitelty tarkemmin luvussa 8.1. Kaivosalueille voidaan asettaa myös paikkakohtaisia, yleisiä tai numeerisia vaatimuksia. Näiden taustalla on yleensä suljettavan kohteen käsitteellistämisen yhteydessä tehty riskien tunnistaminen. Paikkakohtaisia vaatimuksia on käsitelty luvussa 8.3. Lainsäädännöllisten vaatimusten lisäksi kaivosyhtiöillä voi olla myös lainsäädäntöä tiukempia sisäisiä vaatimuksia kaivosalueen sulkemiselle. Anglo Americanin sisäisiä sulkemissuunnitteluperiaatteita on käsitelty luvussa 1.2.

8.1 Lainsäädännöstä tulevat vaatimukset

Kaivoslain (621/2011) mukaan kaivosalue on toiminnan päättyessä viipymättä saatettava yleisen turvallisuuden vaatimaan kuntoon sekä huolehdittava sen kunnostamisesta, siistimisestä ja maisemoinnista (KaivosL143 §). Kaivosviranomainen suorittaa kaivostoiminnan lopputarkastuksen kaivoksen sulkemisen ja alueen kunnostuksen jälkeen (KaivosL 146 §).

Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta (390/2005) määrää tuotantolaitoksen osalta toiminnan lopettamisesta aiheutuvista velvoitteista ja sen mukaan tuotantolaitoksen käytöstä poistettavan osan rakenteet ja alueet on tarvittaessa puhdistettava ja huolehdittava vaarallisista kemikaaleista ja räjähteistä siten, ettei niistä aiheudu henkilö-, ympäristö- eikä omaisuusvahinkoja (KemTurL 133 §).

Ympäristönsuojelulain (527/2014) mukaan luvanvaraisen toiminnan päätyttyä toiminnanharjoittaja vastaa edelleen tarvittavista toimista ympäristön pilaantumisen estämiseksi, toiminnan vaikutusten selvittämisestä ja tarkkailusta lupamääräysten mukaisesti (YSL 94 §). Jos lupa ei sisällä riittäviä määräyksiä toiminnan lopettamiseksi, on lupaviranomaisen annettava tätä tarkoittavat määräykset (YSL 94 §). Ympäristönsuojelulain mukaan voidaan kaatopaikkojen osalta esittää määräyksiä liittyen käytöstä poistamiseen ja sulkemiseen sekä siitä, kuinka kauan toiminnanharjoittajan on vastattava kaatopaikan jälkihoidosta, kuitenkin vähintään 30 vuotta (YSA 2014/713 20 §). Mikäli toiminnasta aiheutuu maaperän tai pohjaveden pilaantumista on toiminnanharjoittaja ympäristönsuojelulain mukaan velvollinen puhdistamaan maaperän ja pohjaveden (YSL 14 §, 16 § ja 17 §).

Valtioneuvoston asetus kaivannaisjätteistä (190/2013) 14 § mukaan kaivannaisjätteen jätealueen käytöstä poistamisesta ja sen jälkeen toteutettavasta jälkihoidosta määrätään ympäristöluvassa tai ympäristönsuojelulain 94 §:n 3 momentin nojalla annettavassa päätöksessä. Jätealuetta pidetään käytöstä poistettuna, kun valvontaviranomainen on tarkastanut jätealueen ja hyväksynyt käytöstä poistamisen todettuaan, että jätealue ja sen vaikutusalueella oleva maa-alue on palautettu tyydyttävään tilaan ja että annettuja lupamääräyksiä on noudatettu. (5.2.2015/102)

Toiminnanharjoittajan on huolehdittava siitä, että käytöstä poistetun kaivannaisjätteen jätealueen ja sen ympäristökuormituksen hallintaan tarpeellisia rakenteita ylläpidetään ja seurataan, tarkkailu on mahdollista ja tarvittaessa ylivuotokanavat ja patoaukot pidetään toiminnassa ja puhtaina. Toiminnanharjoittajan on myös viipymättä ilmoitettava vaaratilanteista valvontaviranomaiselle ja ryhdyttävä toimiin onnettomuuksien tai ympäristön pilaantumisen ehkäisemiseksi noudattaen mitä 11 §:ssä ja 12 §:n 2 momentissa säädetään.

Toiminnanharjoittaja vastaa kaivannaisjätteen jätealueen käytöstä poistamisen jälkeen tehtävistä jälkihoidotoimista sekä niihin liittyvästä seurannasta ja tarkkailusta niin kauan kuin tämä on tarpeen sen varmistamiseksi, että alueesta ei aiheudu ympäristön pilaantumista tai sen vaaraa, alue on vakaa ja pysyvästi maisemoitu, alueesta ei aiheudu onnettomuuden vaaraa ja siitä aiheutuvaa ympäristökuormitusta tai vaikutusalueen pinta- tai pohjavesien tilaa ei ole enää tarpeen tarkkailla.

8.2 Yleiset vaatimukset

Kaivoksen sulkemisen yleisiä päätavoitteita ovat:

1. Varmistetaan yleinen turvallisuus kaivostoiminnan muuttamilla alueilla.
2. Varmistetaan, että alueen kuormitus on lyhyellä ja pitkällä aikavälillä hyväksyttävällä tasolla eikä vaaranna ympäristöä tai ihmisten ja eläinten terveyttä. Pitkällä aikavälillä tämän tavoitteen tulee toteutua ilman aktiivisia käsittelytoimia.
3. Palautetaan käytöstä poistuvat alueet luonnonympäristöksi tai muuhun myöhempään maankäyttöön. Uusi maankäyttö on realistisella pohjalla ja yhdistyy ympäristöön ja alueen asukkaiden tarpeisiin.

8.3 Paikkakohtaiset vaatimukset

Paikkakohtaisten vaatimusten tarkastelu tehdään tässä esitarkastelun tasolla, huomioiden YVA-vaihtoehtojen määrä ja niiden eri yhdistelmien vaikutus sulkemisen vaatimusasetteluun. Tässä kappaleessa esitettävät yleisluontoiset

linjaukset on kuitenkin huomioitu alustavassa sulkemista koskevassa toimintasuunnittelussa (kappale 9).

Sulkemisen aikana ja sen jälkeen kaivosalueen vesiä vastaanottavien vesistöjen ekologinen tilaluokka ei saa heikentyä kaivosalueen muutosten seurauksena. Ekologista tilaa ja sen muutosriskejä arvioidaan kuitenkin kemiallisen tilan kautta. Vastaanottavien vesistöjen kemialliselle tilalle asetetaan siis sellaiset numeeriset tavoitteet, joiden toteutuessa myöskään ekologisen tilan ei voida odottaa heikentyvän. Sulkemissuunnittelun edetessä onkin arvioitava kaivosalueen sulkemisivaiheen ja sulkemisen jälkeisen ajan kokonaispäästöt ja niiden sekoittuminen vastaanottaviin vesistöihin.

Tavoitteiden toteutumiselle asetetaan alapuolinen vesistön tarkkailupiste. Tämä piste toimii tarkkailupisteenä suunnittelun aikaisissa laskelmissa ja malleissa, mutta myös tarkkailupisteenä jo kaivoksen toiminnan aikana tai jopa aiemminkin.

Laadullisen tarkastelupisteen asettaminen pohjavesille edustavasti on haasteellista. Tämä liittyy siihen, että kulkeutuminen on epätasaista ja esimerkiksi laajalle alueelle tehtävässä haitta-aineiden kulkeutumismallintamisessa yksityiskohtaisia tietoa joudutaan yleistämään ja keskiarvoistamaan. Nimenomaan edustavien ja lisäksi näytteenottoon soveltuvien tarkastelupisteiden löytäminen voikin olla haasteellista.

Mikäli pohjavedelle kuitenkin määritellään tarkastelupisteitä, ne valitaan huolella ja perustellen. Ympäristönsuojelulaissa (527/2014) todetaan seuraavaa:

”Ainetta, energiaa tai pieneliöitä ei saa panna, päästää tai johtaa sellaiseen paikkaan tai käsitellä siten, että:

- 1) tärkeällä tai muulla vedenhankintakäyttöön soveltuvalla pohjavesialueella pohjaveden laadun muutos voi aiheuttaa vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle taikka pohjaveden laatu voi muutoin olennaisesti huonontua;
- 2) toisen kiinteistöllä olevan pohjaveden laadun muutos voi aiheuttaa vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle taikka tehdä pohjaveden kelpaamattomaksi tarkoitukseen, johon sitä voitaisiin käyttää; tai
- 3) toimenpide vaikuttamalla pohjaveden laatuun muutoin saattaa loukata yleistä tai toisen yksityistä etua (pohjaveden pilaamiskielto).

Pohjaveden pilaamiskiellon näkökulmasta mahdolliset tavoitteet ja tarkastelupisteet olisi syytä sijoittaa siten, että ne antavat varhaista tietoa mahdollisista herkkiin kohteisiin suuntautuvista muutoksista. Tällaisia ovat esimerkiksi vedenhankintaan soveltuvat tai käytettävät alueet ja luontoarvoltaan merkittävät kohteet.

Tarvittaessa myös pohjaveden pinnantasolle voidaan asettaa tavoitteita. Perusteluna pinnantasotavoitteelle voi olla esimerkiksi pohjavesien virtaussuuntien säätely kaivannaisjätealueen tuntumassa.

Sakatin kaivoshankkeen sulkemissuunnittelussa kiinnitetään erityistä huomiota Viiankiaavan luontoarvojen suojaamiseen sekä Kitisen jokivarren alueen pohjavesiin.

9 Kaivosalueen eri toimintojen keskeiset sulkemisratkaisut

Alla olevissa kappaleissa käsitellään kaivosalueen eri toiminnot sekä niiden sulkemiseksi kaavaillut keskeiset toimenpiteet. Toimenpiteet esitetään tässä YVA-vaiheen sulkemissuunnitelmassa viimeisimmän kannattavuusarvioinnin (PFS-A) ja YVA:n suunnitelmien mukaisina. Sulkemista koskevat suunnitelmat voivat kuitenkin edelleen tarkentua (säilyen kuitenkin tasoltaan vastaavanlaisina).

9.1 Maanalaisen kaivoksen sulkeminen

Jokaisessa YVA-vaihtoehdossa maanalaisessa kaivoksessa sijaitsee murskaamo, sekä toimisto-, sosiaali- ja korjaamotilat. Vaihtoehtoista riippuen on lisäksi kuljetinhihnoja, kuilunostin ja nostotorni. Lisäksi vaihtoehtoissa VE1a ja VE1b myös pastalaitos sijaitsee maanalaisessa kaivoksessa.

Sulkemisen aikana maanalaisen kaivoksen annetaan täyttyä vedellä. Sitä ennen maanalaisesta kaivoksesta poistetaan laitteet ja kalusto. Putkistoja ja kaapelointeja puretaan käytännön ja turvallisuuden sallimissa rajoissa. Kaivokseen pääsy estetään esimerkiksi betonisuluilla ja louhetäytöillä. Tarvittaessa maanalaisiin tiloihin asennetaan välisulkuja rajoittamaan veden liikettä kaivoksen eri osien välillä sulkemisen jälkeen. Todennäköisesti kuitenkin myös painovoimainen kerrostuminen (suolaisuuskerrostuminen) rajoittaa veden liikettä.

Pystykuilujen ja vinotunnelien yläosat on tiivistetty jo toimintavaiheessa. Ympäristövaikutusten arvioinnissa on tarkasteltu kahta eri menettelytapaa, joilla vähennetään pohjaveden tuloa kaivokseen.

9.2 Tarvekilouhoksen sulkeminen

Tarvekilouhoksen sijainti vaihtelee päävaihtoehtoissa VE1-3. Louhoksen koko on sama kaikissa vaihtoehtoissa, eikä louhosseinämien ominaisuuksissa ole merkittäviä eroja vaihtoehtojen välillä.

Toiminnan päätyttyä tarvekilouhoksesta ja sen tukialueilta poistetaan kaikki tarpeettomat rakenteet, kemikaalit, räjähdysaineet, sähkölaitteet, työkonet ja jätteet. Turvallisuuden kannalta tarpeelliset rakenteet jätetään paikalleen.

Louhoksen reunat luiskataan ja muotoillaan turvallisuuden edellyttämään kaltevuuteen (noin 1:4). Turvallisuuden edellyttämä kaltevuus on riittävän loiva myös luiskan pitkäaikaisen stabiliteetin kannalta. Luiskaus jatkuu pinnan alapuolelle taaten poispääsyn veden varaan joutuneelle eläimelle tai ihmiselle.

Avolouhokseen johtavat ajoluiskat suljetaan lohcareilla. Avolouhos aidataan ainakin täyttymisvaiheen ajaksi, jotta siitä ei aiheudu turvallisuusriskiä.

Toiminnan päätyttyä avolouhokseen kertyvät sade- ja pohjavedet muodostavat aikaa myöten keinotekoisien järven maisemoiden avolouhoksen.

9.3 Matararikkisen rikastushiekka-alueen rakenteet ja sulkeminen

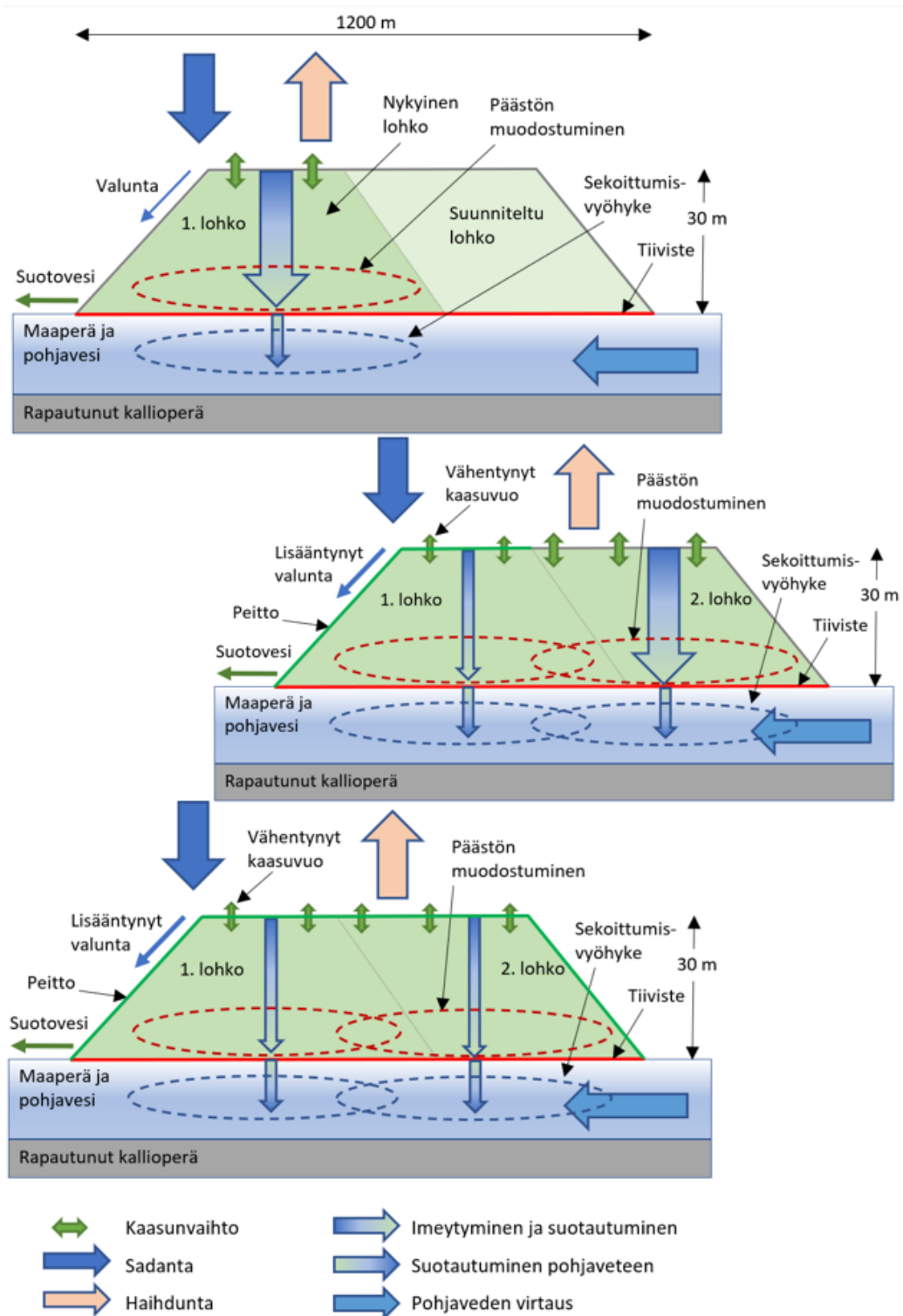
Matararikkisen rikastushiekkan sijoitusalue on ainoa sulkemisen jälkeen kaivos-alueelle jäävä kaivannaisjätteen jätealue. Matararikkisen rikastushiekkan sijoittamiseen on olemassa kaksi vaihtoehtoista läjitystapaa: kuivaläjitys- ja märkläjitys. Alla olevissa kappaleissa kuvataan matararikkisen rikastushiekkan sulkemisratkaisuja näissä läjitysvaihtoehtoissa.

9.3.1 Vaiheittainen sulkeminen kuivaläjitysvaihtoehdossa

Kuivaläjitysvaihtoehdossa matararikkisen rikastushiekka-alue rakennetaan ja suljetaan kahdessa vaiheessa. Ensimmäisen lohkon tultua täyteen, läjitys siiryy/läjitystä jatketaan toisessa lohossa ja ensimmäinen lohko suljetaan. Vaiheittaisella sulkemisella pyritään sekä pölypäästöjen että suotovesien määrän minimointiin. Jossain määrin vaiheittaisella sulkemisella pystytään myös rajoittamaan sulfidimineraalien hapettumista, vaikka matararikkisen rikastushiekkan sulfidipitoisuus on lähtökohtaisesti suhteellisen alhainen.

Vaiheittainen sulkeminen käsittää sekä patoalueiden että läjityksen lakialueen vaiheittaista sulkemista. Läjityksen lakialueen sulkeminen tapahtuu kahdessa osassa. Lohko 1 suljetaan täytön valmistuttua kokonaan ja täytön siirtyessä lohkon 2. Lisäksi rinnealueita eli patoalueita suljetaan rakentamisen edetessä ylöspäin.

Päästövaikutuksen muodostuminen ja suotovesivaikutusten hallinta esitetään käsitteellisenä kuvasarjana alla (Kuva 9-1). Matararikkisen rikastushiekkan sijoitusalueen käsitteellistämisessä on oletettu, että tiiviistä pohjarakenteesta huolimatta pieniä määriä vettä suotautuu pohjan läpi alapuoliseen pohjaveteen, mutta patoalueella suotovettä oletetaan purkautuvan myös maan pinnan yläpuolelle.



Kuva 9-1. Kuivaläjitetyn rikastushiekka-alueen (vaihtoehtoissa VE1a, VE2a ja VE3a) vaiheittaisen sulkemisen käsitteellinen malli (SRK Consulting Ltd. 2019a).

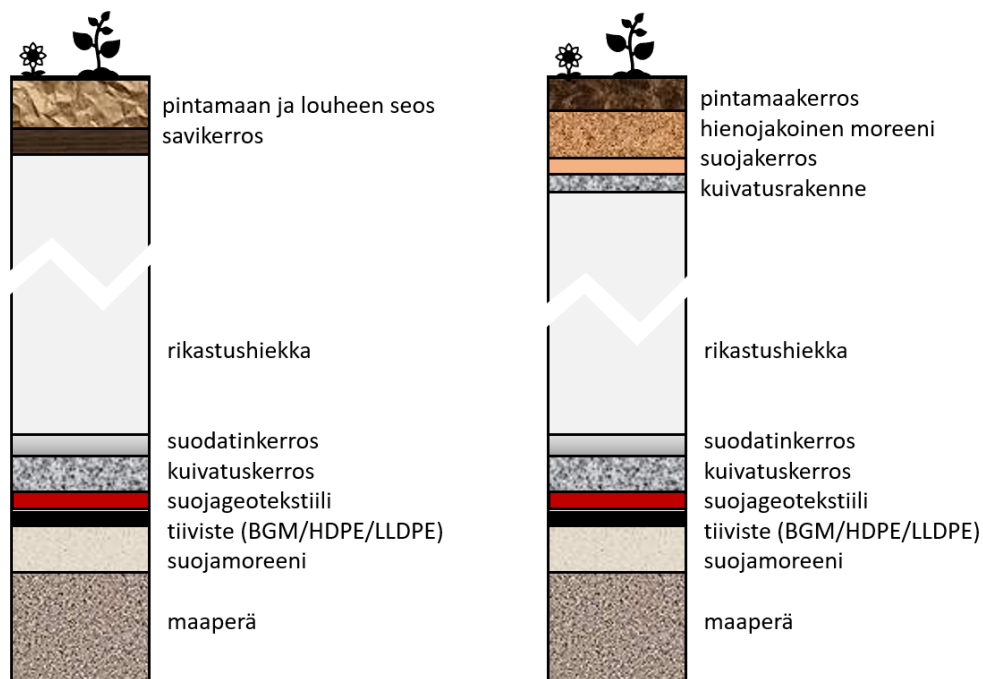
9.3.2 Matalarikkisen rikastushiekka-alueen sulkemirakenteet kuivaläjitysvaihtoehdossa

Kuivaläjitysvaihtoehdossa matalarikkisen rikastushiekka-alue rakennetaan ja suljetaan kahdessa vaiheessa, kahtena lohkona. Rikastushiekkan läjittämisen loppuvaiheessa kummallakin lohkolla huomioidaan sulkemistyön edellyttämät pinnanmuodot. Kuivaläjitysmenetelmä mahdollistaa rikastushiekkan läjittämisen siten, että läjitys alue saadaan jo läjityksen aikana lopulliseen pinnanmuotoonsa. Kuivatusvaihetta ei tarvita ennen peiton asentamista, vaan kuivaläjitetty rikastushiekka-alue on valmis peittorakentamiseen heti läjityksen päättyessä lohkolla.

Toistaiseksi matalarikkisen rikastushiekka-alueen sulkemistoimenpiteinä on tarkasteltu alla kuvattavia kahta peittorakennevaihtoehtoa (SRK Consulting Ltd. 2019). Tarkastellut vaihtoehdot ovat vasta alustavia ja myös muita ratkaisuvaihtoehtoja tullaan tarkastelemaan tulevaisuuden sulkemissuunnitteluvaiheissa.

- Tiivisrakenteena toimii (vähintään 0,3 m) savikerros, jota peittää suojakerrosena pintamaan ja sivukivilouheen seos (0,5 m). Suojakerros toimii myös kasvualustana.
- Peittona on komposiittirakenne, alhaalta päin kuvattuna kuivatusrakenne, suojakerros, hienojakoinen moreeni (0,6 m) ja pintamaakerros (0,2 m). Ylin kerros toimii myös kasvualustana.

Yllä kuvatut alustavat peittorakenteet on esitetty myös kuvassa 9-2.



Kuva 9-2. Alustavia peittorakennevaihtoehtoja kannattavuuden esiselvitysvaiheen A mukaisena.

Peiton toiminnasta on esitetty oletukset, joita on käytetty myös suotoveden laadun mallinnuksessa, tarkastelussa 1 (SRK Consulting Ltd. 2019a). Peitterakenteen läpi imeytyy 12,5 % vuotuisesta keskisadannasta (524 mm). Tämä tarkoittaa imeytymisen vähentymistä noin puoleen peittämättömästä kuivaläjäytystä (30 % imeytyminen). Peittorakenteen suorituskyky on siis määritelty veden imeytymisenä peiton läpi jätteeseen, ei vedenjohtavuutena, koska tämä määrittelytapa mahdollistaa veden laadun mallintamisen. Kaasunvaihdolle ei ole tässä vaiheessa kirjattu määritelmää, mutta raekooltaan hienojakoinen ja suhteellisen tiivis peitto tyypillisesti pysyy kosteana. Kosteus puolestaan pienentää kaasunvaihtoa. Kuivaläjäytyksessä rikastushiekka on huomattavan tiiviisti pakkautunutta jo ennen sulkemistoimenpiteitä. Tämä rajoittaa jossain määrin veden imeytymistä ja hapen kulkeutumista rikastushiekkaan jo ennen peittorakenteitakin.

Peittorakenteissa tarvittava moreeni saadaan osittain rakentamisen yhteydessä poistettavista pintamaista. Rikastushiekka-alueella ja sen tuntumassa tehdyissä maaperätutkimuksissa on havaittu joitain mahdollisesti heikosti läpäiseviä hienoainesmoreenimaita alueen länsiosassa, mutta toistaiseksi moreeniottoalueita ei ole varmennettu. Lopullista massatasetta ei ole vielä käytettävissä, mutta asia tarkentuu ympäristölupavaiheen sulkemissuunnittelun yhteydessä.

Sulkemisen jälkeen rikastushiekka-aluetta ei oteta talousmetsäkäyttöön, vaan alueelle annetaan ajan myötä muodostua vaihteleva, luonnonmukainen kasvilisuus. Lakialueelle ja rinteille tehdään soveltuvilta osin myös paikoittaisia louhepintaisia alueita, jotka muistuttavat seudun vaarojen rinteille tyypillistä rakkakivikkoa. Rakkakiveykset voidaan sijoittaa selänteen rinteille ja lakialueille esimerkiksi selänteen korkeuskäyriä myötäilevinä vyöhykkeinä.

9.3.3 Matalarikkisen rikastushiekka-alueen sulkemirakenteet märkäläjäitysvaihtoehdossa

Rikastushiekan märkäläjäytyksessä alue voidaan muotoilla joko kuperaksi tai toiselle sivulle viettäväksi (johtamaan vesiä alueelta) tai vaihtoehtoiseksi koveraksi vedenjohtamirakenteella. Täytön loppuvaiheessa, ennen alueen sulkemista, voidaan pumppausten kohdentamisella täyttää haluttuja altaan osia muotoilun tueksi. Kuperassa muotoilussa tämä vaatii altaan keskiosalle erillisen pumppauspenkereen. Muita muotoilussa käytettäviä keinoja ovat massansiirrot sekä sivukivitäyttö. Kuperassa muotoiluvaihtoehdossa ylimmät korotuspenkereet reunapadoilla leikataan ja tasataan, etteivät ne muodosta pintavaluntaa padottavaa rakennetta. Sivulle viettävässä vaihtoehdossa leikkaus kohdistuu vain toiseen puoliskoon allasta. Koverassa vaihtoehdossa käytetään kanaalirakennetta. Patojen luiskaosat muotoillaan keskimäärin kaltevuuteen 1:3–1:4.

Altaassa olevaa rikastushiekkaa joudutaan aluksi kuivaamaan kantavuuden saavuttamiseksi. Läjityksen loputtua pumpataan rikastushiekka-altaan suoto-veden kokoamisallas tyhjäksi esimerkiksi palautuspumppaamoa käyttäen ja annetaan rikastushiekan kuivua juurisalaojien kautta. Rikastushiekan sisäinen vesipinta asettuu pitkällä aikavälillä tasapainotilaan, joka riippuu pintarakenteen läpi imeytyvän veden määrästä ja pohjan sekä patojen läpi suotautuvasta vesimäärästä.

Rikastushiekka on suhteellisen hienojakoista ja jää suurilta osin vedellä kyllästyneeseen tilaan, mikä vähentää rikastushiekan sulfidimineraalien hapettumista. Märkäläjityksen peittämisessä panostetaan erityisesti läpivirtaamaan minimointiin ja kosteusvaihteluiden tasaamiseen. Altaalle (lakialue) suunnitellaan veden imeytymistä pienentävä peiterakenne, joka vähentää myös kaasunvaihtoa. Peittäminen suoritetaan soveltuvilta osin vastaavalla periaatteella kuin kuivaläjitysvaihtoehdossa, käyttäen eristyskerrosta ja suojakerrosta. Peitteen rakentaminen märkäläjitysalueella poikkeaa kuitenkin teknisesti kuivaläjityksen peittämisestä, valmiin tiivistykseen soveltuvan alustan puuttuessa monin paikoin. Peitteen rakentaminen voi poiketa myös tavoitteellisesti kuivaläjitystystä rikastushiekka-alueesta. Hapen kulkeutumisen rajoittaminen pinnalta ei ole välttämättä kriittistä märkäläjityksessä silloin kun esimerkiksi suljettavan altaan rakenteet ja muotoilu mahdollistavat vedellä kyllästyneiden olosuhteiden suhteellisen hyvän säilymisen myös sulkemisen jälkeen. Tällöin hapettumiselle altistuvan rikastushiekan osuus kokonaismassasta jää suhteellisen pieneksi. Kun tarkastellaan märkäläjityksen ja kuivaläjityksen koko profiileja (sisältäen peiterakenteen), vastaava suorituskky voidaan saavuttaa osittain erilaisten mekanismien avulla.

9.4 Korkearikkisen rikastushiekka-altaan sulkeminen

Korkearikkisen rikastushiekan varastoallas on väliaikainen varasto, sillä kaikki korkearikkisen rikastushiekka tullaan käyttämään maanalaisen kaivoksen louhostäytöissä käytettävän pastan raaka-aineena. Pastalaitoksen käynnistyttyä rikastushiekka johdetaan suoraan pastalaitokselle, jolloin korkearikkisen rikastushiekan varastoallas jää varalle mahdollisia poikkeustilanteita varten. Kaivostoiminnan loputtua korkearikkisen rikastushiekan varastoallas tyhjenetään. Kalvorakenteet, putket ja pumppaamot puretaan ja toimitetaan asianmukaiseen jatkokäsittelyyn. Tarpeettomaksi käyneet padot tasataan ja alue peitetään pintamaakerroksella kasvittumisen edistämiseksi.

9.5 Malmin välivarastoalueen ja sivukiven sijoitusalueiden sulkeminen

Sulkemisen jälkeen malmin välivarastoaluetta ja väliaikaisia sivukivien sijoitusalueita ei enää ole, sillä toiminnan aikana korkearikkinen sivukivi hyödynnetään kaivoksessa pasta-kivimursketäytön raaka-aineena ja matalarikkinen sivukivi kaivosalueen rakenteissa. Sulkemisen yhteydessä väliaikaisten sijoitusalueiden rakenteet puretaan ja rakenteiden alapuolisen maaperän tila tarkastetaan. Mikäli tilaltaan heikentyneitä maa-aineksia tavataan, ne käsitellään tai loppusijoitetaan asianmukaisesti.

9.6 Pintamaan sijoitusalueen sulkeminen

Pintamaat varastoidaan omina jakeinaan (pintamaa, turve, moreeni, hiekka) ja hyödynnetään kaivoksen rakenteissa, jälkihoidossa ja maisemoinnissa. Tässä vaiheessa oletetaan, että pintamaan laadun takia pintamaan läjitysalueille ei tarvita erityisiä pohjarakenteita. Mikäli osa maa-aineksesta tätä kuitenkin edellyttäisi, pohjarakenteet purettaisiin sulkemisvaiheessa asianmukaisesti ja alapuolisen maaperän kunnolle tehtäisiin tarpeellinen tarkistus.

9.7 Muut sulkemistoimenpiteet: tehdasalue, tiestö, voimalinjat, putkilinjat ja vesienkäsittely

Tehdasalueen, tiestön, voimalinjan ja putkilinjojen sulkemisesta on laadittu ensimmäinen suunnitelma viimeisimmän kannattavuusarvioinnin (PFS-A) yhteydessä. Alustavat suunnitelmat sulkemistratkeisuista esitetään taulukossa 9-1.

Jokaisessa päävaihtoehdossa tehdasalue sijaitsee Kuusivaarassa. Päävaihtoehdossa VE2 ja VE3 pastalaitos on sijoitettuna maan päälle kaivoksen sisäänkäynnin läheisyyteen. Yhdystien linjausvaihtoehtoja on kaksi (a ja b). Voimajohto on suunniteltu toteutettavan pääasiassa olemassa olevia voimajohtojen maastokäytäviä hyödyntäen jokaisessa vaihtoehdossa.

Taulukko 9-1. Tehdasalueen ja infrastruktuurin alustavat sulkemistrategiat.

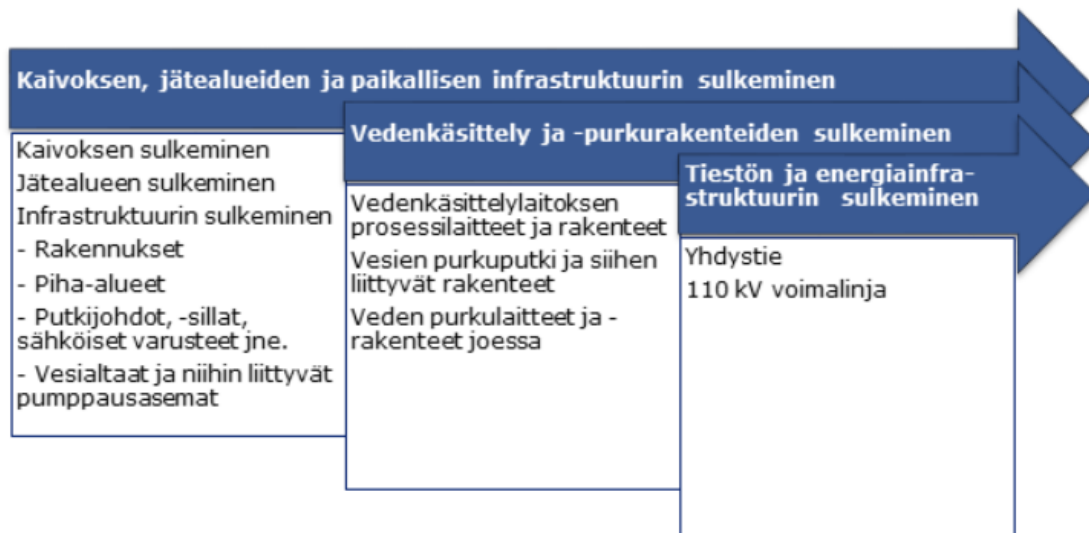
Rakenne	Sulkemissuunnitelma
Rakennukset	
Rikastamoalueen sisäpuoliset rakennukset sekä maanalaisen kaivoksen maanpäälliset tukirakennukset	Varusteet ja putket puretaan ja joko myydään uusiokäyttöön tai kierrätetään.
Teollisuusalueen/-alueiden ulkopuoliset rakennukset (raakavesipumppaamo Kitisellä, räjähdysainevarasto)	Rakennukset puretaan ja joko kierrätetään tai käsitellään rakennusjätteenä.
Tehdasalueen ulkopuolinen infrastruktuuri	
Yhdystie ja Kelujoen ylittävä silta	Kunnostetaan tukemaan tulevaa maankäyttöä. Tämä voi tarkoittaa joko rakenteiden jättämistä paikoilleen tai rakenteiden poistamista ja alueen tasaamista. Mahdollisesta infrastruktuurin jättämisestä alueelle on sovittava erikseen viranomaisten ja maanomistajien kanssa. Kolmas vaihtoehto on rakenteiden osittainen purkaminen tehokkaampien hydrologisten kanavien ja ekologisten käytävien luomiseksi.
110 kV voimajohtolinja Vajukoskelta	Sulkemistoimenpiteet riippuvat voimajohtolinjan ja kaivoksen välisestä sopimuksesta. Voimajohtolinjan omistus sovitaan verkkoyhtiön kanssa ennen voimajohtolinjan rakentamispäätöstä. Jos hankkeesta vastaava yhtiö omistaa voimajohdon, se on kunnostettava tukemaan tulevaa maankäyttöä. Tämä voi tarkoittaa joko rakenteiden jättämistä paikalleen tai niiden purkamista. Mahdollisesta rakenteiden jättämisestä alueelle on sovittava erikseen viranomaisten ja maanomistajien kanssa.
Vedenotto- ja purkuputket	Tehdään riskiperusteinen vaikutusten arviointi, joka sisältää ympäristö-, sosiaalisen ja taloudellisen näkökulman. Arvioidaan rakenteiden purkamisen sekä paikalleen jättämisen riskit. Päätettäessä putkilinjojen

	purkamisesta tai purkamatta jättämisestä otetaan huomioon maanomistajien ja keskeisen maankäytön tarpeet.
Putkilinjat joessa	Putkilinjat ja muut varusteet poistetaan hävittämistä tai kierrättämistä varten.
Talousvesi- ja jätevesiyhteydet	Talous- ja jätevesiyhteyksien osalta ratkaisut tehdään myöhemmässä vaiheessa, kun tieto teollisuusalueen mahdollisesta jatkokäytöstä kaivostoiminnan jälkeen on käytettävissä.
Tehdasalueen sisäpuolinen infrastruktuuri	
Päällystetyt piha-alueet	Alueet kunnostetaan tulevaa maankäyttöä varten. Tämä voi tarkoittaa joko alueiden jättämistä sellaiseksi tai päällysteiden poistamista ja hävittämistä.
Alueen maanalaiset putkilinjat (hulevesiviemäröinti, palovesijohdot, jätevesiviemärit)	Ks. yo teksti
Alueen sisäiset huoltotiet	Ks. yo teksti
Malmin välivarastoalue ja muut kalvotetut varastoalueet	Kalvon päällä oleva materiaali käsitellään pilaantuneena maana. Kalvot poistetaan ja sijoitetaan kaatopaikalle rakennusjätteenä.
Putkisillat ja maanpäälliset putket	Kaikki laitteet ja putket puretaan ja kierrätetään
Sähkölaitteet, -varusteet ja kaapelit	Sähkölaitteet puretaan ja kierrätetään. Perusrakenteet puretaan ja sijoitetaan kaatopaikalle rakennusjätteenä.
Vesialtaat (vesivarastoallas ja kaivoksen kuivanapitovesien selkeytysallas)	Vedet pumpataan vesikiertoon vesivarastoaltaan kautta puhdistukseen tai maanalaisen kaivoksen täyttämiseen. Kalvopohjat poistetaan ja sijoitetaan rakennusjätteenä. Vesivarastoaltaan pato poistetaan riippuen patoluokasta. Pienempien altaiden penkereiden materiaali käytetään altaiden täyttämiseen.

Pumppuasemat	Kaikki varusteet ja putkilinjat poistetaan ja kierrätetään. Rakenteet poistetaan ja sijoitetaan rakennusjätteenä.
Toiminta-ajan jälkeinen pilaantuneiden maa-ainesten arvioiminen	Maa-ainesnäytteenottoa tehdään alueilla, jotka ovat "suuren riskin alueita" ennen kuin sulkemissuunnitelma tehdään valmiiksi. Potentiaalisesti pilaantuneet maa-alueet käsitellään in-situ, läjitetään alueelle tai kuljetetaan niitä vastaanottavaan läjityspaikkaan. Toimenpiteet päätetään yhdessä viranomaisten ja maanomistajien kanssa.

9.8 Sulkemistyön vaiheet

Alustavasti sulkemistyön ajallinen vaiheistaminen on kaavailtu alla olevan kuvan 9-3 mukaiseksi. Kaivoksen ja jätealueiden sulkemisen aikana tuotannonaikainen vesienkäsittelylaitos on edelleen käytössä, joten vesienkäsittelyyn liittyvien rakenteiden sulkemista ei voida suorittaa ensimmäisessä vaiheessa. Voimalinja on viimeinen purettava rakenne.



Kuva 9-3. Aktiivisen sulkemistyön työvaiheet.

10 Kaivoksen sulkemisen jälkeiset veden laadut

Kaivosalueelle jää sulkemisen jälkeen vain matalarikkisen rikastushiekkan rikastushiekka-alue sekä maanalainen kaivos. Mikäli tarvekilouhos toteutuu, myös siihen muodostuva louhosjärvi on olemassa kaivoksen sulkemisen jälkeen. Väliaikaiset läjitysalueet ja muut vain tuotantovaihetta palvelevat rakenteet puretaan kaivoksen sulkemisen yhteydessä.

Tässä kappaleessa kuvataan rikastushiekka-alueen, maanalaisen kaivoksen ja tarvekilouhoksen sulkemisen jälkeiset veden laadut. Lisäksi kuvataan lähestymistapa ja menetelmät, joilla veden laadut on mallinnettu.

10.1 Maanalaisen kaivoksen veden laadut sulkemisen jälkeen

Maanalaisessa kaivoksessa sulkemisen jälkeistä veden laatua säätelevät veden ja mineraalipintojen kontaktisuhde, kallioseinämien ja louhostäytön ominaisuudet, pohjaveden koostumus sekä kaivoksen rakentamisen ja tuotantovaiheen aikana tiivistettävien geologisten rakenteiden määrä. Yleisesti ottaen pohjavedellä on pitoisuuksia laimentava vaikutus. Veden alla, veden kyllästämissä kallioseinissä ja kaivoksen pasta-kivimurske täytteessä hapettuminen ja rapautuminen tapahtuvat paljon hitaammin kuin veden pinnan yläpuolella. Hapettumisessa ja rapautumisessa kiviaines reagoi ilman hapen kanssa muodostaen rapautumistuotteita. Osasta rapautumistuotteita muodostuu sekundäärimineraaleja. Sekundäärimineraaleihin taas pidättyy rapautumisessa vapautuvia haitta-aineita sorption kautta.

Maanalaisen kaivosveden koostumuksen mallinnuksessa oleellisia asioita ovat: 1) laboratoriokokeet, joilla eri materiaalien hapettumista ja muuta rapautumista sekä aineiden vapautumista veteen tutkitaan, 2) skaalaus, eli tapa, jolla kokeiden tulokset muunnetaan tutkittavan kohteen olosuhteita vastaaviksi (kivilaji-jakauma, mineraalipinta-alat, lämpötila, veden ja kiintoaineen kontaktisuhde yms.) sekä 3) pohjaveden ominaisuudet.

Maanalaiselle kaivokselle on laadittu kaksi erillistä sulkemisen jälkeisen ajan vesilaatumallia:

- Tarkastelussa 1 osa louhostäytöistä on pastaa ja osa sivukiveä. Pastassa käytettävä rikastushiekka tulee prosessivaihtoehdosta 1. Tarkastelussa 1 kaivokseen tulevan pohjaveden määrä perustuu SRK Consultingin laatimaan pohjavesimalliin kannattavuuden esiselvitysvaiheesta A (SRK Consulting Ltd. 2019a).
- Tarkastelussa 2 (Stantec Consulting Ltd. 2023) kaikki tyhjat louhokset on täytetty pasta-kivimursketäytöllä. Pastan valmistamiseen käytetty rikastushiekka tulee prosessivaihtoehdosta 1. Tarkastelussa 2

pohjaveden määrä perustuu uudempaan, pohjavesimalliin vuodelta 2022 (Itasca Denver Inc. 2022), ja se sisältää eri tiivistysskenaarioiden arvioimisen.

Mallinnukset perustuvat hankevaihtoehtoon VE1a, mutta tulokset ovat sovellettavissa kaikkiin YVA:n vaihtoehtoihin, sillä hankevaihtoehtojen keskeinen ero liittyy vinotunneliin, jonka vaikuttavuus geokemiallisessa mallissa on vähäinen. Mallinnuksia kuvataan tarkemmin kaivannaisjätteitä ja suotovesilaatuja koskevassa erillisessä raportissa (AFRY Finland Oy 2023).

Tuotantoaikana räjähteistä vapautuvan typen poistuminen on käsitelty molemmissa malleissa eri tavoin ja geokemiallisen mallin tasapainoyhtälöissä on pieniä eroja. Tarkastelua 2 voidaan pitää tarkastelua 1 konservatiivisempana.

10.1.1 Maanalaisen kaivoksen veden laatu, tarkastelu 1

Tarkastelun 1 on tehnyt SRK Consulting, joka vesimäärien osalta pohjautuu kannattavuuden esiselvitysvaiheeseen A (SRK Consulting Ltd. 2019a). Lähtötietoina mallinnuksessa on käytetty kosteuskammiokeiden tuloksia kaivoksen seinämäkivistä ja louhoksen sivukivitäytöistä. Lisäksi pitoisuussyötteenä on käytetty rikastushiekasta valmistetun pastan monoliitin pitkäaikaisuuttokokeen tuloksia. Tarkastelussa 1 käytetty monoliitti on valmistettu prosessivaihtoehtoon 1 korkea- ja matalarikkisistä rikastushiekasta. Lähtötietoja on käytetty masatase- ja olosuhdeskaalattuna sekä tasapainotettuna mineraali- ja kaasufaaseihin PHREEQC mallinnusohjelman avulla. Mallinnuksessa saostuvaksi sallittaviksi mineraaleiksi valittiin paikallisen geologian perusteella: PbSO_4 , CaSO_4 , BaSO_4 , CaCO_3 , PbCO_3 , $\text{CaCuAsO}_4(\text{OH})$, $\text{Cr}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, MgCO_3 , $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$, $\text{CaHAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$, SiO_2 , MnCO_3 ja $\text{CaAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

Maanalaisen kaivoksen veden tuotantovaiheen laatumallin konseptualisointi eli käsitteellistäminen sisältää mm. seuraavat keskeiset asiat:

- Varsinaisen kaivoksen seinämän reaktiivinen massa muodostuu kahdesta eri tavoin määritellystä kerroksesta. Erillisinä kerroksina on tarkasteltu hapettunutta "kuorikerrosta" (0,012 m) sekä louhosseinämästä pidemmälle kallioon ulottuvaa räjäytystyön rikkomaa vyöhykettä.
- Louhostäytön reaktiivisen massan määrittely vastaa sivukivialueen reaktiivisen massan määrittelyä.
- Pastatäytön reaktiivisena massana on mallissa käsitelty pastatäytön pinta-alaa ja reaktiivinen massa ulottuu noin 0,01 m syvyyteen.
- Tasapainomallinnuksessa on konservatiivisesti oletettu, että adsorptiota tapahtuu vain juuri muodostuvaan pintaan, kuten raudan

oksideihin ja sorptiopintana mallinnuksessa käytettiin ferrihydriittiä ($5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$).

- Sulkemisen jälkeen maanalainen kaivos täyttyy vähitellen vedellä ja sulfidimineraalien hapettumiselle alttiina oleva osa kaivoksesta pienee vähitellen.
- Maanalaisen kaivoksen täyttyttyä vedellä kokonaan kaivoksessa on valmiiksi hapettuneita seinämiä, mutta uusi hapettuminen on vähäistä ja hidasta.

Maanalaisen kaivoksen veden laatu (SRK Consulting Ltd. 2019a) sulkemisen jälkeen kuvataan taulukossa 10-1. Ympäröivän ylemmän kalliopohjaveden laadusta poikkeavat merkittävimmin typpi ja nikkeli, kumpikin ensimmäisinä vuosina kaivoksen sulkemisen jälkeen. Kaivoksen täyttymisen edetessä metallipitoisuudet vedessä laskevat, sillä seinämistä ja louhostäytöistä yhä pienempi osuus toimii reaktiivisena massana vedellä kyllästyneen tilan osuuden kasvaessa.

Jos vertailukohtana käytetään ympäristölaatunormeja (Vna 1040/2006 ja muutos 341/2009), suljetun kaivoksen sisäisessä veden laadussa esiintyy kohonneina pitoisuuksina antimonia, elohopeaa, kadmiumia, kloridia, kobolttia, kromia, nikkeliä ja sulfaattia. Näistä kuitenkin kloridi, sinkki ja sulfaatti ovat luontaisestikin laatunormia korkeammalla tasolla alueen ylemmässä kalliopohjavedessä. Lisäksi tulee huomioida, että maanalaisen kaivoksen ylimpiä osia tullaan tiivistämään injektoimalla rakentamis- ja tuotantovaiheissa kaivokseen tulevan vesimäärän minimoimiseksi. Näin ollen myös sulkemisen jälkeen kaivosveden kulkeutuminen ympäröivän alueen pohjavesiin jää vähäiseksi. Kaivoksen yläosan ja syvemmän osan vesien merkittävä sekoittuminen ei ole todennäköistä, sillä syvään osaan muodostuva veden laatu on suolaisempi ja siten vesi on painavampaa kuin kaivoksen yläosassa.



Taulukko 10-1. Maanalaisen kaivoksen veden laatu, tarkastelu 1, maksimi ja minimi pitoisuudet alkuvuosina sulkemisen jälkeen (vuodet 25-65 toiminnan alkamisesta), trendi tämän jakson aikana, sekä veden laatu 180 vuotta toiminnan alkamisesta. Vertailuksi esitetään nykyisen ylemmän ja alemman pohjaveden koostumus, sekä ympäristön laatunormi pohjavedelle (1040/2006, ja muutos 341/2009). Paksunnetulla tekstillä viitataan pitoisuuksiin, jotka ylittävät ylemmän kallio-pohjaveden taustapitoisuuden.

Maanalainen kaivos sulkemisen jälkeen							Vertailuarvoja		
			Vuodet 25-64 MIN	Vuodet 25-64 MAX	Vuodet 25-64 Trendi	Vuosi 180	Ylempi kallio- pohjavesi	Alempi kallio- pohjavesi	Ympäris- tönlaa- tunormi
	pH		7,4	7,5	lievästi nouseva		7,6	7,6	
Alumiini	Al	mg/l	0,001	0,002	ei selkeää trendiä	0,002	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 las- keva	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	0,009	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	0,02	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	

*) Kosteuskammioaineiston analyysituloksissa (SRK Consulting Ltd. 2018) tyypillisesti alle määrittysrajan. Laskennalliset pitoisuudet syötetiedoissa voivat vaikuttaa tulokseen.

10.1.2 Maanalaisen kaivoksen veden laatu, tarkastelu 2

Tarkastelu 2 perustuu Stantecin geokemialliseen mallinnustyöhön (Stantec Consulting Ltd 2023), sekä uuteen pohjavedenvirtausmalliin (Itasca Denver Inc. 2022). Pitoisuussyötteenä mallinnuksessa on käytetty kosteuskammiokokeiden tuloksia kaivoksen seinämäkivistä sekä prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekasta valmistetun pastan monoliitin uuttokokeesta. Kosteuskammiokokeen ja monoliitin uuttokokeen tuloksia on käytetty massatase- ja olosuhdeskaalatuna sekä tasapainotettuna mineraali- ja kaasufaaseihin.

Geokemiallisessa mallissa (Stantec Consulting Ltd. 2023) kaivos jaetaan kuuheen (~200 m syvään) osaan, joille kullekin on saatu virtauksen määrä ajan funktiona (Itasca Denver Inc. 2022) pohjavedenvirtausmallista. Geokemiallisessa mallissa on tarkasteltu kaivokseen tulevaa pohjaveden virtausta vastaaville skenaariolle kuin pohjavedenvirtausmallissa:

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

2) 65 % tiivistysskenaario: injektointitehokkuudeksi on määritelty 65 %, ja louhostäytön vedenjohtavuudeksi 1×10^{-7} m/s eli kaksinkertainen verrattuna 80 % tiivistysskenaarioon. Virtausmäärät on saatu pohjavedenvirtausmallista käyttäen näitä oletuksia.

65 % tiivistysskenaarion mukaan virtaamat ovat ~5-8 % korkeammat kuin 80 % tiivistysskenaariossa.

Maanalaisen kaivoksen vuorovaikutukset veden ja kiintoaineksen välillä on käsitteellistetty pääsääntöisesti samalla tavalla kuin tarkastelussa 1. Maanalaisen kaivoksen veden tuotantovaiheen laatumallin konseptualisointi eli käsitteellistäminen sisältää mm. seuraavat keskeiset asiat:

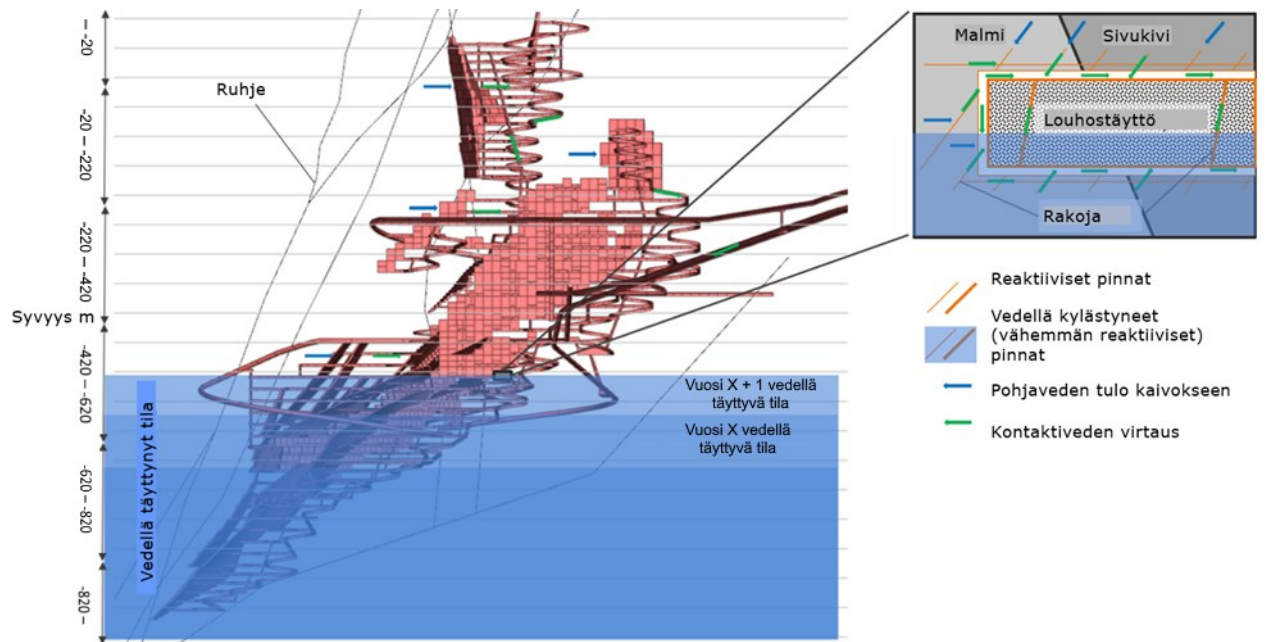
- Poiketen tarkastelusta 1, tässä tarkastelussa ei huomioitu erikseen kaivoksen seinämien hapettunutta kuorikerrosta, vaan seinämä, johon räjäytystyö on vaikuttanut, käsiteltiin yhtenä kokonaisuutena. Seinämäkivissä reaktiivista pintaa (eli mineraalipintaa) oletettiin olevan 27 m^2 (Morin & Hutt 2004), kun taas kosteuskammiokokeen näytteessä taas pinta-alaa oletettiin olevan $7,4 \text{ m}^2/\text{kg}$ näytettä (Morin ym. 1996).
- Käytettävä louhostäyttö tulee olemaan pasta-kivimursketta, jossa sivukivimursketta on 0-30%. Reaktiivisen pinta-alan kuitenkin oletettiin muodostuvan ensisijaisesti pastasta eli rikastushiekasta (~65-95 %) ja sideaineista (4-8 %), toisin sanoen monoliittikoetta vastaavasta seoksesta. Tämä on konservatiivinen oletus.
- Pasta-mursketäytön reaktiivista pintaa eli mineraalipintaa oletettiin olevan 5 m^2 yhden neliömetrin suuruista louhostäyttöpinta-alaa kohti.

Vertailun vuoksi mainittakoon, että tarkastelussa 1 pastatäytön reaktiivinen massa määriteltiin reaktiivisena syvyytenä 0,01 m.

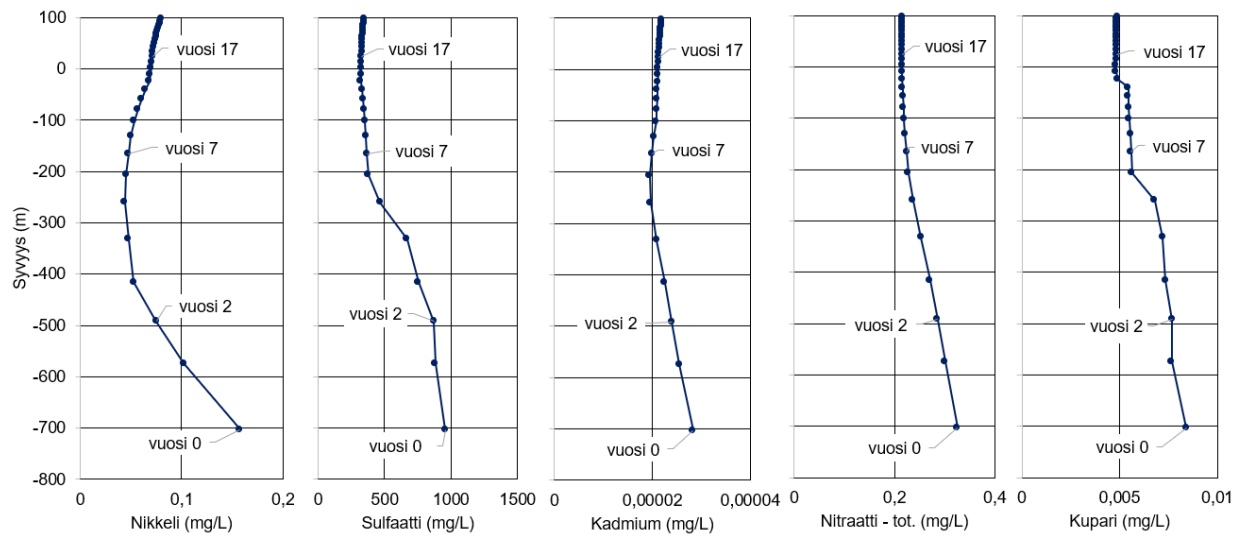
- Räjähdyksineistä aiheutuvien typen yhdisteiden määrät arvioitiin kirjallisuusperusteisesti. Mallinnuksessa typen on oletettu poistuvan kaivoksesta kuivanapitoveden mukana samana vuonna kuin se on räjäytystyön myötä kaivokseen tullut.
- Tasapainomallinnuksessa oletettiin, että adsorptiota tapahtuu vain juuri muodostuvaan pintaan, kuten raudan oksideihin ja sorptiopintana mallinnuksessa käytettiin liuoksesta saostuvaa ferrihydriittiä.
- Sulkemisen jälkeen maanalainen kaivos täyttyy vähitellen vedellä ja sulfidimineraalien hapettumiselle alttiina oleva osa kaivoksesta pienee vähitellen. Kaivoksen täyttyminen käsiteltiin vuosikerroksina: kullekin vuodelle laskettiin pitoisuus ilman sekoittumista edellisen vuoden veden kanssa (Kuva 10-1).
- Maanalaisen kaivoksen täyttyttyä vedellä kokonaan kaivoksessa on valmiiksi hapettuneita seinämiä, mutta uusi hapettuminen on vähäistä ja hidasta.

Veden laadut on tasapainomallinnettu PHREEQC mallinnusohjelman avulla. Mallinnuksessa tasapainoyhdisteiksi valittiin: PbSO_4 , BaSO_4 , CaCO_3 , PbCO_3 , $\text{CaCuAsO}_4(\text{OH})$, $\text{Cr}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, MgCO_3 , $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$, $\text{CaHAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$, SiO_2 , MnCO_3 , $\text{CaAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, $\text{NaAlCO}_3(\text{OH})_2$, CO_2 ja O_2 . Tasapainoyhdisteiksi valittujen mineraalien sallittiin saostua mallissa, muttei uudelleen liueta. Kaasuille taas oli määritelty osapaine ja ne olivat mallissa rajoittamattomina.

Täyttymisen eteneminen ja pitoisuudet syvyyden funktiona esitetään tärkeimmille tarkkailtaville aineille, eli nikkelille, kadmiumille, kuparille, sulfaatile ja typelle (Kuva 10-1) käyttäen 80 % tiivistysskenaarion virtaamia. Tiivistysskenaariossa 65 % pitoisuudet ovat matalampia johtuen suuremman pohjaveden virtaamaan aiheuttamasta laimenemisestä eikä niitä siksi mallinnettu. Lisäksi keskiarvoistettuja tuloksia esitetään taulukossa (Taulukko 10-2). Kaivoksen syvimmän osan tilavuus on pieni ja se täyttyy hyvin nopeasti kuivanapitoveden pumppauksen loputtua. Sulkemisen jälkeinen tarkastelu alkaa ajankohdasta, jossa kaivos on täyttynyt noin tasolle -700 mmpy. Maanalainen kaivos loppuu noin tasolla +100 mmpy, josta ylöspäin on vain vinotunnelia.



Kuva 10-1. Käsitteellinen kuva maanalaisen kaivoksen täyttymisestä sulkemisen jälkeen (Stantec Consulting Ltd. 2023).



Kuva 10-2. Maanalaisen kaivoksen veden laadun muodostuminen sulkemisen jälkeen eri syvyyksille. Kuvaajissa "vuosi 0" kuvaa sulkemisen jälkeistä ensimmäistä vuotta. (Stantec Consulting Ltd. 2023)



Taulukko 10-2. Maanalaisen kaivoksen veden laatu sulkemisen jälkeen, tarkastelu 2 (80 % tiivistyskenaariota virtaamien mukaan). Pitoisuudet ovat vuosikeskiarvoista (vuosina 0-57 sulkemisen aloittamisesta) laskettuja keskiarvoja ja maksimi. Lisäksi esitetään kaivoksen yläosan veden koostumus (tasolta -20 tasolle +152 mmpy). Vertailuksi annetaan nykyisen ylemmän ja alemman pohjaveden koostumus (sama kuin tarkastelussa 1), sekä ympäristön laatu-normi pohjavedelle (1040/2006, ja muutos 341/2009). Paksunnetulla tekstillä viitataan pitoisuuksiin, jotka ylittävät ylemmän kallio-pohjaveden taustapitoisuuden.

Maanalainen kaivos sulkemisen jälkeen						Vertailuarvoja		
Parametri		yksikkö	keskiarvo	maksimi	keskiarvo kaivoksen yläosassa (-20...+152 mmpy)	Ylempi pohjavesi	Alempi pohjavesi	Ymp. laatu-normi
pH			7,9	7,9	7,9	7,6	7,6	
Alkaliteetti*		mg/l	45	47	46			
Hopea	Ag	mg/l	0,000034	0,000082	0,000031			
Alumiini	Al	mg/l	0,0017	0,0024	0,0016	0,07	0,07	
Arseeni	As	mg/l	0,000007	0,000008	0,000008	0,001	0,0007	0,005
Boori	B	mg/l	0,028	0,14	0,022			
Barium	Ba	mg/l	0,014	0,015	0,015			
Beryllium	Be	mg/l	0,000007	0,000008	0,000008			
Kalsium	Ca	mg/l	240	400	230	40	1670	
Kadmium	Cd	mg/l	0,000022	0,000028	0,000022	0,00003	0,00007	0,0004
Kloori	Cl	mg/l	660	690	680	80	7470	25
Koboltti	Co	mg/l	0,0017	0,0027	0,0018	0,0008	0,0004	0,002
Kromi	Cr	mg/l	0,00039	0,00050	0,00039	0,001	0,0009	0,01
Kupari	Cu	mg/l	0,0053	0,0084	0,0049	0,01	0,15	0,02
Rauta	Fe	mg/l	0,00022	0,00025	0,00022	0,69	0,7	
Elohopea	Hg	mg/l	0,000001	0,000002	0,000001	<0,00001	<0,00001	0,00006
Kalium	K	mg/l	33	100	29	6	280	
Litium	Li	mg/l	0,024	0,11	0,020			
Magneesium	Mg	mg/l	68	71	70	16	1820	
Mangaani	Mn	mg/l	0,16	0,16	0,16	0,2	1,4	
Molybdeeni	Mo	mg/l	0,062	0,32	0,047			
Typpi	N	mg/l	0,22	0,33	0,22	0,1	0,2	
Natrium	Na	mg/l	210	250	210	50	3620	
Nikkeli	Ni	mg/l	0,080	0,16	0,084	0,004	0,01	0,01
Fosfori	P	mg/l	0,051	0,18	0,044	0,02	0,02	
Lyijy	Pb	mg/l	0,000041	0,000045	0,000043	0,0002	0,0004	0,005
Antimoni	Sb	mg/l	0,00066	0,0031	0,00053	0,0002	0,0005	0,0025
Seleeni	Se	mg/l	0,039	0,26	0,027			
Pii	Si	mg/l	0,92	0,99	0,97			
Tina	Sn	mg/l	0,00009	0,000095	0,000093			
Sulfaatti	SO ₄	mg/l	400	960	360	49,5	1220	150
Strontium	Sr	mg/l	1,9	7,0	1,6			
Titaani	Ti	mg/l	0,00036	0,00037	0,00036			

Maanalainen kaivos sulkemisen jälkeen						Vertailuarvoja		
Parametri		yksikkö	keskiarvo	maksimi	keskiarvo kaivoksen yläosassa (-20...+152 mmpy)	Ylempi pohjavesi	Alempi pohjavesi	Ymp. laatu-normi
Tallium	Tl	mg/l	0,000039	0,00022	0,000028			
Uraani	U	mg/l	0,00011	0,00017	0,00011			
Vanadium	V	mg/l	0,020	0,14	0,013			
Volframi	W	mg/l	0,027	0,19	0,018			
Sinkki	Zn	mg/l	0,19	0,19	0,19	0,2	0,5	0,06
TDS**		mg/l	1680	2450	1640			

* Alkaliniteetti ilmoitetaan kalsiittina (CaCO_3)

** TDS on liuennneen kiintoaineen kokonaismäärä

Erityisesti kaivoksen syvimmissä osassa veden pitoisuudet laimenevat tuotantovaiheeseen verrattuna, sillä kuivanapitoveden pumppauksen loputtua kaivoksen syväosaan valuu vettä myös kaivoksen yläosasta. Kaivoksen täyttyessä pitoisuudet pysyvät melko alhaisina ja aluksi pienenevät täyttymisen edetessä. Kaivoksen täyttyessä vedellä paljastuneen louhosseinän pinta-ala pienenee, kuten myös kaivokseen tulevan veden virtauksen määrä. Virtauksen vähene- misestä johtuen kaivoksen täyttymisen loppuvaiheessa vedessä tapahtuu lie- vää pitoisuuksien nousua.

10.2 Tarvekiloulouhoksen veden laatu sulkemisen jälkeen

Tarvekiloulouhos on suunniteltu Kuusivaaran alueelle, mistä on kerätty tutki- musaineistoa kivilajien ominaisuuksista ja pohjaveden laadusta. Tarvekivi- louhokselle on tehty myös pohjavesimallinnus (AFRY Finland Oy 2022a). Näihin lähtötietoihin perustuva tarvekiloulouhoksen vedenlaadun geokemiallinen mal- linnus (AFRY Finland Oy 2022b) tehtiin toiminnan aikaisen kuivanapitoveden lisäksi myös sulkemisen jälkeiselle ajalle. Mallinnus käsitti yksittäisen skenaar- ion koskien vaihetta, jossa louhos on täyttynyt vedellä ja siksi myös pohjave- den virtausnopeus louhokseen on pienentynyt. Louhosjärvi on siis hydraulii- sessa tasapainotilassa ja louhoksesta on alkanut kulkeutua vettä ympäristöön. Louhosjärven täyttyminen kestää noin 20 vuotta. Noin 80 % täyttymisestä ta- pahtuu vuosina 0-10 louhoksen kuivanapidon loppumisesta.

Louhosjärven geokemiallisen mallin käsitteellinen kuvaus esitetään alla pääpiir- teissään (Kuva 10-3). Mallinnuksia on kuvattu tarkemmin kaivannaisjätteiden karakterisointia ja kaivosalueen vesien laatuarviointia käsittelevässä raportissa (AFRY Finland Oy 2023). Keskeiset poiminnat mallin konseptualisoinnista esi- tetään alla:

- Tärkeimmät tekijät ovat sadanta, pohjaveden virtausmäärät ja koostu- mus sekä louhoksen seinämien rapautumisen vaikutus.

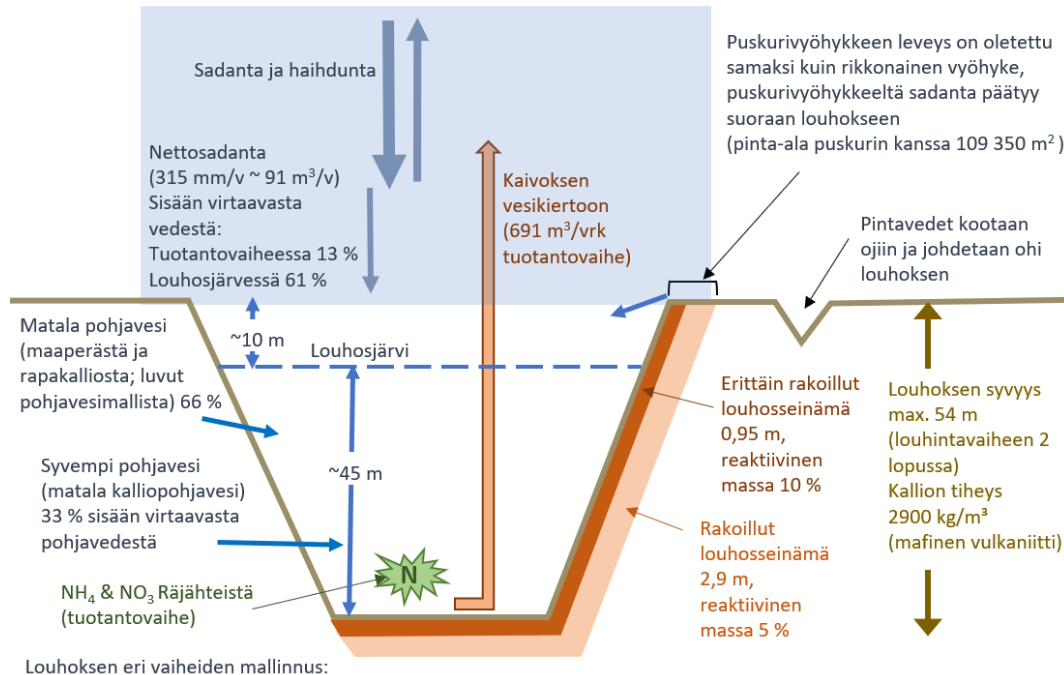
- Sadevesi on puhdasta vettä, mutta pohjaveden koostumus vaikuttaa tarvekilouhoksen veden laatuun. Pohjavedestä 2/3 edustaa maaperän ja rapautuneen kallioperän pohjavettä ja 1/3 alemman ehyemmän kalliopohjavettä.
- Louhoksen veden laatuun vaikuttaa kontakti louhosseinämien rakoilleen ja osin hienoaainespitoisen kivimateriaalin kanssa. Louhosseinämillä tarkoitetaan tässä avoulouhoksen seinämiä, penkereitä, pohjaa ja ajoramppeja, joiden kiviaines hapettuu ja rapautuu. Hapettumiselle ja rapautumiselle altistuva kivimäärä määritellään 2-vyöhykemallilla, johon kuuluvat "erittäin rakoillut vyöhyke" ja ulompi "rakoillut vyöhyke". Hapettumiselle ja sitä seuraaville muille rapautumisreaktioille altistuvana seinämänä käsitellään veden pinnan yläpuolista osaa louhoksesta.
- Osa rapautumistuotteista jää veteen, osa saostuu sekundäärimineraaleina ja osa pidättyy sorption kautta. Malli ei salli uudelleenliukenemista, sillä kyseessä on skenaariomalli, jossa olosuhteet on vakioitu.
- Malli käsittelee kaikki syötteet vuosikeskiarvoina.
- Adsorboivana mineraalina on ferrihydriitti.

Tarvekilouhoksen eli louhosjärven täyttymisvaiheessa aineiden pitoisuudet louhosvedessä laimenevat verrattuna tuotannon aikaan ja vähitellen veden yläpuolisen louhosseinämäpinta-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 tarkoitus laatia ympäristölupahakemusvaiheessa: tuolloin arvioidaan, kerrostuuko louhosjärvi.

Seinämävaikutus on tässä tapauksessa tuotettu NAG-testin kylmäversion tuloksien perusteella. Kivien alhaisen sulfidipitoisuuden takia kosteuskammiokoetta ei pidetty välttämättömänä. NAG-testin kylmäversiolla tarkoitetaan pitoisuuksien mittausta NAG-uutteesta ennen kuumentamisvaihetta. Menettelyä sovelletaan tarvittaessa korkean neutralointikapasiteetin kiviin hapettimen liian nopean kulumisen tai ylikorkeasta pH:sta johtuvan liian sakkaamisen estämiseksi. NAG-testituloksia ei kuitenkaan voida käsitellä mallinnuksessa, sillä skaalaus käytännöt on kehitetty ensisijaisesti kosteuskammiokokeen tuloksille. NAG-tulokset muunnettiinkin vastaamaan kosteuskammiokokeen keskiarvoviikkoliuosta kertoimella, joka saadaan vertaamalla sulfaatinmuodostusta NAG-testissä ja kosteuskammiokokeessa. Jokseenkin paikallinen kerroin laskettiin Sakatin kaivosalueen sivukivien NAG-uuton ja kosteuskammiokokeen tuloksista. Kerroin vastasi suuruusluokaltaan kirjallisuudessa esiintyviä vastaavia kertoimia (esim. Barnes ym. 2015).

Tarvekilouhoksen tuotannonaikaisen kuivanapitoveden sekä vedellä täyttyneen louhoksen veden laatu esitetään taulukossa

Taulukko 10-3. Kuivanapitoveden laatu esitetään sulkemissuunnittelun yhteydessä siksi, että louhoksen täyttymisen alkuvaiheessa veden laatu muistuttaa enemmän tuotantovaihetta ja muuttuu vähitellen kohti lopullista veden laatua.



Louhoksen eri vaiheiden mallinnus:

- Tuotantovaihe: reaktiivinen massa (louhosseinämät) ~68 000 tonnia; seinämän + pohjan pinta-ala ~156 000 m²; kuivatusmäärä ~691 m³/v (sis. nettosadannan ~91 m³/v); vedessä tyyppä räjähdyksaineista (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 räjähdeistä. Virtaus myös pois päin louhoksesta.

Kuva 10-3. Tarvekilouhoksen vedenlaatuun toiminnan aikana ja louhosjärvessä vaikuttavien tekijöiden konseptualisointi veden laatua käsittelevässä geokemiallisessa mallissa.

Räjähdeiden käytön vaikutus on mallissa käsitelty siten, että louhoksesta poistuu veden mukana sama määrä tyyppä kuin sitä vuoden aikana tulee räjähdyksainejäämistä. Näin ollen sulkemisen jälkeiselle ajalle ei huomioida räjähdyksainejäämistä aiheutuvaa kuormaa. Lähestymistapa antaa pitkällä aikavälillä todennukaisen kuvan tyyppä määräst, mutta lyhyemmällä aikavälillä sulkemisen jälkeen tyyppä poistumisnopeuteen liittyy epävarmuutta.

Taulukko 10-3. Tarvekilouhoksen kuivanapitoveden laatu sekä louhosjärven veden laatu täyttymisen jälkeen. Tarkastelussa louhosjärvi on kokonaan sekoittunut (ei painovoimaista suolaisuuskerrostumista). Kursiivilla on merkitty alkuaineet, joille kaikkia konversioita ei voitu tehdä täydellisesti johtuen alle määrittäysrajan olevista pitoisuuksista, joten lähtötietosyötteeseen liittyy epävarmuutta.

Parametri		Yk-sikkö	Kuivanapitovesi	Louhosjärvi	Parametri		Yk-sikkö	Kuivana-pitovesi	Louhos-järvi
pH			8,0	8,3	Molybdeeni	Mo	mg/l	0,008	0,003
Alkaliteetti*	Alk.	mg/l	145	68	Typpi (tot.)	N	mg/l	12,5	0,2
Hopea	Ag	mg/l	0,003	0,001	Natrium	Na	mg/l	13	5,9
Alumiini	Al	mg/l	0,18	0,07	Nikkeli	Ni	mg/l	0,0003	<0,0001
Arseeni**	As	mg/l	<0,0001	<0,0001	Fosfori	P	mg/l	0,0057	0,0017
Boori	B	mg/l	0,013	0,006	Lyijy**	Pb	mg/l	<0,0001	<0,0001
Barium	Ba	mg/l	0,15	0,06	Antimoni	Sb	mg/l	0,0005	0,0002
Beryllium	Be	mg/l	<0,0001	<0,0001	Seleen	Se	mg/l	0,0015	0,0006
Kalsium	Ca	mg/l	58	23	Tina	Sn	mg/l	0,0001	<0,0001
kadmium**	Cd	mg/l	<0,0001	<0,0001	Sulfaatti	SO ₄	mg/l	32	13
Kloori	Cl	mg/l	18	8,1	Strontium	Sr	mg/l	0,11	0,05
Koboltti	Co	mg/l	0,0002	0,0001	Titaani	Ti	mg/l	0,019	0,007
Kromi**	Cr	mg/l	<0,0001	<0,0001	Torium	Th	mg/l	0,002	0,0006
Kupari**	Cu	mg/l	<0,0001	<0,0001	Uraani	U	mg/l	0,0003	0,0001
Rauta**	Fe	mg/l	0	0	Vanadium	V	mg/l	0,01	0,005
Elohopea**	Hg	mg/l	0	0	Volframi	W	mg/l	0,0015	0,0005
Kalium	K	mg/l	9,3	3,6	Sinkki	Zn	mg/l	0,0007	0,0002
Magnesium	Mg	mg/l	7,9	3,3	NH ₄ -N***		mg/l	5,8	0,07
Mangaani	Mn	mg/l	0,05	0,013	NO ₃ -N***		mg/l	6,7	0,11
					TDS****		mg/l	364	136

* Alkaliteetti ilmoitetaan muutettuna CaCO₃:ksi.

** Rauta saostuu Fe-OH mineraaleina (kuten ferrihydriitti), jotka sorboivat joitain raskasmetalleja erittäin tehokkaasta (erityisesti ** merkityt).

*** Tässä eritellään kokonaistypenmäärän komponentit. Kuivanapitovedessä räjähdelainetypen osuus on >96 % kaikesta tyydestä.

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

Tarvekilouhoksen seinämistä hapettumisen myötä vapautuvista aineista merkittävin on kupari, mutta myös nikkeliä vapautuu jossain määrin. Louhosjärven aineiden pitoisuudet jäävät pitkällä aikavälillä kuitenkin mallinnuksen perusteella varsin pieniksi, alle mikrogramman suuruusluokkaan. Saostuminen ja keraasaostuminen vaikuttavat merkittävästi veden laatuun. Näin ollen mallinnuksen yhteydessä verrattiin mallinnuksen skaalausvaiheen jälkeisiä pitoisuuksia mallin lopullisiin eli tasapainomallinnettuihin tuloksiin. Tarkastelu ennen tasapainomallinnusta ei huomioi saostumista tai sorptiota eli se yliarvioi pitoisuuksia. Tämä vertailu tehtiin kuitenkin eräänlaisena riskitarkasteluna, jotta

saataisiin käsitys siitä kuinka paljon veden laatu voisi yksittäisen tekijän osalta poiketa arvioidusta, jos saostumis- ja sorptio-olosuhteiden muutos vietäisiin äärimmilleen. On kuitenkin korostettava, että näin voidaan tarkastella vain yksittäistä alkuainetta kerrallaan, sillä kaikkien aineiden saostuminen ei voi minimoitua samoissa olosuhteissa. Ilman vedessä tapahtuvien reaktioiden huomiointista teoreettinen kuparipitoisuus olisi louhinnan päättyessä 0,05 mg/l. Tämä tarkoittaa siis louhinnan loppuvaiheen kuivanapitovettä sekä louhoksen vedellä täyttymisen alkaessa louhoksen pohjalle kertyvää vettä. Täysin ilman tasapainoreaktioita nikkeliä olisi kuivanapitovedessä enimmillään 0,01 mg/l.

10.3 Rikastushiekka-alueen suotovesi sulkemisen jälkeen

Suljetulla rikastushiekka-alueella muodostuu kahdenlaisia vesiä. Pintavedet eivät ole kosketuksissa rikastushiekan kanssa. Rikastushiekan suotovedet muodostuvat peittorakenteen läpi suotautuvan veden ja rikastushiekan kontaktissa. Veden laatuun vaikuttaa se, missä määräsuhteessa vesi ja rikastushiekka kohtaavat. Lisäksi laatuun vaikuttaa, mitä hapettumis- ja rapautumistuotteita rikastushiekasta muodostuu ja millä nopeudella. Lisäksi muodostuu sekundäärimineraaleja ja hapettumisessa ja rapautumisessa vapautuneita aineita pidättyy eri tavoilla erilaisille mineraalipinnoille, erityisesti sekundäärimineraalien pinnoille. Keskeisessä roolissa on myös peittorakenteen kyky rajoittaa rikastushiekkaan kulkeutuvan hapen ja veden määrää. Myös esimerkiksi patorakennusmateriaalit vaikuttavat veden laatuun.

Rikastushiekka-alueen sulkemisen jälkeiset suotovedet on mallinnettu kuivaläjitysalueelle seuraavasti:

- Rikastushiekka-alueen tarkastelussa 1 oli rikastushiekkana prosessivaihtoehdon 1 mukainen rikastushiekka ja rikastushiekka-alueen pohja- ja patorakenteena kannattavuuden esiselvitysvaiheessa A suunniteltu alustava rakenne. Peittorakenteelle on asetettu toiminnalliset kriteerit rajoittamaan sekä veden läpäisyä että kaasunvaihtoa. (SRK Consulting Ltd. 2019a)
- Rikastushiekka-alueen tarkastelussa 2 oli rikastushiekkana prosessivaihtoehdon 2 mukainen rikastushiekka ja pohja- ja patorakenteena vuoden 2021 suunnitelman mukainen ratkaisu (Golder Associates Oy 2021). Peittorakenteelle ei ole asetettu toiminnallisia kriteerejä rajoittamaan veden läpäisyä tai kaasunvaihtoa. (Geochemic 2022)

Yllä mainitut pohja- ja patorakenteet on kuvattu luvussa 5.3.1.

Malleja on kuvattu perusteellisemmin kaivannaisjätteiden karakterisointia ja vesilaatuja koskevassa raportissa (AFRY Finland Oy 2023). Mallien välillä oli pieniä toteutustapaeroja. Prosessivaihtoehdon 2 rikastushiekkaa edustavassa mallissa läjityksen vedellä kyllästyneet vyöhykkeet määriteltiin ensiksi AFRY

Finland Oy:n laatimalla maaperä-kasvillisuus-ilmastomallilla (Hydrys 1D). Ensimmäisessä mallissa arvio tuotettiin yksinkertaisemmin kokemusperäisillä ker-toimilla. Lisäksi tasapainoyhtälöiden valinnassa oli pieniä eroja.

Kuivaläjäityksen ja märkäläjäityksen sulkemisen jälkeisen suotoveden laadun eroja on pyritty havainnollistamaan johtamalla prosessivaihtoehdon 1 rikastushiekan kuivaläjäityksen mallista märkäläjäityksen versio.

10.3.1 Rikastushiekka-alueen suotoveden laatu, tarkastelu 1

Rikastushiekka-alueen suotoveden tarkastelun 1 on laatinut SRK Consulting (SRK Consulting Ltd. 2019a). Suotovesiarvion syötteenä on käytetty prosessi-vaihtoehdon 1 rikastushiekalle tehtyjä kosteuskammiokeita. Mallinnuksessa rikastushiekan ja veden kontaktisuhde on säädetty laboratoriokokeesta vastaa-maan todellisen läjäityksen olosuhteita. Lisäksi rikastushiekan hapettumisen osalta on huomioitu laboratoriokokeen ja todellisen rikastushiekka-alueen läm-pötilaero. Veden laatu on myös tasapainotettu kemiallisesti mineraali- ja kaasufaaseihin. Peittorakenteelle on asetettu kannattavuuden esiselvitysvai-heessa A laaditun suunnitelman mukaiset toiminnalliset kriteerit rajoittamaan sekä veden läpäisyä että kaasunvaihtoa. Vaikka päästöarviot on laskettu vaih-toehdolle VE1a, oletetaan suotovesilaatujen olevan riittävällä tarkkuudella sa-mankaltaiset myös vaihtoehdoissa VE2a ja VE3a. Märkäläjäitysvaihtoehdoille on myöhemmin johdettu sulkemisen jälkeinen suotovesilaatu yksinkertaistetulla laskennalla SRK:n kuivaläjäitykselle laatiman suotovesimallin tuloksista.

Rikastushiekka-alueen suotovesimallinnuksessa (VE1a, tarkastelu 1) massa-tase on laskettu seuraavalla yhtälöllä:

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

Yhtälössä lyhenteet tarkoittavat seuraavaa:

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.

Suljetulle rikastushiekka-alueelle käytettiin seuraavia skaalausker-toimia kosteuskammiokeiden tulosten sovittamiseksi vastaamaan todellista läjitystä: raekoko 70 %, huuhtoutumiselle säännöllisesti altistuva osuus 10,4 %, peitteen ja kanavoitumisen vaikutus 5 % sekä lämpötila laskettuna Arrheniuksen yhtä-löstä 4,51 %.

Tarkastelussa 1 rikastushiekka-alueen pohjarakenteen läpi suljetulla loholla 1 suotautuu 8,62 m³/vrk. Peittämättömässä tilassa suotautuma olisi 18,15

m³/vrk. Kun lohko 1 on peitetty ja lohko 2 avoinna, suotautuma pohjan läpi on 24,4 m³/vrk ja molempien lohkojen ollessa peitettynä 16,1 m³/vrk. (SRK Consulting Ltd. 2019a)

Poiketen kuivaläjitysvaihtoehdosta, märkäläjitysvaihtoehdon sulkemisen jälkeistä veden laatua ei ole vastaavasti muodostettu koetuloksista skaalaamalla ja mallintamalla. Märkäläjitysvaihtoehdoille veden laatu on johdettu kuivaläjituksen valmiista (SRK Consulting Ltd. 2019a) päästöparametreista ja prosessiveden laadusta. Johtaminen on suoritettu seuraavin oletuksin:

a) Rikastushiekka-alueen yläosassa muodostuu koko tuotannon ajan samoja hapettumistuotteita ja tapahtuu jokseenkin samankaltaista saostumista kuin kuivaläjituksessa. Vedenkyllästämät olosuhteet rajoittavat hapettumisreaktiota syvemmällä läjituksessa.

b) Johtuen lietteen alhaisemmasta kiintoainepitoisuudesta verrattuna suodatettuun rikastushiekkaan, märkäläjituksessa prosessivesi vaikuttaa huokosveden laatuun kuivaläjitystä voimakkaammin ja sulkemisen jälkeisinä ensimmäisinä vuosina rikastushiekan huokostilassa on runsaasti prosessivettä.

Pitkällä aikavälillä märkäläjituksen veden laadun oletetaan muistuttavan laatu-tekijöiltään kuivaläjituksen suotoveden laatua, mutta eroja voi muodostua mm. vedellä kyllästysolosuhteista, veden ja kiintoaineen kontaktisuhteesta sekä prosessiveden alkuperäismäärästä läjituksessa. Muunto on tehty karkeasti huomioiden tuotannon aikainen prosessiveden osuuden ero läjitystapojen välillä seuraavasti: *kuivaläjituksen vedenlaatu + 0,2 x prosessivesi*. On huomattava, että laskutapa modifioi jo tasapainomallinnettua aineistoa eikä lopputuloksessa (Taulukko 10-4) huomioda veden tasapainottumista kaas- ja mineraalifaasien kanssa. Laskentatapa todennäköisesti yliarvioi suotoveden pitoisuuksia märkäläjituksessa, sillä se ei huomioi todennäköisesti pienempää vedellä kyllästymäntöntä massaa: valtaosan rikastushiekasta ollessa vedellä kyllästyneenä kaasujen liikkuminen rikastushiekasta on hidasta ja hapen saatavuus heikko, joten sulfidimineraalien hapettuminen ja haitta-aineiden vapautuminen on rikastushiekassa vähäistä.

Taulukko 10-4. Suljettujen rikastushiekka-alueiden suotovedenlaadut tarkastelussa 1 eri ajanjaksoilla.

		Prosessivaihtoehto 1 Kuivaläjitys lohko 1 suljettu, lohko 2 käytössä	Prosessivaihtoehto 1 Kuivaläjitys lohko 1 ja 2 suljettu	Prosessivaihtoehto 1 Märkäläjitys sul- jettu, pitkä aikaväli
Alumiini	mg/l	0,003	0,003	0,005
Antimoni	mg/l	0,004	0,0005	0,001
Arseeni	mg/l	0,0004	0,0004	0,04
Elohopea*	mg/l	0,00001	0,00001	0,00001
Fosfori	mg/l	0,7	0,1	0,1

Kadmium*	mg/l	0,0009	0,0001	0,0001
Kalium	mg/l	290	30	40
Kalsium	mg/l	300	55	80
Kloridi	mg/l	350	40	100
Koboltti	mg/l	0,008	0,008	0,050
Kromi	mg/l	0,016	0,002	0,002
Kupari	mg/l	0,001	0,001	0,04
Lyijy*	mg/l	0,0002	0,0001	0,0002
Magne- sium	mg/l	570	60	80
Mangaani	mg/l	0,46	0,05	0,11
Natrium	mg/l	430	40	110
Nikkeli	mg/l	0,22	0,02	0,07
Rauta	mg/l	0,002	0,002	0,240
Sinkki	mg/l	0,013	0,001	0,003
Sulfaatti	mg/l	1030	130	490
Typpi	mg/l	13,2	1,4	1,6

*) Kosteuskammioaineiston analyysitulokissa (SRK Consulting Ltd. 2018,) tyypillisesti alle määritysrajan. Laskennalliset pitoisuudet syötetiedoissa voivat vaikuttaa tulokseen.

Molemmassa läjitystapavaihtoehtoissa suotovesissä esiintyy lievästi kohonneina pitoisuuksina kloridia, nikkeliä, sulfaattia ja sinkkiä. Fosforia ja typpeä on läsnä jossain määrin, pääasiassa liittyen prosessivesijäämiin. Märkäläjäytksessä sulfaatti- ja sinkkipitoisuudet vähenevät prosessiveden poistuessa, olettaen että riittävät sulkemistoimenpiteet on suoritettu.

Pohjaveden ympäristölaatu normien (Vna 1040/2006 ja muutos 341/2009) on laskettu ylittävän rikastushiekka-alueen alapuolella kloorin, nikkelin ja sinkin osalta (SRK Consulting Ltd. 2019a), mallinnettuna kuivaläjitysalueen parametreilla:

- Kloridi: lohko 1 suljettu 78,6 mg/l (ympäristölaatu normi 25 mg/l)
- Kloridi: lohkot 1 ja 2 suljettu 78,6 mg/l (ympäristölaatu normi 25 mg/l)
- Nikkeli: lohko 1 suljettu 0,012 mg/l (ympäristölaatu normi 0,01 mg/l)
- Nikkeli: lohkot 1 ja 2 suljettu 0,005 mg/l - ei ylitystä (ympäristölaatu normi 0,01 mg/l)
- Sinkki: lohko 1 suljettu 0,19 mg/l (ympäristölaatu normi 0,06 mg/l)
- Sinkki: lohkot 1 ja 2 suljettu 0,19 mg/l (ympäristölaatu normi 0,06 mg/l)

Vastaavien pitoisuuksien voidaan olettaa olevan koholla myös märkäläjitetyn rikastushiekka-alueen alapuolisessa pohjavedessä. Vaikutus voi olla jossain

määrin kuivaläjitettyyn rikastushiekka-alueeseen nähden korkeampi huomioiden korkeampi gradientti rikastushiekka-alueen vesipinnan ja ympäröivän alueen välillä, erityisesti kuitenkin sulkemisen jälkeisinä vuosina, jolloin veden pinta märkäläjitysalueella ei ole vielä laskeutunut tasapainotilaansa. Rikastushiekka-alueen tiiviit pinta- ja pohjarakenteet estävät sadeveden imeytymistä pohjaveteen ja vähentävät siten osaltaan pohjaveden virtausta läjityksen alapuolella. Mitä etäämpänä pohjaveden virtaussuunnassa alapuolinen pohjaveden tarkastelupiste on, sitä enemmän laimentuminen pääsääntöisesti vaikuttaa. Varsinaisia haitta-aineiden kulkeutumisskenaariota ei ole toistaiseksi laskettu, vaan työ on suunniteltu tehtäväksi osana lupavaiheen sulkemissuunnitelman numeerisia tarkasteluja.

10.3.2 Rikastushiekka-alueen suotoveden laatu, tarkastelu 2

Tarkastelun 2 geokemiallisen mallinnustyön on suorittanut Geochemic Ltd (2022). Rikastushiekka-alueen tarkastelussa 2 rikastushiekka edustaa prosessivaihtoehtoa 2. Rikastushiekka-alueen pohja- ja patorakenteena tarkastelussa 2 on vuoden 2021 suunnitelma.

Prosessivaihtoehdon 2 rikastushiekalle on tehty kosteuskammiokoe, kuten prosessivaihtoehdolle 1. Prosessivaihtoehdon 2 mukaisessa rikastushiekka-alueen suotovesimallinnuksessa on rikastushiekan kosteuskammiokokeen lisäksi käytetty syötteinä patorakenteissa käytettävän sivukiven kosteuskammiokokeiden tuloksia. Rikastushiekan vesipitoisuus on selvitetty geokemiallista mallinnusta varten Hydrus 1D-mallinnuksena (AFRY Finland Oy 2021). Hydrus 1D-malli on siis tuottanut tiedon hapettumiselle altistuvan massan määrästä. Lämpötilaskaalaus on suoritettu samoin kuin prosessivaihtoehdon 1 mallissa.

Matalarikkisen rikastushiekka-alueen tarkastelussa 2 alustavat sulkemisen jälkeiset vesilaadut on mallinnettu erikseen lohkoille 1 ja 2 (Taulukko 10-5). Malli on alustava ja yliarvioi haitta-aineiden pitoisuuksia, koska mallissa peittorakenteelle ei ole asetettu lopullisia kriteereitä veden tai kaasujen liikkumisen rajoittamiseksi. Toisin sanoen, malli ei huomioi tiiviin peittorakenteen vaikutusta. Peittorakenteelle tullaan asettamaan toiminnalliset kriteeri, joiden riittävyys tullaan varmistamaan mallinnuksella ympäristölupavaiheessa.

Merkittävin ero lohkojen 1 ja 2 välillä on penkereen rakennusmateriaali. Lohkolla 1 käytetään vinotunnelin rakentamisessa muodostuvaa kiveä, kun taas lohkolle 2 käytetään sivukiveä syvemältä kaivoksesta. Lohko 2 näyttäytyy vesilaadultaan heikompana, lähinnä sulfaatin, nikkelin ja kloridin suhteen. Märkäläjitysvaihtoehtoa ei ole mallinnettu. Rikastushiekka-alueen suotoveden tarkastelua 1 korkeammat sulfaatin ja nikkelin pitoisuudet liittyvät suurelta osin siihen, ettei tarkastelua 2 koskevassa mallissa peittorakenteelle sovellettu vielä erityisiä kriteereitä. Sulfaatin suhteen tasapainoyhtälöt mahdollistavat

prosessivaihtoehdon 2 mallissa niukemmin sulfaatteja sisältävien sekundääri-mineraalien muodostumista, verrattuna prosessivaihtoehdon 1 malliin.

Taulukko 10-5. Matalarikkeen rikastushiekka-alueen suotovesilaadut tuotannon sulkemisen jälkeen. Kuivaläjitys, tarkastelu 2, Lohkot 1 ja 2. (Geochemic Ltd. 2022).

Parametri	Yksikkö	Lohko 1, suljettu, lyhyt aikaväli	Lohko 1, suljettu, pitkä aikaväli	Lohko 2, suljettu, lyhyt aikaväli	Lohko 2, suljettu, pitkä aikaväli
pH		8,39	8,39	8,22	8,22
Alkaliteetti	mg/l	149	149	106,6	106,6
Kloori	mg/l	15	15	178	178
Fluori	mg/l	2,10	2,10	1,49	1,49
Nitraatti	mg/l	31,5	<0,1	30,9	<0,1
Sulfaatti	mg/l	682	682	1231	1231
Kalsium	mg/l	25,9	25,9	67,5	67,5
Rauta	mg/l	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Magnesium	mg/l	155	155	204	204
Kalium	mg/l	308	308	341	341
Pii	mg/l	2,90	2,90	2,86	2,86
Natrium	mg/l	109	109	325	325
TDS (lask.)	mg/l	1480	1449	2490	2459
Alumiini	µg/l	30,9	30,9	22,0	22,0
Antimoni	µg/l	10,73	10,73	6,7	6,7
Arseeni	µg/l	<0,01	<0,01	0,0004	0,0004
Barium	µg/l	9,78	9,78	7,22	7,22
Beryllium	µg/l	0,00	0,00	0,00	0,00
Boori	µg/l	270	270	214	214
Kadmium	µg/l	<0,01	<0,01	0,02	0,02
Kromi	µg/l	<0,1	<0,1	0,0	0,0
Koboltti	µg/l	0,32	0,32	0,6	0,6
Kupari	µg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Lyijy	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Litium	µg/l	112	112	110	110
Mangaani	µg/l	4	4	13	13
Elohopea*	µg/l	0,09	0,09	0,06	0,06
Molybdeeni	µg/l	23,2	23,2	14,0	14,0
Nikkeli	µg/l	69	69	127	127
Fosfori	µg/l	3,22	3,22	1,80	1,80
Seleeni	µg/l	3	3	4	4
Hopea	µg/l	7,1	7,1	12,6	12,6
Strontium	µg/l	1032	1032	1145	1145
Tallium	µg/l	11,1	11,1	13,4	13,4
Torium	µg/l	1,40	1,40	0,90	0,90

Parametri	Yksikkö	Lohko 1, sul-jettu, lyhyt ai-kaväli	Lohko 1, sul-jettu, pitkä ai-kaväli	Lohko 2, sul-jettu, lyhyt ai-kaväli	Lohko 2, sul-jettu, pitkä ai-kaväli
Uraani	µg/l	0,1	0,1	0,2	0,2
Vanadiini	µg/l	0,00	0,00	0,00	0,00
Sinkki	µg/l	0,06	0,06	0,16	0,16

*) määritysrajan alapuolisia ja puuttuvia pitoisuuksia lähtöaineistossa.

Ilman peittorakenteen vaikutusta pohjaveden ympäristölaatunormit (Vna 1040/2006 ja muutos 341/2009) olisi kohonnut riski ympäristölaatunormien ylittymiseen suotovesien purkautumisalueella kloridin, nikkelin ja antimonin osalta. On kuitenkin huomattava, että suotoveden pitoisuus ei ole suoraan rikastushiekka-alueen alapuolinen pitoisuus pohjavedessä.

10.4 Vedenlaatuarvioihin perustuvat johtopäätökset seuraavia sulkemissuunnitteluvaiheita varten

Matalarikkistä rikastushiekka-aluetta lukuun ottamatta kaikki kaivannaisjätteitä varten perustettavat sijoitusalueet tullaan purkamaan kaivoksen sulkemisen yhteydessä. Sivukiveä, korkearikkistä rikastushiekkaa ja maanpoistomaita läjitetään alueella ainoastaan väliaikaisesti. Väliaikaisten kaivannaisjätealueiden purkamisen jälkeen alueiden alapuolisen maaperän tila selvitetään, vaikka väliaikaisilla sijoitusalueilla käytetäänkin tiiviitä pohjarakenteita. Tarvittaessa alueet kunnostetaan.

Rikastushiekan pitkäaikaiskäyttämiseen ja suotovesien muodostumiseen vaikuttavat sekä rikastushiekan laatu että läjitystapa. Sulkemisen jälkeen myös peittorakenne vaikuttaa suotovesien laadun muodostumiseen. Rikastushiekan laatua on siis käytetty perusteena suunniteltaessa läjitys- ja sulkemistapaa. Kuitenkin suotoveden laadun arvioiminen edellyttää suunnitelmia pohjarakenteista, mittasuhteista ja sulkemISRakenteista. YVA-vaiheessa vedenlaatuarviota käytetään rakenteiden riittävyyden arviointiin ja mahdolliset muutostarpeet huomioidaan lupavaiheen tarkentavassa suunnittelussa.

Matalarikkisen rikastushiekan sulfidisen rikin pitoisuus on suhteellisen alhainen ja rikastushiekan neutralointipotentiaali on korkea. Rikastushiekassa esiintyy sulfideihin sitoutuneita metalleja, mutta esimerkiksi kosteuskammiokeessa niiden vapautuminen on varsin maltillista. On kuitenkin huomioitava, että neutralointikyky ei täysin estä metallien liikkuvuutta. Tässä sulkemissuunnitelmassa esitetyt veden laatua koskevat tarkastelut osoittavat, että peittorakenteella on keskeinen merkitys ja peittorakenteelle on syytä asettaa tavoitteita vedenläpäisyn lisäksi myös kaasunvaihdon osalta. Matalarikkisen rikastushiekka-alueen tarkastelussa 2 sulkemisen jälkeinen vaihe on toistaiseksi tarkasteltu konservatiivisesti ilman tiiviin peittorakenteen vaikutusta, mutta tämä ei kuitenkaan tarkoita, ettei peittorakenne kuuluisi suunnitelmiin.

Prosessivaihtoehdon 1 mukaisessa tarkastelussa alustavan suunnitelman mukaisella peittorakenteella on pystytty vaikuttamaan merkittävästi suotoveden ominaisuuksiin. Tarkentava peittorakenteen suorituskykykriteerien asettaminen on keskeinen tehtävä seuraavissa tarkentavissa suunnitteluvaiheissa.

Monoliittikokeen perusteella arvioituna, maanalaisessa kaivoksessa louhostäytyksissä käytettävän pasta kanssa kosketuksissa oleva vesi omaa suhteellisen alhaiset metallipitoisuudet, mutta sen pH on hyvin korkea. Vedellä täyttyneen maanalaisen kaivoksen vesilaatumallin tuloksista voidaan havaita, että pastan vaikutus ei kuitenkaan näyttäydy erityisen suurena vaan kaivosvesi on vain lievästi neutraalin pH:n yläpuolella. Kaivoksen seinämät aiheuttavat osaltaan neutraalien, mutta metallipitoisten vesien muodostumista maanalaisissa tiloissa. Neutraali pH ei kuitenkaan kokonaan estä metallipitoisten vesien muodostumista maanalaisessa kaivoksessa. Sulfideista vapautuviin metalleihin kuuluu mm. nikkeli, joka voi pysyä hyvin liukoisena neutraalin pH:n tuntumassa, mikäli se ei esimerkiksi kersaostu raudan kanssa. Maanalaisen kaivoksen veden laatu on sulkemisen jälkeen tuotantovaihetta parempi. Maanalaisessa kaivoksessa rakenteiden tiivistämisellä saavutetaan hyötyä myös sulkemisen jälkeen, koska tiivistys vähentää ja hidastaa maanalaisen kaivoksen veden kontaktia ympäristön kanssa.

11 Alustava arvio sulkemisen jälkeisistä ympäristövaikutuksista ja sosiaalisista vaikutuksista

Kaivoksen sulkemisen aikaisia ja jälkeisiä ympäristövaikutuksia ja sosiaalisia vaikutuksia kuvataan tässä työvaiheessa yleisellä ja käsitteellisellä tasolla. Soveltuvilta osin tarkastelu esitetään YVA-vaihtoehtoja vertaillen.

11.1 Yleistä vaikutusarviointista

Koska kyseessä on YVA-vaiheen sulkemissuunnitelma, ympäristövaikutuksia ja sosiaalisia vaikutuksia pyritään kuvaamaan YVA-vaihtoehtoja vertaillen, niiltä osin kuin se on mahdollista. Soveltuvilta osin on tarkasteltu myös vaikutusten merkittävyyttä (Kuva 11-1).

Toistaiseksi sulkemisen jälkeisten ympäristövaikutusten ja sosiaalisten vaikutusten tarkastelu on käsitteellistä. Sulkemisen jälkeisten vaikutusten numeerinen tarkastelu on lukuisia peräkkäisiä laskenta-/mallinnusvaiheita sisältävä pitkä prosessi ja sen toteuttaminen lukuisille hankevaihtoehtojen olisi melko epärealistista - varsinkin pitäen kaikkien tarkastelujatkumoiden tiedot ajantasaisena. Vaihtoehtojen karsiutuessa ja sulkemissuunnittelutyön tarkentuessa suoritetaan myös sulkemisen jälkeisten vaikutusten numeerinen tarkastelu hankkeen edetessä ympäristölupavaiheeseen.

	Suuri muutos	Keski-suuri muutos	Pieni muutos	Ei vaikutuksia	Pieni muutos	Keski-suuri muutos	Suuri muutos
Vähäinen herkkyys							
Kohtalainen herkkyys							
Suuri herkkyys							

Kuva 11-1. Vaikutuksen kokonaismerkittävyyden määrittäminen herkkyyden ja muutoksen suuruuden perusteella ympäristövaikutusten arvioinnissa.

11.2 Sulkemisen jälkeiset pohjavesivaikutukset

Kaivoksen sulkemisen jälkeisiä pohjavesivaikutuksia tarkastellaan toistaiseksi erikseen kaivoksen eri toimintojen osalta, sillä kokonaisuustarkastelu edellyttäisi tarkkaa YVA-vaihtoehtojen yhdistelmän määrittelyä.

11.2.1 Maanalaisen kaivoksen sulkemisen jälkeiset pohjavesivaikutukset

Pohjavesivaikutusten kannalta keskeisimpiä muutoksia ovat kaivoksen sulkemisen jälkeen myös maanalaisen kaivoksen ja tarvekilouhoksen täyttyminen vedellä. Näiden tilojen täyttyminen voi kestää huomattavan pitkän ajan. Uusimman ja tarkimman pohjavedenvirtausmallin (Itasca Denver Inc. 2022) mukaan maanalaisen kaivoksen täyttyminen etenee tasolle -20 mmpy nopeasti (Taulukko 11-1), jopa noin 14 vuoden kuluessa. Vinotunnelin yläosassa kaivos täyttyisi Kenttääavan pinnankorkeutta vastaavalle tasolle vasta noin 100-200 vuoden kuluessa. Laskelma perustuu pohjavedenvirtausmalliin, jota on käytetty syötteenä myös maanalaisen kaivoksen veden laadun mallintamisessa, tarkastelussa 2. Maanalaisen kaivoksen vedenlaadun tarkastelussa 1 käytetyssä varhaisemmassa pohjavedenvirtausmallissa alkuvaiheen täyttyminen oli hitaampaa, mutta pitkällä aikavälillä erot mallien välillä ovat vähäisempiä.

Maanpinnan läheisyydessä maaperän pohjavedessä palautuminen on pohjavedenpinnan aleneman alueella kuitenkin suhteellisen nopeaa. Pohjaveden pinta saavuttaa jo viidessä vuodessa tason, joka poikkeaa korkeintaan 0,1 m kaivos-toimintaa edeltävästä tilasta. 75 vuoden kuluessa pohjaveden pinnan palautuminen vastaisi mallinnuksessa tarkastelluissa pisteissä tilannetta, jossa kaivos-toimintaa ei ole ollut lainkaan (Itasca Denver Inc. 2022)

Taulukko 11-1. Pohjaveden virtauksen määrät kaivokseen syvyysvyöhykkeittäin keskimäärin eri aikajaksoloilla sulkemisen jälkeen.

	Keskimääräinen virtaama m ³ /h maanalaisen kaivoksen eri syvyysalueilla*						
Vuodet sulkemisesta	Syvyys -1020...-820 mmpy	Syvyys -820...-620 mmpy	Syvyys -620...-420 mmpy	Syvyys -420...-220 mmpy	Syvyys -220...-20 mmpy	Syvyys -20...200 mmpy	m ³ /h yhteensä
0 - 50	2,0	2,4	4,1	11,8	8,0	13,2	41,5
50 - 100	0,4	0,4	0,6	1,5	1,0	1,6	5,5
100 - 200	0,1	0,1	0,2	0,4	0,3	0,4	1,5
200 - 300	0,04	0,05	0,07	0,15	0,08	0,13	0,52
300 - 400	0,02	0,03	0,04	0,08	0,03	0,05	0,25

**) Tarkastelussa oli mukana kaksi eri maanalaisen kaivoksen tiivistämiskenaariota: 65 % ja 80 % tiivistäminen. Taulukkoon on kullekin syvyydelle valittu suurempi virtaama näistä kahdesta skenaariosta.*

Jos verrataan maanalaisen kaivoksen sisäpuolisen veden eli täyttöveden laatua pohjavedelle asetettuihin ympäristölaatuunormeihin (VNA 1308/2015), sekä tarkastelussa 1 että tarkastelussa 2, maanalaisen kaivoksen yläosassa, ylittävät pohjaveden ympäristölaatuunormit kloridin, sulfaatin ja nikkelin osalta. Lisäksi tarkastelussa 1 ylittävät pohjaveden ympäristölaatuunormit niukasti kadmiumin ja antimonin osalta. Tarkastelussa 2 antimonin pitoisuus oli vain

hieman ympäristölaatunormia pienempi ja tarkastelussa 1 kromin pitoisuus oli vain hieman ympäristölaatunormia pienempi. On huomioitava, että kaivoksen täyttövesi ei rinnastu pohjaveteen ja täyttövettä kulkeutuu pohjaveteen hitaasti, jolloin pitoisuudet myös laimenevat. Tarkastelu 2 edustaa tarkastelua 1 varovaisempaa sulfaatin saostumisreaktioiden huomioimista ja on siksi konservatiivisempi arvio. Muiden keskeisten aineiden osalta pitoisuuserot jäävät tarkastelujen 1 ja 2 välillä vähäisiksi.

Kaivoksen täyttymisen loppuvaiheessa kaivokseen tuleva vesimäärä on 0,25 m³/h, mikä vastaa 2190 m³/a vesimäärää. Hydraulisessa tasapainotilassa eli täyttymisvaiheen ohittaneessa kaivoksessa läpivirtaama ei voi olla täytymisvaiheen loppua suurempi. Jos tarkastellaan maanalaisen kaivoksen ylintä syvyysvyöhykettä (-20 – 200 mmpy), jossa merkittävin kontakti ympäristöön voisi tapahtua, virtaama on 0,05 m³/h, mikä vastaa 438 m³/a vesimäärää. Tälle syvyydelle kloridipitoisuudeksi muodostuu tarkastelun 2 perusteella 712 mg/l, sulfaattipitoisuudeksi 456 mg/l ja nikkelipitoisuudeksi 0,09 mg/l. Tarkastelussa 1 ei ole eroteltu syvyysvyöhykkeitä ja siinä sulfaattipitoisuudeksi muodostuu täytymisvaiheen päättyessä noin 240 mg/l ja nikkelipitoisuudeksi 0,02 mg/l. Tarkastelun 2 perusteella laskettuna, huuhtoutumisvaiheen huippuna, suljetun maanalaisen kaivoksen yläosan suurimman mahdollisen vuosikuorman riski on korkeintaan 312 kg kloridia, 200 kg sulfaattia ja 40 g nikkeliä.

Tarkastelun 1 perusteella vastaavaa suurimman mahdollisen vuosikuorman riskiä ei voida laskea, koska veden laatumallinnus ei erottele syvyysvyöhykkeitä eikä kaivoksen yläosassa voitaisi kytkeä pohjavesivirtausta ja vedenlaatua oikeellisesti toisiinsa. Koska veden laadun arviointi on konservatiivisempaa tarkastelussa 2, yllä kuvattu suurimman mahdollisen kuorman riski on kuitenkin riittävää laskea vain tarkastelun 2 tuloksilla.

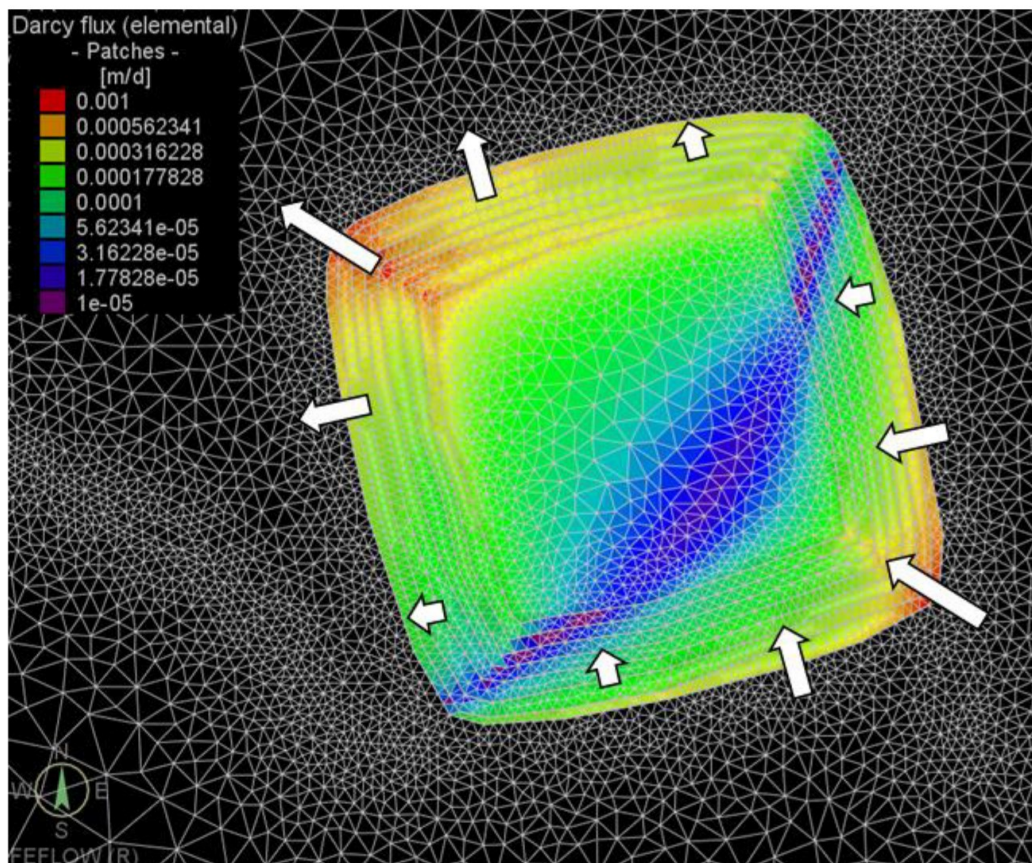
Todennäköisin haitta-aineiden kulkeutumisreitti sijaitsee rikkonaisessa kalliossa, lähellä maan pintaa. Kulkeutumisuuunta on Kitistä kohti. Jokilaakson tuntumassa rikkonaisella kallioperällä on kontakteja lajittuneisiin sora- ja hiekkakerrostumiin, mitä kautta kulkeutuminen pintavesiin tai pohjavesiin voisi tapahtua.

Alustavasti voidaan arvioida, että välittömästi maanalaisen kaivoksen tuntumassa, lähinnä länsipuolella, kaivoksen sulkemisen jälkeen pohjaveteen kohdistuu pienellä alueella kallioperän pohjavedessä, kohtalainen pohjaveden tilaa heikentävä muutos. Alueen herkkyys maan pinnalla vaihtelee kohtalaisesta korkeaan, mutta heikentävä muutos maan pinnalla on jäämässä vähäiseksi, ellei jopa ilman vaikutuksia, joten vaikutuksen merkittävyys luokituu korkeintaan kohtalaiseksi, todennäköisesti vähäiseksi. Vaikutusta voidaan lisäksi säädellä jossain määrin esimerkiksi sulkemisvaiheessa maanalaiseen kaivokseen asennettavien välisulkujen avulla.

11.2.2 Tarvekilouhoksen sulkemisen jälkeiset pohjavesivaikutukset

Tarvekilouhoksen eli louhosjärven täyttyminen kestää noin 20 vuotta, mihin asti pohjaveden virtaus on pääsääntöisesti louhosta kohti. Louhoksen täyttyttyä vedellä pohjaveden pääasiallinen virtaussuunta on louhosjärven läpi kaakosta luoteeseen (Kuva 11-2). Tieto perustuu päävaihtoehtoon VE1 mukaiseen louhoksen sijaintiin, jolle mallinnus on tehty. Pohjavettä virtaa louhosjärveen 80 m³ vuorokaudessa ja nettosadannan huomioiden, vettä virtaa louhosjärvestä poispäin noin 200 m³ vuorokaudessa (AFRY Finland Oy 2022a). Haitta-ainepitoisuudet jäävät vähäisiksi, tosin louhoksen täyttymisvaiheessa ja sen päättyessä tyyppä voi olla vielä hieman kohonneina pitoisuuksina.

Louhosjärven ei arvioida vaikuttavan merkittävästi ympäröivän alueen pohjaveden laatuun.



Kuva 11-2. Pohjaveden virtaus täyttyneen louhosjärven alueella. Päävaihtoehtoon VE1 mukainen louhoksen sijainti. (AFRY Finland Oy 2022a)

11.2.3 Rikastushiekka-alueen sulkemisen jälkeiset pohjavesivaikutukset

Kaivosalueen sulkemisen jälkeiset rikastushiekka-alueesta johtuvat pohjavesivaikutukset minimoidaan käyttämällä tarpeisiin hyvin soveltuvaa pohjarakenne-läjitystapa-pintarakenneyhdistelmää.

Tarkastelussa 1 rikastushiekka edustaa prosessivaihtoehtoa 1 ja kannattavuuden esiselvitysvaiheen A suunnitelman pohja- ja patorakenneratkaisuja kuivaläjityselle. Keskeisimpiä kuormitustekijöitä ovat alustavasti nikkeli, kloridi ja sulfaatti. Hieman kohonneina pitoisuuksia esiintyy myös antimonია ja kobolttia, mikäli suotoveden laatua verrataan pohjaveden ympäristölaatunormeihin (VNA 1308/2015). On kuitenkin otettava huomioon, että suotoveden pitoisuus ja pitoisuus pohjavedessä ovat eri asioita. Aktiivisen sulkemisen aikana ja lyhyellä aikavälillä sulkemisen jälkeen kuormittajia ovat myös typpi ja mahdollisesti fosfori.

Tarkastelussa 2 rikastushiekka edustaa prosessivaihtoehtoa 2 ja kuivaläjitysvuoden 2021 suunnitelman mukaista pohja- ja patorakenneratkaisua (Golder Associates Oy 2021). Tarkastelussa 2 ei ole ollut mukana peittorakenteen kriteerimäärittelyä eikä malli siten huomioi tiiviin peittorakenteen vaikutusta. Tässäkin tarkastelussa keskeisiä kuormittajia ovat nikkeli, kloridi ja sulfaatti. Hieman kohonneina pitoisuuksia esiintyvät myös antimoni ja fluoridia, mikäli suotoveden laatua verrataan pohjaveden ympäristölaatunormeihin (VNA 1308/2015), huomioiden kuitenkin, ettei aineen pitoisuus suotovedessä ole aineen pitoisuus pohjavedessä. Nikkelin ja sulfaatin pitoisuudet ovat tarkastelussa 2 suurempia kuin tarkastelussa 1, johtuen ensisijaisesti siitä, ettei tarkastelu 2 huomioi peittorakenteen vaikutusta. Osittain ero tarkastelun 1 tuloksiin sulfaatin osalta johtuu myös sekundäärimineraalien erilaisesta käsittelystä mallissa.

Märkäläjitysvaihtoehdon sulkemisen jälkeisen ajan suotovesilaatuja on arvioitu karkeasti tarkastelun 1 yhteydessä, johtamalla suotovesilaatu kuivaläjitysvuoden suotovedenlaadun mallinnustuloksista. Arvioinnissa huomioitiin jäännösprosessiveden suurempi vaikutus, mutta ei huomioitu läjitysmahdollisesti mittaavampaa vedellä kyllästymistä. Tämä näkyy kuivaläjitysvaihtoehtoon verrattuna hieman korkeampina kupari-, nikkeli- ja sulfaattipitoisuuksina. Yksinkertaistettu tarkastelutapa todennäköisesti yliarvioi pitoisuuksia. Aktiivisen sulkemisen aikana ja lyhyellä aikavälillä sulkemisen jälkeen kuormittajia ovat myös typpi ja fosfori.

Aktiivisen sulkemisen aikana erityisesti märkäläjitysalueelta poistuu vettä vesipinnan hakiessa edelleen tasapainotilaansa. Tässä vaiheessa suotovettä voidaan tarvittaessa ohjata edelleen aktiiviseen vesienkäsittelyyn. Pitkällä aikavälillä suotovesiä ei enää kerätä käsittelyyn, mutta myös niiden määrä (erityisesti märkäläjitysalueella) vähenee vesipinnan asetuttua tasapainotilaan.

läjityksessä. Molemmissa läjitysvaihtoehtoissa voidaan olettaa myös ns. varastokuorman vähenevän. Tuotannon aikana läjitykseen varastoituneiden hapetumistuotteiden määrä vähenee vähitellen, mutta niistä voi olosuhteiden muutoksen myötä syntyä enenevästi myös uusia (ja uusissa olosuhteissa pysyvämpiä) yhdisteitä.

Johtopäätöksenä sulkemisen jälkeisestä pohjavesikuormituksesta voidaan todeta, että peittorakenteella on keskeinen merkitys. Lisäksi läjitystapa vaikuttaa erityisesti suotoveden määrään lyhyellä aikavälillä sulkemisen jälkeen. Keskeistä on myös kuormituksen suuntautuminen, mitä käsitellään kappaleessa 11.2.4. Haitta-aineiden kulkeutumisen mallinnus on suunniteltu toteutettavaksi ympäristölupavaiheessa.

Koskien kaikkia matalarikkisen rikastushiekka-alueen vaihtoehtoja, pohjavesiympäristössä tapahtuvan laimentumisen ja reaktioiden seurauksena suotovedessä vähäisesti kohonneina esiintyvät pitoisuudet voivat jäädä merkityksettömmiksi. Nikkeli, kloridi ja sulfaatti ovat keskeisimpiä kuormittajia. Myös ravinteet typpi ja erityisesti fosfori ovat huomionarvoisia.

11.2.4 Rikastushiekka-alueen pohjavesivaikutusten kohdistumisen sulkemisen jälkeisenä aikana

Vaihtoehdossa VE1a ja VE1b todennäköisin pohjavesivaikutuksen suunta on Kuusivaaran eteläpuolinen suoalue, toisin sanoen Eliasaavan ja Hevosennäpärin suunta. Vaihtoehdossa VE2a ja VE2b todennäköisen vaikutuksen suunta olisi lännessä rikastushiekka-alueen ja Kitisen välisellä alueella. Vaihtoehdossa VE3a ja VE3b todennäköisin vaikutuksen suunta olisi pohjoisessa rikastushiekka-alueen ja Kitisen välisellä alueella. Vallitsevaan pinnanläheinen stratigrafiaan alueella kuuluu kaksi moreenipatjaa, joista molemmat omaavat suhteellisen alhaisen hydraulisen johtavuuden ($1,0 \times 10^{-6}$ m/s – $1,0 \times 10^{-7}$ m/s), tiiveimmän moreenin sijaitessa alimpana. Moreenien yläpuolella on paikoin turpeita ja lajittuneita sedimenttejä (Salonen ym. 2018). Alueen vallitsevat moreenikerrokset toimivat hyvänä puskurina haitta-ainelähteiden (rikastushiekka-alue eristerakenteineen) ja tehokkaan kulkeutumisreitit (ylempi rikkonainen kallioperä) välillä. Rikastushiekan sijoituspaikkavaihtoehtojen VE1a-b ja VE2a-b väliin sijoittuu monimuotoisempi nuorempien lajittumattomien sedimenttien vyöhyke, joka myös sijaitsee osin painanteessa.

Selkeää erityisen suurta haitta-aineiden kulkeutumisen riskireittiä ei ole tarkastellun, suhteellisen laajan, aineiston perusteella tunnistettavissa. Haitta-aineiden kulkeutuminen suhteellisen tiiviissä moreenissa ei ole tehokasta. Konseptuaalisesti tarkasteltuna todennäköisimpänä kulkeutumissskenaariona voitaneen kaikesta huolimatta pitää haitta-ainepitoisen pohjaveden painumista rikkonaiseen kallioperään ($1,0 \times 10^{-5}$ m/s – $1,0 \times 10^{-7}$ m/s). Tämä tarkoittaisi

mahdollisesti pidempimatkaista kulkeutumista mutta suurempaa laimenemisvaikutusta kuin maan pinnan läheisissä kerrostumissa.

Alustavasti voidaan arvioida, että välittömästi rikastushiekka-alueen alapuolella tai suotovesiojien tuntumassa, sulkemisen jälkeen pohjaveteen kohdistuu keskisuuri pohjaveden tilaa heikentävä muutos, kaikissa vaihtoehdoissa. Läjityksen ja sen rakenteiden alueella alueen herkkyys on kuitenkin vähäinen, joten vaikutuksen merkittävyys luokituu korkeintaan kohtalaiseksi. Toisaalta läjityksen ja sen rakenteiden alapuoliseen kohdistuvan muutoksen merkittävyyttä ei välttämättä ole mielekästä arvioida muun ympäristön kaltaisin kriteerein. Sijoituspaikkavaihtoehdot huomioiden, alueiden herkkyys ei ole suuri missään vaihtoehdoissa VE1a, VE1b, VE2a, VE2b, VE3a ja VE3b. Etäämmällä muutoksen koko pienenee, joskin herkkyys kasvaa. Pääsääntöisesti voidaan siis päätellä, että vaikutuksen merkittävyys olisi vähäinen ja säädeltävissä sulkemistratkeijujen avulla.

11.2.5 Kaivoksen muiden toimintojen sulkemisen jälkeiset pohjavesivaikutukset

Sulkemistyön yhteydessä sivukivialueet, malmin välivarastoalue ja korkearikkisen rikastushiekan allas poistetaan ja maaperä näiden rakenteiden alueilla tarkastetaan. Tarpeettomat rakennukset ja rakenteet poistetaan myös muilta osin. Purkutoimenpiteiden ja mahdollisten maaperän kunnostustoimenpiteiden aikana alueiden kuivatusvedet pystytään ohjaamaan edelleen aktiiviseen vesienkäsittelyyn eikä pohjavesiin kohdistu siksi erityisiä kuormia. Näiltä osin pohjavesivaikutuksia voidaan pitää merkitykseltään korkeintaan vähäisinä.

11.3 Sulkemisen jälkeiset pintavesivaikutukset

Aktiivisen sulkemistyön aikana vaikutusten laatu, laajuus ja kohdistuminen muistuttavat pääsääntöisesti kaivoksen tuotantovaihetta. Kaivosalueen Kitiiseen kohdistuvien pintavesivaikutusten oletetaan sulkemisen myötä vähenevän asteittain. Ensin siirrytään tuotantovaiheesta aktiivisten jälkihoitotoimenpiteiden vaiheeseen, jolloin alueelta poistetaan edelleen käsiteltyjä vesiä hyödyntäen tuotannon aikaista puhdistetuille ylijäämävesille tarkoitettua purkureittiä. Kun aktiiviset sulkemistoimet valmistuvat, puretaan vesienkäsittelyjärjestelmät. Lopulta kaivosalue siirtyy jälkitarkkailutilaan.

Keskeisimpiä kuormitustekijöitä ovat alustavasti nikkeli, kloridi ja sulfaatti. Aktiivisen sulkemisen aikana ja korkeintaan keskipitkällä aikavälillä kuormittajia ovat myös typpi ja mahdollisesti fosfori, mikä korostuu märkäläjitysvaihtoehdossa. Märkäläjityksessä rikastushiekan läjittämisen päättyessä alkaa altaan kuivatus peittorakenteen rakentamista varten, mutta rikastushiekka-altaan veden pinnan taso jatkaa painumistaan alemmaksi rikastushiekkakerroksissa

vielä peiton rakentamisen jälkeenkin. Sulkemisen jälkeisinä vuosina rikastushiekka-altaalta poistuu siis vanhaa prosessivettä vielä vuosien ajan sulkemisen jälkeen. Typen ja fosforin muita mainittuja aineita lyhyempiaikainen vaikutus liittyy siihen, että niiden keskeisin alkuperä on räjähdysainejäämissä ja prosessivedessä – ei mineraaliaineksessa.

Rikastushiekka-alueen vedet voivat poiketa korkeamman pH-arvonsa puolesta vastaanottavasta vesistöstä. Kuormitustapa vaihtelee jonkin verran sulkemistyön aikana, koska suljettavan kaivoksen eri osista tulevien vesien määresuhteet muuttuvat sulkemisen edetessä. Käsitteltävien vesien määrä vähenee aktiivisen sulkemisen edetessä vähitellen. Aktiivisen sulkemisen aikana on kuitenkin käytössä tuotannon aikainen vesienkäsittelyjärjestelmä ja siten siis myös kaivoksen tuotantoaikaa vastaava puhdistamon suorituskkyky.

Veden määrä vähenee kaivosalueella jo aktiivisen sulkemistyön vaiheessa. Märkäläjäytysvaihtoehdoissa (VE1b, VE2b, VE3b) tilanne muuttuu tuotantovaiheeseen verrattuna siten, että rikastushiekka-altaalle ei tule enää uusia prosessivesiä ja lopulta rikastushiekka-altaan yliteveden pumppauksesta luovutaan. Kuivaläjäytysvaihtoehdoissa (VE1a, VE2a, VE3a) muutos tuotantovaiheen ja sulkemisvaiheen välillä on veden määrän osalta vähäisempi. Maanalaisen kaivoksen sekä tarvekilouhoksen kuivatukset lakkaavat.

Sulkemisen jälkeen alueelta lähtee pintavaluntana lähinnä ns. aluevesiä. Aluevesien haitta-ainepitoisuuksien oletetaan jäävän alhaisiksi. Matalarikkisen rikastushiekkan sijointialueelta suotautuu vesiä hyvin pieninä määrinä sekä rikastushiekka-alueen alapuolelle että patoalueilla maan pinnan yläpuolelle. Suoto-vesien kulkeutuminen tapahtuu pääsääntöisesti pohjavesien mukana/sekoittuneena pohjaveteen. Patoalueen suotovesiä voi toimenpidevalinnoista riippuen kulkeutua vesistöihin myös pintavesiteitse. Vaihtoehdoissa VE1a ja -VE1b sekä VE2a ja VE2b sulkemisen jälkeisinä vastaanottavina vesistöinä toimivat Kelujoki ja Kitinen. Vaihtoehdossa VE3a ja VE3b vastaanottavana vesistönä on Kitinen. Näistä Kelujokea voitaneen pitää muutoksille jonkin verran herkempänä valuma-alueen koon (505 km²) ja siitä johtuvan virtaaman takia. Numeerista haitta-aineiden kulkeutumismallia ja vaikutusarviota ei ole vielä laadittu, johon tuen lukuisista YVA:ssa tarkasteltavista vaihtoehdoista.

Koska lähimmät vesistöiksi luokitellut kohteet eivät ole kaivosalueen tuntumassa, pohjavesi ja mahdolliset pienoijat ovat kuormituksen ensisijainen vastaanottaja ja vesistöt vasta välillisiä vastaanottajia. Pintavesiin ei liity maanpinnan läheisiä pohjavesiä suurempia erityisherkkyyksiä. Tällä tarkastelutavalla tullaan johtopäätökseen, että pintavesivaikutukset vastaavat merkittävyydeltään pohjavesivaikutuksia tai jäävät niitä vähäisemmiksi.

11.4 Sulkemisen jälkeiset luontovaikutukset

Sulkemisvaiheessa teollisuuskäytössä ollutta maa-alaa palautuu kasvillisuuden ja eläimistön käyttöön. Sulkemisvaiheessa voidaan tuottaa maanpinnan muotoja ja kasvualustoja, jotka edistävät kasvittumisen sukkessiota (kasvillisuustyyppien vaiheittaista kehittymistä) ja monimuotoisuutta. Pohjaveden mahdolliset alenema-alueet palautuvat luonnollisen kaltaiseen tilaan. Mahdolliset negatiiviset vaikutukset liittyisivät haitta-aineiden kulkeutumiseen pohjavesiteitse ja mahdolliseen purkautumiseen maanpinnanläheisiin pohjavesiin tai pintaveteen. Viitaten yllä esitettyyn, vaikutusten merkittävyys jäisi vähäiseksi kaikissa vaihtoehtoisissa VE1a, VE1b, VE2a, VE2b VE3a ja VE3b.

11.5 Sulkemisen sosiaaliset vaikutukset ja vaikutukset elinkeinoihin

Kaivoksen sulkemisen sosiaaliset vaikutukset ovat merkittävät kaikissa tarkasteltavissa vaihtoehtoisissa. Kaivoksen sulkeminen ja lopulta myös aktiivisten sulkemistoimenpiteiden valmistuminen näkyvät työpaikkojen huomattavana vähenemisenä verrattuna kaivoksen toimintavaiheeseen, ellei seudulla synny korvaavaa toimintaa. Sulkemisen sosioekonominen vaikutus on vääjäämättä suuri ja korvaavan toiminnan puuttuessa herkkyys olisi suuri.

Kaivoksen sulkeminen poistaa kulkuesteitä ja helpottaa liikkumista, erityisesti porotalouden ja metsätalouden näkökulmasta. Rikastushiekka-alueen mittasuhteet huomioiden, alueelle jäisi sulkemisen jälkeenkin melko suuri muutos, kulkemista rajoittavana maastonmuotona. Lisäksi tarvekivilouhos ja siihen muodostuva louhosjärvi on pysyvä muutos, joskin pinta-alaltaan vähäisempi. Muutos kuitenkin kohdistuisi vähäisen herkkyyden alueeseen ja olisi merkittävyydeltään siksi kohtalainen. Verrattuna kaivoksen toimintavaiheeseen, sulkemisen aiheuttama muutos liikkumisesteenä olisi toki positiivinen. Eroja vaihtoehtojen VE1a, VE1b, VE2a, VE2b VE3a ja VE3b välillä ei ole tarkasteltu.

11.6 Sulkemisen jälkeiset vaikutukset ilman laatuun

Vaikutukset ilman laatuun liittyvät aktiivisten sulkemistöiden vaiheeseen. Maa-ainesten siirtäminen ja siihen liittyvä liikenne voivat olla merkittäviä pölyn lähteitä. Pölyn lähteet ja kulkeutumis suunnat eri tuuliolosuhteissa vastaavat jo-keenkin tuotannon aikaisia pölyn lähteitä ja kulkeutumis suuntia. Aktiivisen sulkemistyön jälkeen alkaa kasvittuminen ja pölyvaikutukset vähenevät, kunnes saavuttavat luonnontilamaisen tason.

Aktiivisen sulkemistyön aikana negatiivisia vaikutuksia ilmanlaatuun voi esiintyä ja ne ovat saman tyyppisiä (ja oletettavasti melko samansuuruisia) rakentamis- ja toimintavaiheiden kanssa. Pitkällä aikavälillä, verrattuna

kaivostoimintaa edeltävään tilanteeseen, ilmanlaadussa ei olisi muutosta. Eroja vaihtoehtojen VE1a, VE1b, VE2a, VE2b, VE3a ja VE3b välillä ei ole tarkasteltu.

12 Sulkemisvaiheen tarkkailun pääperiaatteet

Tarkkailuohjelman laadintaa ohjaavat sulkemissuunnittelusta saatavat tiedot, ympäristövaikutuksista ja riskeistä. Tarkkailuohjelman tulee tukea sellaisen tiedon saantia, jonka avulla voidaan verrata kaivosalueen sulkemisen jälkeisiä ympäristövaikutuksia sulkemiselle asetettuihin tavoitteisiin.

Ensimmäisellä aikajaksolla, aktiivisten sulkemistoimenpiteiden aikana, tarkkailussa voidaan soveltaa pääosin toiminnan aikaista tarkkailuohjelmaa. Mikäli sulkemistoimenpiteiden suunnittelussa havaitaan sulkemiseen liittyviä lisätarkkailutarpeita, tarkkailuohjelmaa päivitetään tarpeellisin osin. Aktiivisen sulkemisvaiheen aikana kuormituksen lähteitä kuitenkin poistuu, mikä voi vähentää asteittain myös tarkkailtavien kohteiden määrää. Alustavasti arvioidaan, että aktiivisen sulkemisen aikana on tarvetta tarkkailla läjitysten, keskeisten rakenteiden ja hydrologisesti alapuolisen alueen pohjaveden pinnan tasoa/huokosvesipainetta. Rikastushiekka-alueiden sulkemista koskevissa suunnitelmissa (Anglo American 2019) edellä mainittua tarkkailua kaavaillaan tehtäväksi esimerkiksi värähdyslankapietsometrien avulla. Lisäksi alueelle asennetaan havaintoputkia. Tarkkailun lisäksi sijoitusalueilla suoritetaan mm. stabiliteettiin liittyviä auditointeja. Tuotannon aikaista ilmanlaadun ja pölyämisen tarkkailua jatketaan, kunnes rikastushiekka-alueen peittorakenteet ovat valmistuneet ja alueet riittävästi kasvittuneet.

Aktiivisten sulkemistoimenpiteiden valmistuttua alkaa toinen aikajakso, jonka aikana kaivosalueen tila ei ole vielä vakaa. Maanalaisen kaivoksen ja tarvekivilouhoksen eli louhosjärven täyttyminen vedellä vievät aikaa. Toisin sanoen, pohjaveden virtaussuuntien kääntyminen kaivostoimintaa edeltävää aikaa muistuttavaksi vie aikaa. Tässä vaiheessa tarkkailu kohdistuu jäljellä oleviin potentiaaliin kuormituslähteisiin ja kuormituksen vastaanottaviin vesistöihin ja pohjavesiin. Tarkkailutiheys vähenee mitä kauemmin sulkemisesta on kulu-
nut aikaa. Tarkkailutietojen avulla pyritään tarkistamaan ennusteet louhostilojen täyttymisaikataulusta. Toisen ajanjakson tarkkailu poikkeaa kolmannen aikajakson tarkkailusta ja kolmannen aikajakson tarkkailun aloitus on osattava kohdentaa ajallisesti oikein.

Kolmas aikajakso alkaa, kun maanalainen kaivos tai tarvekivilouhos on täytty-
nyt vedellä ja pohjavesivirtaukset eivät enää suuntaudu maanalaiseen kaivokseen tai tarvekivilouhokseen. Tarvekivilouhoksen on arvioitu täyttyvän maanalaista kaivosta aiemmin. Kolmannen aikajakson alussa tuotettavien tarkkailutietojen on oltava sellaisia, joiden avulla on mahdollista tarkistaa arvioita haitta-
aineiden kulkeutumisriskeistä. On myös huomioitava, että tämä tarkkailuvaihe on todennäköisesti melko kaukana tulevaisuudessa.

13 Kustannuslaskenta ja vakuusarvion laatiminen

Kustannukset ja vakuusarvio kaivannaisjätteen jätealueille esitetään sulkemissuunnitelmassa hankkeen ympäristölupavaiheessa. Vakuusarvioon lasketaan työyksiköt ja yksikkökustannukset. Kokonaissumma lasketaan esimerkiksi viimeisimmästä ajantasaisesta maarakennuskustannustiedosta, vesienkäsittelyn kustannuksista, altain ym. alueiden purkamisen kustannuksista, tarkkailun kustannuksista sekä huollon ja aurauksen kustannuksista. Tarkkailun kustannusvarausten osalta kiinnitetään erityistä huomiota pohjaveden pintojen palautumisen aikajaksoon.

Tässä suunnitelmassa esitettyjen toimenpiteiden tekninen ja taloudellinen toteutettavuus on varmistettu viimeisimmän kannattavuusarvioinnin (PFS-A) yhteydessä.

14 Varautuminen väliaikaiseen tai ennenaikaiseen sulkemiseen

Nykyaikaiseen sulkemissuunnitteluun kuuluvat keskeisenä osana myös varautuminen väliaikaiseen sulkemiseen ja ennenaikaiseen sulkemiseen. YVA-vaiheen sulkemissuunnitelmassa näiden tilanteiden erityispiirteet, mahdollisine vaikutuksineen sulkemiseen, on tunnistettu yleisellä tasolla.

14.1 Väliaikainen sulkeminen

Väliaikaisella sulkemisella viitataan tilanteeseen, jossa kaivostoiminta lakkaa tilapäisesti, esimerkiksi taloudellisista syistä. Tällöin kaivos siirretään hallitusti ns. huolto- ja ylläpitotilaan. Tässä tilassa suoritetaan keskeiset ylläpitotoimet, jotka tarvitaan, mikäli varsinaisia sulkemistoimia ei käynnistetä. Tällaisia toimia ovat esimerkiksi kaivoksen kuivanapito, joka voi periaatteessa tapahtua myös osittaisena (maanalaiselle kaivokselle tai tarvekilouhokselle määritetään maksimitaso, johon se saa täyttyä). Tällaisessa tasossa voidaan olettaa, että pohjavesivirtaukset kaivosalueella ovat edelleen louhokseen suuntautuvia. Myös esimerkiksi rikastamon huoltotyöt, ja vesienkäsittely jatkuvat tyypillisesti myös huolto- ja ylläpitotilassa. Pyrkimys on pitää kaivosalue tilassa, joka mahdollistaa suhteellisen nopean tuotantoon palaamisen.

Väliaikaisessa sulkemisessa keskeisimpiä ympäristötoimenpiteitä on varmistaa, että puhtaiden vesien ja kohonneita haitta-ainepitoisuuksia sisältävien vesien erillään pitäminen onnistuu edelleen ja kohonneita haitta-ainepitoisuuksia sisältävät vedet käsitellään ennen niiden johtamista vastaanottavaan vesistöön. Vesienkäsittelyä voidaan joutua säättämään uudelleen, koska käsittelyyn tulevien vesien määräsuhteet poikkeavat tuotantotilanteesta.

Väliaikaisessa sulkemisessa turvallisuus taataan ensisijaisesti rajoittamalla liikumista alueella, lähinnä aitaamisen keinoin. Alue on käytännössä aidattu jo tuotannon aikana.

Väliaikaisen sulkemisen merkittävimpiin huolenaiheisiin kuuluu sulfidimineraalien hapettumisen edistyminen ja jätealueille varastoituvan helposti mobilisoituvan haitta-ainemäärän mahdollinen kasvu eli varastokuorman kasvu, verrattuna sulkemissuunnittelutyössä arvioituun haitta-ainemäärään. Tähän riskitekijään kiinnitetään huomiota sulkemissuunnittelun edistyessä. Matalarikkisen rikastushiekka-alueen vaiheittainen sulkeminen on mahdollista vaihtoehdoissa VE1a, VE2a ja VE3a. Mikäli väliaikainen sulkemisen tapahtuisi kaivoksen suunnitellun toimintavaiheen jälkipuoliskolla, varastokuorman kasvu jäisi selvästi vähäisemmäksi verrattuna vaihtoehtoihin VE1b, VE2b ja VE3b.

14.2 Ennenaikainen sulkeminen

Mikäli kaivos suljetaan aikaisemmin kuin nykyinen tuotantosuunnitelma osoittaa, sulkeminen suoritetaan kuitenkin pääpiirteissään samalla tavalla kuin se suoritettaisiin suunnitellun mukaisena sulkemisajankohtana. Jättemäärät jäävät vähäisemmäksi ja maanalainen kaivos sekä tarvekilouhos pienemmiksi. Kaivannaisjätteen laatuja suhteet voivat poiketa arvioidusta lopputilanteesta jonkin verran. Pääsääntöisesti kaavailtujen sulkemistarkistusten voidaan olettaa toimivan myös ennenaikaisessa sulkemisessa.

15 BAT ja hyvät käytännöt

Tässä kappaleessa käsitellään hankesuunnitelmien vastaavuus parhaaseen käyttökelpoiseen tekniikkaan (BAT), kaivannaisjätteen hallinnan eurooppalaisen referenssidokumentin (BREF-asiakirja) valossa (EU 2018). Lisäksi tarkastellaan hankesuunnitelmien suhdetta muihin keskeisiin hyviin käytäntöihin.

15.1 BAT-arvio

EU (EU, 2018) on hiljattain ottanut käyttöön päivitetyn BREF-asiakirjan kaivannaisjätteen hallinnasta. Keskeistä uudessa asiakirjassa on se, että BREF-asiakirjan uusi (nykyinen) versio on laadittu voimassa olevan direktiivin pohjalta (2006/21/EY).

BREF-asiakirja kuvaa olemassa olevia tekniikoita ja nostaa joitakin niistä BAT-tekniikoiksi tietyin edellytyksin. Varsinaisia juridisia tulkintoja siitä, miten BAT määritellään, ei ole olemassa eikä asiakirjaa tule käyttää tässä tarkoituksessa. BREF-asiakirjasta käy ilmi, että asiakirjan ja BAT-päätelmien tarkoituksena on:

- antaa kaivannaisteollisuudelle, viranomaisille ja muille asiaankuululle osapuolille ajantasaisia tietoja kaivannaisjätteen hallinnasta sekä
- tukea päätöksentekijöitä esittämällä luettelo BAT-tekniikoista, joilla estetään tai mahdollisuuksien mukaan rajoitetaan uusia kaivannaisjätteiden hallinnan haitallisia vaikutuksia ympäristölle ja terveydelle. Samaan aikaan on korostettava, että BAT-päätelmien edustamat tekniikat eivät ole pakollisia eikä asiakirja sisällä aukottomasti kaikkea mahdollista hyvin toimivaa. Voidaan siis käyttää myös muita tekniikoita, jotka tarjoavat vähintään saman-tasoisien suojan ympäristölle.

BAT-päätelmät jaetaan kahteen ryhmään:

- Yleiset BAT-päätelmät, joita sovelletaan yleisesti.
- Riskiperusteiset BAT-päätelmät, joita sovelletaan kohteissa, joissa on tunnistettu ympäristö- tai terveys vaikutuksia riskinarvioinnin tai vaikutusarvioinnin avulla.

Sakatin kaivoksen sulkemissuunnittelu on toistaiseksi liian varhaisessa vaiheessa varsinaista BAT-tarkastelua silmällä pitäen, mutta alla (taulukot 15-1 ja 15-2) esitetään alustavasti keskeisten BAT-päätelmien liittyminen Sakatin kaivoshankkeeseen. Lisäksi kommentoidaan yleisten BAT-päätelmien toteutusta Sakatin kaivoksen sulkemissuunnittelussa. Tarkastelu riskiperusteisiin BAT-päätelmiin verraten ei sovellu hyvin tähän työvaiheeseen, jossa varsinaiset sulkemistratkaisut ovat karkeita ja vaihtoehtoverailu keskittyy sijoituspaikka-

ja läjitystapavaihtoehtojen vertailemiseen sulkemisen näkökulmasta yleisellä tasolla.

Taulukko 15-1. Sakatin kaivoksen sulkemissuunnitelman BAT-kohdat, kursivoidulla merkityt eivät ole olennaisia sulkemissuunnitelman kannalta.

BAT		Alustavat kommentit Sakatin kaivoksen sulkemisen näkökulmasta
Geneeriset päätelmät		
BAT1	Hallintajärjestelmät	Anglo Americanilla on käytössään systemaattinen toimintamalli kaivosten sulkemissuunnittelun ja sulkemisen osalta. Mallissa sovelletaan myös toistuvia arviointoja ja auditointeja.
BAT2	Tiedon hallinta, jätteen karakterisointi	Kaivannaisjätteiden karakterisointi on aloitettu hankesuunnittelun varhaisissa vaiheissa ja sitä tarkennetaan edelleen.
BAT3	Jätteen ominaisuuksien seuranta ja verifiointi	
BAT4	Jätteen hallinnan vaihtoehtojen arviointi	Huomioiden, että pyrkimyksenä on, ettei sivukivi- ja pintamaaläjityksiä sekä korkearikkistä rikastushiekkaa jää toiminnan jälkeen maanpäälliseen sijoitukseen, matalarikkinen rikastushiekka muodostaa sulkemisen kannalta keskeisimmän tekijän. Matalarikkisen rikastushiekan läjittämisen vaihtoehtotarkastelussa on huomioitu konseptuaalisella tasolla myös sulkemisen jälkeinen aika. Keskeistä vaihtoehtoissa ovat sijoituspaikka sekä kuivaläjitys vs. märkäläjitys.
BAT5	Ympäristöriskien ja vaikutusten arviointi	Ympäristöriskien ja vaikutusten arviointi on keskeinen osa Sakatin kaivoksen sulkemissuunnittelun toimintatapaa. YVA-vaiheessa tarkasteltavia vaihtoehtoja on vielä lukuisia, mikä asettaa haasteita myös sulkemisen jälkeisten vaikutusten arvioinnille. Tästä johtuen YVA-vaiheessa keskitytään riskien tunnistamiseen ja vaihtoehtojen konseptuaaliseen vertailuun. Seuraavissa työvaiheissa edetään varsinaiseen riskinarviointiin ja numeeriseen vaikutustarkasteluun.
BAT 6, 7	Kaivannaisjätteen muodostumisen minimointi sekä ei-pysyvän ja vaarallisen kaivannaisjätteen muodostumisen vähentäminen	Matalarikkinen sivukivi hyödynnetään rakentamiseen ja korkearikkinen sivukivi hyödynnetään osana maanalaisen kaivoksen louhostäyttöjä. Tarvekiveä joudutaan jopa louhimaan. Suunnitellulle kaivostoiminnalle on ominaista louhostäyttöjen suuri tarve. Myös huomattava osa rikastushiekoista (ja mahdollisesti vesienkäsittelysakka) käytetään louhostäyttöön valmistettavan pastan raaka-aineena. Ylijäämää muodostuu todennäköisesti ainoastaan matalarikkisestä rikastushiekasta.



Taulukko 15-2. Sakatin kaivoksen sulkemissuunnitelman riskiperusteiset BAT-kohdat luetteloituna. kursivoidulla eivät ole olennaisia sulkemissuunnitelman kannalta. Hankkeen sulkemistyötä ei tässä vaiheessa arvioida riskiperusteisten BAT-päätelmien valossa. Menettely soveltuu paremmin työvaiheisiin, joissa sijoituspaikka- ja läjitystapavaihtoehtoja on karsittu ja pystytään säätämään sulkemisratkaisut sijoitusalueiden lopullisiin ominaispiirteisiin (kun taas YVA-vaiheen tarkasteluissa on sovellettu samaa sulkemisratkaisua esimerkiksi läjityksen sijainnista ja tarkoista dimensioista riippumatta.)

BAT	
BAT8-9	<i>Liittyy öljy/kaasu-toimialaan</i>
BAT10	<i>Liittyy öljy/kaasu-toimialaan</i>
BAT11	Sulkemisen huomioiva kaivossuunnittelu
BAT12	Laadun valvonta
BAT13, 14, 17	<i>Liittyvät jätealueiden ja niihin liittyvien patojen rakentamiseen ja operointiin</i>
BAT18, 43, 46	Vesienhallinta
BAT19	<i>Liittyy patojen mitoitukseen</i>
BAT20-21	<i>Liittyy ensisijaisesti toiminnassa olevien jätealueiden hallintaan</i>
BAT22-23	Rakenteiden stabiliteetin tarkkailu
BAT25-26	Liittyy maanalaiseen kaivostoimintaan ja kaivannaisjätteiden maanalaiseen sijoittamiseen
BAT27-29	<i>Liittyy läjityksen suunnitteluun ja operatiiviseen toimintaan</i>
BAT30	<i>Liittyy erityisen alkaiseen kaivannaisjätteeseen</i>
BAT31	Happaman metallipitoisen valuman ehkäiseminen
BAT32-34	<i>Liittyvät itsestään-syttymisriskin omaaviin jätteisiin ja syanidipitoisiin jätteisiin sekä hiilivetypitoisiin porausjätteisiin</i>
BAT35, 37, 40, 41, 48	Pohjaveden ja maaperän pilaantumisen estäminen ja tarkkailu
BAT36	<i>Liittyy öljy/kaasu-toimialaan</i>
BAT38	Peittorakenteet
BAT39	Maaperän ja pohjaveden remediaatio
BAT42-47	Pintavesivaikutusten ehkäisemisestä
BAT44	<i>Liittyy öljy/kaasu-toimialaan</i>
BAT49, 52	Pölyn ehkäiseminen ja tarkkailu
BAT50-51	<i>Liittyvät ilmapäästöihin ensisijaisesti tuotannon aikana</i>
BAT52-53	<i>Liittyvät meluun ja hajupäästöihin</i>
BAT55	Visuaalisten vaikutusten minimointi
BAT56-57	<i>Liittyvät resurssitehokkuuteen ja luonnossa esiintyvien radioaktiivisten aineiden hallintaan</i>

15.2 Muut hyvät käytännöt

Kappaleessa 1.2 kuvataan ICMM:n (2019) Integrated mine closure – oppaan suosittelemaa lähestymistapaa. Sakatin kaivoshankkeen sulkemissuunnittelu-prosessissa on noudatettu tätä hyvää käytäntöä mm. seuraavilta osin:

- Tietämystä hankealueen erityispiirteistä on koottu systemaattisesti ja työn eri osa-alueilla on tarkasteltu tietopuutteita ja epävarmuuksia.
- Kaivosalueen sulkemiselle on jo alustavasti sovellettu yleisluontoista paikkakohtaista tavoiteasettelua ja tarkempaa paikkakohtaista tavoiteasettelua on valmistauduttu soveltamaan työn edetessä.
- Kaivannaisjätteiden sijoitusalueiden suunnittelun yhteydessä on suunniteltu alustavasti myös sulkemistoimenpiteet (kaivoksen suunnittelun ja sulkemissuunnittelun integraatio).
- Riskien tunnistamista on käytetty päätöksenteon apuna sulkemissuunnittelussa.
- Väliaikainen ja ennenaikainen sulkeminen on huomioitu.
- Sulkemissuunnitelmat on kytketty hankkeen taloudelliseen/kannattavuus- tarkasteluun.

INAP:n GARD Guide sisältää runsaasti ohjeistusta sulfidimalmikaivosten vesien laadun hallintaan (The International Network for Acid Prevention 2018). Myös tässä oppaassa erityisen keskeistä on laajentaa järjestelmällisesti tietämystä kohteen erityispiirteistä. Valumaan liittyvien riskien hallinta edellyttää mm. seuraavia karakterisointeja, jotka kaikki on toteutettu myös Sakatin kaivoshankkeessa:

- Kaivannaisjätteiden karakterisointi, sisältäen staattiset ja kineettiset kokeet ja mineralogian.
- Kohteen hydrologinen ja hydrogeologinen karakterisointi.
- Pohjaveden, pintaveden ja sedimenttien laatutiedot lähtötilanteessa ja nykytilanteessa.

Myös Gard Guide edellyttää huolellista tavoiteasettelua, karakterisointien soveltamista ennusteissa ja näihin pohjautuvaa toimenpidesuunnittelua. Lisäksi riskien arviointi ja hallinta ovat keskiössä. Tarkkailun ja seurannan tulee mahdollistaa konkreettisella tasolla tavoitteiden toteutumisen arviointi.

16 Viitteet

AFRY Finland Oy 2021. Sakatti - Infiltration to and saturation level of drystack MWF estimated using HYDRUS-1d model.

AFRY Finland Oy 2023. AA Sakatti Mining Oy. Sakatin kaivosahanke. Yhteenveto kaivannaisjätteiden karakterisoinnista sekä kaivosalueen vesien laatuarviointista. Revisio 05, 13.1.2023. 101017183-001.

AFRY Finland Oy 2022a. Kuusivaaran tarvekilouhoksen numeerinen pohjavesimallinnus.

AFRY Finland Oy 2022b. Sakatti - Kuusivaaran tarvekilouhoksen vedenlaatu-mallinnus.

Ahma ympäristö Oy 2016-2018. Laskeumatarkkailu. Testausselostet vuosiin 2016-2018 aikana tehdyistä mittauksista. AA Sakatti Mining Oy.

Anglo American 2019. The Mine Closure Toolbox, MCT. Version 3 (2019). Toimittanut: Grant, C. & Both, R.

Anglo American 2018. Mine Closure Standard. Appendix 1. In: Anglo American 2019. The Mine Closure Toolbox. Version 3. Toim.: Grant, C. & Both, R.

Anglo American 2019. Sakatti Cu-Ni-PGE project pre-feasibility study. Closure.

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

Australian Government, Department of Industry Tourism and Resources 2006. Mine closure and completion. 63 s.

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.

European Commission 2018. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Management of Waste from Extractive Industries.

FCG 2020. AA Sakatti Mining Oy - Sakatin monimetalliesiintymän kaivosahanke. Ympäristövaikutusten arviointiselostus.

FCG & UEF 2020. Sakatin monimetalliesiintymänkaivosahanke – Poroselvitys.

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

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

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

Geochemic Ltd. 2022. Numerical Prediction of Contact Water Quality from the proposed Sakatti Ni-Cu-PGE Deposit Mine Waste Facility, Finland.

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

ICMM 2019. Integrated mine closure. Good practice guide, 2nd edition.

Ilmatieteen laitos 2020. Ilmatieteenlaitoksen avoin data. <https://ilmatieteenlaitos.fi/mennyt-saa-ja-ilmastotilastot>.

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.

INAP (International Network for Acid Prevention) 2018. GARD Guide (edit 2018). www.gardguide.com

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.

Metsähallitus, luontoon.fi –palvelu. <http://www.luontoon.fi>, luettu 15.8.2019

Muhonen, M. & Savolainen, M. 2013. Etelä- ja Keski-Lapin kulttuurimaisemat ja maisemanähtävyydet. Valtakunnallisesti ja maakunnallisesti arvokkaiden alueiden päivitys- ja täydennysinventointi 2011-2013. Lapin elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.

Museovirasto 2009. Valtakunnallisesti merkittävät rakennetut kulttuuriympäristöt RKY. http://www.rky.fi/read/asp/r_default.aspx, luettu 15.8.2019

Neuffer, D., Stevens, C., Staines, R., Umedera, M. & McLeod, S. 2014. Investigating for dry stack tailings facility closure: multidisciplinary evaluation at the Pogo Mine, Alaska. Paste 2014. Jewell, R., Fourie P., Wells, P. & van Zyl, D. (toim.). https://dxi97tvbmhbca.cloudfront.net/upload/user/image/SRK-Investigating_for_dry_stack_tailings_facility_closure-Pogo_Mine_AK20200228192735468.pdf

Neuffer, D. & Scott, C. 2015. Dry stack tailings in cold regions: opportunities and constraints. Presentation in Alaska Miners Association Convention, November 2015.

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

Puumalainen, T. 2021. A 3D geological model and geochemical and hydrogeological properties of sediments in Kuusivaara, Sodankylä, Finland. Degree Programme in Geosciences. M.Sc. thesis. Faculty of Technology, University of Oulu.

Pöyry Finland Oy 2018. AA Sakatti Mining Oy - Sakatin monimetalliesiintymän kaivoshanke. Ympäristövaikutusten arviointiohjelma.

Salonen, V. 2020. AA Sakatti Mining Oy - Yhteenvetoraportti Viiankiaavan hydrologiaan vaikuttavista tekijöistä.

Salonen, V. 2019. Viiankiaavan ympäristön maaperän kehitys ja sen erityispiirteet. Salonen Environment. 43 s.

Salonen, V. 2019a. Ympäristögeologinen maaperäselvitys Sakatin kaivoshankkeen ympäristövaikutusten arvioinnin tausta-aineistoksi. Salonen Environment. 43 s.

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

Sobek A.A. et al. 1978. Field and laboratory methods applicable to overburden and minesoils. USEPA. Report EPA-600/2-78-054

Sodankylän kunta 2018. Talousarvio 2019 - Taloussuunnitelma 2019 – 2021.

SRK Consulting Ltd. 2017. Sakatti Waste Rock Geochemical Characterisation – Main Report. July, 2017. Anglo American Sakatti Oy, sisäinen raportti.

SRK Consulting Ltd. 2018. Sakatti Waste Rock ARD Week 40 Humidity Cell Update and Recommendations Memo. Anglo American Sakatti Oy, sisäinen raportti.

SRK Consulting Ltd. 2018a. Tailings Site Selection and Alternatives Trade off. Sakatti Tailings PFS-A Study. Anglo American Sakatti Oy, sisäinen raportti.

SRK Consulting Ltd. 2018b. Tailings geochemical characterisation report for the Sakatti Cu-Ni-PGE-Au deposit, Finland.

SRK Consulting Ltd. 2019. Sakatti PFS-A. Tailings Storage Facility Design Report. Anglo American Sakatti Oy, sisäinen raportti.

SRK Consulting Ltd. 2019a. Sakatti Cu-Ni-PGE project. Pre-feasibility A study. Water management.

Stantec Consulting International Ltd. 2023. Report for Environmental Impact Assessment Supplementary Work. Sakatti Underground Mine Water Quality Modelling.

Työterveyslaitos 2018. Työhygieeninen esiselvitys, lausunto vaiheesta 3: koe-murskaus. Lausunto TYHYG 2018 375090.

Vastuullisen kaivostoiminnan verkosto 2017. Kaivosvastuujärjestelmän toiminta-periaatteet, osa 'Kaivoksen sulkeminen'. <https://www.kaivosvastuu.fi/>.

Ympäristöministeriö 1993: Maisema-aluetyöryhmän mietintö Osa I, Maisemanhoito. Ympäristöministeriön mietintö 66/1992

Ympäristöministeriö 2019. Jätteen luokittelu vaaralliseksi jätteeksi – päivitetty opas.

Åberg, S.C., Åberg, A.K., Korkka-Niemi, K. ja Salonen, V-P. 2017. Hydrostratigraphy and 3D Modelling of a Bank Storage Affected Aquifer in a mineral exploration area in Sodankylä, Northern Finland. IMWA 2017 Mine Water and Circular Economy. Wolkersdorfer, C., Sartz, L., Sillanpää, M ja Häkkinen, A. (Editors).

Åberg, S., Korkka-Niemi, K., Rautio, A., Salonen, V-P. & Åberg, A. 2019. Groundwater recharge and discharge patterns in a sedimentary aquifer along the River Kitinen in Sodankylä, Northern Finland. Arvioitavana, Boreal Env. Res.

Åberg, S.C., Korkka-Niemi, K., Rautio, A. ja Åberg, A.K. 2022. The effect of river regulation on groundwater flow patterns and the hydrological conditions of an aapa mire in northern Finland. Journal Of Hydrology: Regional Studies 40 (2022) 101044.