

LIITE 4

Elementis Minerals B.V. Branch Finland

Kaivannaisjätteiden ja vesienhallinnan YVA-selostus

Elementis Minerals B.V. Branch Finland

Sotkamon kaivoksen YVA-vaihtoehtoissa esitettyjen
kaivannaisjätteiden läjitysalueiden suotojesien sekä louhosjärven
vedenlaatuojen geokemiallinen mallinnus

14.5.2025

Elementis Minerals B.V. Branch Finland

Projektinnumero/Dokumenttinumero: 101023788



Sisällys

1	Johdanto	5
1.1	Työn sisältö	5
1.2	Arviointimenetelmien kuvaus	6
1.2.1	Kosteuskammiokeet.....	7
1.2.2	Peittorakenteen ominaisuudet.....	7
2	Mallinnuksessa käytettävät lähtötiedot.....	9
2.1	Kosteuskammiokeiden tulokset	9
2.2	Ylösvirtauskolonniokeen tulokset	12
3	Hankevaihtoehto VE0.....	16
4	Hankevaihtoehto VE1.....	17
4.1	Hankevaihtoehdon kuvaus	17
4.2	Sivukivi	18
4.2.1	Sivukivialueen laajennuksen tekniset suunnitelmat.....	18
4.2.2	Arvio laajennuksen vaikutuksesta sivukivialueen suotoveteen	18
4.3	Uusi rikastushiekka-allas	22
4.3.1	Uuden rikastushiekka-altaan tekniset suunnitelmat	22
4.3.2	Uuden rikastushiekka-altaan vedenlaadun arvioinnin toteutus	23
4.3.3	Rikastushiekka-altaan vedenlaatu ja kuormitus.....	24
4.4	Rikastushiekan läjitys Lahnaslammen louhosjärveen	26
4.4.1	Lähtötilanne	26
4.4.2	Vesimäärät.....	27
4.4.3	Kuormitukset eri lähteistä	28
4.4.4	Rikastushiekkaläjityksen mallin konseptualisointi	33
4.4.5	Louhosjärven vedenlaatu ja vuotuiset kuormitukset.....	35
5	Hankevaihtoehto VE2.....	40
5.1	Hankevaihtoehdon kuvaus	40
5.2	Sivukivi	43
5.2.1	Uusien sivukivialueiden tekniset suunnitelmat	43
5.2.2	Arvioinnin toteutus	43
5.2.3	Sivukivialueiden vedenlaatu ja kuormitukset	46
5.3	Uusi rikastushiekka-allas	51
5.3.1	Uuden rikastushiekka-altaan tekniset suunnitelmat	51
5.3.2	Arvioinnin toteutus	52
5.3.3	Rikastushiekka-altaan vedenlaatu ja kuormitukset	53



6	Tarkastelun herkkyydet ja epävarmuudet	56
6.1	Herkkyydet	56
6.2	Epävarmuudet	56
6.2.1	Rikastushiekka-altaan suotoveden laatuun liittyvät epävarmuudet	56
6.2.2	Sivukiven läjitysalueen suotoveden laatuun liittyvät epävarmuudet	58
6.2.3	Lahnaslammen louhosjärven vedenlaatuun liittyvät epävarmuudet.....	59
6.3	Ilmastonmuutos	61
7	Yhteenveto syötetiedoista ja oletuksista.....	62
7.1	Rikastushiekka-altaan syötetiedot ja oletukset	62
7.2	Sivukivialueiden syötetiedot ja oletukset (VE2)	63
7.3	Lahnaslammen syötetiedot ja oletukset	64
7.4	Geokemiallinen tasapainomallinnus	65
8	Viitteet	66



TERMI	SELITE
hankevaihtoehto (VE)	Ympäristövaikutusten arviointimenettelyssä (YVA) tarkasteltava hankkeen toteuttamistapa.
happivuo	tietyn ajan kuluessa tapahtuva hapenkulutus tai -siirtymä pinnan läpi, tässä yhteydessä ilmoitettuna yksikkönä moolia happea neliömetriä kohti vuodessa ($\text{mol O}_2/\text{m}^2/\text{a}$)
peittorakenne	kaivannaisjätealueen sulkemisrakenne, jonka tarkoitus on sadeveden suotautumisen ja happivuon pienentäminen tarpeen mukaan.
konseptualisointi	käsitteellistäminen, vuorovaikutusten, reaktioiden tai virtausten kuvaaminen -ei-numeerisesti
kosteuskammio	<i>Humidity cell test</i> , kineettinen koetyyppi, jolla selvitetään kaivannaisjätteen tai kiviaineksen pitkäaikaikäyttäytymistä. Kokeessa näyte on peräkkäin kuvissa ja kosteissa olosuhteissa, syklien välillä näytekammio huuhdotaan tislattulla vedellä.
ylösvirtauskolonnikoe	<i>Upflow column test</i> , laboratoriomenetelmä, jolla tässä yhteydessä tutkitaan jätemateriaalista veden mukana vapautuvia aineita. Kokeessa kolonni täytetään tutkittavalla materiaalilla, jonka läpi johdetaan vettä alhaalta ylöspäin. Testi simuloi veden virtausta jätteessä ja auttaa arvioimaan jätteen pitkäaikaikäyttäytymistä vedenkyllästymissä olosuhteissa.
skaalauskerroin	kerroin, jonka avulla muunnetaan laboratorioanalyysien tuloksia vastaamaan kenttäolosuhteita (esimerkiksi raekoon tai lämpötilan suhteen)
suotovesi	myös "kontaktivesi", kaivannaisjätteen läjitysalueelta poistuva/tihkuva ylimääräinen vesi, joka on ollut kontaktissa kaivannaisjätteen kanssa

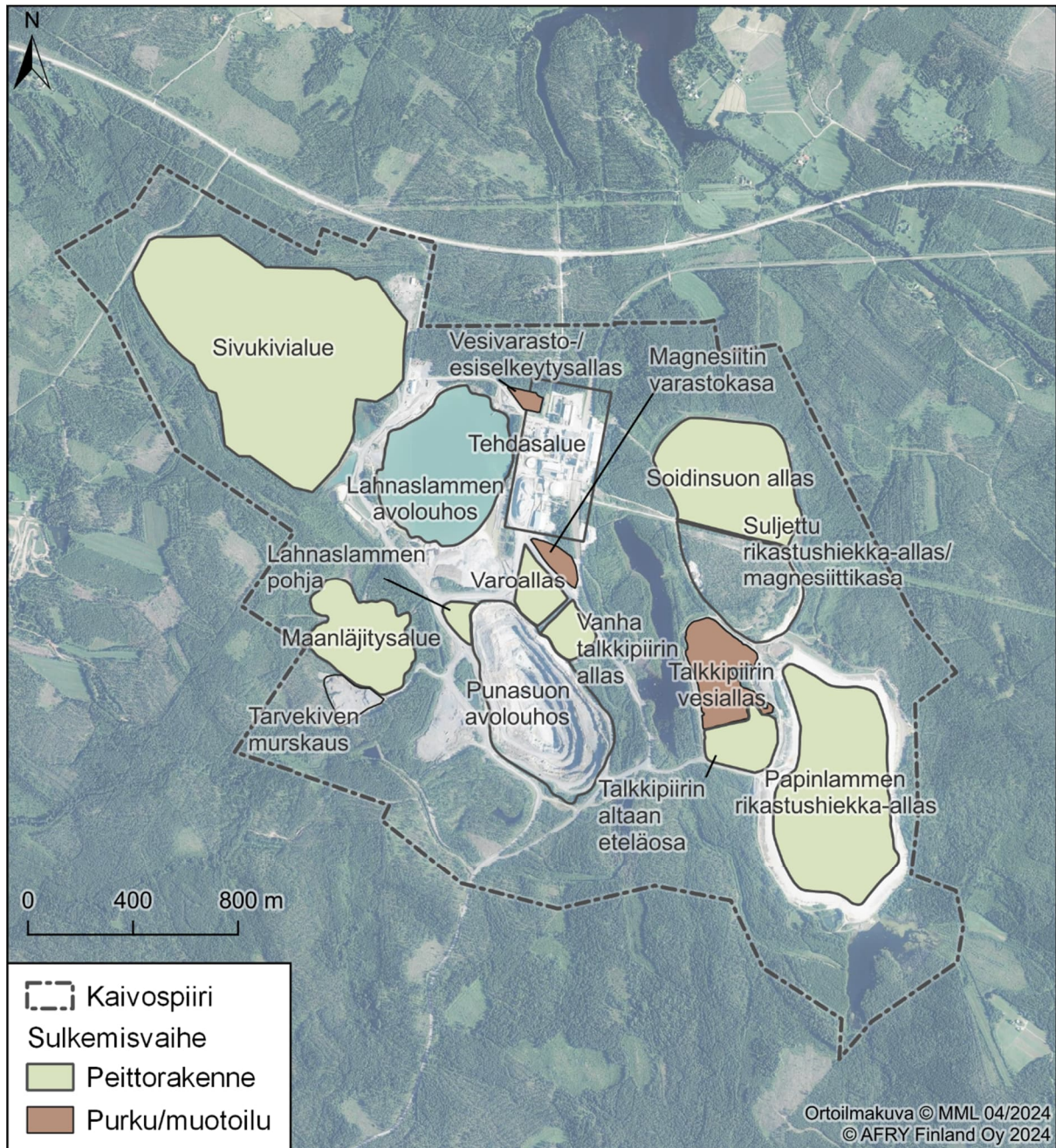
1 Johdanto

1.1 Työn sisältö

Tämä raportti on AFRY Finland Oy:n laatima ja käsittelee Elementisin Sotkamon kaivosalueen kaivannaisjätealueilla muodostuvien suotovesien, sekä Lahnaslammen louhosjärven veden koostumusta kaivoksen toiminnan aikana ja sulkemisen jälkeen. Raportti esittää tietoja rajoitetusti perustuen YVA:ssa esitettyihin hankesuunnitelmavaihtoehtoihin. Mallinnusten tulosten perusteella voidaan tarkastella vaihtoehtojen ympäristövaikutusten eroja.

Raportissa esitetään uusimpien jätekarakterisointien tuloksia yhteisesti, koska näitä käytetään kaikissa mallinnuksissa, ne eivät muutu hankevaihtoehdon mukana. Kunkin hankevaihtoehdon alla esitetään vaihtoehdon mallintamiseksi koostetut lähtötiedot ja niiden konseptualisointi.

Nykyisen ympäristöluvan mukaisessa sulkemissuunnitelmassa ja vedenlaadun arvioinnissa (AFRY Finland Oy 2024c) käytetty kaivosalue esitetään kuvassa 1-1. Tässä sivukiven läjitysalueen pinta-ala noin 60 hehtaaria, Papinlammen rikastushiekka-altaan pinta-ala on noin 40 hehtaaria ja Punasuon avolouhokseen muodostuvan louhosjärven lopullinen pinta-ala on noin 26 hehtaaria. Lahnaslammen louhosjärven laajuus on nykyisen kaltainen. Hankevaihtoehdot perustuvat näiden kaivoksen toimintojen lisäksi rakennettavien toimintojen vertailuun.



Kuva 1-1. Elementisin Sotkamon kaivosalueella nykyisen ympäristöluvan puitteissa olevat toiminnot (AFRY Finland Oy 2024).

1.2 Arviointimenetelmien kuvaus

Geokemiallisen työn perustana ovat analyysit, joilla on tutkittu sivukivien kokonaiskoostumusta, hapettumisominaisuuksia ja mineralogiaa. Hapettumisominaisuudet perustuvat kosteuskammiokokeisiin. Näiden tietojen sekä teknisten suunnitelmien ja paikallisten luonnonolosuhteiden pohjalta rakennettiin konseptuaaliset mallit, joiden perusteella läjitysalueiden ja louhoksen veden koostumusta arvioitiin geokemiallisen tasapainomallinnuksen avulla. Numeerisessa geokemiallisessa mallinnuksessa käytettiin ohjelmaa Geochemist's Workbench (GWB).

Kosteuskammiokokeilla on tutkittu sivukiven ja rikastushiekan hapettumisominaisuuksia ja pitkäaikaikäkäyttämistä. Jotta laboratorio-olosuhteissa tehtyjen kokeiden tuloksia voitaisiin soveltaa läjitysolosuhteisiin, on laboratoriotulokset muunnettava kenttäolosuhteita vastaaviksi.

Tärkeimpiä huomioonotettavia tekijöitä ovat mm. lämpötilan vaikutus reaktionopeuteen (MEND, 2009), raekoko (Sanchidrian ja Singh 2012) sekä veden kanavoituminen (MEND 1997, 2009).

1.2.1 Kosteuskammiookeet

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

Kosteuskammiooke (ASTM D5744) on pitkäaikainen kineettinen koe, jonka kesto vaihtelee tarpeen mukaan muutamasta kuukaudesta useisiin vuosiin. Kosteuskammiookeessa näytettä altistetaan viikoittain sekä hapettumiselle että vesihuuhtelulle. Ensimmäinen huuhtelu tehdään kokeen alkaessa. Läpivirrannut huuhteluvesi tutkitaan ja tuloksia tarkastellaan aikasarjana. Koko testin aikasarjasta valitaan tiedon käyttökohteen kannalta olennainen jakso. Tässä raportissa esitetään kosteuskammiookeen tulokset (Geochemic Ltd 2025) siltä osin kuin tuloksia oli saatavilla (viikkoon 33 asti). Edellisten mallinnusten (AFRY Finland Oy 2024c) aikaan kosteuskammiookeen tuloksia oli saatavilla vasta 12 viikon ajalta. Mallien päivittäminen on kuvattu kunkin jätealueen tai louhosjärven mallinnuksen kohdalla erikseen.

On muistettava, että kosteuskammiookeen tulos on suotoveden laadunarvioinnin syötetieto, mutta ei koskaan suoraan suotoveden laatu. Kaivannaisjätealueen ja laboratoriokokeen välillä on useita olosuhde-eroja, jotka otetaan huomioon vedenlaadun mallinnuksessa.

1.2.2 Peittorakenteen ominaisuudet

Moreenipeitto

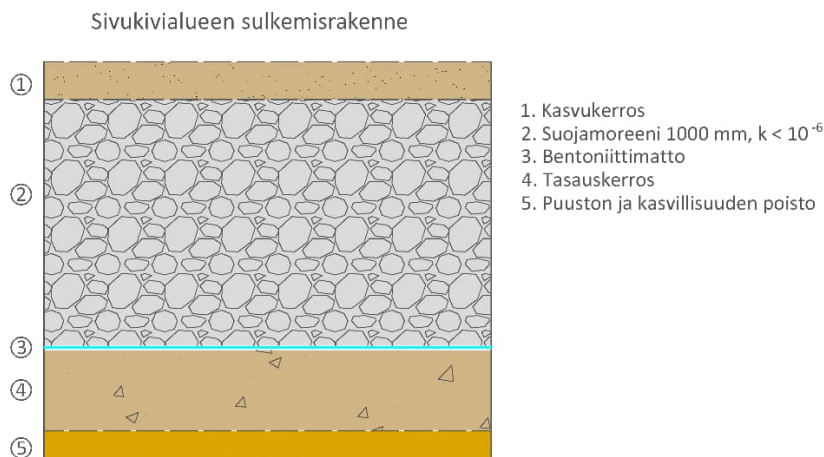
Läjitäsaluuden peittorakenteen veden läpäisyn määrä ja keskimääräinen kosteus on arvioitu HYDRUS 1D-mallilla rikastushiekka-altaalle (AFRY Finland Oy 2024a) ja tavanomaisen sivukiven läjitäsaluudelle (AFRY Finland Oy 2025).

Papinlammen rikastushiekka-altaan peittomoreenin paksuus on 0,7 m ja alapuolisen tiivismoreenin paksuus on 0,3 m. Tavanomaisen sivukiven läjitäsaluuden peittomoreenin paksuus on 0,8 m. Vedenjohtavuudeksi peittomoreenille arvioitiin $1,0 \cdot 10^{-6}$ m/s ja tiivismoreenille $1,9 \cdot 10^{-7}$ m/s. Luvut on määritetty konservatiivisen realistisiksi alueen moreenitutkimuksiin perustuen.

Peittorakenteen mallinnuksen (AFRY Finland Oy 2024a) perusteella rikastushiekka-altaan peittorakenteen tiiviskerroksen keskimääräinen kosteus on 91 %. Happivuo laskettiin olettaen peittorakenteen kosteuden olevan mallinnustulosten 10. persentiili eli 10 % tuloksista on tämän luvun alapuolella (kosteus 85 %). Kosteudesta 85 % laskettiin happivuoksi $3 \text{ mol/m}^2/\text{vuosi}$ alla olevan kaavan avulla (kts kohta happivuo). Tavanomaisen sivukiven läjitäsaluuden peittorakenteen keskimääräinen kosteus peittomoreenin alaosassa on 76 %. Kosteuden perusteella happivuoksi laskettiin $16 \text{ mol/m}^2/\text{vuosi}$.

Bentoniittimatto

Rikkipitoisen sivukiven läjitäsaluuden peittorakenteeksi oletettiin vastaava kuin nykyiselle sivukivialuudelle suunniteltu eli bentoniittimatto, jonka päällä on 1,0 m paksu suojamoreenikerros (Kuva 1-2). Yläpuolinen suojamoreeni ylläpitää bentoniittimaton kosteutta ja estää routimista.



Kuva 1-2. Sivukivialueen sulkemisrakenne.

Nykyinen sivukivialue on tällä hetkellä peitetty noin metrin paksuisella kerroksella tasalaatuista moreenia, jonka vedenjohtavuus vaihtelee välillä $7,6 \times 10^{-8} \dots 1,1 \times 10^{-6}$. Peittorakennetta tullaan parantamaan lähivuosina em. tiivisrakenteella ja tämä on huomioitu YVA hankevaihtoehtoja tarkastellessa.

Bentoniittimaton vedenjohtavuutena käytettiin bentoniitin laskennallista vedenjohtavuutta 1×10^{-9} m/s sekä tavoitteellista happivuota $3 \text{ mol/m}^2/\text{a}$, jota voidaan kokemukseräisesti pitää varovaisena minimisuorituskykyyn perustuvana arviona tämäntyyppiselle rakenteelle.

Happivuo

Sivukivialueiden ja rikastushiekka-altaan päälle asennettava peittorakenne rajoittaa happivuota läjitykseen ja siten rajoittaa hapettumisreaktioita. Happivuo laskettiin peittorakenteille kullekin erikseen käyttäen alla olevia yhtälöitä:

$$F = D_{eff} \frac{\Delta C}{\Delta z}$$

jossa F = happivuo $\text{mol m}^{-2} \text{ a}^{-1}$

D_{eff} = efektiivinen diffuusiokerroin

ΔC = happikonsentraation ero ilmassa ja vähähappisessa tilassa
 (8 mol m^{-3})

Δz = peittorakenteen paksuus

ja $D_{eff} = \tau D_a (1 - S_w)^\alpha - \tau S_w \frac{D_w}{K_h}$

jossa τ = mutkittelevuuskerroin (0.273 ± 0.08)

D_a = diffuusiokerroin ilmassa ($1.78 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$)

S_w = vesipitoisuus

α = kokeellinen kerroin (3.26 ± 0.4)

D_w = veden diffuusiokerroin ($2.1 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$)

K_h = Henryn vakio hapelle (25 kun $t = 10^\circ \text{C}$)

(vakiot α ja τ lähteestä Reardon ja Moddle 1985)

2 Mallinnuksessa käytettävät lähtötiedot

Raportissa ei toisteta sulkemissuunnittelua varten tehdyn vedenlaatumallinnuksen (AFRY Finland Oy 2024c) tuloksia vaan pääpaino on uusissa ja täydentävissä tuloksissa.

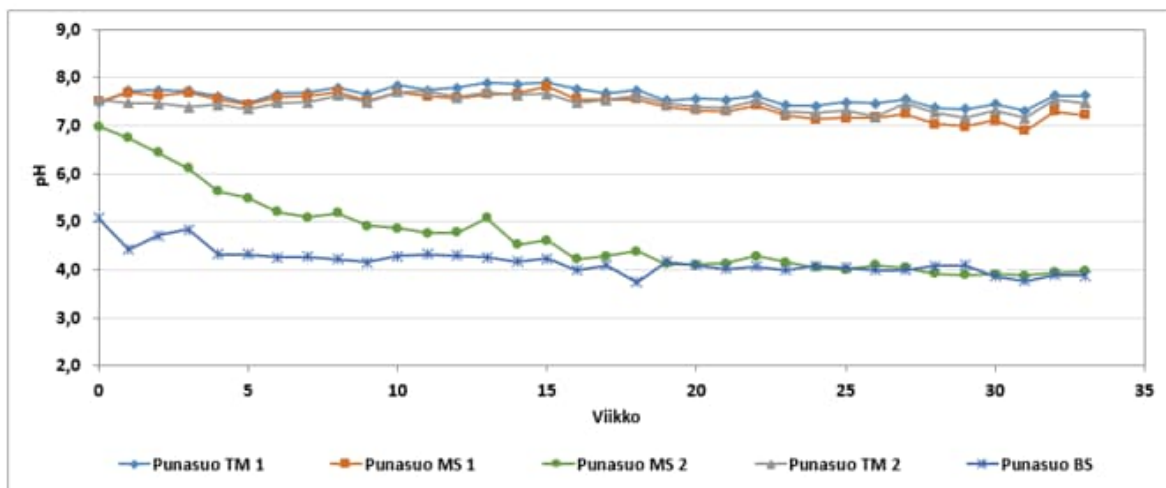
2.1 Kosteuskammiokoekiden tulokset

Sivukivien pitkäaikaiskäyttäytymistä tutkitaan kosteuskammiokoekilla (Geochemic Ltd 2025). Kosteuskammiokoeket on aloitettu kesällä 2024. Näytevalinta perustui kairasydänaineistoon. Näytteet valittiin siten, että analyysituloksia voidaan luotettavasti käyttää edustamaan kutakin kivilajia. Kosteuskammiokoekissa mustaliusketta edustaa vain yksi näyte, sillä mustaliuskenäytteet vastasivat laadultaan toisiaan ja kaikki mustaliuske läjitetään rikkipitoisen sivukiven läjitysalueelle. Kiilleliuske- ja talkkimagnesiittinäytteissä havaittiin kivilajien sisäistä koostumusvaihtelua, ja niistä valittiin kaksi erillistä näytettä per kivilaji. Kumpaakin kivilajia edustaa yksi korkearikkinen näyte ja yksi matalarikkinen näyte (tavanomainen sivukivi). Tulosten tulkinassa on huomioitavaa, että näytteet ovat peräisin vanhoista kairasydännäytteistä, ja näin ollen ne ovat valmiiksi hapettuneita.

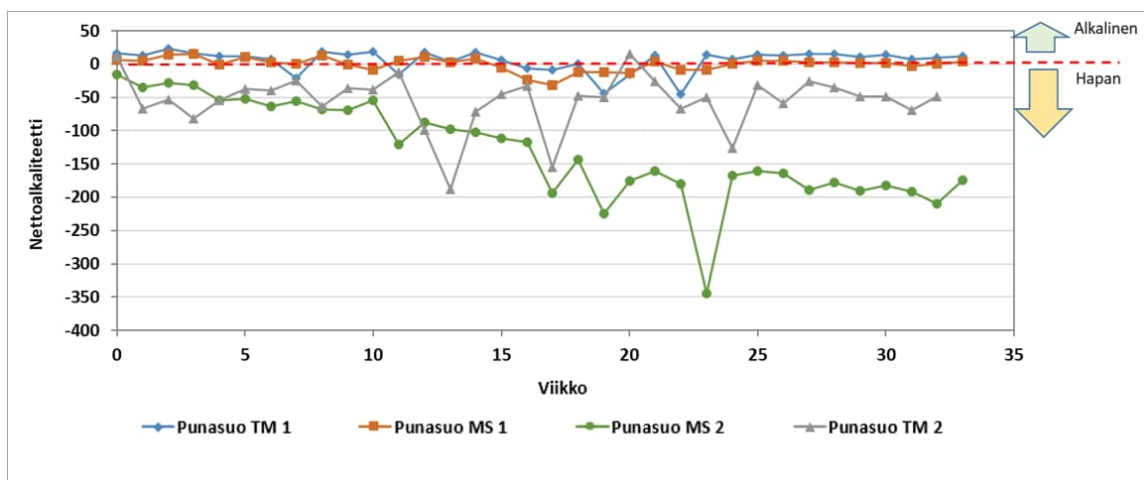
Mallinnusten aikaan kosteuskammiokoekiden tuloksia oli käytettävissä ensimmäisten 32 viikon ajalta. Kuissa 2-1...2-6 on esitetty tulokset pH:n kehityksen, jäljellä olevan nettoalkaliteetin sekä sulfaatin muodostumisen ja nikkelin vapautumisen osalta. Mustaliuskenäytteen ja toisen kiilleliuskenäytteen (MS 2) loppuliuksen pH alenee heti ensimmäisten viikkojen aikana, joskin mustaliuskeen pH on jo alkuun matala. Muiden näytteiden pH pysyttelee neutraalina koko jakson ajan (Kuva 2-2). Matalarikkisten kiilleliuske- ja talkkimagnesiittinäytteiden nettoalkaliteetti on pysynyt pääosin alkalisen puolella (Kuva 2-2). Korkearikkisten kiilleliuske- ja talkkimagnesiittinäytteiden nettoalkaliteetti taas on selvästi hapan eli negatiivinen. Negatiivinen nettoalkaliteetti tarkoittaa, ettei näytteessä ole happamoitumista puskuroivia aineita. Mustaliuskeen nettoalkaliteetti on edellä mainittuihin verraten vielä huomattavasti alhaisempi (Kuva 2-3).

Sulfaatin muodostuminen sivukivinäytteissä on ollut mustaliuskenäytettä lukuun ottamatta maltillista (Kuva 2-4). Talkkimagnesiitista (TM 2) liukeni sulfaattia alkuhuuhtelussa, mikä on todennäköisesti seurausta koekista edeltävästä hapettumisesta kairasydänten varastoinnin aikana. Toistaiseksi vain mustaliuskeessa on havaittavissa sulfidimineraalien hapettumista. Mineralogian perusteella sulfidimineraaleja esiintyy kuitenkin myös muissa sivukivissä, eli hapettumista voidaan olettaa jossain vaiheessa tapahtuvan. Talkkimagnesiitissa on runsaasti happamuutta puskuroivia mineraaleja, ja neutralointipotentiaalista on kulunut vasta pieni osuus (Kuva 2-5). Kiilleliuskenäytteissä neutralointipotentiaalia on jäljellä vielä noin 70–80 %, kun taas mustaliuskenäytteen neutralointipotentiaali on kulunut loppuun jo viikolla 25.

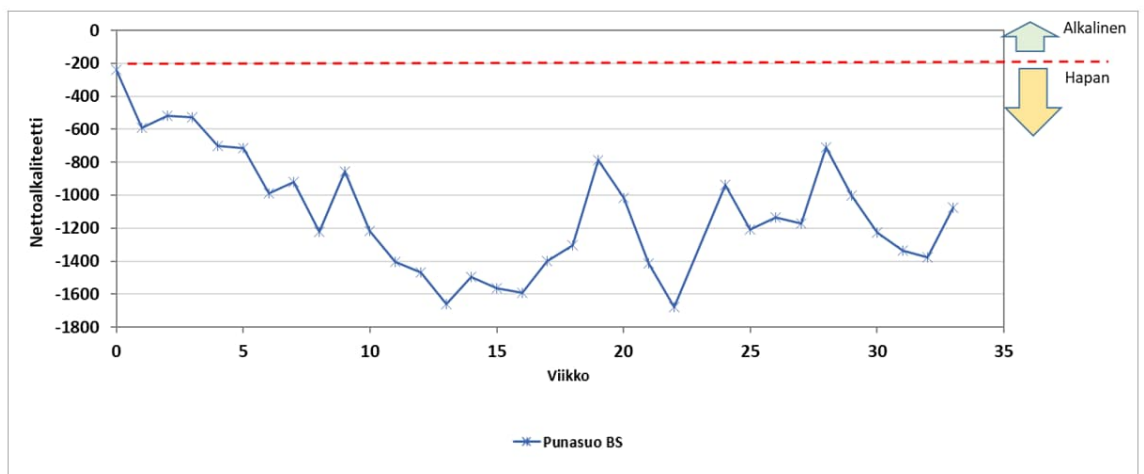
Nikkeliä vapautuu erityisesti mustaliuskeesta (Kuva 2-6), minkä lisäksi vapautuminen on suhteellisen suurta myös toisesta talkkimagnesiittinäytteestä (TM 2) ja toisesta kiilleliuskenäytteestä (MS 2). Kokeen 32. viikolla mustaliuskeesta vapautui nikkeliä 34 mg/kg/vk. Vastaavasti talkkimagnesiitista vapautui 0,45 mg/kg/vk ja kiilleliuskeesta 0,30 mg/kg/vk.



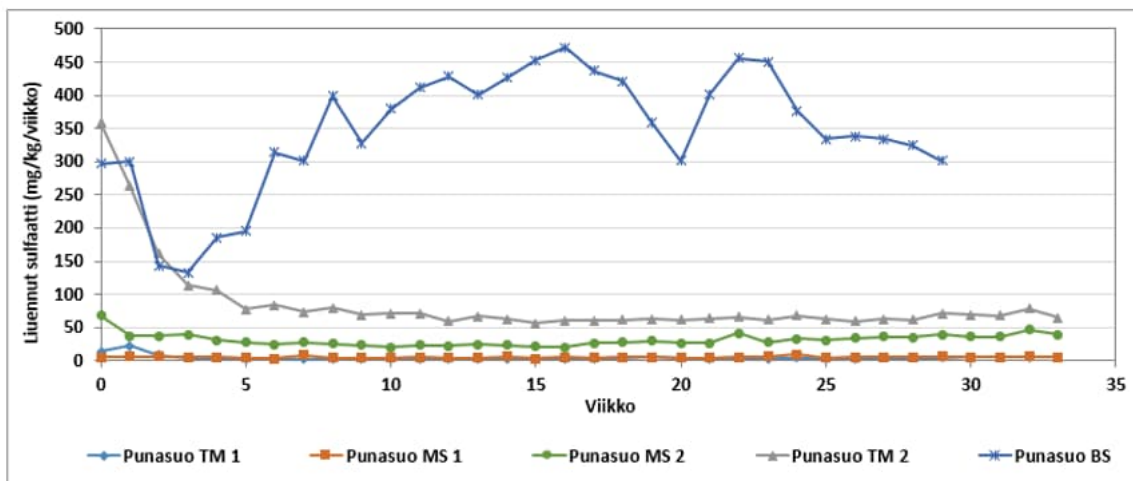
Kuva 2-1. Kosteuskammiokekeen tulokset pH-kehityksen osalta (Geochemic Ltd 2025). Kuvaajassa käytetyt Punasuon sivukivinäytteiden lyhenteet ovat TM = talkkimagnesiitti, MS = kiilleliuske ja BS = mustaliuske.



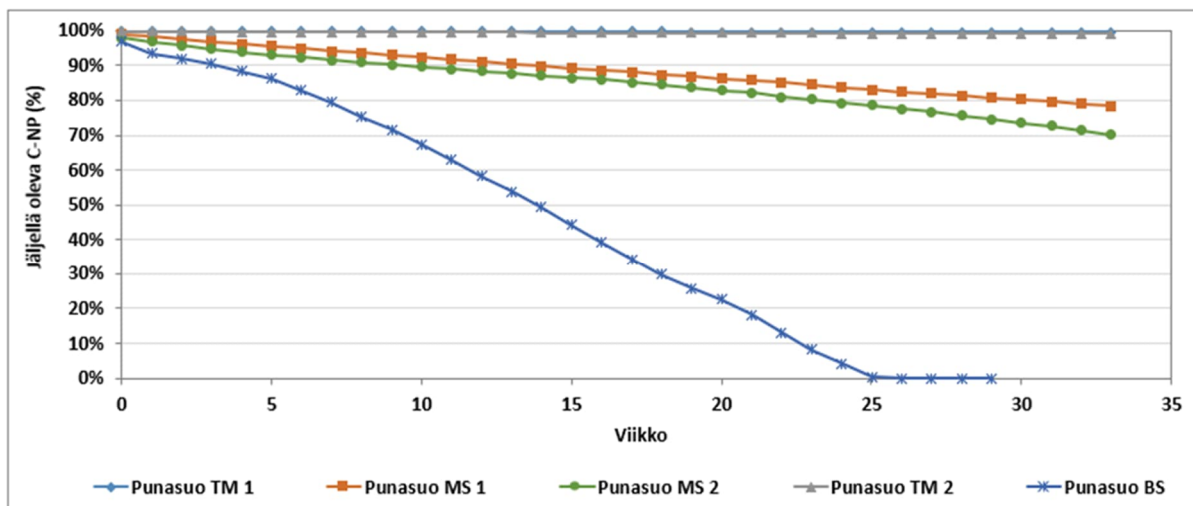
Kuva 2-2. Sivukivien kosteuskammiokekeen nettoalkaliteetti (Geochemic Ltd 2025). Kuvaajassa käytetyt Punasuon sivukivinäytteiden lyhenteet ovat TM = talkkimagnesiitti, MS = kiilleliuske.



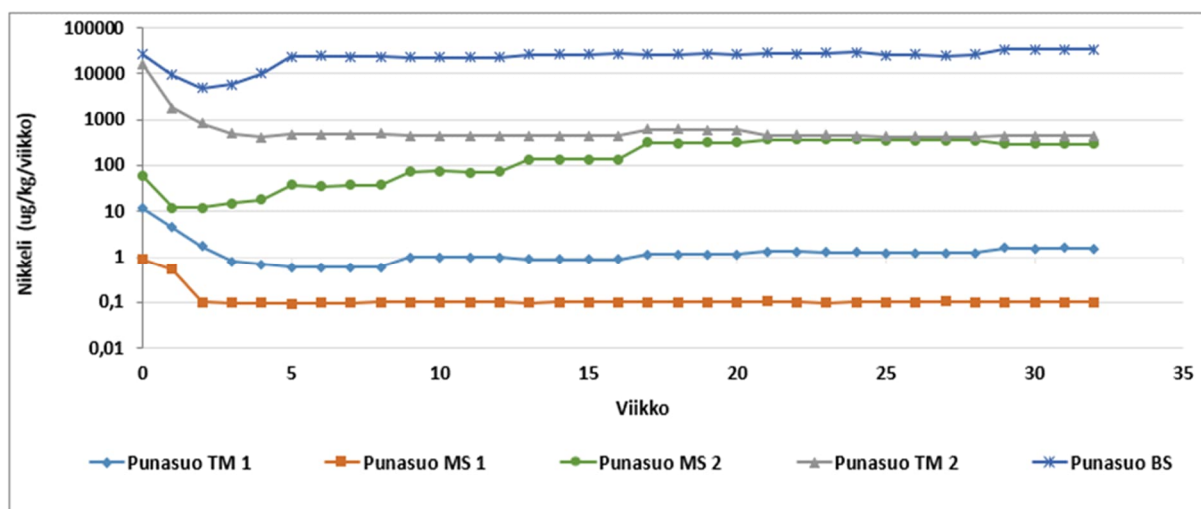
Kuva 2-3. Mustaliuskeen kosteuskammiokekeen nettoalkaliteetti (Geochemic Ltd 2025). Kuvaajassa käytetty Punasuon sivukivinäytteen lyhenne on BS = mustaliuske.



Kuva 2-4. Sulfaatin muodostuminen sivukivien kosteuskammiokeessa (Geochemic Ltd 2025). Kuvaajassa käytetyt Punasuon sivukivinäytteiden lyhenteet ovat TM = talkkimagnesiitti, MS = kiilleliuske ja BS = mustaliuske.



Kuva 2-5. Jäljellä oleva neutralointipotentiaali Punasuon louhoksen sivukivien kosteuskammiokeessa (Geochemic Ltd 2025). Kuvaajassa käytetyt Punasuon sivukivinäytteiden lyhenteet ovat TM = talkkimagnesiitti, MS = kiilleliuske ja BS = mustaliuske.



Kuva 2-6. Kosteuskammiokekeen tulokset nikkelin vapautumisen osalta. Kuvaajassa käytetyt Punasuon sivukivinäytteiden lyhenteet ovat TM = talkkimagnesiitti, MS = kiilleliuske ja BS = mustaliuske

2.2 Ylösvirtauskolonnikokeen tulokset

Ylösvirtauskolonnikokeessa näyte pakataan muoviseen lieriöön (rikastushiekalle läpimitta 5 cm, sivukivelle 10 cm). Kolonnin läpi johdetaan vettä vakiovirtaamalla, jonka koostumus mitataan määrätyn väliajoin ja pitoisuudet esitetään sen hetkinen [neste]:[kiinteä aine] -suhteen ($m_{\text{vesi}}/m_{\text{näyte}}$) mukaan. Kokeessa näyte saturoituu vedellä eli tulos kuvastaa näytteestä vapautuvaa kuormitusta vedenkylästämissä olosuhteissa ja huuhtoutumisen edetessä.

Sivukivinäytteistä kerättiin testausta varten komposiittinäyte (3,45 kg), joka edustaa Punasuon louhoksesta louhittavan sivukiven kivilajijakaumaa. Taulukossa (Taulukko 2-1) esitetään Punasuon louhoksen sivukivien jakauma, sekä kivilajijakauma olettaen että epäpuhdas talkkimagnesiitti läjitetään sivukivialueelle. Kolonnikokeen osanäytteet valittiin edustamaan tulevaisuudessa mahdollisesti Lahnaslampeen läjitettävää sivukivijäätta. Sivukiven kosteus oli alussa 0 %.

Taulukko 2-1. Sivukivien kivilajijakauma kolonnikokeen komposiittinäytteessä, Punasuon avolouhoksesta louhittavassa sivukivessä keskimäärin, sekä olettaen, että epäpuhdasta talkkimagnesiittia ei läjitetä Lahnaslammen louhosjärveen.

Kivilajijakauma	Kolonnikoe	Punasuon louhoksen arvio	Punasuon arvio ilman epäpuhdasta talkkimagnesiittia
	%	%	%
Kiilleliuskeet	48	31	40
Mustaliuskeet	16	10	13
Talkkimagnesiitti	35	32	41
Serpentiinibrekcia		4	6
Epäpuhdas talkkimagnesiitti (karsikivet, grafiittiliuske)		22	

Rikastushiekasta otettiin näyte edustamaan Lahnaslampeen mahdollisesti läjitettävää materiaalia. Näytteen märkäpaino oli 1,19 kg, josta huokosvettä oli 19 g eli alkuperäinen kosteus oli noin 19 %.

Ylösvirtauskolonnikokeen tulokset kaikkien mallinnuksessa käytettävien parametrien osalta esitetään taulukossa 2-2. Taulukossa esitetään kumulatiivinen koetulos kokeen vaiheessa 4 (eli $m_{\text{vesi}}/m_{\text{näyte}}$ ollessa noin 1:1), sekä koevaiheessa 7 eli kokeen lopussa (eli $m_{\text{vesi}}/m_{\text{näyte}}$ ollessa noin 1:10). Tulokset esitetään näytteestä kumulatiivisesti huuhtoutuneena määränä (mg/kg). Taulukossa 2-2 esitetään myös vaiheeseen 4 mennessä kumulatiivisesti huuhtoutuneen massan suhde kumulatiiviseen huuhtoutuneeseen massa kokeen lopussa (vaihe 7). Tulos 50 % osoittaa, että [neste]:[kiinteä aine] -suhteessa 1:1 puolet koko kokeen aikana huuhtoutuneesta massasta on huuhtoutunut. Tyypillisesti huuhtoutuminen vähenee kohti kokeen loppua. Rikastushiekan osalta tavanomaisesta poikkeavasti käyttäytyviä alkuaineita ovat As, Sb ja W. Ympäristöarvioinnin kannalta erityistä huomiota tulisi kiinnittää arseeniin, jonka liukenemiskäyttäytymiseen liittyy epävarmuuksia ja pitoisuudet ovat kohtuullisen korkeita.

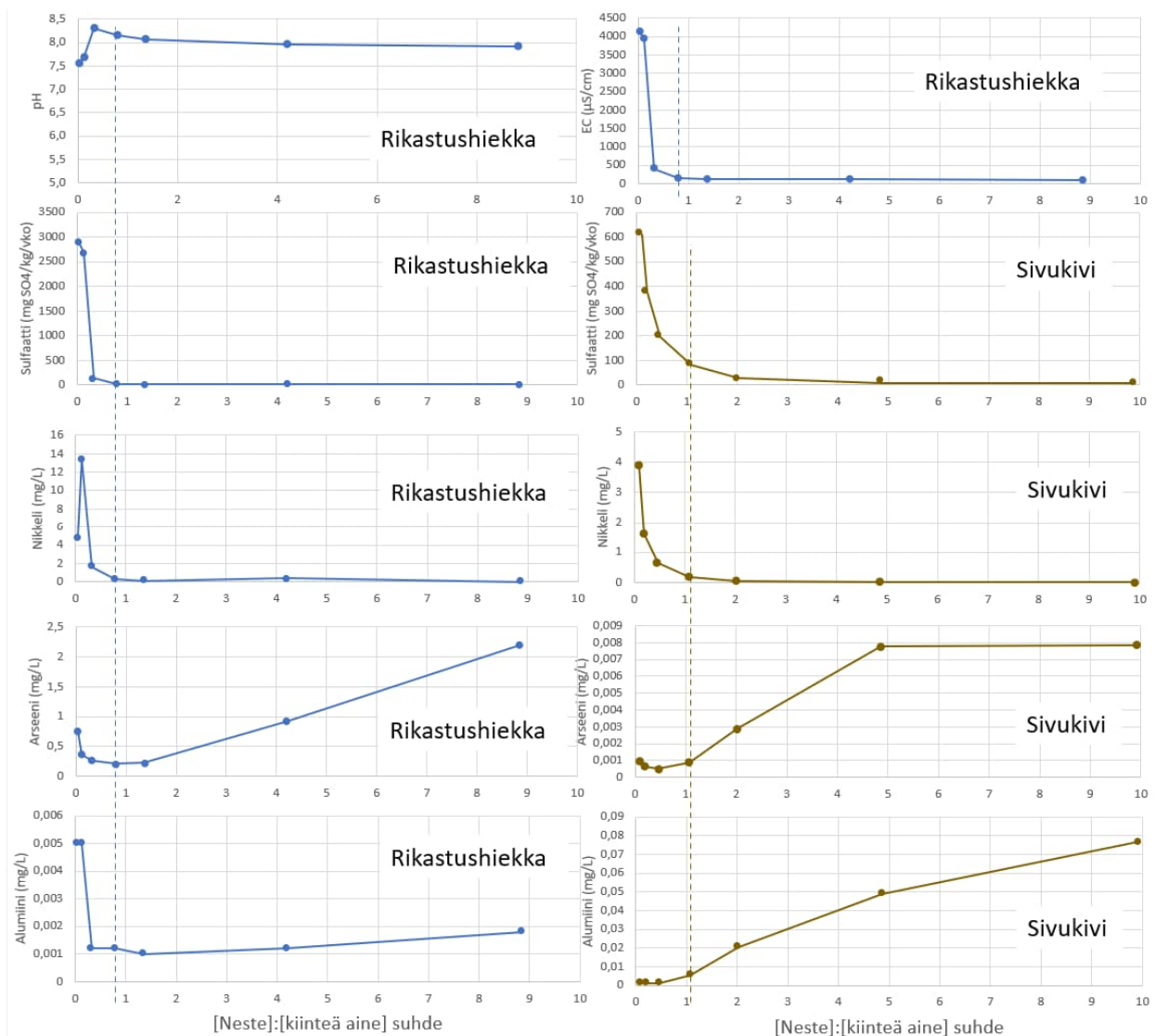
Kuvassa 2-7 esitetään joidenkin parametrien muutos kokeessa muodostuvassa liuoksessa kokeen edetessä (eli $m_{\text{vesi}}/m_{\text{näyte}}$ suhteen kasvaessa). On huomioitava, että alussa nestemäärät ovat hyvin pieniä, joten pitoisuuksia ei voi suoraan tulkita massoiksi. Suurin osa alkuaineista käyttäytyy kuten sulfaatti ja nikkeli sivukivessä (Kuva 2-7) eli suurin osa huuhtoutuvasta määrästä on poistunut jo $m_{\text{vesi}}/m_{\text{näyte}}$ suhteen ollessa noin 1. Mikäli aineen analyttinen määrittäysraja on korkea, voi taulukossa 2-2 esitettävät prosentuaaliset luvut näyttää pieniltä, koska pitoisuus on pysynyt lähes samana koko kokeen ajan (esim. joitain alkuvaiheita lukuun ottamatta). Näillä alkuaineilla ei ole ympäristöarvion kannalta merkitystä, koska pitoisuudet ovat niin pieniä (esim. Pb, Ag, Sn, Cr ja V).

Sivukiven ja rikastushiekan kuvaajat olivat samantyyppisiä pH:n osalta, joten tulos esitetään vain rikastushiekalle. Sähkönjohtavuus (EC) kuvastaa liuoksen kokonaisionivahvuutta, joka pienenee

huomattavasti huuhtoutumisen edetessä. Sivukiven kolonnikokeessa sähkönjohtavuus oli alussa n. 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ eli selkeästi pienempi kuin rikastushiekassa ($\sim 4200 \mu\text{S}/\text{cm}$). Useat muut parametrit käyttäytyivät samoin. Pienempi raekoko lieene suurin syy rikastushiekasta huuhtoutuvan aineksen suurempaan määrään verrattuna sivukiveen. Sulfaatin pitoisuus on merkittävin yksittäinen kokonaissuolaisuutta nostava parametri. Yli 90 % sulfaattikuormituksesta on huuhtoutunut jo $m_{\text{vesi}}/m_{\text{näyte}}$ -suhteessa 1:1. Nikkelipitoisuus on rikastushiekan kolonnikokeessa alhainen ensimmäisessä vaiheessa, nousee toisessa vaiheessa ja sitten laskee matalalle tasolle (0,04-0,39 mg/l).

Arseeni on tärkein poikkeuksellisesti käyttäytyvä alkuaine. Arseenin kehitys on hieman erilainen rikastushiekassa ja sivukivessä, mutta kummassakin huuhtoutumisen pääjakso alkaa vasta $m_{\text{vesi}}/m_{\text{näyte}}$ -suhteen 1:1 jälkeen. Alumiinilla nähdään samantyyppinen trendi, mutta myös ero rikastushiekan ja sivukiven käyttäytymisen välillä. Kasvava vapautuminen on mahdollista rikastushiekassa ja sivukivissä myös antimonin ja volframin osalta, sekä vain sivukivissä molybdeenin osalta.

Rikastushiekan arseenista on poistunut noin 5 mg/kg $m_{\text{vesi}}/m_{\text{näyte}}$ -suhteessa 9:1. Kolonnikokeessa olleen rikastushiekanäytteen kokonaisarseenipitoisuus on 130 mg/kg (joka on jätetarkkailun tulosten perusteella hieman keskimääräistä pitoisuutta korkeampi) eli kolonnikokeen lopussa vain pieni osa kokonaisarseenipitoisuudesta on huuhtoutunut. Tulosten perusteella ei siis tiedetä varmasti miten lisääntyvä laimeneminen tulisi vaikuttamaan arseenin huuhtoutumiseen. Tulosten käytön näkökulmasta epävarmuus kohdistuu Lahnaslammen louhosjärven vedenlaatuun.



Kuva 2-7. Joidenkin parametrien muutos ylösvirtauskolonnikokeessa [neste]:[kiinteä aine] -suhteen kasvaessa. Tulokset esitetään pitoisuuksina (mg/l). Sinisellä viivalla rikastushiekka ja ruskealla sivukivi. Katkoviiva esittää vaihetta, jonka tulokset esitetään [neste]:[kiinteä aine] -suhteen 1:1 tuloksena.

Taulukko 2-2. Ylösvirtauskolonnikokeen tulokset rikastushiekalle ja sivukivelle. Tulokset ovat kumuloituneita massan huuhtoutumisen määriä (mg/kg) tiettyyn [neste]:[kiinteä aine] -suhteeseen mennessä. Kahdessa oikeanpuoleisimmassa sarakkeessa esitetään, kuinka suuri osuus aineesta on poistunut neste:kiinteä aine -suhteessa 1:1 verrattuna kokeen loppuun. Pieni lukuarvo indikoi poikkeavaa käyttäytymistä, erityisesti mikäli havaintoraja ei tasaa tulosta kokeen aikana.

		Sivukivi	Sivukivi	Rikastus- hiekkä	Rikastus- hiekkä	Sivukivi	Rikastus- hiekkä
	yksikkö	~1:1	~10:1	~4:5	~9:1	1 / 10 (%)	1 / 10 (%)
Ag	mg/kg	0,000023	0,000041	0,000072	0,00011	56	65
Al	mg/kg	0,0029	0,096	0,0047	0,0096	3	49
As	mg/kg	0,00072	0,012	0,63	5	6	13
B	mg/kg	0,013	0,031	0,063	0,099	42	64
Ba	mg/kg	0,023	0,033	0,013	0,016	70	81
Be	mg/kg	0,0001	0,00028	0,0002	0,00056	36	36
Ca	mg/kg	54	68	120	140	79	86
Cd	mg/kg	0,000058	0,000068	0,000075	0,000093	85	81
Cl	mg/kg	0,11	0,2	0,07	0,25	55	28
Co	mg/kg	0,011	0,011	0,074	0,079	100	94
Cr	mg/kg	0,0005	0,0014	0,0022	0,004	36	55
Cu	mg/kg	0,00044	0,0008	0,00088	0,0016	55	55
F	mg/kg	1,4	2,3	0,7	2,5	61	28
Fe	mg/kg	0,098	0,12	0,044	0,08	82	55
HCO ₃ ⁻	mg/kg	64	300	59	450	21	13
Hg *	mg/kg	0,000005	0,000014	0,00001	0,000028	36	36
K	mg/kg	12	16	12	14	75	86
Li	mg/kg	0,0041	0,0059	0,0064	0,01	69	64
Mg	mg/kg	37	45	400	440	82	91
Mn	mg/kg	0,94	0,98	0,42	0,46	96	91
Mo	mg/kg	0,00074	0,0022	0,03	0,038	34	79
Na	mg/kg	5,8	6,5	11	11	89	100
Ni	mg/kg	0,98	1	7,5	8,2	98	91
P	mg/kg	0,05	0,14	0,22	0,4	36	55
Pb	mg/kg	0,00005	0,00014	0,00022	0,0004	36	55
Sb	mg/kg	0,003	0,0098	0,04	0,23	31	17
Se	mg/kg	0,014	0,015	0,00024	0,00055	93	44
Si***	mg/kg	2,1	4	4,8	7,9	53	61
Sn	mg/kg	0,00043	0,00063	0,00044	0,0008	68	55
Sr	mg/kg	0,12	0,15	0,24	0,26	80	92
Th	mg/kg	0,0001	0,00028	0,00044	0,0008	36	55
Ti	mg/kg	0,0003	0,00084	0,0013	0,0024	36	54
U	mg/kg	0,00035	0,00039	0,00016	0,00019	90	84
V	mg/kg	0,0005	0,0014	0,0022	0,004	36	55
W	mg/kg	0,0001	0,00029	0,00051	0,0017	34	30
Zn	mg/kg	0,022	0,024	0,026	0,031	92	84
SO ₄	mg/kg	400	440	2000	2100	91	95
NO ₃ -N	mg/kg	0,015	0,026	0,016	0,036	58	44
NH ₄ -N	mg/kg	0,062	0,071	0,007	0,025	87	28

3 Hankevaihtoehto VE0

Hankevaihtoehdossa VE0 toiminta päättyy noin vuonna 2035. Sivukivi läjitetään Lahnaslammen avolouhokseen nykyisen luvan mukaisesti ja rikastushiekka läjitetään Papinlammen rikastushiekka-alueelle (maksimitäyttötasona +190 m).

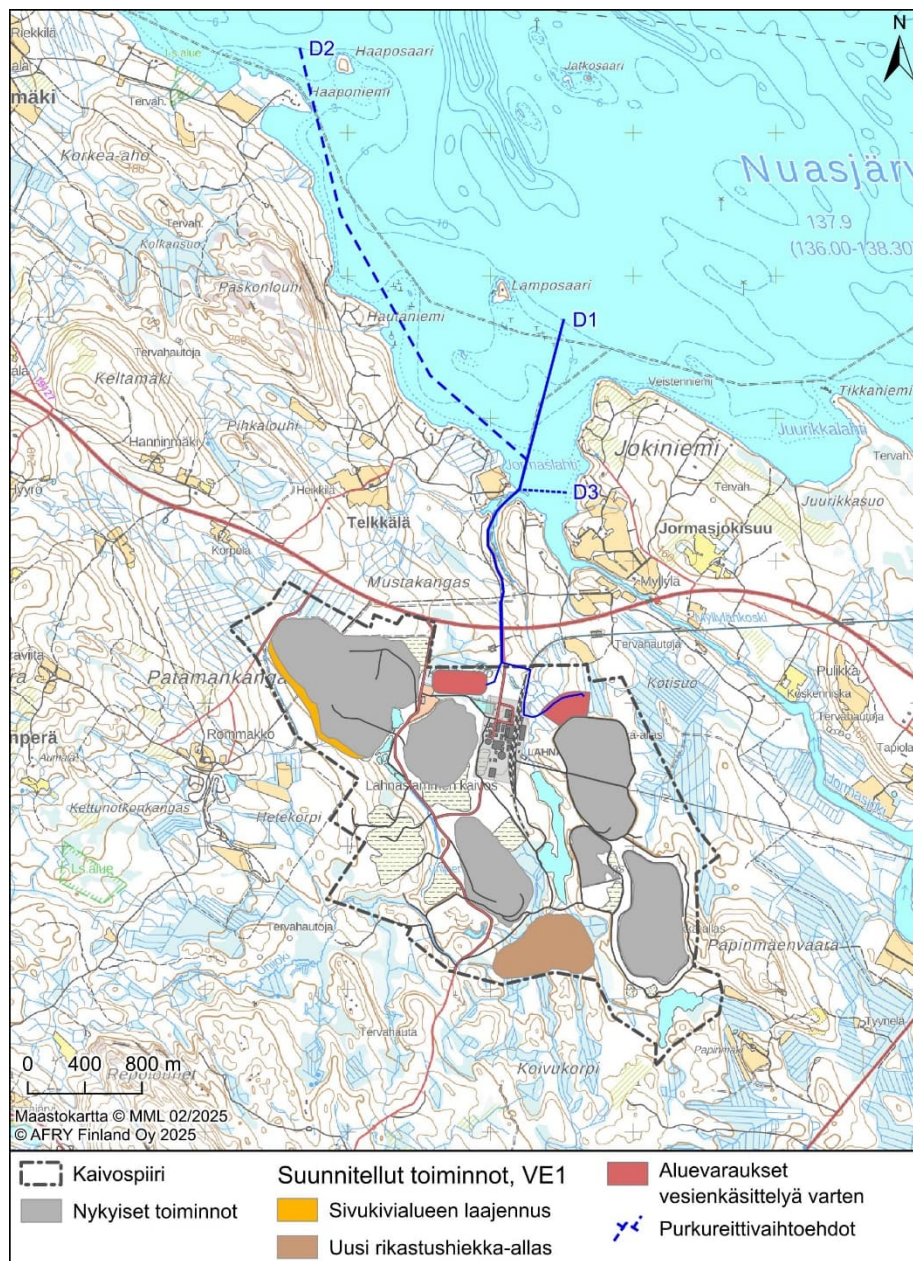
Ainoa merkittävä ero tässä hankevaihtoehdossa verrattuna nykyisiin toimintoihin sulkemisen jälkeisten suotovesien vedenlaatuojen näkökulmasta on mahdolliset sivukiven läjityksen vaikutus Lahnaslammen louhosjärven vedenlaatuun. Sivukiveä on läjitetty Lahnaslammen louhosjärveen vuosina 2010–2023 yhteensä noin 3,3 miljoonaa kuutiometriä. Läjityksellä ei ole havaittu olevan merkittävää vaikutusta louhoksen vedenlaatuun, joten Lahnaslammen vedenlaatuun arvioidaan pysyvän samanlaisena kuin nykyisin. Louhoksen täyttyessä sivukivellä sen vesimäärä pienenee, joten samalla sivukivimäärällä on suhteellisesti suurempi vaikutus louhoksen vedenlaatuun. Tällä on pitoisuuksia nostava vaikutus. On kuitenkin huomioitava, että nykyiseltä sivukivialueelta tuleva kuormitus pienenee uuden peittorakenteen vuoksi, ja Punasuon louhoksen kuivatuspumppauksen johtaminen Lahnaslampeen lopetetaan. Näiden toimintojen seurauksena kuormitus Lahnaslampeen pienenee, ja mahdollisesti jopa ylikompensoi läjityksen aiheuttamaa pitoisuuksien kasvua. Kuten taulukosta 2-2 huomataan, sivukivistä huuhtoutuu huomattavasti vähemmän aineita verrattuna rikastushiekkaan. Vertailussa pitää myös huomioida, että kolonnikokeessa sivukivi on murskattu pienemmäksi kuin todellinen sivukiviläjitys, joten koe yliarvioi mahdollisesti vapautuvaa kuormitusta. Sivukiviläjityksen tapauksessa pitoisuudet ovat pienempiä myös prosessiveden puuttumisen takia verrattuna rikastushiekan läjitykseen Lahnaslampeen.

4 Hankevaihtoehto VE1

4.1 Hankevaihtoehtojen kuvaus

Hankevaihtoehtojen VE1 toiminta jatkuu noin 20 vuoden ajan vuosina 2030–2049. Nykyistä sivukivialuetta korotetaan tasoon +240 m ja laajennetaan 5 hehtaaria. Jakson alussa rikastushiekkaa läjitetään yhtä aikaa Lahnaslammen louhosjärveen (80 % kokonaismassasta) ja uudelle pienelle rikastushiekka-altaalle (20 % kokonaismassasta). Oletuksena on, että Papinlammen rikastushiekka-allas on täyttynyt nykyisen luvan mukaiselle tasolle (+190 m). Rikastushiekkaa voidaan läjittää Lahnaslampeen noin 15–16 vuotta, jonka jälkeen Lahnaslammen louhos on täynnä siten, että louhosjärven pinnalla on vähintään 4 m paksu vesipatja läjityksen yläpinnantason yläpuolella. Tämän jälkeen rikastushiekkaa läjitetään ainoastaan uudelle pienelle rikastushiekka-altaalle.

Kuvassa 4-1 esitetään hankevaihtoehtojen VE1 olevat toiminnot ja niiden sijoittuminen kaivosalueella.



Kuva 4-1. Suunnitellut toiminnot hankevaihtoehtojen VE1.

4.2 Sivukivi

4.2.1 Sivukivialueen laajennuksen tekniset suunnitelmat

Nykyisen sivukivialueen alle ei ole alun perin tehty erityistä pohjarakennetta, vaan pohja muodostuu huonosti vettä läpäisevästä luonnonmoreenista. Sivukivialueen laajentuessa nykyinen sivukivialue peitetään tiiviillä peittorakenteella (bentoniittimatto + suojamoreeni). Ko. peittorakenne muodostaa alueen korotuksena läjitettävän sivukiven pohjarakenteen. Sivukivialueen alle tehdään nykyisten vaatimusten mukaisesti rakenne käyttäen HDPE-kalvoa tai bentoniittimattoa tai tarvittaessa monikerrosrakennetta. Tässä raportissa on oletettu, että sulkemisvaiheessa sivukivialue peitetään jälleen bentoniittimattolla, joka suojataan suojamoreenilla (1000 mm, $k < 10^{-6}$ m/s).

Läjitettävä sivukivimäärä on 24 milj. tonnia. Tiheydellä $1,8 \text{ t/m}^3$ laskettuna sivukiven tilavuudeksi saadaan 13,3 milj. m^3 . Läjitettävästä sivukivestä noin 5,9 milj. tonnia muodostaa läjitysalueen laajennuksen ja 18 milj. tonnia läjitetään nykyisen sivukivialueen päälle.

4.2.2 Arvio laajennuksen vaikutuksesta sivukivialueen suotoveteen

Sivukivialueen laajennuksen ja korotuksen jälkeistä suotoveden koostumusta ei mallinnettu. Läjitettävät sivukivet ovat ominaisuuksiltaan hyvin samankaltaisia kuin nykyisellä sivukivialueella olevat kivet, ja läjitettävä määrä (24 Mt) vastaa suunnilleen nykyistä kasalla olevaa määrää (29 Mt), joten suotoveden oletetaan muodostuvan jokseenkin nykyisen kaltaiseksi. Muodostuvan suotoveden laatuun vaikuttaa kuitenkin myös muut tekijät kuin sivukiven kokonaismäärä. Merkittävimpiä tekijöitä käydään läpi alla olevissa kappaleissa.

Läjitettävä sivukivimäärä on hieman pienempi kuin kasalla nyt oleva sivukivimäärä, ja se sijoittuu hieman suuremmalle alalle, jolloin vesi-kiintoaine -suhde muodostuu hieman suuremmaksi kuin nykyisellä sivukivialueella. Tällöin hapettumis-/rapautumistuotteet liukenevat suurempaan määrään vettä. Lähtökohtaisesti vesi-kiintoaine -suhteen suurenemisella on pitoisuuksia pienentävä vaikutus.

Muodostuvaan vedenlaatuun vaikuttaa lisäksi mm. läjitettävän kiven kivilajijakauma, erityisesti sulfidisten tai happoa tuottavien kivien määrä suhteessa ei-sulfidisiin tai suuren neutralointikapasiteetin omaaviin kiviin. Nykyiselle sivukivialueelle jo läjitettyjen kivien ja hankevaihtoehdossa VE1 alueelle läjitettävien kivien kivilajijakauman vertailu esitetään taulukossa 4-1. Hankevaihtoehdossa VE1 sivukivialueelle läjitettävistä kivistä huomattavasti pienempi osa (15 % kokonaismassasta) on mustaliuskeita verrattaessa nykyisellä alueella olevaan mustaliuskeen osuuteen (59 % kokonaismassasta). Mustaliuske on Punasuon louhoksen kivistä selvästi eniten happoa muodostava (Taulukko 4-2), minkä lisäksi mustaliuskeen kadmium-, kupari-, lyijy-, antimoni-, vanadiini- ja sinkkipitoisuudet ovat sivukivissä korkeimpia (Taulukko 4-3). Näiden aineiden pitoisuudet voivat jäädä pienemmiksi uuden sivukiven läjityksen suotovedessä. Toisaalta talkkimagnesiitin ja serpentiinibreksian osuuden kasvaessa suotoveteen saattaa vapautua enemmän arseeni ja nikkeliä. Pitoisuus suotovedessä riippuu kuitenkin myös aineiden esiintymismuodosta, muodostuvan veden pH:sta sekä rautapitoisuudesta. Näillä on suora vaikutus sorptiokykyisten sekundäärimineraalien muodostumiseen ja metallien pidättymiseen. Neutraalin, metallipitoisen valuman mahdollisuutta ei voida poissulkea, vaikka uudessa läjityksessä on selvästi enemmän suuremman neutralointikapasiteetin kiviä kuin nykyisellä alueella.

Taulukko 4-1. Nykyiselle sivukivialueelle läjitettyjen sekä hankevaihtoehtossa VE1 läjitettävien sivukivien kivilajikohtaiset määrät ja osuus kokonaismassasta.

Kivilaji	Läjitetty sivukivi		Läjitettävä sivukivi (VE1)	
	Massa (Mt)	% -osuus	Massa (Mt)	% -osuus
Mustaliuske	17	59 %	3,6	15 %
Kiilleliuske	6	21 %	11	45 %
Talkkimagnesiitit	4,6	16 %	7,9	33 %
Serpentiniittibreksia	0,095	0,33 %	1,7	7 %
Karsikivet	1,4	4,8 %	-	-
Yhteensä	29	100 %	24	100 %

Taulukko 4-2. Punasuon louhoksen sivukivien ABA-testin tulokset. Näytteet on otettu vuosina 2015 (Ramboll Finland Oy 2015) ja 2023 (Geochemic Ltd 2024). Taulukossa käytetyt lyhenteet ovat: S kok. = rikin kokonaispitoisuus, S sulf. = sulfidisen rikin pitoisuus, C kok = hiilen kokonaispitoisuus, NP = neutralointipotentiaali, AP = hapontuottopotentiaali, NPR = neutralointipotentiaalisuhde (NP/AP), MS = kiilleliuske, BS = mustaliuske, ITM = epäpuhdas talkkimagnesiitti, SPB = serpentiniittibreksia ja TM = talkkimagnesiitti.

	S kok.	S sulf.	$S_{\text{sulf}} / S_{\text{kok}}$	C	AP	NP	NPR
	%	%		%	kg CaCO ₃ / t	kg CaCO ₃ / t	
2015 MS	0,067	0,02	0,3	0,031	0,62	5,7	9,2
2015 BS	0,95	0,81	0,86	0,75	25	8,4	0,33
2015 ITM	0,58	0,57	0,98	5,5	18	30	1,7
2015 SPB	0,23	0,2	0,87	5,3	6,3	36	5,8
2023 ITM	0,65	0,12	0,18	7,3	20	92	4,5
2023 TM 1	0,74	0,11	0,15	5	23	90	3,9
2023 TM 2	4,3	2,1	0,49	4,9	140	360	2,6
2023 MS 1	0,4	0,03	0,075	0,07	13	1,6	0,13
2023 MS 2	2,6	0,47	0,18	0,87	82	3,8	0,047
2023 BS 1	6,9	1,5	0,22	6,8	220	14	0,065
2023 BS 2	13	3,9	0,29	9,3	410	9,5	0,023

Taulukko 4-3. Vuoden 2023 sivukivinäytteiden nelihappouuton tulokset (Geochemic Ltd 2024) sekä sivukiven kairasydännäytteiden kuningasvesiliukoiset pitoisuudet. MS = kiilleliuske, BS = mustaliuske, ITM = epäpuhdas talkkimagnesiitti, TM = talkkimagnesiitti ja SPB = serpentiniittibreksia.

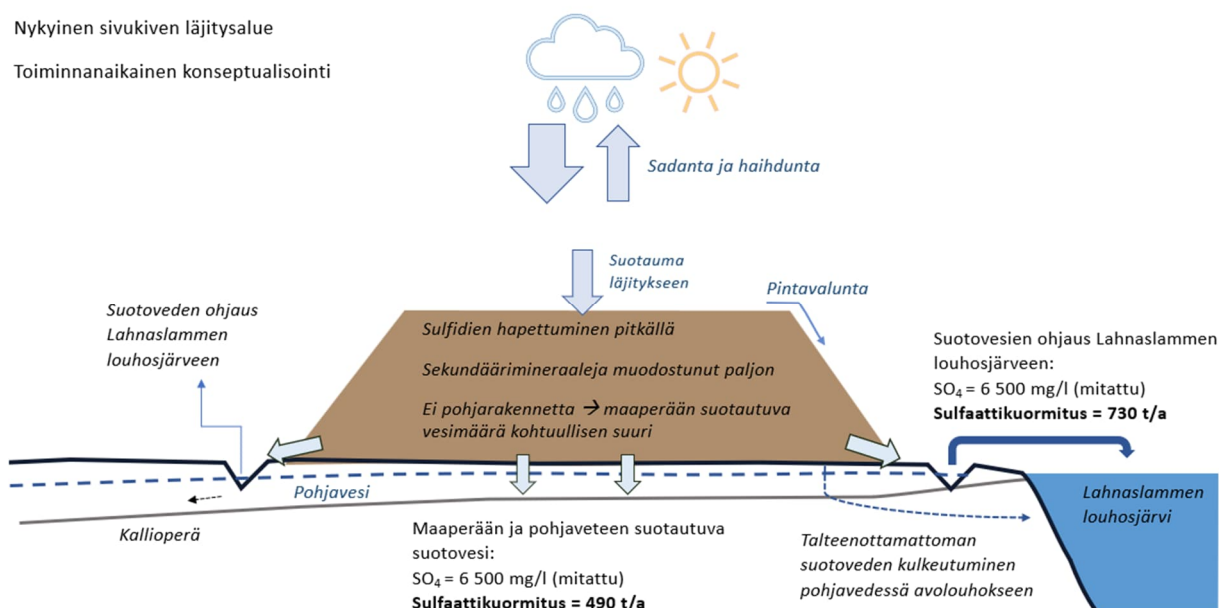
Tunnus	Metallit									
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Sb	V	Zn
Maanäytteet	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Nelihappouutto, yksittäiset näytteet										
2023 MS 1	25	0,05	18	120	43	68	15	0,1	170	89
2023 MS 2	6	0,6	17	110	59	66	14	0,9	130	120
2023 BS 1	13	12	17	110	290	390	33	3,8	510	1600
2023 BS 2	31	44	210	150	570	3400	100	13	610	9000
2023 TM 1	770	0,04	92	2200	26	1900	1	2,5	35	88
2023 TM 2	55	0,1	140	2000	130	2500	7	0,4	19	85
Kuningasvesiutto, kairanäytteiden keskiarvo										
MS (n=48)	28	0,65	21	100	61	86	15	1,7	130	170
BS (n=60)	40	16	62	210	450	880	45	10	360	2200

TM (n=314)	280	0,58	77	710	19	1600	3,6	8,4	14	51
SPB (n=10)	150	0,026	87	1500	5,5	1900	1,3	3,3	24	44

Laajennuksen toteutuessa nykyinen sivukivialue peitetään ensin tiiviillä peittorakenteella (bentoniittimatto + suojamoreeni) ennen uuden sivukiven läjittämistä. Nykyisen sivukivialueen peittorakenne muodostaa korotuksena läjitettävän sivukiven pohjarakenteen. Laajennusosalle, joka ulottuu 5 hehtaaria nykyisen sivukivialueen länsipuolelle, rakennetaan tiivis monikerrospohjarakenne (ks. luku 4.2.1). Nykyisen sivukivialueen toiminnanaikainen konseptualisointi esitetään kuvassa Error! Reference source not found..

Nykyinen sivukiven läjitysalue

Toiminnanaikainen konseptualisointi



Kuva 4-2. Nykyisen sivukivialueen toiminnanaikainen konseptualisointi, suotoveden sulfaattipitoisuus sekä pohjaveteen ja Lahnaslammen louhosjärveen kohdistuva kuormitus. Lahnaslammen louhosjärvestä vedet ohjataan toiminnanaikana vesienkäsittelyyn.

Vaikutus toiminnanaikaiseen suotoveteen

Kun nykyinen sivukivialue peitetään, siellä olevien sulfidimineraalien hapettuminen hidastuu ja suotoveden määrä pienenee. Bentonitiittimatto pienentää sivukivikasaan suotautuvan veden määrää noin 10 %:iin nykyisestä tilanteesta. Bentonitiittimaton läpi kasaan suotautuvan veden määrä laskettiin bentonitiitin vedenjohtavuudella $1 \cdot 10^{-9}$ m/s. Kasaan suotautuvasta vesimäärästä arviolta noin 60 % on talteenotettavissa suotovesiojiin, joista vedet ohjataan Lahnaslammen louhosjärveen. Loput kasaan suotautuvasta vedestä suotautuu pohjan kautta maaperään ja pohjaveteen. Nykyisen sivukivialueen sulkemisen jälkeinen suotovedenlaatu on arvioitu vuoden 2024 sulkemissuunnitelman yhteydessä. Vedenlaadun arvioinnissa hyödynnettiin suotovesiojasta mitattua koostumusta vuodelta 2024. Sulfaatin ja muiden aineiden pitoisuuksia pienennettiin hapen pääsyn estyessä kertoimella, joka laskettiin sivukivialueen nykyisen sulfaatinmuodostumisen ja peittorakenteen asentamisen jälkeisen teoreettisen maksimisulfaatinmuodostumisen suhteena (AFRY Finland Oy 2024c).

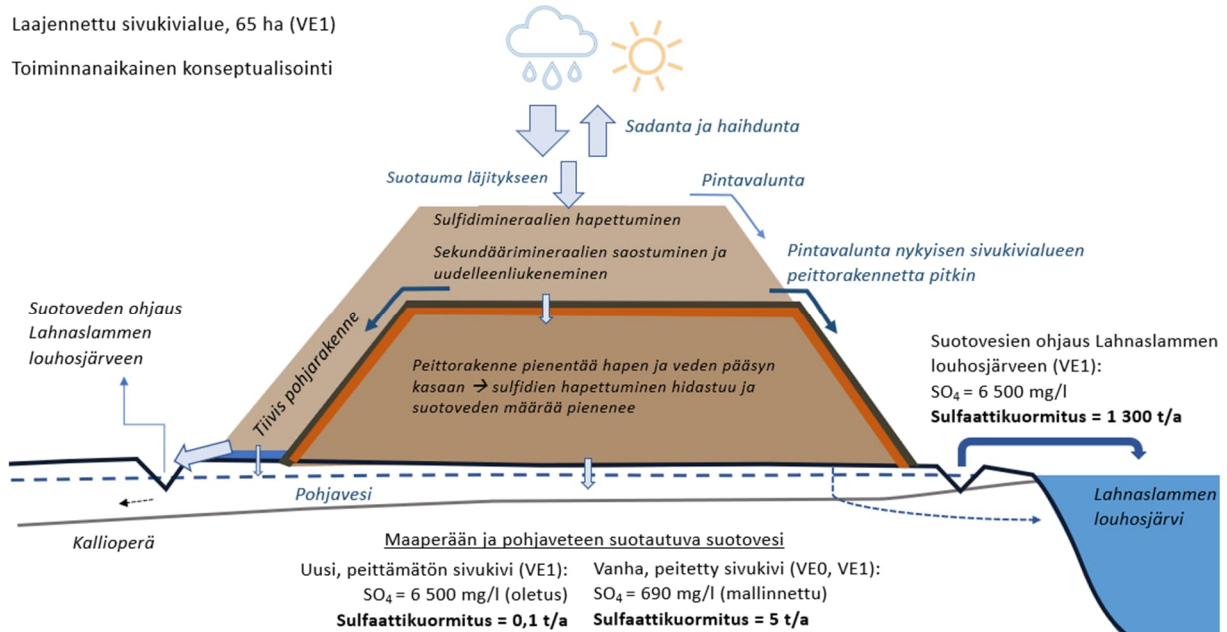
Sivukivialueen päälle tulevan läjityksen voidaan ajatella korvaavan nykyisellä sivukivialueella muodostuvan kuormituksen, joka pienenee merkittävästi peittorakenteen myötä. Näin ollen voidaan olettaa, että hankevaihtoehdossa VE1 sivukivialueella muodostuva kuormitus on jokseenkin samankaltainen kuin nykyisin.

Nykyinen sivukivialue peitetään riippumatta toiminnan laajentamisesta ja hankevaihtoehdosta, eli kuormitus sieltä pienenee. Sivukivialueen laajentuessa uuden läjityksen vaikutus kuormitukseen näkyy lähinnä Lahnaslammen louhosjärveen ohjattavassa kuormituksessa, eli suotovesiojiin

talteenotettavan suotoveden muodostamassa osassa. Laajennusosan tiiviin pohjarakenteen takia pohjaveteen kohdistuva kuormitus kasvaa vain hyvin vähän. Hankevaihtoehdon VE1 mukaisen laajennuksen toiminnanaikainen konseptualisointi esitetään kuvassa 4-3.

Laajennettu sivukivialue, 65 ha (VE1)

Toiminnanaikainen konseptualisointi



Kuva 4-3. Hankevaihtoehdon VE1 mukaisen laajennetun sivukivialueen toiminnanaikainen konseptualisointi, suotoveden sulfaattipitoisuus sekä pohjaveteen ja Lahnaslammen louhosjärveen kohdistuva kuormitus. Lahnaslammen louhosjärvestä vedet ohjataan toiminnanaikana vesienkäsittelyyn.

Vaikutus sulkemisen jälkeiseen suotoveteen

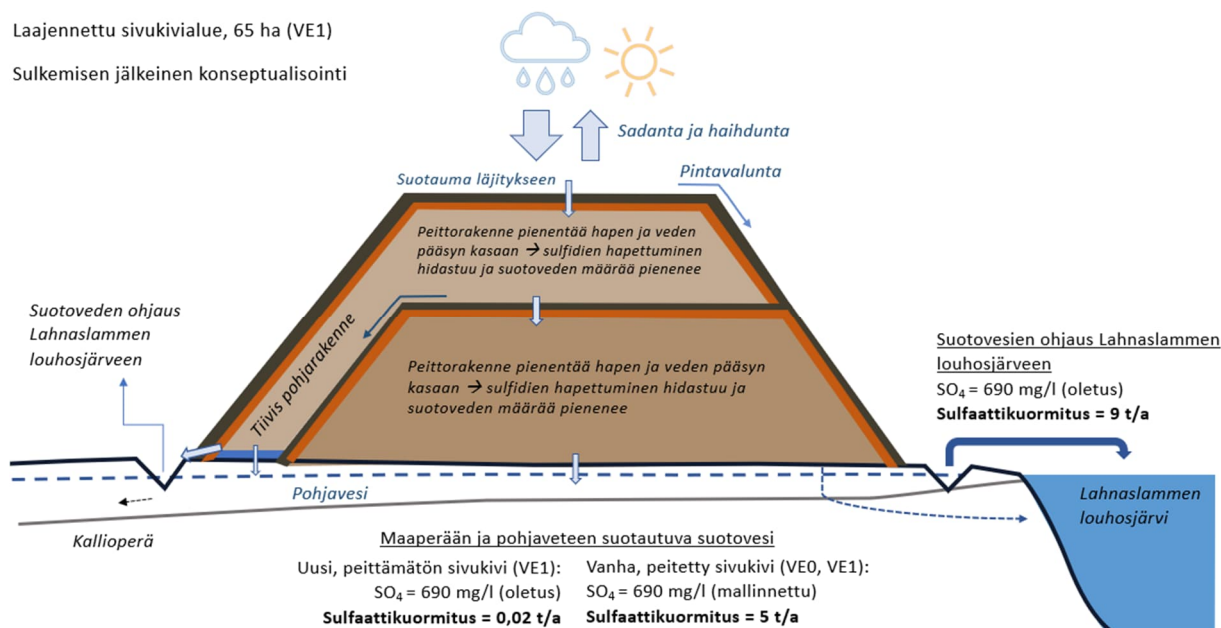
Sulkemisivaiheessa sivukivialueen peittämättömät osat (laajennus/korotus) peitetään vastaavalla rakenteella kuin nykyinen sivukivialue (bentoniittimatto + suojamoreeni). Peittorakenne pienentää hapen ja veden pääsyä läjitykseen, jolloin sulfidien hapettuminen hidastuu ja suotoveden määrä pienenee. Suotovedenlaadun arvioidaan muodostuvan suunnilleen samankaltaiseksi kuin nykyisen sivukivialueen sulkemisen jälkeinen suotovesi. Mikäli hankevaihtoehto VE1 toteutuu, uuden läjityksen sulkemisen jälkeisen vedenlaadun arviointi tarkentuu nykyisen sivukivialueen mittausdatan myötä, kun nykyinen sivukivialue on peitetty.

Uusi sivukiviläjitys vaikuttaa myös alla olevan sivukiven hapettumiseen sulkemisen jälkeen. Kumpikin peittorakenne pienentää happivuota, mikä johtaa jo itsessään pienempään happimäärään alimmassa kerroksessa. Lisäksi happivuon ollessa tarpeeksi pieni, voivat uuden läjityksen sulfidimineraalit kuluttaa kaiken ylempään kerrokseen pääsevän hapen jo ennen kuin happi saavuttaa seuraavan peittorakenteen. Alemmassa kerroksessa saatavilla oleva happi muodostunee lähinnä sivukivialueen reunaosan (kuvassa oikeanpuoleinen reuna) läpi tulevasta hapesta.

Toiminnanaikaisen konseptualisoinnin tapaan myös sulkemisen jälkeen pohjaveteen kohdistuva kuormitus kasvaa vain hyvin vähän VE0 tilanteeseen verrattuna. Vaikutus on suurempi talteenotettavan suotoveden muodostamaan kuormitukseen, mutta senkin suhteen vaikutus pienenee merkittävästi toiminnanaikaisesta, koska uuden alueen peittorakenne pienentää todennäköisesti myös alemmasta, vanhasta sivukivistä vapautuvaa kuormitusta. Hankevaihtoehdon VE1 mukaisen laajennuksen toiminnanaikainen konseptualisointi esitetään kuvassa 4-3.

Laajennettu sivukivialue, 65 ha (VE1)

Sulkemisen jälkeinen konseptualisointi



Kuva 4-4. Hankevaihtoehdon VE1 mukaisen laajennetun sivukivialueen sulkemisen jälkeinen konseptualisointi, suotoveden sulfaattipitoisuus sekä pohjaveteen ja Lahnaslammen louhosjärveen kohdistuva kuormitus.

4.3 Uusi rikastushiekka-allas

4.3.1 Uuden rikastushiekka-altaan tekniset suunnitelmat

Kuvassa 4-5 esitetään hankevaihtoehdon VE1 mukainen uuden rikastushiekka-altaan sijainti. Altaan pinta-alaksi on suunniteltu noin 22 hehtaaria, joka on noin puolet Papinlammen nykyisen rikastushiekka-altaan pinta-alasta (40 ha). Tässä raportissa rikastushiekka-altaan alle on oletettu rakennettavaksi HDPE-kalvo, mutta pohjarakenne voi olla myös jokin muu. Tiiviimpi pohjarakenne mahdollistaa suotovesien paremman talteenoton kuin nykyiselle Papinlammen rikastushiekka-altaalla ja siten myös mahdolliset vaikutukset maaperään ja pohjaveteen ovat pienempiä.

Vuosina 2030–2049 rikastushiekkaa arvioidaan muodostuvan 12,90 Mt. Tiheydellä 1,35 laskettuna rikastushiekan tilavuudeksi saadaan 9,55 Mm³. Tällä kuivatiheydellä rikastushiekka on rikastushiekka-alueella, Lahnaslampeen läjitettäessä tiheys on pienempi. Lahnaslampeen arvioidaan voitavan läjittää rikastushiekkaa noin 7,8 Mt. Loput noin 5,1 Mt eli 3,77 Mm³ läjitetään uudelle rikastushiekka-altaalle. Kuiva-aineena esitettynä läjitysmäärä rikastushiekka-altaalle on alussa 0,08 Mt/vuosi (loput läjitetään Lahnaslampeen), jonka jälkeen tuotannon oletetaan kasvavan tasaisesti. Vuonna 2036 maksimituotantokapasiteetti (0,7 Mt) on saavutettu, jolloin rikastushiekka-altaalle johdetaan 0,14 Mt rikastushiekan kuiva-ainetta vuosittain.

Suunnitelman mukaan prosessilaitokselta tulevasta lietteestä poistetaan prosessivettä siten, että Lahnaslampeen johdettavassa rikastushiekkalietteessä neste:kiinteä aine -suhde on 1:1 eli rikastushiekka-altaalle johdetaan noin 80 % kaikesta prosessivedestä (n. 2,2 miljoonaa litraa vuodessa). Ensimmäiset 15,5 vuotta eli kunnes Lahnaslampi on täynnä, rikastushiekka-altaalle johdettavassa rikastushiekkalietteessä on siis hyvin matala kuiva-ainepitoisuus (~6 massa-%). Pohjarakenteen ansiosta suotovesi voidaan kerätä kaivoksen vesikiertoon. Mallinnus tehdään vaiheelle Lahnaslammen täytyttyä (2046–2050), koska tällöin suotoveden pitoisuudet ja kuormitus ovat toiminnanaikaisen vaiheen maksimissa. Rikastushiekkaa läjitetään tällöin 0,7 Mt ja sen mukana prosessivettä noin 2,8 miljoonaa litraa.

Rikastushiekka-altaalle sijoitetaan rikastushiekan lisäksi myös vesienkäsittelyn sakkoja arviolta noin 0,01 Mt/a (yhteensä noin 0,2 Mt). Näitä ei ole huomioitu mallinnuksessa.



Kuva 4-5. Hankevaihtoehdossa VE1 suunniteltava uusi, n. 22 ha rikastushiekka-allas.

4.3.2 Uuden rikastushiekka-altaan vedenlaadun arvioinnin toteutus

Arviointi tehtiin suoraan Papinlammen rikastushiekka-altaan geokemiallista mallia muokkaamalla. Toimintaan ja kokoon liittyvät parametrit muutettiin, mutta muut oletukset pysyivät samoina kuin Papinlammen suotovedenlaadun mallinnuksessa (AFRY Finland Oy, 2024c). Oletuksiin kuuluvat mm. rikastushiekan geokemiallinen ja fysikaalinen koostumus sekä pitkäaikaikäyttäytyminen, sorption mallintaminen, prosessiveden laatu ja konseptualisointi, sekä ilmastoon liittyvät parametrit. Sulkemisen jälkeisessä mallissa oleellista ovat myös peittorakenteen ominaisuudet, jotka määritettiin erikseen laki- ja patoalueilla.

Läjitysmäärät ovat vaihtoehdossa VE1 rikastushiekka-altaalle suuret verrattuna pinta-alaan. Läjitys määrä (n. 0,7 tonnia/vuosi) on noin kaksinkertainen verrattuna Papinlammen noin kaksi kertaa suuremmalle rikastushiekka-altaalle nykyisin läjitettävään rikastushiekan määrään. Eli rikastushiekkaa kumuloituu noin nelinkertainen paksuus verrattuna Papinlammen rikastushiekka-altaaseen. Tämän suurimpana vaikutuksena on prosessiveden suurempi pitoisuus huokosvedessä (sadeveden osuus pienempi). Suotoveden muodostumisen määrä suhteessa pinta-alaan oletetaan pysyvän ennallaan. Papinlammen malli on kalibroitu nykyisen suotovesimäärän perusteella. Paksumpi rikastushiekkapatja aiheuttaa toiminnan aikana suuremman painekorkeuseron, ja siten suotovettä muodostuu enemmän kuin ohuemmasta rikastushiekkakerroksesta. Toisaalta patojen läpisyöto poistaa myös huokosvettä. Sulkemisen jälkeen vuotuinen suotovesimäärä on sama kuin alueelle peiton läpi imeytyvä sadanta.

Vaihtoehdon VE1 mukaisella rikastushiekka-altaalla suoraan pinta-alan ja tilavuuden perusteella laskettuna rikastushiekkaa on noin 17 m paksuudelta. Padot pienentävät tilavuutta, joten täynnä olevan rikastushiekka-altaan rikastushiekkakerroksen paksuus on noin 20–25 m. Lakialueen oletetaan sulkemisivaiheessa olevan hieman laajempi verrattuna kokonaispinta-alaan kuin

Papinlammella. Konservatiivisesti laen pinta-ala sulkemisvaiheessa oletetaan olevan puolet kokonaispinta-alasta (11 ha) eli lukuarvona pinta-ala on noin sama kuin Papinlammella.

4.3.3 Rikastushiekka-altaan vedenlaatu ja kuormitus

Taulukossa 4-4 esitetään vaihtoehdon VE1 mukaisen rikastushiekka-altaan suotovedenlaadun mallinnuksen tulokset sekä vertailu Papinlammen rikastushiekka-altaan tuloksiin, jotka on esitetty osana nykyisen toiminnan sulkemissuunnitelmaa (AFRY Finland Oy, 2024c). Pitoisuudet ovat samankaltaisia kummallakin rikastushiekka-altaalla muodostuvassa suotovedessä. Olettaen tasainen vesipinnan lasku vuotuisen sadannan perusteella ja rikastushiekkapatjan paksuudeksi 24 m, prosessivesijäämien huuhtoutuminen kokonaan huokosvedestä kestää noin 26 vuotta. Tämän jälkeen viimeistään siirrytään "pitkä aika" -vaiheeseen.

Taulukko 4-4. Uuden VE1 mukaisen rikastushiekka-altaan ja Papinlammen rikastushiekka-altaan suotovedenlaadun mallinnuksen tulokset. Toiminnan aikainen vedenlaatu on kalibroitu tarkkailutulosten perusteella. Arseenipitoisuudelle sulkemisen jälkeen käytetään 90 % sorptioon perustuvia tuloksia mallinnustuloksen sijaan, koska sorption määrittymiseen liittyy merkittäviä epävarmuuksia.

		Papinlampi			VE1 rikastushiekka-allas		
		Toiminta	Sulkeminen lyhyt aika	Sulkeminen pitkä aika	Toiminta	Sulkeminen lyhyt aika	Sulkeminen pitkä aika
pH	mg/l	8,6	8,7	8,7	8,6	8,7	8,7
Ag	mg/l	0,011	0,01	0,000046	0,015	0,01	0,000044
Al	mg/l	0,021	0,013	0,0026	0,025	0,013	0,0025
As	mg/l	0,021	0,054	0,028	0,022	0,052	0,027
B	mg/l	0,15	0,068	0,026	0,16	0,066	0,025
Ba	mg/l	0,028	0,011	0,0055	0,03	0,011	0,0054
Be	mg/l	0,0012	0,00036	0,00026	0,0012	0,00035	0,00025
Ca	mg/l	120	74	16	140	72	16
Cd	mg/l	0,00008	0,00002	<0,00001	0,00008	0,00002	<0,00001
Cl	mg/l	9	5	1,3	10	4,9	1,2
Co	mg/l	0,041	0,012	0,0057	0,042	0,012	0,0055
Cr*	mg/l	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Cu	mg/l	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
F	mg/l	0,63	0,15	0,15	0,62	0,15	0,15
Fe	mg/l	27**	22**	22	270	22	22
HCO ₃ ⁻	mg/l	200	230	230	940	230	230
Hg*	mg/l	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
K	mg/l	31	10	6,7	32	9,9	6,4
Li	mg/l	0,03	0,014	0,0051	0,032	0,013	0,005
Mg	mg/l	350	210	87	370	200	84
Mn	mg/l	0,12	0,051	0,013	0,13	0,049	0,013
Mo	mg/l	0,0041	0,0041	0,000013	0,0057	0,004	0,000012
Na	mg/l	6,8	6,8	0,0063	9,4	6,6	0,0061
Ni	mg/l	0,55	0,17	0,035	0,59	0,16	0,034
P	mg/l	0,39	0,03	0,013	0,39	0,023	0,012
Pb*	mg/l	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Sb	mg/l	1,4	0,41	0,3	1,4	0,39	0,29
Se	mg/l	0,0055	0,0015	0,0013	0,0054	0,0014	0,0012



		Papinlampi			VE1 rikastushiekka-allas		
		Toiminta	Sulkeminen lyhyt aika	Sulkeminen pitkä aika	Toiminta	Sulkeminen lyhyt aika	Sulkeminen pitkä aika
Si	mg/l	14	3,4	3,4	14	3,3	3,3
Sn	mg/l	0,0035	0,0039	0,00051	0,0044	0,0029	0,0005
Sr	mg/l	0,2	0,13	0,024	0,24	0,12	0,023
Th	mg/l	0,0023	0,00073	0,00051	0,0024	0,0007	0,0005
U	mg/l	0,00051	0,00035	0,000003	0,00062	0,00034	0,0000028
V	mg/l	0,011	0,0027	0,0026	0,01	0,0026	0,0025
W	mg/l	0,0021	0,00051	0,00051	0,0021	0,0005	0,0005
Zn	mg/l	0,007	0,0018	0,00029	0,0073	0,0016	0,00028
SO ₄	mg/l	1500	820	230	1700	800	220
NO ₃ -N	mg/l	0,69	0,65	0,013	0,93	0,63	0,012
NH ₄ -N	mg/l	0,2	0,12	0,026	0,23	0,12	0,025

* Metallit sorboituu lähes täysin ja pitoisuus oletetaan vähäpätöisen pieneksi

** Raudan määrä laskettiin kosteuskammiokoeksessa vapautuvasta sulfaattimäärästä olettaen kaiken rikin olevan pyriittinä ja sulkemisen aikana 33 % raudasta olevan sorboivaa (vapaata) rautaa, toiminnan ajalle käytettiin lukua 10 %.

Taulukossa 4-5 on esitetty rikastushiekka-altaalta suotoveden muodostama vuosittainen kuormitus sulkemisen jälkeisessä tilanteessa (heti sulkemisen jälkeen ja prosessiveden huuhtouduttua pois huokosvedestä) olettaen, että allas on peitetty kaksikerrosmoreenipeitolla eli oletukset ovat samat kuin Papinlammen rikastushiekka-altaan peittorakenteelle (läpisyotauma 90 % nettosadannasta lakialueella ja 70 % liuskoilla). Vuotuiseksi läpisyotaumaksi oletetaan laskennassa 59 040 m³. Tässä raportissa pohjarakenteeksi on oletettu tiivis rakenne. Tiiviin pohjarakenteen vaikutuksesta suotovesi poistuu lähes kokonaan suotovesiojiin kerääntyvänä pintavaluntana. Suotovesiojista suotovesi kulkeutuu kohti Jormaslahtea. Tässä arvioissa pohjaveteen suuntautuva kuormitus on huomattavasti Papinlammen rikastushiekka-allasta pienempi. Mikäli pohjarakenne on jokin muu kuin HDPE-kalvo, sulkemisen jälkeinen kuormitus on silti sama, mutta se jakaantuu eri suhteissa pohja- ja pintaveteen. Runsaan prosessiveden takia kuormitus on lyhyellä aikavälillä vain jonkun verran Papinlammen kuormitusta pienempi (Papinlammesta esim. 86 t sulfaattia vuodessa vrt. uusi allas 71 t), mutta pitkällä aika välillä huomattavasti pienempi (Papinlammen sulfaattikuormitus 24 t vuodessa, uudessa altaassa 13 t). Eli ajan kuluessa, kun prosessivesi on poistunut läjityksestä, kuormitus muodostuu altaiden pinta-alasuhteiden mukaisesti.

Taulukko 4-5. VE1 YVA-vaihtoehdossa rakennettavalta rikastushiekka-altaalta sulkemisen jälkeisissä tilanteissa suotoveden mukana poistuvat kuormitus. Lyhyt aika tarkoittaa tilannetta heti sulkemisen jälkeen, ja pitkä aika tilannetta prosessiveden korvaudutta kokonaan sadevedellä huokosvedessä (n. 26 vuotta sulkemisen jälkeen).

	yksikkö	Sulkemine n lyhyt aika	Sulkemine n pitkä aika		yksikkö	Sulkeminen lyhyt aika	Sulkeminen pitkä aika
Ag	kg/v	1	0,0026	Mn	kg/v	4,2	0,75
Al	kg/v	1,2	0,14	Mo	kg/v	0,39	0,00071
As	kg/v	4,1	1,6	Na	kg/v	660	0,35
B	kg/v	5,6	1,4	Ni	kg/v	13,00	2,00
Ba	kg/v	0,85	0,31	P	kg/v	1,3	0,72
Be	kg/v	0,025	0,014	Pb*	kg/v	<0,001	<0,001
Ca	kg/v	6500	910	Sb	kg/v	27	17
Cd	kg/v	0,0015	0,00026	Se	kg/v	0,093	0,072
Cl	kg/v	440	72	Si	kg/v	190	190
Co	kg/v	0,84	0,32	Sn	kg/v	0,27	0,029



	yksikkö	Sulkemine n lyhyt aika	Sulkemine n pitkä aika		yksikkö	Sulkeminen lyhyt aika	Sulkeminen pitkä aika
Cr*	kg/v	<0,001	<0,001	Sr	kg/v	11	1,4
Cu	kg/v	<0,001	0,001	Th	kg/v	0,049	0,029
F	kg/v	8,6	8,6	U	kg/v	0,032	0,00016
Fe**	kg/v	2,9	2,9	V	kg/v	0,15	0,14
HCO ₃ ⁻	kg/v	13 000	13000	W	kg/v	0,029	0,029
Hg*	kg/v	<0,001	<0,001	Zn	kg/v	0,13	0,016
K	kg/v	720	370	SO ₄	kg/v	71 000	13 000
Li	kg/v	1,1	0,29	NO ₃ -N	kg/v	63	0,72
Mg	kg/v	17 000	4 900	NH ₄ -N	kg/v	11	1,4

* Metallit sorboituvat täysin ja niiden pitoisuus ja siten myös kuormitus ovat hyvin pienet.

** Arvio perustuu kosteuskammiokehen viikkoliuoksessa oleviin pitoisuuksiin eli laskussa ei huomioida taulukon 4-4 pitoisuutta, joka perustuu arvioon sorptiokykyisen raudan pitoisuudesta.

4.4 Rikastushiekan läjitys Lahnaslammen louhosjärveen

4.4.1 Lähtötilanne

Lahnaslammen louhoksen louhinta päättyi vuonna 2010 ja louhos on sittemmin täyttynyt vedellä. Louhosjärven vedenpintaa pyritään pitämään tasolla +147 m. Louhosjärveen on läjitetty vuosien 2010–2023 aikana yhteensä noin 3,3 milj. m³ Punasuon louhoksesta louhittuja sivukiviä. Lahnaslammen kaivoksen jäljellä oleva tilavuus on noin 12 milj. m³. Louhosjärven tämänhetkinen vedenlaatu on menneiden toimintavuosien tulos. Lahnaslammen louhosjärveen on johdettu Punasuon kuivatusvedet syksyyn 2024 saakka, ja louhokseen johdetaan edelleen sivukiven läjitysalueelta tulevat käsitellyt suotovedet (vesienkäsittelylaitos ollut toiminnassa osan aikaa). Louhosjärveen on myös johdettu Pikarinpuron vesiä sekä tarvittaessa prosessivettä. Louhosjärven vedenlaatua tarkkaillaan vuosittain. Lahnaslammen vettä pumpataan vesienkäsittelyyn, jossa pH:ta nostetaan, jolloin metallit, erityisesti nikkeli, saadaan saostettua. Saostuksen jälkeen vesi selkeytetään Soidinsuon altaalla ja selkeytynyt vesi johdetaan Lahnasjokeen purkavan purkuputken kautta.

Sivukivialueelta tulevat vedet vaikuttavat merkittävästi Lahnaslammen vedenlaatuun (kappale 4.2). Suunniteltujen sulkemistoimien vaikutukset huomioidaan tässä mallinnuksessa. Sulkemisen jälkeisen suotovesilaadun mallinnuksen perusteella sulkemisen jälkeen suotovettä muodostuu 10 % nykyisestä määrästä ja sen haitta-ainepitoisuudet ovat selkeästi matalampia. Uuden peittorakenteen jälkeen sivukivialueella muodostuva pintavalunta ohjataan louhosjärven ohitse. Sivukivialueella muodostuva kuormitus jakaantuu pintavaluntana ja pohjavesiteitse Lahnaslampeen kulkeutuviin jakeisiin. Molempien jakeiden oletetaan päätyvän kokonaisuudessaan Lahnaslampeen.

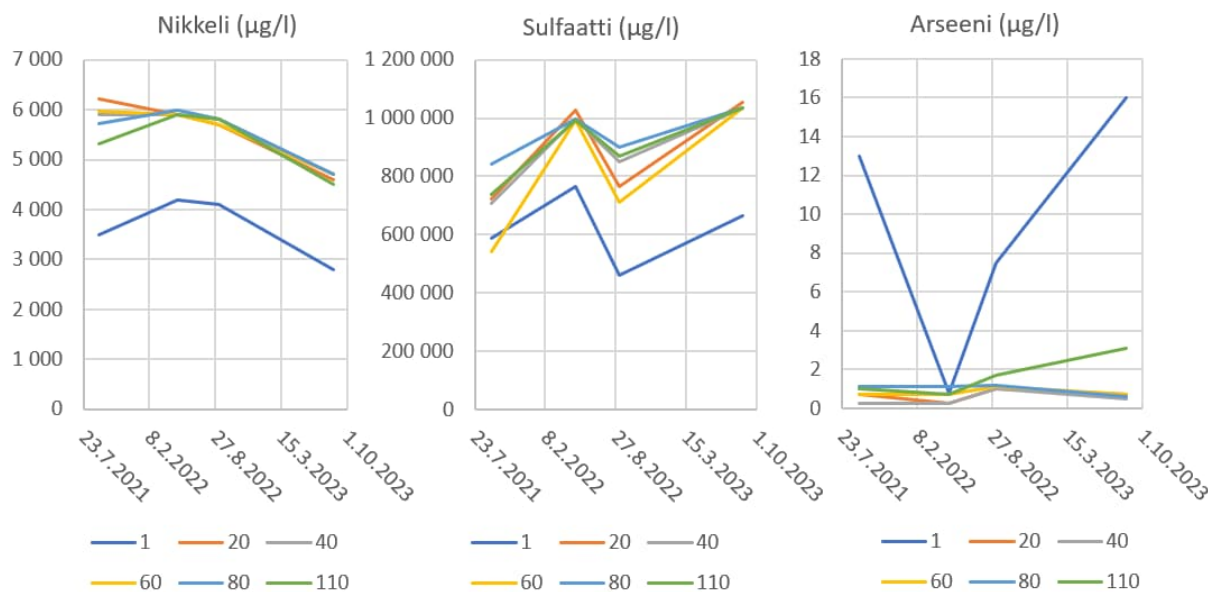
Sivukiven läjitys ja sivukivialueen vesien johtaminen louhokseen ovat jo vaikuttaneet Lahnaslammen vedenlaatuun, mutta läjitystoiminnan jatkuminen ei jatkossa aiheuta enää suuria muutoksia louhosjärven vedenlaatuun.

Toiminnanaikana Punasuon louhoksen kuivatuksen seurauksena Lahnaslammen louhosjärvestä suotautuu runsaasti vettä Punasuon louhokseen. Avoimna olevan Punasuon louhoksen kuivatusvaikutus myös laajentaa aluetta, jolta pohjavedet virtaavat Lahnaslampeen (Pöry Finland Oy, 2012). Tällä hetkellä sivukivialueen pohjan läpi suotautuvan suotoveden oletetaan virtaavan täysimääräisenä Lahnaslampeen. Punasuolta pumpattu vesi ohjautuu vesienkäsittelyyn, joten talteenottamattomana Lahnaslammeesta poispäin virtaavan pohjaveden osuus jää pieneksi.

Lahnaslammen louhosjärvestä on tällä hetkellä selkeä laadullinen ero pintaveden ja syvemmän vesipatsaan välillä (Kuva 4-6). Pintavedessä pitoisuudet ovat keskimäärin pienempiä, joitain poikkeuksia (mm. arseeni) lukuun ottamatta. Kuvassa 4-6 esitettävän jakson aikana Lahnaslampeen johdettiin Punasuon louhoksen kuivatusvesiä sekä vaihtelevasti sivukivialueen vesiä, joskus

vesienkäsittelyn jälkeen, joskus ilman vesienkäsittelyä. Mallinnustilanteen alussa Lahnaslampeen ei enää johdeta Punasuon kuivatusvesiä ja sivukivialueen kuormitus on pienentynyt uuden peittorakenteen seurauksena.

Tuloksien yhteydessä esitetään mallinnuksen lähtötilanteena toimiva tämänhetkinen "sekoittunut" Lahnaslammen vedenlaatu (Taulukko 4-9). Vedenlaatu on määritetty kunkin syvyydestason pitoisuuksista painotettuna keskiarvona. Painotuksena on käytetty syvyyssälin arvioituja vesitilavuuksia. Pintaveden osuus on arvion mukaan 38 %, muiden syvyydestasojen välillä on vain pieniä eroja pitoisuuksissa.



Kuva 4-6. Lahnaslammen louhosjärven nikkeli-, sulfaatti- ja arseenipitoisuus vuosina 2021–2023. Kuvaajan viivat edustavat syvyydestasoja (m pinnan alapuolella), jolta vesinäyte on otettu. Pohja on maksimissaan noin 127 metrin syvyydellä.

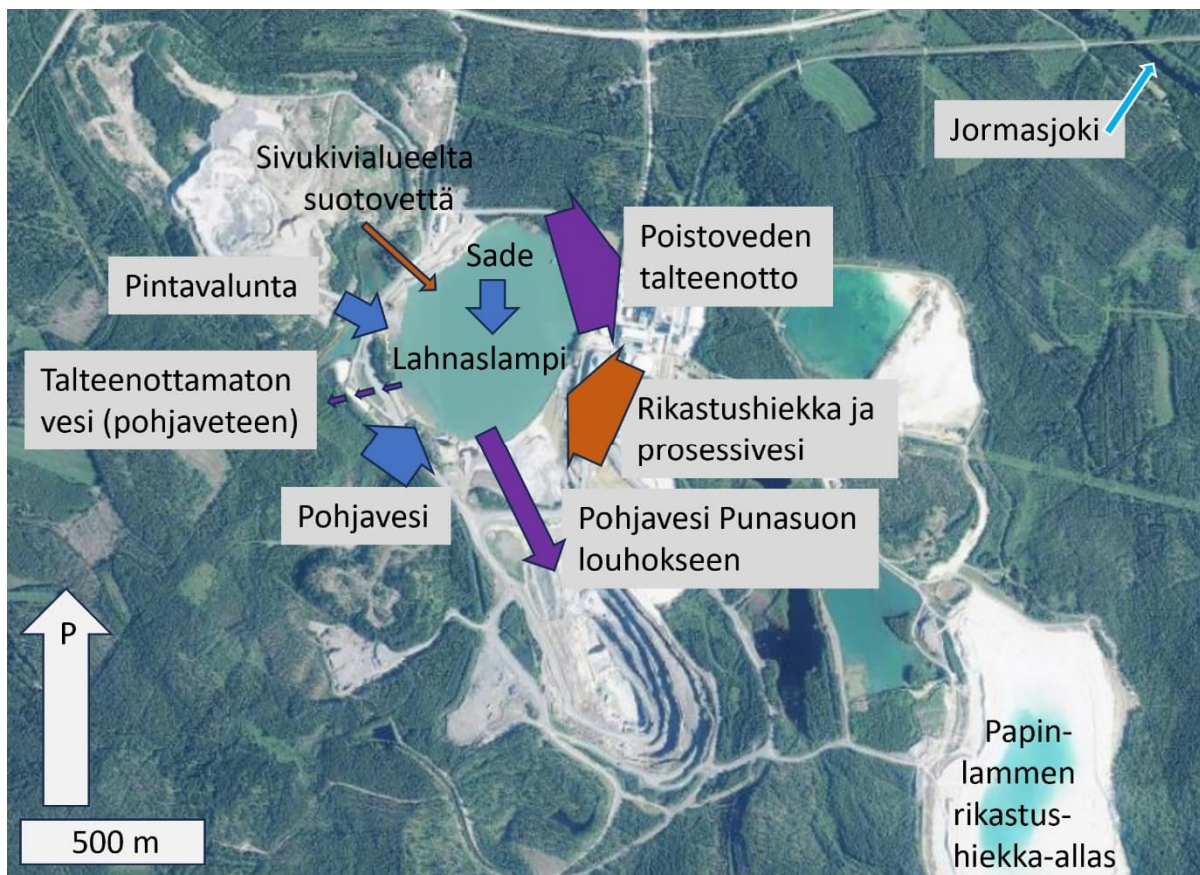
4.4.2 Vesimäärät

Lahnaslammen pinta-ala on noin 22,3 hehtaaria. Alueen kaikkien mahdollisten vesijakeiden virtaussuunnat esitetään kuvassa 4-7. Luontaista sisään tulevaa valuntaa ovat pohjavesi, pintavalunnat, sekä louhokseen osuva suora sadanta. Tällä hetkellä alueen virtaussuunnat ovat voimakkaasti kaivostoiminnan muokkaamia. Lahnaslammeesta poistuu vettä pohjavetenä lähes yksinomaan Punasuon avoulouhokseen, josta sitä myös pumpataan pois. Kaivoksen sulkemisen ja Punasuon louhoksen täytyttyä pohjavettä poistuu Lahnaslammeesta myös muualle ympäröivään maa- ja kallioperään. Lahnaslammen luontainen valuma-alue on pieni, noin 22,2 hehtaaria (ks. AFRY Finland Oy, 2024c). Virtausdynamiikkaan vaikuttaa myös kaivoksen täyttäminen rikastushiekalla.

Punasuon louhoksesta on tehty numeerinen pohjavedenvirtausmallinnus (AFRY Finland Oy, 2024d), jonka tuloksista on laskettu myös Lahnaslampeen tuleva pohjaveden määrä. Pohjavetenä ja suorana sadantana louhokseen tulee vettä 1090 m³/päivä. Lisäksi louhokseen tulee vettä valuma-alueelta pintavaluntana noin 381 m³/päivä. Sivukivialueelta vettä tulee vuoden 2030 tilanteessa yhteensä 52 m³/päivä. Tästä 60 % oletetaan tulevan suotovesiojia pitkin ja 40 % pohjaveden mukana.

Mikäli sivukiveä läjitetään toteutuneen määrän perusteella eli noin 0,28 Mm³/vuosi (irtotiheytenä), vettä syrjäytyy louhoksesta vuosittain noin 0,21 Mm³/vuosi. Tosin louheen välissä oleva vesi vaihtuu huomattavasti nopeammin kuin vapaa järvivesi, kuitenkin tarpeeksi tehokkaasti, että sivukivistä irtoavan haitta-aineiden kuormituksen voidaan katsoa tulevan osaksi louhosveden koostumusta. Mikäli Lahnaslampeen läjitetään sivukiven sijasta rikastushiekkaa, vuotuinen syrjäytyvä vesitilavuus on selkeästi suurempi, noin 0,54–0,65 Mm³/vuosi (oletusskenaarion mukaan 80 % rikastushiekan kuiva-aineesta läjitetään Lahnaslampeen, tällöin määrä on 0,54 Mm³/vuosi), vaikka

kaivannaisjätteen massamäärät ovat melko yhtenevät vaihtoehtojen välillä. Rikastushiekkaläjäityksen tapauksessa Lahnaslampeen tulee myös huomattava määrä prosessivettä. Oletusskenaariossa prosessilaitokselta tulevan rikastushiekkaläjitteen neste:kuiva aine -suhdetta pienennetään siten, että Lahnaslampeen johdettavassa lietteessä se on 1:1 (massan mukaan).



Kuva 4-7. Lahnaslampeen tulevat ja mahdollisesti tulevat vesijakeet tarkastelujakson alussa eli vuoden 2030 tilanteessa. Sinisillä nuolilla on merkitty luontaiset sisään tulevat vesijakeet ja ruskealla kaivostoimintaan liittyvät vesijakeet. Violeilla on merkitty poistuvat vesijakeet.

4.4.3 Kuormitukset eri lähteistä

4.4.3.1 Kuormitukset läjityksestä

Rikastushiekkaläjäityksestä aiheutuvan kuormituksen lähtötietona käytettiin ylösvirtauskolonnikokeen tuloksia (kappale 2.2). Suuruusluokkatason vertailun mahdollistamiseksi esitetään myös sivukiviläjäityksestä vuosittain aiheutuvat kuormat, mutta näitä ei käytetä suotovedenlaadun mallinnuksessa. Prosessiveden määrä arvioitiin VE1 vaihtoehdon mukaisesti olettaen, että Lahnaslampeen läjitettävän rikastushiekan kosteus on 50 paino-% ja veden tiheys on 1 000 kg/m³. Prosessiveden koostumus on sama kuin Papinlammen suotovesimallinnuksessa raportoitu. Pitoisuudet kerrottiin vuotuisella prosessiveden määrällä kuormituksen määrittämiseksi (tulokset taulukossa 4-6)

Läjäityksen tapahtuessa louhosjärveen, viimeisinäkin vuosina oletetaan saavutettavan riittävä huuhtoutumissuhde (1:1), eli voidaan olettaa, että kaikki rikastushiekkaan tai sivukiveen sitoutunut huuhtoutuvissa oleva kuormitus vapautuu louhosveteen läjitysvuoden aikana. Merkillepantavana poikkeuksena ovat arseeni ja molybdeeni, joiden pitoisuudet kasvoivat kolonnikokeen lopussa. Näihin aineisiin kohdistuvia epävarmuuksia käsitellään kappaleessa 6.2.3.

Taulukossa 4-6 esitetään sivukivestä, rikastushiekasta ja prosessivedestä Lahnaslampeen vuosittain huuhtoutuva kuormitus. Sivukiviläjäityksen tapauksessa laskussa ei ole huomioitu, että

kolonnikokeessa näyte on huomattavasti pienemmässä raekoossa kuin todellisessa läjityksessä. Sivukiven vuotuinen määrä on arvioitu olevan vuosina 2010-2023 tapahtuneen läjityksen (3,3 Mm³ irtotiheytenä) vuotuinen keskiarvo, eli 0,28 Mm³/vuosi. Kiven kuivatiheytenä tämä on noin 0,21 Mm³/vuosi ja keskimääräisellä sivukiven tiheydellä (2 800 kg/m³) vuotuinen läjitettävä määrä on ollut noin 0,58 Mt/vuosi. Louhosjärven vedenlaatu on pysynyt melko tasaisena, joten sivukiven läjityksen tulkitaan olevan osa vedenlaadun määrätymiseen vaikuttavista tekijöistä. Yksinkertaisella vertailulla sivukiviläjityksen osuus kuormituksen muodostumisesta on ollut vähäinen, vuotuinen aiheutuva kuormitus on noin 1,2 % tällä hetkellä louhosjärven olevasta kuormituksesta, lasku on tehty sulfaatin perusteella.

Rikastushiekan vuotuinen läjitysmäärä on laskettu läjitysarvion mukaan (jakso 2030–2049). Läjitysmäärien arvioidaan kasvavan läjityksen alusta vuoteen 7 asti ja sen jälkeen pysyvän samana (700 000 tonnia/vuosi). Rikastushiekan kuiva-aineesta 80 % johdetaan läjitettäväksi Lahnaslampeen ja prosessivedestä 20 %. Kumulatiivisen määrän perusteella määritettiin, että rikastushiekkaa voidaan läjittää Lahnaslampeen noin 15,5 vuotta, jonka jälkeen louhos täyttyy. Tästä laskettiin keskimääräinen vuotuinen läjitysmäärä (~0,504 Mt), jota käytettiin läjityksen mukana Lahnaslampeen tulevan vuotuisen kuormituksen laskemiseen. Lahnaslammen louhosjärven arvioidaan olevan tällä hetkellä 9,3 Mm³ vettä ja 2,5 Mm³ sivukiveä. Täydessä louhosjärven suunnitellaan olevan > 4 m vesipatja läjityksen pinnan yläpuolella läjityksen loppuessa, jonka tilavuus on noin 0,89 Mm³. Lahnaslampeen voidaan siis läjittää noin 8,4 Mm³ kaivannaisjätettä.

Taulukko 4-6. Läjityksestä potentiaalisesti aiheutuvat vuotuiset kuormitukset. Rikastushiekkaläjityksen kuiva-ainepitoisuudeksi on oletettu 50 paino-% :a. Ruskealla fontilla osoitetaan lukuarvot, joiden pitoisuus ei ole suoraan prosessivedestä mittausten puuttumisen takia, sen sijaan käytetään pitoisuutta Papinlammen rikastushiekkaltaan purkuvedessä. Sivukiven kuormitusta ei käytetä vedenlaadun mallinnuksessa, sen avulla voidaan läjityksen muutoksen vaikutusta Lahnaslammen vedenlaatuun.

	Sivukivi	Rikastushiekka	Prosessivesi	Prosessivesi
	kuormitus	kuormitus	kuormitus	pitoisuudet
Parametri	kg / vuosi	kg / vuosi	kg / vuosi	mg / l
Ag	0,02	0,05	13	0,025
Al	56	5	13	0,025
As	7	2 540	303	0,60
B	18	50	50	0,10
Ba	19	8	7	0,013
Be	0,16	0,28	0,13	0,00025
Ca	39 404	68 117	68 496	136
Cd	0,08	0,05	0,03	0,00005
Cl	117	126	4 434	8,8
Co	7	40	7	0,013
Cr	1	2	1	0,002
Cu	0,47	0,8	0,25	0,0005
F	1 313	1 260	0,25	0,0005
Fe	68	40	1	0,002
HCO ₃ ⁻	174 990	226 647	1 783	3,5
Hg	0,01	0,01	0,03	0,000065
K	9 310	7 239	4 182	8,3
Li	3	5	10	0,02
Mg	26 011	222 136	168 638	335
Mn	570	230	44	0,088
Mo	1	19	5	0,0096
Na	3 785	5 581	8 061	16
Ni	595	4 117	246	0,49
P	82	202	4	0,0085
Pb	0,08	0,2	0,03	0,00005



Sb	6	116	121	0,24
Se	9	0,3	0,25	0,0005
Si	2 336	3 982	-	-
Sn	0,37	0,40	5	0,01
Sr	86	133	120	0,24
Th	0,16	0,40	0,25	0,0005
U	0,23	0,10	0,35	0,0007
V	0,82	2,	0,13	0,00025
Zn	14	16	6	0,011
SO ₄	258 353	1 035 486	705 355	1 400
NO ₃ -N	15	18	756	1,5
NH ₄ -N	41	13	111	0,22

4.4.3.2 Kuormitukset sivukivialueelta

Nykyinen sivukivialue oletetaan suljetuksi rikastushiekan läjityksen alkaessa louhokseen, joten kuormitus määräytyy sulkemisen jälkeisten parametrien perusteella (kappale 4.2 ja AFRY Finland 2024c). Lahnaslammen mallissa käytetään nykyiselle sivukivialueelle suotovedenlaatu, jossa oletetaan, että asentamista edeltävä happi on kulutettu ja alueelle tulee vain sen verran happea, mitä peittorakenne päästää lävitseen. Bentoniittimaton vedenläpäisyksi oletetaan 10 % nettosadannasta eli vuotuinen vesimäärä on noin 18 900 m³. Suotovesiojiin oletetaan keraantuvan noin 60 % kaikesta peiton läpäisseeestä vedestä ja loput 40 % valuu Lahnaslampeen pohjaveden mukana. Laajennusosasta tuleva kuormitus lasketaan sivukivialueen nykyisen suotovesilaadun perusteella käyttäen vesimääränä vuotuista sadantaa uudelle eli laajennuksen sisältävälle sivukivialueen pinta-alalle (65 ha). Suotovedenmäärä on noin 184 500 m³.

Taulukossa 4-7 esitetään sulkemisen jälkeinen suotovedenlaatu sivukivialueen nykyisestä osasta ja laajennusosasta. Lisäksi esitetään vuosittaiset kuormitukset. Viimeisessä sarakkeessa esitetään sivukivialueelta kokonaisuudessaan vuosittain Lahnaslampeen päätyvät kuormitukset, kokonaisvesimäärä on noin 203 400 m³.

*Taulukko 4-7. Sivukivialueen nykyisestä osasta tuleva suotovedenlaatu peittämisen jälkeen, sekä nykyisin sivukivialueelta mitattava suotovedenlaatu, sekä näistä lasketut vuosittaiset kuormitukset Lahnaslammen louhosjärveen. Tehokkaasti sorption kautta poistuvat alkuaineet ilmoitetaan *-merkillä, sorptiolla on vaikutusta vain peitetyltä alueelta tuleviin pitoisuuksiin.*

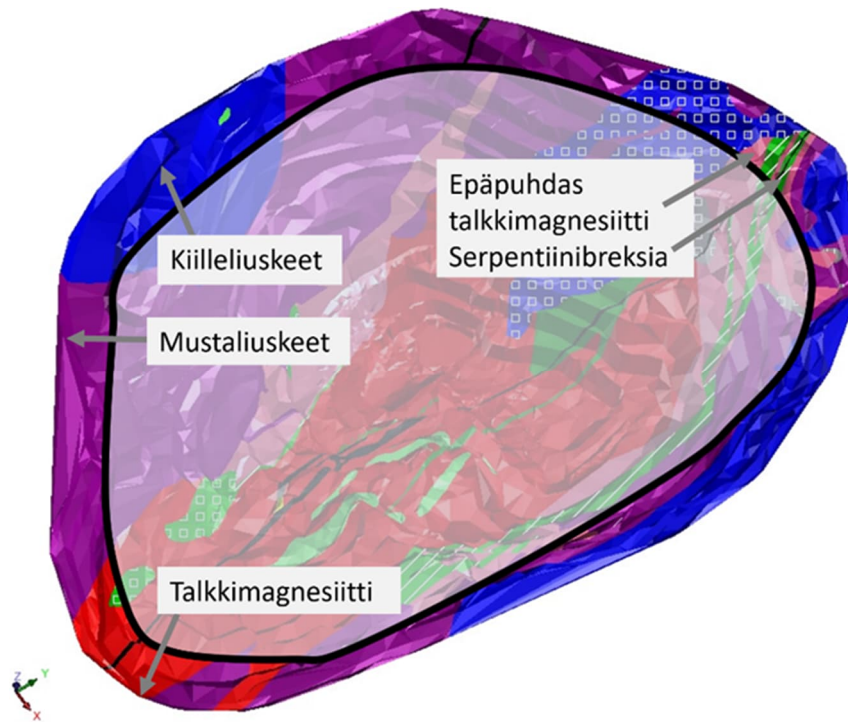
Para- metri	Sulkemisen jälkeinen suotovesi nykyiseltä SK alueelta (ug/l)	Kuormitus Lahnas- lampeen (kg/vuosi)	Nykyiseltä SK alueelta mitattu suotovesi (ug/l)	VE1 laajennuksen Kuormitus Lahnaslampeen (kg/vuosi)	Yhteensä kuormitus Lahnaslampeen (kg/vuosi)
pH	5,2		3,8		
Ag	2,6	0,05	25	5,1	5,2
Al	7 900	150	74 000	15 000	15 000
As*	0,053	0,001	8,4	1,7	1,7
B	11	0,2	100	20	20
Ba	1,4	0,026	13	2,6	2,6
Be	0,54	0,01	5,1	1	1
Ca	34 000	640	320 000	65 000	66 000
Cd	7	0,13	68	14	14
Cl	380	7,2	3 600	730	740
Co	65	1,2	610	120	120
Cr*	0,21	0,004	4	0,81	0,81
Cu*	1,5	0,029	130	26	26
F	200	3,7	2 000	410	410



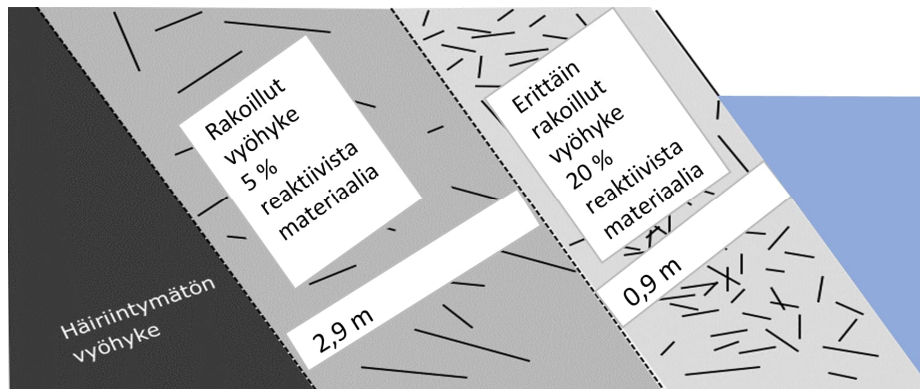
Para- metri	Sulkemisen jälkeinen suotovesi nykyiseltä SK alueelta (ug/l)	Kuormitus Lahnas- lampeen (kg /vuosi)	Nykyiseltä SK alueelta mitattu suotovesi (ug/l)	VE1 laajennuksen Kuormitus Lahnaslampeen (kg /vuosi)	Yhteensä kuormitus Lahnaslampeen (kg /vuosi)
Fe	440	8,2	4 100	830	840
HCO ₃ ⁻	65	1,2	0	0	0,0005
Hg*	0,0035	<0,0001	0,065	0,013	0,013
K	2 200	42	21 000	4 300	4 300
Li	19	0,35	180	36	36
Mg	150 000	2 800	1 400 000	280 000	280 000
Mn	1 700	32	16 000	3 300	3 300
Mo*	0,016	0,0003	0,5	0,1	0,1
Na	1 000	20	9 800	2 000	2 000
Ni	2 000	37	19 000	3 900	3 900
P*	0,017	0,0003	15	3,1	3,1
Pb*	0,00023	<0,0001	0,8	0,16	0,16
Sb	0,14	0,0027	1,4	0,28	0,28
Se	0,16	0,0031	1,6	0,33	0,33
Si	790	15	7400	1 500	1 500
Sn*	0,53	0,010	10	2	2
Sr	72	1,4	680	140	140
Th	0,14	0,0026	1,3	0,26	0,26
U*	0,01	0,0002	49	10	10
V	0,027	0,0005	0,25	0,051	0,052
Zn	2 100	39	21000	4 300	4 300
SO ₄	670 000	13 000	6 500 000	1 300 000	1 300 000
NO ₃ -N	120	2,2	1100	220	220
NH ₄ -N	8,9	0,17	84	17	17

4.4.3.3 Kuormitukset louhosseinämistä

Kuormitukset louhosseinämistä laskettiin perustuen Lahnaslammen louhosseinämien kivilajijakaumaan (Kuva 4-8). Seinämäpinta-alaksi täyttyneessä louhosjärven vesipinnan yläpuolelle jää 1 m seinämäpintaa, joka on hapelle alttiina. Kiven tiheydeksi oletettiin 2700 kg/m³. Seinämille oletetaan kaksikerroksinen rakoillut vyöhyke (Kuva 4-9; muokattu Lorax, 2013), jossa huuhtoutuminen on intensiivisempää ulomassa vyöhykkeessä.



Kuva 4-8. Lahnaslammen louhoksen kivilajijakauma.



Kuva 4-9. Louhosseinämien rikkonaisuuden ja siten reaktiivisen massan laskemiseen käytetty konseptualisointi (muokattu, Lorax 2013).

Louhosseinämien kivilajijakauma ja reaktiiviset massat esitetään taulukossa 4-8. Reaktiivisen massan avulla seinämien kuormitukset laskettiin perustuen kosteuskammiokokeen tuloksiin kyseisille kivilajeille. Kosteuskammiokokeen tuloksia raportoidaan tarkemmin kappaleessa 1.2.1 ja nykytoiminnan sulkemissuunnitelman liitteenä olevassa mallinnusraportissa (AFRY Finland Oy, 2024c). Louhosseinistä Lahnaslampeen tulevat kuormitukset ovat hyvin pieniä verrattuna esimerkiksi sivukivialueelta tuleviin kuormituksiin (<1 % kokonaiskuormituksesta kaikkien aineiden osalta).

Taulukko 4-8. Lahnaslammen louhosjärven pinnan yläpuolelle jäävän louhosseinämän kivilajijakauma ja kullekin kivilajille laskettu reaktiivinen massa, jonka perusteella kuormitukset lasketaan.

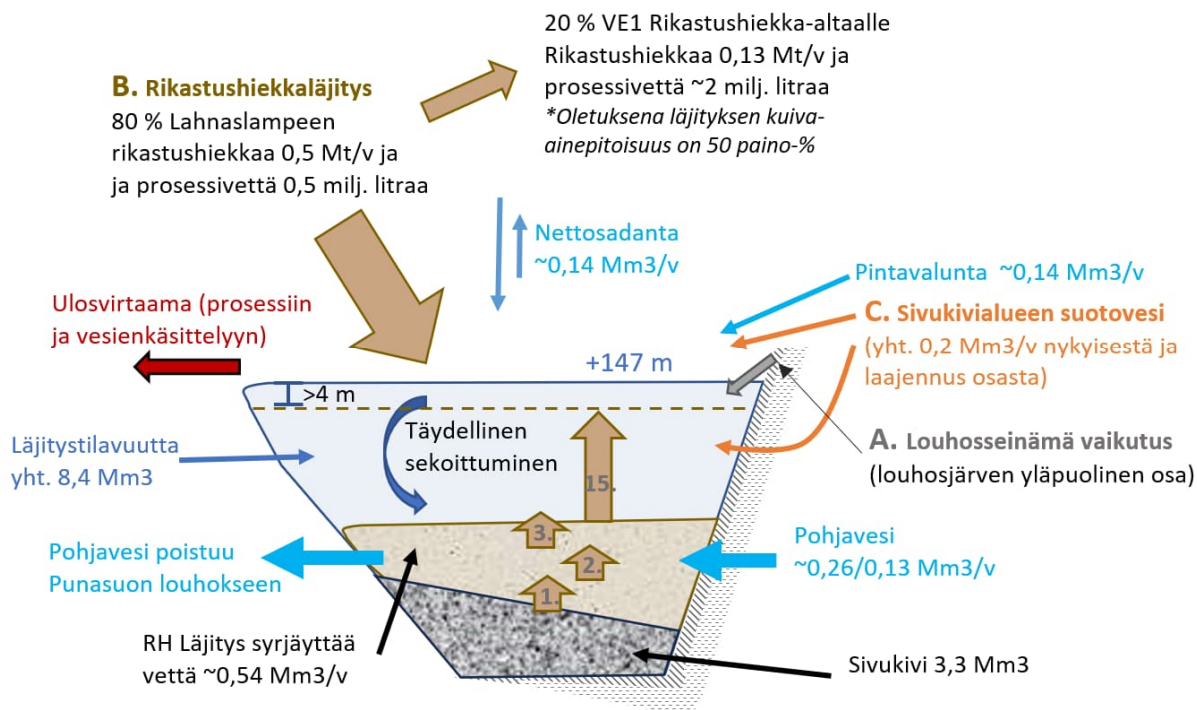
Kivilaji	Osuus seinämä- pinta-alasta	Reaktiivinen massa
	%	Kg
Kiilleliuskeet	45	458 845
Mustaliuskeet	42	428 255
Talkkimagnesiitti	8	81 572
Serpentiinibreksia	2	20 393
Epäpuhdas talkkimagnesiitti (karsikivet, grafiittiliuske)	3	30 590

4.4.3.4 Kuormitukset pohjavedestä

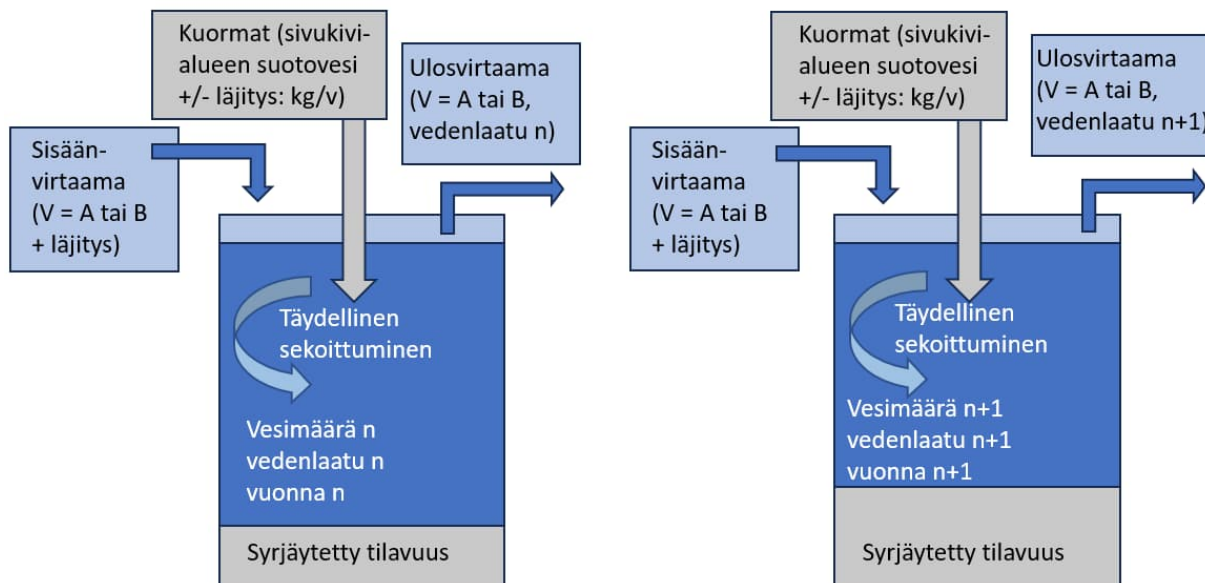
Pääosa pohjavedestä on peräisin lännessä olevalta valuma-alueelta, koska itään Lahnaslammeista sijaitseva Punasuon louhos on edelleen tyhjänä ja siten pohjavesi virtaa sinne Lahnaslampea helpommin. Pohjaveden mukana tulevasta kuormituksesta suurin osa on peräisin sivukivialueelta. Sivukivialueelta tuleva kuormitus on huomioitu täysimääräisenä, joten tämän nähdään toimivan hyvänä arviona pohjaveden mukana Lahnaslampeen päätyvistä kokonaiskuormista.

4.4.4 Rikastushiekkaläjäityksen mallin konseptualisointi

Kuvassa 4-10 esitetään mallin konseptualisointi tilannekuvana. Kuormituksiin ja vesimääriin vaikuttavat tekijät ovat: A) nettosadanta, pohjaveden virtaus, sekä kuormitus louhosseinämästä, B) rikastushiekkaläjäytys sekä sen mukana tuleva prosessivesi ja C) sivukivialueelta tuleva suotovesi. Läjäytys kerääntyy louhoksen pohjalle syrjäyttäen louhosjärven vapaan veden tilavuutta. Malli laskee vuosittain louhosjärveen tulevan kuormituksen, "sekoittaa" sen louhoksessa vesimäärään ja laskee sitten louhosjärven vedenlaadun. Tämän vedenlaadun perusteella malli laskee poistuvan vesimäärän perusteella vuodessa louhoksesta poistuvan kuormituksen (Kuva 4-11). Siten mallinnus etenee vuosittain, ja louhosjärven vapaan veden määrä pienenee syrjäytyvän tilavuuden verran joka vuosi. Louhosjärvi täyttyy rikastushiekkaläjäityksen toimintavuoden 15 aikana eli noin vuonna 2045, jonka jälkeen läjäytys lopetetaan. Tässä vaiheessa louhosjärven vapaan veden määrä on huomattavasti nykyistä pienempi (0,89 Mm³) ja vedenlaatu alkaa parantua. Louhosjärven nykyinen sekoittunut vedenlaatu otetaan mallin lähtökohdaksi (ks. Taulukko 4-9). Louhosjärveen tulee vettä kahdesta tai kolmesta lähteestä: 1) Luontainen valunta (sadanta, pintavalunta ja pohjavesi), 2) sivukivialueen suotovesi ja 3) rikastushiekkaläjäityksen mukana tuleva prosessivesi. Ulosvirtaaman tilavuus on sama kuin sisäänvirtaaman, mutta sen laatu on louhosjärven kulloisenkin vuoden sekoittunut vedenlaatu. Osa tästä ulosvirtaamasta tapahtuu pintavaluntana ja osa pohjavesiteitse Punasuon avoulouhokseen. Läjäityksen loppuessa (vuonna 2045), oletetaan, että pohjaveden virtaus vähenee 50 %, koska Lahnaslampeen läjitetyllä rikastushiekkaläjäityksellä on matala vedenjohtavuus, joka pienentää pohjaveden liikettä.



Kuva 4-10. Lahnaslammen rikastushiekkaläjäytysen geokemiallisessa mallissa huomioitavat tekijät.



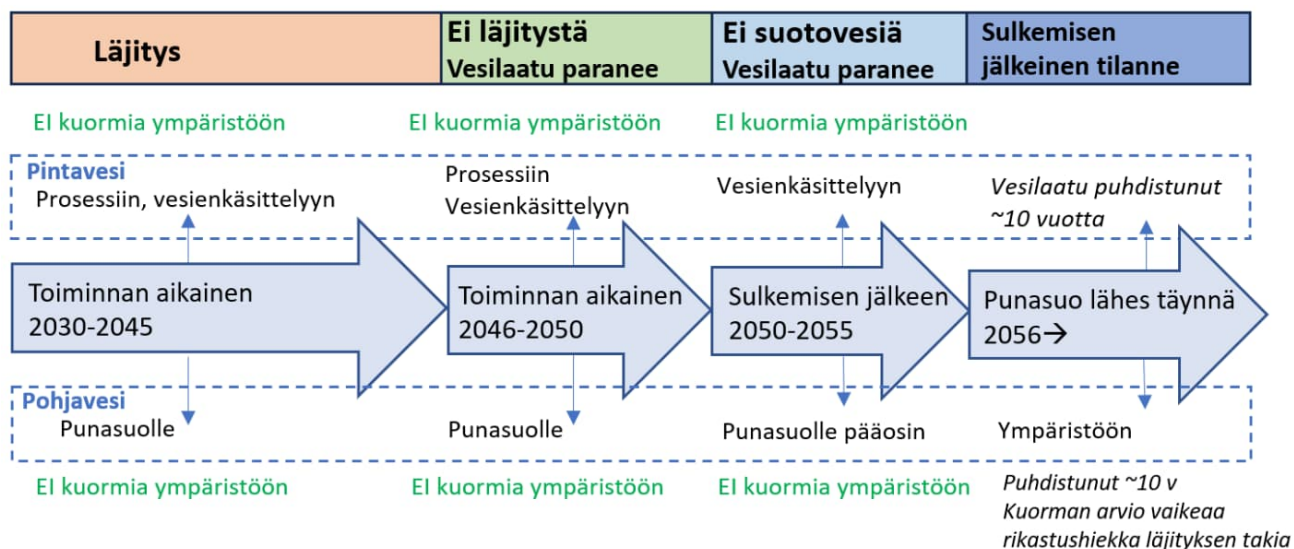
Kuva 4-11. Lahnaslammen louhosjärven konseptuaalinen malli, jossa vedenlaatu ja kuormitus muuttuvat vuosittain pienenevän louhosjärven tilavuuden mukaan. Sisääntuleva kuormitus ja virtaama vaihtuvat läjityksen lopussa vuonna 2045 ja sulkemisen jälkeen sivukivialueen laajennuksen peittämisen vaikutuksesta.

Nykyisen sulkemissuunnitelman mukaan louhosjärven suolaisuuskerrostuminen kehittyy nykyistä voimakkaammaksi sivukiviläjäytysen aiheuttaman veden sekoittumisen vähetessä. Suolaisuuskerrostuminen pienentää pintaveden suolaisuutta ja haitta-ainepitoisuuksia nykyisen toiminnan sulkemissuunnitelman mukaan (AFRY Finland Oy, 2024b). Läjäytys madaltaa louhosjärveen jäävää vesitilavuutta, jolloin kerrostumisen ei oleteta vaikuttavan vedenlaatuun. Mallissa laskettiin myös vedenlaatu 5 vuotta sulkemisen jälkeen (jonka jälkeen poisvirtaavaa vettä saatettaisiin voida johtaa pois ilman käsittelyä) olettaen, että toisena vuonna sulkemisen jälkeen sivukivialueelta tuleva kuormitus ja vesimäärä ovat pienentyneet peittorakenteen vaikutuksesta. Sivukivialueelta tuleva

kuormitus on kaksinkertainen verrattuna toiminnan aikaisessa mallissa olevaan kuormitukseen nykyiseltä (eli peitetyltä) sivukivialueen osalta. Lahnaslammen ajalliset kehitysvaiheet ja kuormitus kussakin vaiheessa esitetään kuvassa 4-12.

Mallissa oletetaan rikastushiekkaläjäityksen vähentävän pohjaveden virtausta siten, että täyttymisen jälkeen pohjavedenvirtauksen määrä on 50 % nykyisestä. Toiminnan loputtua (2050) Punasuon avolouhos alkaa täyttyä vedellä. Täyttymisen aikana Lahnaslammeista ei oleteta olevan merkittävää pohjaveden virtausta muihin suuntiin kuin Punasuolle. Punasuon täyttyminen kestää noin 9 vuotta (AFRY Finland Oy, 2024c). Läjäityksessä olevalla huokosvedellä on siis noin 10-15 vuotta puhdistua ennen kuin pohjavettä alkaa virrata ympäristöön suuremmissa määrin.

Rikastushiekalle oletetaan, että vuosina 2030-2045 rikastushiekkaa läjitetään louhokseen 0,504 Mt vuodessa (vuotuinen keskiarvo kokonaismäärästä). Vuonna 2045 läjitys on saavuttanut tason, jolla sen päällä on vähintään 4 metrin paksuinen vesipatja verrattuna poisvirtaustasoon ja läjitys louhokseen lopetetaan. Läjäityksen loputtua kuormitukset pienenevät ja luontaisten vesien vaikutuksesta louhosveden vedenlaatu alkaa parantua. Tämän jakson aikana vettä käsitellään ja vesilaadun kehitystä voidaan seurata. Malli ei huomioi tässä vaiheessa mahdollisesti tapahtuvaa rikastushiekan painumista lisää, joka johtaisi vaihtuvan vesimäärän lisääntymiseen.



Kuva 4-12. Lahnaslammen ajallinen kehitys vaihtoehdon VE1 oletus skenaariossa. Vaihtoehtoskenaarioissa tarkastellaan vaihtoehtoa, että jo vuonna 2046 lopetettaisiin sivukivialueen suotovesien johtaminen Lahnaslampeen. Lisäksi tarkastellaan vaihtoehtoa, jossa rikastushiekasta ei poisteta vettä ennen sen johtamista pienelle rikastushiekka-altaalle (20 % rikastushiekan kuiva-aineesta) tai Lahnaslampeen (80 % rikastushiekan kuiva-aineesta).

4.4.5 Louhosjärven vedenlaatu ja vuotuiset kuormitukset

Lahnaslammen louhosjärven nykyinen laskemalla saatu "sekoittunut" vedenlaatu esitetään mallinnuksen tuloksena tuotettujen louhosjärven vedenlaatuojen kanssa taulukossa 4-9 (vuosi 2030). Taulukossa esitetään rikastushiekkaläjäityksen oletusskenaariossa läjäityksen lopun tilanne (2045), toiminnan lopun tilanne (2050), sekä tilanne 5 vuotta sulkemisen jälkeen, jolloin pois virtaaminen voi alkaa muuallekin kuin Punasuon avolouhoksen suuntaan (2055). Neljässä oikeanpuoleisessa sarakkeessa esitetään vaihtoehtotarkastelujen tuloksia. Vaihtoehtoskenaarioita on kaksi, joissa esitetään erilaisten lievennystoimien vaikutus louhosjärven vedenlaatuun.

Lievennys-skenaariossa A vuoden 2045 tilanne on sama kuin oletusskenaariossa, mutta sivukivialueen suotovesien johtaminen laajennusosalta lopetetaan rikastushiekkaläjäityksen kanssa samaan aikaan (2045) ja siten sulkemisen aikaan (2050) Lahnaslammen louhosvesi on ehtinyt laimentua luonnonvesien vaikutuksesta viiden vuoden ajan ennen sulkemista (vähäisemmän

vedenvaihtumisen johdosta arseenia on kuitenkin enemmän). Lievennys-skenaario A+B on muuten sama kuin lievennys-skenaario A, mutta lisäksi prosessilaitokselta tulevasta rikastushiekkaläjäytystä ei poisteta vettä (suhteeseen 50 m-% kuiva-ainetta ja 50 m-% prosessivettä) ennen sen johtamista uudelle pienelle rikastushiekka-altaalle ja Lahnaslampeen. Tässä skenaariossa veden vaihtuvuus ennen vuotta 2045 on valtava (2,8 Mm³/v verrattuna perusskenaarion 1,2 Mm³/v) ja louhosjärven tilavuuden pienentyessä louhosjärven vesi alkaa muistuttaa prosessivettä lähemmin kuin perusskenaariossa. Tämä tarkoittaa sitä, että vuotuinen rikastushiekasta huuhtoutuva kuormitus laimenee suurempaan määrään vettä, joka laimentaa pitoisuuksia. On huomioitava, että tässä vaihtoehdossa poistuvaa vettä on paljon ja se pitää käsitellä, mikäli vesiä halutaan johtaa pois kaivosalueelta. Lievennys-skenaariossa A+B pitoisuudet ovat vuoden 2045 "lähtötilanteessa" laimeampia kuin lievennys-skenaariossa A, ja siksi vuoden 2050 pitoisuudet ovat matalampia. Vuoden 2045 jälkeen kummassakin lievennys-skenaariossa kehitys on sama, niissä veden vaihtuvuus on pienempää kuin perusskenaariossa (sivukivialueen vedet puuttuvat). Sivukivien vesi, hidastaisi veden puhdistumista mikäli kyseessä olisi puhdas vesi. Kyseessä on kuitenkin sivukivialueelta tuleva kontaktivesi, jossa pitoisuudet ovat louhosjärveä suurempia (paitsi arseenin osalta) eli lopputuloksena vaihtoehtoisskenaarioissa vuosina 2045-2050 tapahtuva puhdistuminen on tehokkaampaa kuin perusskenaariossa. Olisi siis suotuisaa johtaa sivukivialueen kontaktivedet suoraan käsittelyyn rikastushiekkaläjäityksen loppuessa vuonna 2045.

Taulukko 4-9. Lahnaslammen louhosjärven koostumus rikastushiekkaläjäityksen tapauksessa eri vuosina: alkutilanne (2030), läjäityksen loppuessa (2045), sulkemisvaiheessa (2050) ja 5 vuotta sulkemisesta (2055).

	Perusskenaario				Lievennys A		Lievennys A+B	
	2030	2045	2050	2055	2050	2055	2045	2050
	Alku-tilanne	Läjäitys loppuu	Louhinta Punasuolla päättyy	Punasuon louhos täyttymässä, ja pohjavesi voi virrata muuallekin.	Ei sivukivialueen laajennuksen kuormitusta 2045 alkaen		Ei sivukivialueen kuormitusta 2045 alkaen + Läjäytystä ei poisteta prosessivettä (ei rikastushiekkan suodatusta)	
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
pH	6,9	6,00*	6,6	6,4	7,4	5,9	7,00*	7,6
Ag	0,025	0,025	0,0085	0,00025	0,0016	0,00010	0,025	0,0016
Al**	0,035	21**	25**	0,73	1,6	0,25	6,9	0,75
As	0,0034	3,8	0,0052	0,00006	0,14	0,00017	1,7	0,021
B	-	0,17	0,035	0,0013	0,011	0,00071	0,12	0,0083
Ba	0,025	0,025	0,0046	0,00019	0,0016	0,00012	0,017	0,0012
Be	0,00025	0,002	0,0017	0,00005	0,00015	0,00002	0,00083	0,00007
Ca	260	290	110	3,4	19	1,4	180	13
Cd	0,0027	0,02	0,024	0,0013	0,0023	0,00088	0,0065	0,0015
Cl	8,1	7,6	1,3	0,046	0,49	0,025	8,4	0,54
Co	0,097	0,24	0,21	0,0065	0,018	0,0026	0,086	0,0085
Cr	0,0006	0,0053	0,0014	0,00004	0,00035	0,00002	0,0031	0,00021
Cu	0,00084	0,028	0,007	0,00024	0,00003	0,00008	0,0022	<0,00001
F	-	2,3	0,68	0,019	0,15	0,0073	0,75	0,054
Fe	5,6	2,4	2,6	1,3	1,9	1,3	0,74	1,8
HCO ₃ ⁻	65	320	2,3	0,051	19	0,14	110	6,4
Hg	0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
K	13	22	7,2	0,26	1,5	0,13	13	0,94
Li	0,02	0,072	0,059	0,0018	0,0051	0,00063	0,037	0,003
Mg	510	950	480	14	64	5,2	530	39
Mn	9	5,2	5,4	0,16	0,39	0,061	1,7	0,18
Mo	0,00069	0,033	0,00037	<0,00001	0,002	0,000011	0,017	0,0011
Na	11	22	3,4	0,099	1,4	0,042	18	1,1

	Perusskenaario				Lievennys A		Lievennys A+B	
	2030	2045	2050	2055	2050	2055	2045	2050
	Alku-tilanne	Läjäytys loppuu	Louhinta Punasuolla päättyy	Punasuon louhos täyttymässä, ja pohjavesi voi virrata muuallekin.	Ei sivukivialueen laajennuksen kuormitusta 2045 alkaen		Ei sivukivialueen kuormitusta 2045 alkaen + Läjäytystä ei poisteta prosessivettä (ei rikastushiekan suodatusta)	
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Ni	3,8	12	6,7	0,45	1,1	0,33	4,1	0,64
P	0,0025	0,24	0,0029	0,00047	0,017	0,00024	0,097	0,0061
Pb	0,00025	0,00018	0,00004	<0,00001	<0,00001	<0,00001	0,000064	<0,00001
Sb	0,0056	0,33	0,0025	0,00003	0,02	0,00012	0,27	0,016
Se	0,0005	0,0013	0,00063	0,00010	0,0002	0,00009	0,00075	0,00017
Si	5600	150	3,4	0,091	9,3	0,087	2,5	0,2
Sn	0,01	0,00021	0,0001	<0,00001	0,00007	<0,00001	0,0015	0,00009
Sr	0,47	0,55	0,23	0,0071	0,037	0,0028	0,34	0,024
Th	0,0005	0,0013	0,00045	0,00002	0,00009	<0,00001	0,00076	0,00006
Ti	0,00025	0,0052	0,00012	<0,00001	0,00032	<0,00001	0,0051	0,00031
U	0,0012	0,014	0,00034	0,000013	0,00014	<0,00001	0,0049	0,00017
V	0,00025	0,0031	0,00012	0,00002	0,00021	0,00002	0,0012	0,00010
Zn	0,84	6,1	7,1	0,28	0,48	0,15	2	0,25
SO ₄	2 560	4300	2200	66	290	26	2300	170
NO ₃ -N	0,35	1,4	0,38	0,011	0,09	0,0045	1,5	0,094
NH ₄ -N	0,85	0,22	0,031	0,0022	0,015	0,0017	0,21	0,015

* Suoraan massataselaskennasta saadussa vedenlaadussa varaustasapaino ei ollut vaaditulla tasolla, joten mallinnuksen yhteydessä veteen lisättiin karbonaattia, mutta samalla veden pH nousi epärealistisen korkeaksi. Näissä tapauksissa pH asetettiin mitatun vedenlaadun perusteella oletustasolle. Sorption rooli jäi pieneksi useimmille aineille ja ympäristötarkastelun kannalta oleellisille aineille (arseeni ja nikkeli) kummallakin laskutavalla.

** Alumiinin kuormituksesta >99 % on peräisin sivukivialueen suotovedestä, jossa liuoksen pH oli 3,8. Alumiinin oletettiin käyttäytyvän konservatiivisesti sekoittumismallissa. Todellisuudessa Lahnaslammen pH tasolla (6-7) alumiinin liukoisuus on hyvin pieni ja pitoisuudet ovat <1 mg/l luokkaa (eli käytännössä alumiini saostuu, jota ei ole voitu huomioida mallissa).

Pohjaveden virtausta Lahnaslammen ympäristössä tarkasteltiin Punasuon pohjavesimallin (AFRY Finland Oy, 2024b) ja Pöry Finland Oy (2012) tulokset huomioiden. Lahnaslampi on jo täynnä, ja tällä hetkellä sisäänvirtaavasta vedestä merkittävä osa poistuu pohjavesiteitse Punasuon avolouhokseen. Kallio Lahnaslammen ympäristössä on rikkonaista, erityisesti Punasuon avolouhoksen suuntaan. Erityisesti rikastushiekan läjittäminen Lahnaslampeen tulee vähentämään sen vuorovaikutusta ympäröivän pohjaveden kanssa, koska matalan vedenjohtavuuden rikastushiekka hidastaa veden "läpivirtausta". Tämä ilmiö vähentää pohjaveden sisäänvirtausta, mutta myös poisvirtausta. Kuormituksia oletetaan muodostuvan pohjaveteen vain vähän niin kauan kuin Punasuon avolouhos on tyhjä tai vain osin täyttynyt. Noin 5-10 vuotta sulkemisen jälkeen Punasuon avolouhos alkaa täyttyä ja kuormituksia ympäristöön voi alkaa muodostua. Miten rikastushiekkaläjäytys jäävä huokosvesi vaihtuu läjityksen loppumisen ja ympäristöön suuntautuvan pohjavesivirtauksen alkamisen välissä (10-15 vuotta) on vaikea arvioida, koska läjityksen vedenjohtavuudesta ei ole arviota.

Toiminnan aikana louhosvedessä arvioidaan olevan merkittäviä pitoisuuksia useita ympäristölle potentiaalisesti haitallisia aineita, erityisesti rikastushiekkaläjäytys tapauksessa. Louhosjärven vedenlaatu on ollut jo pidemmän aikaa nykyisen kaltainen useiden alkuaineiden osalta (esim. SO₄ ja Ni), eikä merkittäviä pohjavesivaikutuksia ole havaittu. Pohjavesivaikutukset ovat vähäisiä, koska Punasuon louhoksen ollessa tyhjä Lahnaslamesta poistuva pohjavesi virtaa todennäköisesti pääosin Punasuon louhokseen. Rikastushiekkaläjäytys ja sen mukana tuleva prosessivesi nostavat erityisesti arseenipitoisuuksia. Toiminnanaikana suurin osa pohjaveden ulosvirtauksesta on

Punasuon avolouhoksen suuntaan (AFRY Finland Oy 2024d). Pintaveden mahdollisesti aiheuttamia vaikutuksia rajaa vedenpinnan pitäminen ulosvirtaustason alapuolella. Poistuva pintavesi käsitellään ennen ulosjohtamista. Rikastushiekkaläjäityksen loppuminen muuttaa tilannetta huomattavasti. Tämän jälkeen Lahnaslammen vesitilavuus on pieni, ja sen koko vesitilavuus vaihtuu alle kahden vuoden välein luonnonvesien vaikutuksesta. Läjäityksen loputtua louhosjärven vedellä on 4,5 vuotta toiminnan aikaista aikaa puhdistua läpivirtaavan veden vaikutuksesta. Tämän jälkeen toiminnan suunnitellaan loppuvan ja siten myös louhinnan loppuvan Punasuon avolouhoksessa. Louhosjärvimallin mukaan (AFRY Finland Oy 2024b) Punasuon täyttyminen kestää noin 9 vuotta. Punasuon täyttyessä ja erityisesti täyttymisen jälkeen pohjavettä voi alkaa virrata Lahnaslamasta vuolaammin muihinkin suuntiin.

Taulukossa Error! Reference source not found. esitetään vuotuisten kuormitusten kehitys. Laskuissa käytetyt vuosittain poistuvat vesimäärät ovat: Rikastushiekkaläjäityksen aikana 1,24 Mm³/vuosi eli vuodesta 2030 vuoteen 2045 vesimäärä pysyy samana, rikastushiekkaläjäityksen loputtua ja pohjaveden virtauksen Lahnaslampeen vähennyttä 50 % vesimäärä on 0,61 Mm³/vuosi (vuodet 2045–2050) ja sulkemisen jälkeen sivukivialueen laajennuksen peittämisen jälkeen vesimäärä on 0,49 Mm³/vuosi (2055).

Taulukko 4-10. Lahnaslammen louhosjärvestä vuosittain pintaveden ja pohjaveden mukana yhteensä poistuva kuormitus oletusskenaariossa tarkasteltuna louhosjärven eri kehitysvaiheissa: alkutilanne (2030), läjäityksen loppuessa (2045), sulkemisvaiheessa (2050) ja 5 vuotta sulkemisen jälkeen. Toiminnan aikana vettä johdetaan takaisin rikastamolle ja vesienkäsittelyyn.

	2030	2045	2050	2055
	kg / vuosi	kg / vuosi	kg / vuosi	kg / vuosi
Ag	31	31	5,2	0,12
Al**	43	26 000**	15 000**	360
As	4,3	4 900	17	0,3
B		210	21	0,65
Ba	31	31	2,8	0,095
Be	0,31	2,5	1,1	0,025
Ca	320 000	360 000	67 000	1 700
Cd	3,4	25	14	0,64
Cl	10 000	9 400	770	23
Co	120	300	130	3,2
Cr	0,74	6,7	0,84	0,019
Cu	1,1	48	27	0,31
F		2 900	420	9,5
Fe	6 900	3 000	1 600	630
HCO ₃ ⁻	80 000	400 000	1 400	25
Hg	0,012	0,1	0,014	<0,001
K	16 000	28 000	4 400	130
Li	25	89	36	0,86
Mg	640 000	1 200 000	290 000	6 900
Mn	11 000	6 400	3 300	81
Mo	0,86	42	0,23	0,0024
Na	14 000	27 000	2 100	49
Ni	4 800	15 000	4 100	220
P	3,1	360	5,1	0,85
Pb	0,31	0,82	0,24	0,065
Sb	7	410	1,5	0,015
Se	0,62	1,6	0,38	0,049
Si	6 900 000	190 000	2 100	45
Sn	12	13	2,1	0,034
Sr	580	690	140	3,5



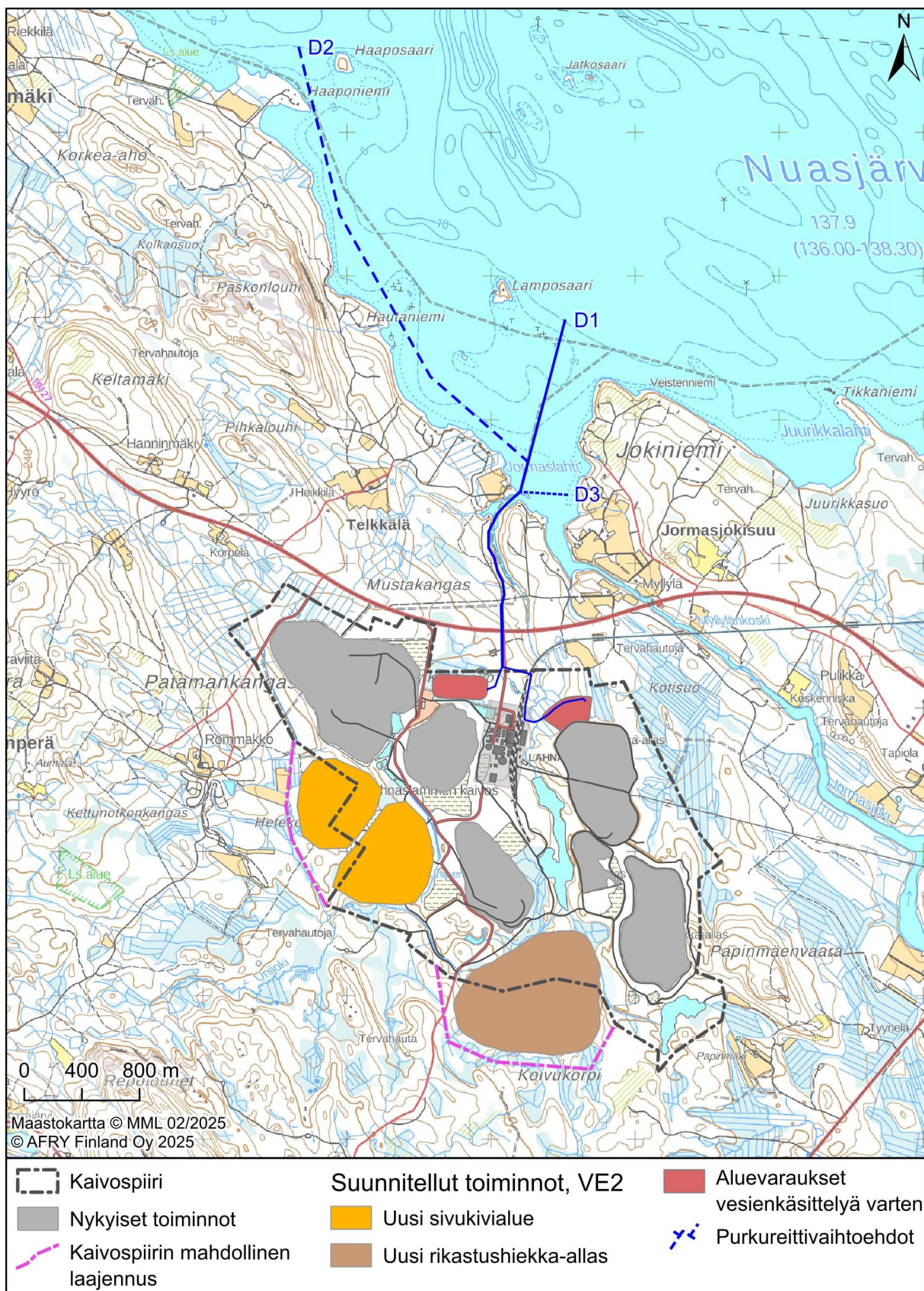
Th	0,62	1,6	0,27	<0,001
Tl	0,31	6,5	0,071	<0,001
U	1,4	18	10	0,24
V	0,31	3,8	0,073	<0,01
Zn	1 000	7 600	4 400	140
SO ₄	3 200 000	5 400 000	1 300 000	33 000
NO ₃ -N	440	1 700	230	5,5
NH ₄ -N	1 100	270	19	1,1

*** Todellisuudessa alumiinikuorma Lahnaslammen poistvirtaamassa on vuosina 2045, 2050 ja 2055 nykyisen kaltainen tai pienempi (kuitenkin <100 kg/a), koska pH:ssa 6-7 alumiinin liukoisuus on erittäin pieni, eli käytännössä alumiini saostuu, jota ei ole voitu huomioida mallissa.*

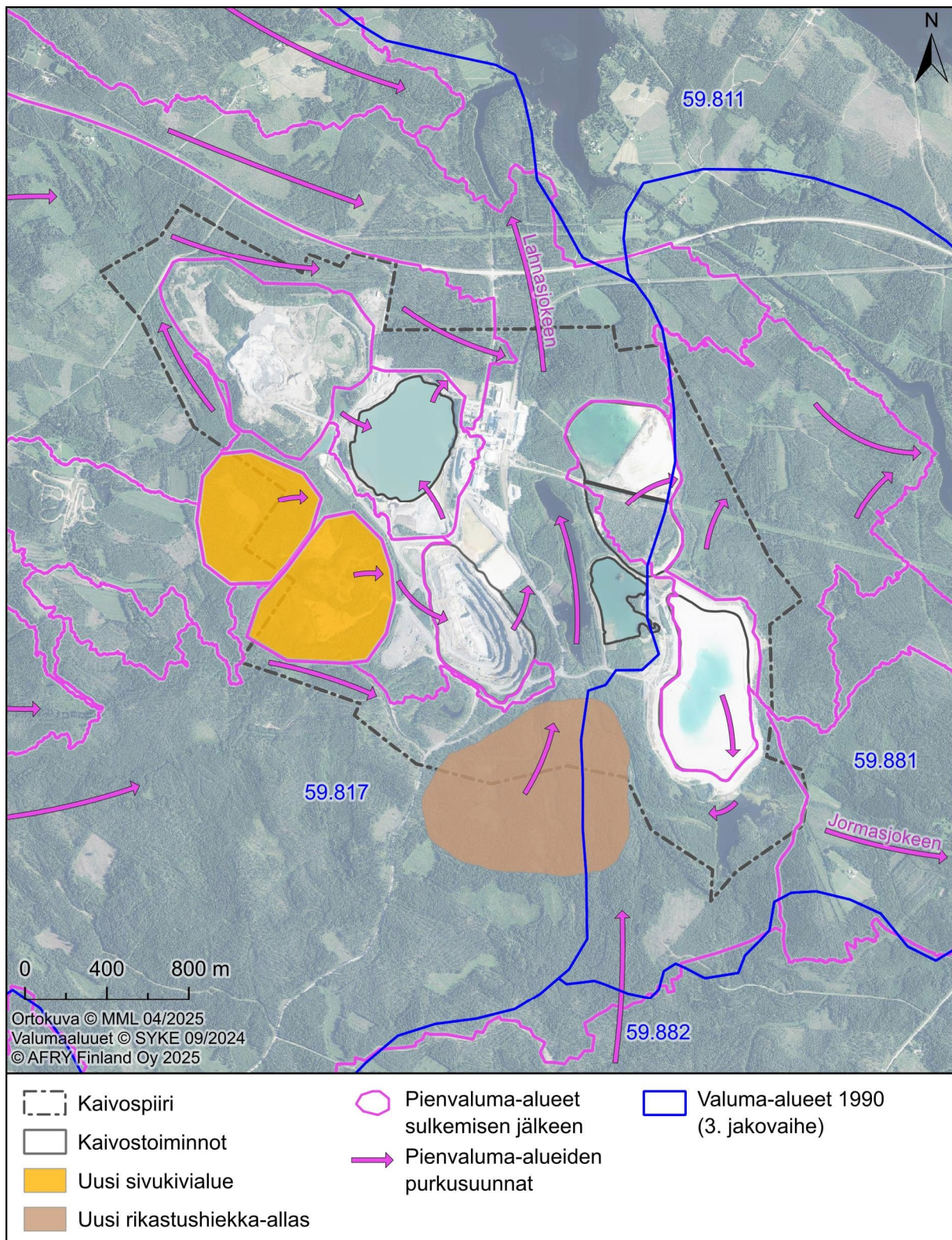
5 Hankevaihtoehto VE2

5.1 Hankevaihtoehdon kuvaus

Hankevaihtoehdossa VE2 toiminta jatkuu noin 20 vuoden ajan vuosina 2030–2049, eli vastaavasti kuin hankevaihtoehdossa VE1. Vaihtoehdossa VE2 rakennetaan kaksi kokonaan uutta sivukivialuetta nykyisen maanlajitysalueen päälle, Punasuon avolouhoksen länsipuolelle. Rikastushiekka läjitetään uudelle rikastushiekka-alueelle Papinlammen rikastushiekka-altaan täyttyttyä nykyisen luvan mukaiselle tasolle (+190 m). Uusi rikastushiekka-allas sijaitsee Papinlammen rikastushiekka-altaan lounaispuolella ja on pinta-alaltaan lähes kaksinkertainen (70 hehtaaria verrattuna 40 hehtaariin). Lajitystä tapahtuu vuosina 2030–2049. Kuvassa 4-5 esitetään hankevaihtoehdon VE2 mukaiset toiminnot sekä niiden sijoittuminen kaivosalueella. Kuvassa 5-2 esitetään sulkemisen jälkeiset mikrovaluma-alueet ja niiden mukaiset pinta- ja pohjavesien kulkusuunnat. Sulkemisen jälkeisen kuormituksen laskennassa on hyödynnetty mikrovaluma-aluejakoa.



Kuva 5-1. Hankevaihtoehdossa VE2 esitetyt toiminnot ja niiden sijoittuminen.



Kuva 5-2. Sulkemisen jälkeiset mikrovaluma-alueet ja pinta- ja pohjavesien kulkusuunnat hankevaihtoehdossa VE2.

5.2 Sivukivi

5.2.1 Uusien sivukivialueiden tekniset suunnitelmat

Punasuon louhoksesta louhittavat sivukivet on hankevaihtoehdossa VE2 jaoteltu niiden rikkipitoisuuden mukaan niin, että kivet, joissa $S > 1 \%$ läjitetään rikkipitoiselle sivukivialueelle ja $S \leq 1 \%$ läjitetään tavanomaiselle sivukivialueelle. Muodostuvista pääsivukivilajiryhmistä kiilleliuskeissa ja talkkimagnesiitissa on siinä määrin vaihtelua rikkipitoisuudessa, että kumpaakin sivukiveä läjitetään sekä rikkipitoiselle että tavanomaiselle sivukivialueelle.

Sivukivialueiden sijainti esitetään kuvassa 4-5. Läntisen läjitysalueen pinta-ala on noin 28 ha ja sille läjitetään rikkipitoisempi kivi. Itäisen läjitysalueen pinta-ala on noin 35 ha, ja sille läjitetään tavanomainen sivukivi. Sivukivialueiden täyttötaso on noin +220 m. Rikkipitoisemman sivukivialueen alle tehdään nykyisten vaatimusten mukaisesti rakenne käyttäen HDPE-kalvoa tai bentoniittimattoa tai tarvittaessa monikerrosrakennetta.

Tässä raportissa on oletettu, että sulkemisvaiheessa rikkipitoinen sivukivialue peitetään bentoniittimatolla, joka suojataan suojamorenilla (1000 mm, $k < 10^{-6}$ m/s) ja tavanomainen sivukivialue peitetään 50 cm peittomorenikerroksella ($k < 10^{-6}$ m/s). Peittorakenne voi olla myös jokin muu.

Läjitettävä sivukivimäärä on 24 milj. tonnia. Tiheydellä $1,8 \text{ t/m}^3$ laskettuna sivukiven tilavuudeksi saadaan 13 milj. m^3 . Läjitettävästä sivukivestä noin 11 milj. tonnia läjitetään rikkipitoiselle sivukivialueelle ja 13 milj. tonnia tavanomaiselle sivukivialueelle.

5.2.2 Arvioinnin toteutus

Kummallekin sivukivialueelle mallinnettiin suotoveden laatu toiminnan aikana ja sulkemisen jälkeen. Sivukivialueiden oletettiin olevan maksimilaajuudessaan ja veden arvioidaan imeytyvän läjitykseen koko läjityksen pinta-alalta. Sivukivialueiden kuormitus muodostuu alueelle satavan veden ja sivukiven pinta- ja rapautumisreaktioiden yhteisvaikutuksesta sekä sekundäärimineraalien muodostumis- ja liukenemisreaktioista.

Toiminnanaikainen suotovesi

Toiminnanaikana läjitettyyn sivukiveen kontaktissa olevan veden määrä vastaa sivukivialueen nettosadantaa. Kaasunvaihto kasan ja ilmakehän välillä oletetaan esteettömäksi, sillä pääosa sivukivestä on karkeaa eikä estä kaasujen virtausta merkittävästi.

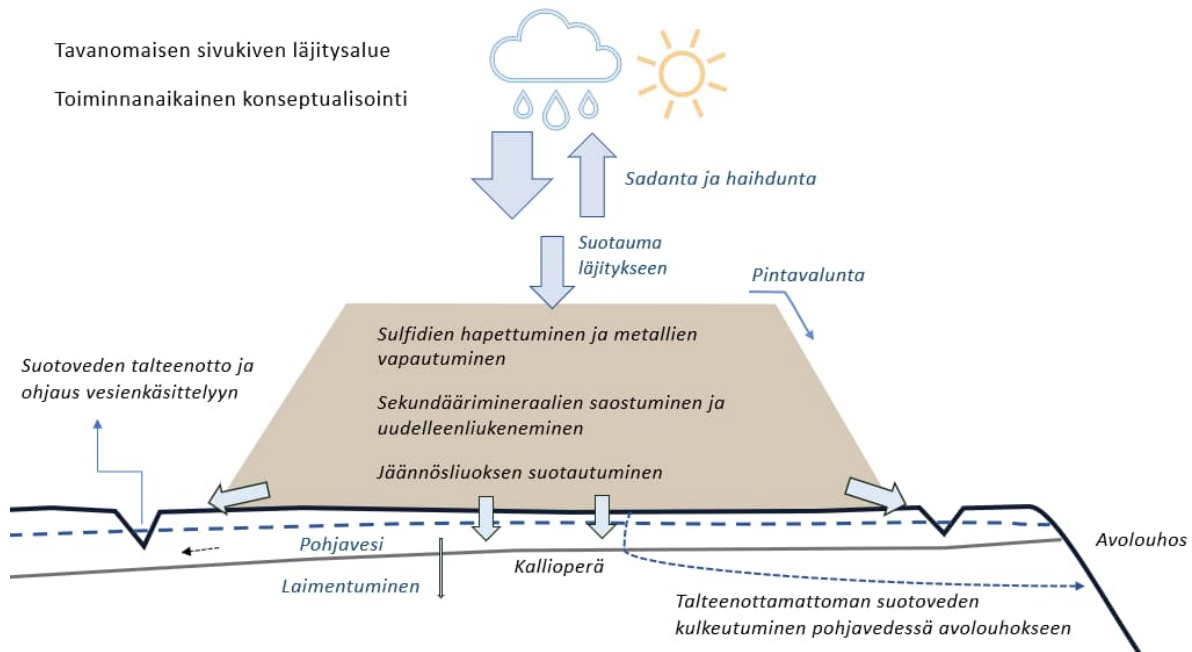
Sivukiveä läjitetään sivukivialueille 19 vuoden ajan. Toiminnanaikaisen suotoveden mallinnuksessa sivukiven pitkäaikaikäkäyttymistä kuvaavana lähtöaineistona käytettiin kosteuskammiokeiden koko jakson keskiarvoa (viikot 0–32). Kosteuskammiookeen tuloksia oli mallinnuksen aikaan valmistuneena vasta 32 viikon ajalta, mikä on suhteellisen lyhyt aika ja siksi koko ajanjakso hyödynnettiin. Kosteuskammiookeeseen liittyvistä epävarmuuksista on kuvattu tarkemmin kappaleessa 6.2.2.

Rikkipitoisella sivukivialueella tiivis pohjarakenne estää tehokkaasti suotovesien kulkeutumisen maaperään ja pohjaveteen. Tässä laskennassa pohjarakenteeseen on oletettu HDPE-kalvo. Pohjarakenteena toimivan kalvon reikien määrä perustuu tutkittuun tietoon tämän tyyppisistä kalvorakenteista mm. kaatopaikoilla. Pohjarakenteessa on kalvotuksen lisäksi bentoniittikerros, joka vähentää entisestään läpisyotautumaa. Mallinnuksessa kuitenkin oletetaan konservatiivisesti bentoniittikerroksen puuttuvan. Kalvossa olevien reikien määräksi oletetaan noin 5/ha (Rowe ym. 2017), jolloin veden läpisyotautuminen vastaa $0,5 \text{ mm/a}$ vesipatsasta, eli yhteensä $140 \text{ m}^3/\text{a}$. Tiiviin pohjarakenteen ansiosta noin 98 % muodostuvasta suotovedestä on talteenotettavissa suotovesiojiin.

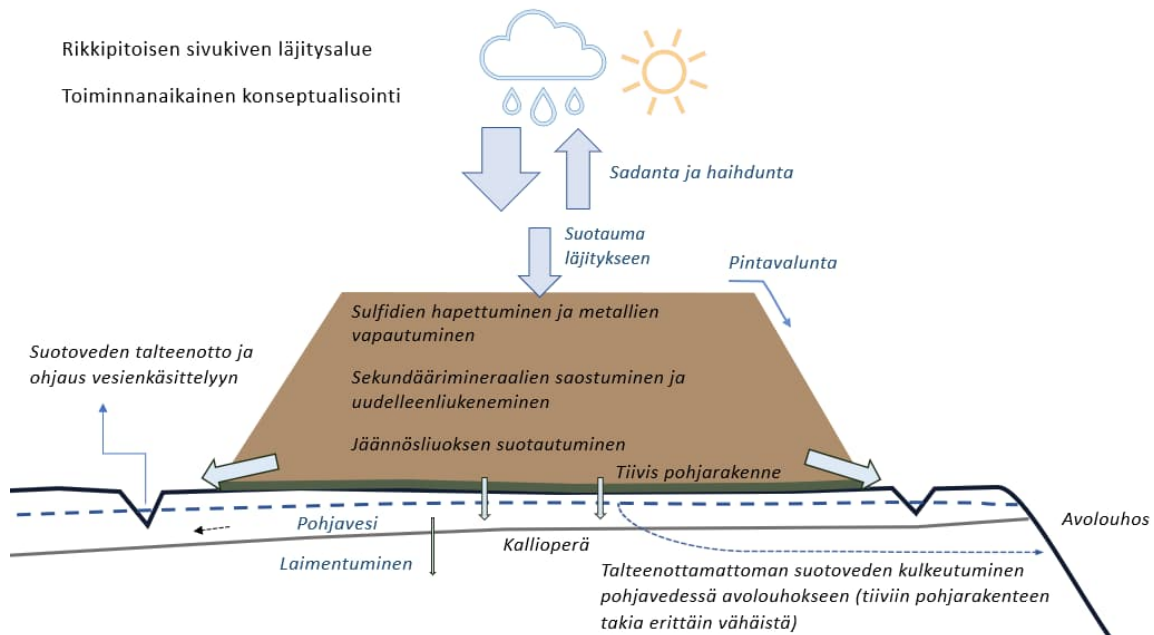
Tavanomaisen sivukivialueen pohjarakenteena toimii luontainen pohjamaa. Suotovesien talteenottoaste on noin 60 % kokonaissuotovesimäärästä. Vastaavasti 40 % kokonaissuotovesimäärästä suotautuu maaperään ja pohjaveteen.

Toiminnan aikana suotoveteen liukenee louhinnassa käytetyistä räjähteistä peräisin olevaa typpeä, joka on otettu huomioon vuosittaisena typpilisänä (Sjölund 1997), koska kosteuskammiokeissa tutkittavat näytteet ovat peräisin kairasydämistä.

Toiminnanaikaisen suotoveden muodostumisen konseptuaalinen kuvaus tavanomaisella sivukivialueella on esitetty kuvassa 5-3 ja rikki-pitoisella sivukivialueella kuvassa 5-4.



Kuva 5-3. Tavanomaisen sivukivialueen toiminnanaikainen konseptualisointi.



Kuva 5-4. Rikki-pitoisen sivukivialueen toiminnanaikainen konseptualisointi.

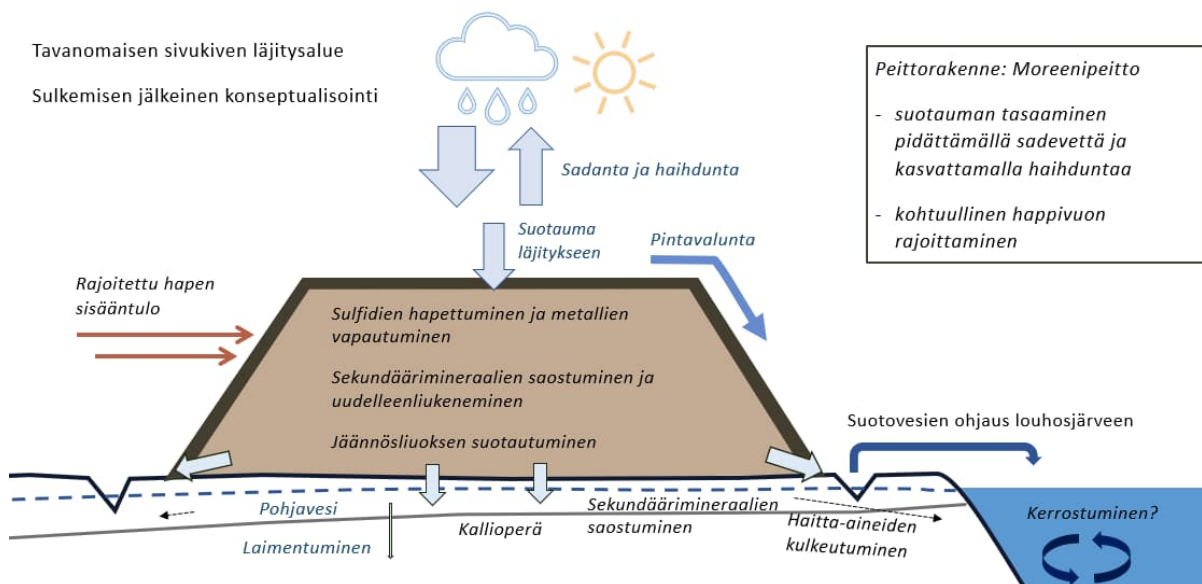
Sulkemisen jälkeinen suotovesi

Tässä raportissa rikkipitoisen sivukivialueen sulkemisrakenteeksi on oletettu bentoniittimatto, jonka päälle tulee suojamoreeni. Bentonittimatto estää tehokkaasti kaasunvaihtoa ja pidättää vettä. Bentonittimaton korkean vedelläkyllästyneisyyden takia hapen pääsy läjitykseen pienenee, mikä rajoittaa kemiallisia reaktioita. Bentonittimatto pienentää sivukiviläjitykseen suotautuvan veden määrää arviolta noin 10 %:iin toiminnanaikaisesta vesimäärästä. Bentonittimaton läpi läjitykseen suotautuvan veden määrä laskettiin bentoniitin vedenjohtavuudella $1 \cdot 10^{-9}$ m/s. Läjitykseen suotautuvasta vesimäärästä noin 98 % on tiiviin pohjarakenteen ansiosta talteenotettavissa suotovesiojiin, joista vedet ohjataan louhosjärven kautta Lahnasjokeen. Mikäli pohjarakenne on jokin muu, sulkemisen jälkeinen kuormitus on silti sama, mutta se jakaantuu eri suhteessa pohja- ja pintaveteen.

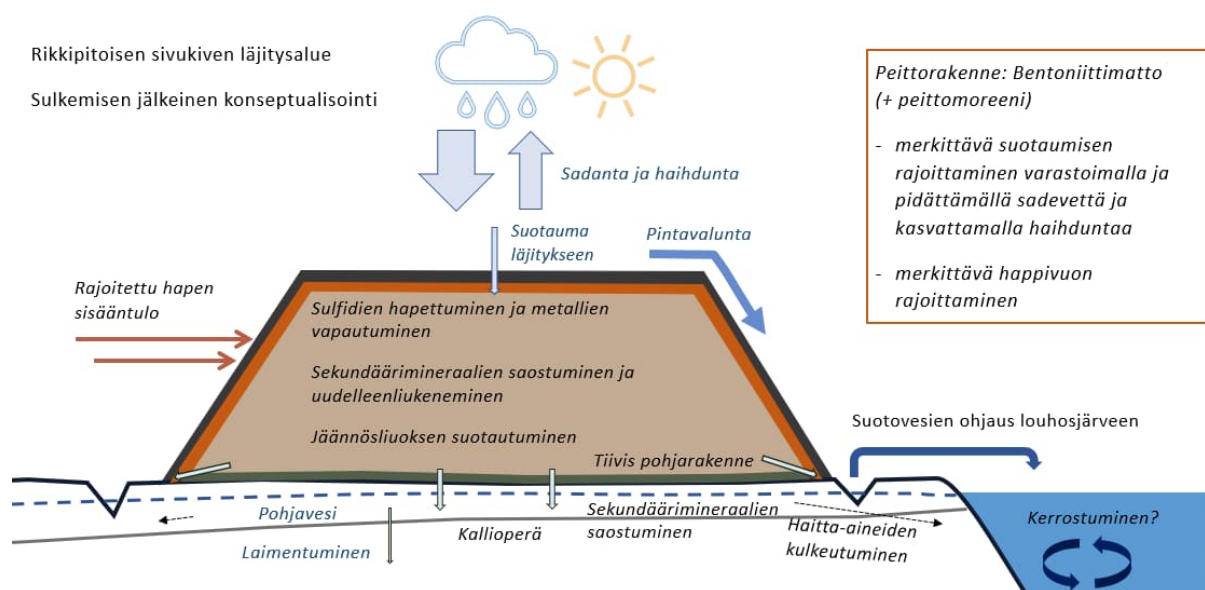
Tavanomaisen sivukivialueen peittorakenteena tässä raportissa toimii 80 cm moreenikerros. Tämän paksuisen peittorakenteen keskimääräinen kosteus peittomoreenin alaosassa on 76 %, mikä rajoittaa happivuon 16 mooliin/m² vuodessa. Peittorakenteen pidättäessä vettä myös haihdunta lisääntyy. Erityisesti korkean vesimäärän tilanteissa (kuten rankkasateet ja lumien sulamiskausi) peittorakenne myös ohjaa vettä pois sivukivialueelta pintavaluntana. Näin ollen läjitykseen imeytyvän sadeveden määrä (305 mm/a) pieneneekin hieman toiminnan aikaan verrattuna (313 mm/a). Läjitykseen suotautuvasta vesimäärästä noin 60 % on talteenotettavissa suotovesiojiin, joista vedet ohjataan louhosiärven kautta Lahnasiokeen.

Sulkemisen jälkeisessä tilanteessa räjähdaineista peräisin olevan typen oletetaan huuhtoutuneen. Mallinnuksessa typen fraktioiden laskennassa käytetään enää vain kosteuskammiokokeiden viikkoliuosten typpimäärää kuvaamaan kivessä luontaisesti esiintyvän typen liukenemistä.

Sulkemisen jälkeisen suotoveden muodostumisen konseptualisointi tavanomaisella sivukivialueella on esitetty kuvassa 5-5 ja rikkipitoisella sivukivialueella kuvassa 5-6.



Kuva 5-5. Tavanomaisen sivukivialueen sulkemisen jälkeinen konseptualisointi.



Kuva 5-6. Rikkipitoisen sivukivialueen sulkemisen jälkeinen konseptualisointi.

5.2.3 Sivukivialueiden vedenlaatu ja kuormitukset

Hankevaihtoehdon VE2 mukaisten sivukivialueiden toiminnanaikaiset suotovedenlaadun mallinnuksen tulokset esitetään taulukossa 5-1 ja sulkemisen jälkeinen suotovedenlaatu taulukossa 5-2. Taulukoissa on lisäksi esitetty nykyisen sivukivialueen suotoveden toiminnanaikainen (mitattu) ja sulkemisen jälkeinen (mallinnettu) vedenlaatu sekä pohjaveden ympäristölaatunormin (VNA 341/2009) mukaiset pitoisuudet. On tärkeä huomata, että ympäristölaatunormit on määritetty kuvaamaan pohjaveden laatua, eivätkä siten ole suoraan sovellettavissa sivukivialueiden suotovesiin. Pitoisuus suotovedessä ei ole pitoisuus pohjavedessä. Tässä yhteydessä arvoja käytetään vain suuruusluokan hahmottamisen tukena.

Toiminnanaikainen suotovesi

Tavanomaisella sivukivialueella muodostuu mallinnuksen mukaan selvästi emäksistä ja puskuriokykyistä suotovettä. Haitta-aineiden pitoisuudet ovat verrattain pieniä. Rikkipitoisen sivukivialueen suotovesi on mallinnuksen perusteella hapanta ja haitta-aineiden pitoisuudet ovat korkeita. Erityisesti nikkelin ja sulfaatin pitoisuudet ovat suotovedessä korkeita, mutta myös kadmiumin, koboltin, lyijyn ja sinkin pitoisuudet ovat koholla. Monen muunkin metallin pitoisuus on korkeampi kuin nykyisen sivukivialueen suotovedessä, mikä onkin oletettavaa, sillä rikkipitoisella sivukivialueella on vain korkearikkistä, sulfidipitoista kiveä, kun taas nykyiselle sivukivialueelle on läjitetty kaikki silloisessa toiminnassa muodostunut sivukivi. Nykyinen sivukivialue suljetaan ennen tai samaan aikaan kuin uudet sivukivialueet otetaan käyttöön, eli taulukossa esitetyt pitoisuudet eivät toteudu samanaikaisesti. Rikkipitoisen sivukivialueen suotovedet ohjataan toiminnan aikana Lahnaslammen louhosjärveen ja sieltä vesienkäsittelyyn.

Sulkemisen jälkeinen suotovesi

Sulkemisen jälkeen peittorakenne rajoittaa hapen pääsyä sivukivi läjitykseen ja näin myös sulfidimineraalien hapettumista. Tavanomaisella sivukivialueella muodostuu mallinnuksen mukaan edelleen emäksistä ja puskurikykyistä suotovettä. Haitta-aineiden pitoisuudet ovat keskimäärin kolmasosa toiminnanaikaisista pitoisuuksista. Rikkipitoisen sivukivialueen suotovesi on edelleen hapanta, mutta tiivis peittorakenne estää hapettumista huomattavasti. Haitta-aineiden pitoisuudet ovat keskimäärin alle kymmenesosa toiminnanaikaisista pitoisuuksista. Nykyisen sivukivialueen suotoveden mallinnettuun koostumukseen verrattuna haitta-aineiden pitoisuudet ovat edelleen



korkeampia, mutta sulfaatin pitoisuus on rikkipitoisella sivukivialueella sulkemisen jälkeen pienempi kuin nykyisellä sivukivialueella.

Taulukko 5-1. Sivukivialueiden mallinnettu suotoveden laatu hankevaihtoehdon VE2 mukaisilla sivukivialueilla toiminnan aikana. Osa aineista pidätty tasapainomallinnuksen perusteella suotovedessä kokonaan. Näiden aineiden pitoisuutena on esitetty "pienempi kuin" vesientarkkailussa käytetty määrittäysraja. Taulukossa on lisäksi esitetty nykyisen sivukivialueen suotovesiojasta analysoitu koostumus (elokuu 2024). Suuruusluokan hahmottamisen tueksi esitetään pohjaveden ympäristölaatuunormin (VNA 341/2009) pitoisuuksia, vaikka nämä eivät olekaan suoraan sovellettavissa suotovesille.

		Toiminnanaikaisen suotoveden koostumus			VNA 341 / 2009
		Tavanomainen sivukivialue (VE2)	Rikkipitoinen sivukivialue (VE2)	Nykyinen sivukivialue	
pH		8,9	3,3	3,8	
Ag	mg/l	0,0001	0,013	0,025	
Al	mg/l	1	4,3	74	
As	mg/l	0,0009	0,00019	0,0084	0,005
B	mg/l	0,12	0,84	0,1	
Ba	mg/l	0,062	0,23	0,013	
Be	mg/l	0,0012	0,0027	0,0051	
Ca	mg/l	82	1500	320	
Cd	mg/l	0,0000015	1,1	0,068	0,0004
Cl	mg/l	7,1	36	3,6	25
Co	mg/l	0,00029	1,4	0,61	0,002
Cr	mg/l	<0,0002	0,01	0,004	0,01
Cu	mg/l	<0,001	0,18	0,13	0,02
F	mg/l	0,56	1,4	2	
Fe	mg/l	0,12	3100	4,1	
HCO ₃ ⁻	mg/l	310	290	0,01	
Hg	mg/l	<0,00002	<0,00002	0,000065	
K	mg/l	62	160	21	
Li	mg/l	0,029	0,073	0,18	
Mg	mg/l	73	1300	1400	
Mn	mg/l	0,018	29	16	
Mo	mg/l	0,004	0,00052	0,0005	
Na	mg/l	17	16	9,8	
Ni	mg/l	0,0008	680	19	0,01
P	mg/l	0,1	0,0096	0,015	
Pb	mg/l	<0,00015	0,11	0,0008	0,005
Sb	mg/l	0,098	0,0093	0,0014	0,0025
Se	mg/l	0,0052	0,38	0,0016	
Si	mg/l	18	29	7,4	
Sn	mg/l	0,00041	0,0000025	0,01	
Sr	mg/l	0,2	2,4	0,68	
Th	mg/l	0,0012	0,0084	0,0013	
Tl	mg/l	0,00012	0,0066	0,00025	
U	mg/l	0,012	0,26	0,049	
V	mg/l	0,016	0,042	0,00025	
W	mg/l	0,002	0,0084	0	
Zn	mg/l	0,000076	130	21	0,06
SO ₄	mg/l	280	12000	6500	150
NO ₃ -N	mg/l	3,7	4,2	1,1	50
NH ₄ -N	mg/l	3	4,2	0,084	0,2



Taulukko 5-2. Sivukivialueiden mallinnettu suotoveden laatu hankevaihtoehtoon VE2 mukaisilla sivukivialueilla sulkemisen jälkeen. Osa aineista pidätty tasapainomallinnuksen perusteella suotovedessä kokonaan. Näiden aineiden pitoisuutena on esitetty "pienempi kuin" vesientarkkailussa käytetty määritysraja. Taulukossa on lisäksi esitetty nykyisen sivukivialueen mallinnettu sulkemisen jälkeinen vedenlaatu. Suuruusluokan hahmottamisen tueksi esitetään pohjaveden ympäristölaatuonormin (VNA 341/2009) pitoisuuksia, vaikka nämä eivät olekaan suoraan sovellettavissa suotovesille.

		Sulkemisen jälkeisen suotoveden koostumus			VNA 341 / 2009
		Tavanomainen sivukivialue (VE2)	Rikkipitoinen sivukivialue (VE2)	Nykyinen sivukivialue	
pH		8,5	3,5	5,2	
Ag	mg/l	0,000018	0,00073	0,0026	
Al	mg/l	0,33	0,35	7,9	
As	mg/l	0,000098	0,000065	0,000053	0,005
B	mg/l	0,055	0,043	0,011	
Ba	mg/l	0,025	0,009	0,0014	
Be	mg/l	0,00055	0,00013	0,00054	
Ca	mg/l	43	56	34	
Cd	mg/l	0,0000002	0,083	0,007	0,0004
Cl	mg/l	2,8	1,3	0,38	25
Co	mg/l	0,000051	0,075	0,065	0,002
Cr	mg/l	<0,0002	0,00066	0,00021	0,01
Cu	mg/l	<0,001	0,015	0,0015	0,02
F	mg/l	0,12	0,054	0,2	
Fe	mg/l	0,055	160	0,44	
HCO ₃ ⁻	mg/l	110	11	0,065	
Hg	mg/l	<0,00002	0,000000069	0,0000035	
K	mg/l	18	6,6	2,2	
Li	mg/l	0,0078	0,003	0,019	
Mg	mg/l	29	52	150	
Mn	mg/l	0,0036	0,99	1,7	
Mo	mg/l	0,00047	0,000039	0,000016	
Na	mg/l	1,8	0,32	1	
Ni	mg/l	0,00012	35	2	0,01
P	mg/l	0,0049	0,0033	0,000017	
Pb	mg/l	<0,00015	0,013	0,00000023	0,005
Sb	mg/l	0,037	0,00041	0,00014	0,0025
Se	mg/l	0,0021	0,013	0,00016	
Si	mg/l	7,8	1,7	0,79	
Sn	mg/l	0,000015	0,00000056	0,00053	
Sr	mg/l	0,086	0,077	0,072	
Th	mg/l	0,00055	0,00043	0,00014	
Tl	mg/l	0,000055	0,00029	0,000027	
U	mg/l	0,0066	0,026	0,00001	
V	mg/l	0,0049	0,0021	0,000027	
W	mg/l	0,0006	0,00043		
Zn	mg/l	0,000012	11	2,1	0,06
SO ₄	mg/l	140	530	670	150
NO ₃ -N	mg/l	0,059	0,015	0,12	50
NH ₄ -N	mg/l	0,044	0,047	0,0089	0,2

Sulkemisen jälkeinen kuormitus sivukivialueilta pinta- ja pohjavesiin esitetään taulukoissa 5-4 ja 5-5. Mikäli pohjarakenne on jokin muu, sulkemisen jälkeinen kuormitus on silti sama, mutta se jakaantuu eri suhteessa pohja- ja pintaveteen. Kuormitus suuntautuu kummaltakin sivukivialueelta kohti Jormaslahtea (Kuva 5-2). Suotovesiojiin talteenotetut suotovedet ohjataan louhosjärven kautta Lahnasjokeen, josta ne kulkeutuvat edelleen kohti Jormaslahtea. Pohjarakenteiden läpi maaperään suotautuvat vedet kulkeutuvat todennäköisesti myös louhosjärvien kautta (Punasuon louhosjärven täyttyttyä vedellä), sillä louhosjärvet osuvat valuma-alueella veden luontaiselle kulkureitille. Punasuon louhoksen täyttyessä vedellä Lahnaslammen louhosjärvestä suotautuu vielä pohjavettä Punasuon louhokseen. Myös sivukivialueen vesien voidaan olettaa päätyvän suurelta osin Punasuon louhokseen sen täyttymisen aikana. Sivukivialueilta pintavesiin kohdistuvaa kadmium-, kupari-, rauta-, nikkeli-, lyijy- ja sinkkikuormitusta dominoi selvästi rikkipitoiselta alueelta lähtevä kuormitus. Hopean, alumiinin, mangaanin ja tinan osalta kuormitusta dominoi nykyinen sivukivialue. Muiden aineiden osalta kuormitus muodostuu pääosin tavanomaisen sivukivialueen suotovedestä.

Pohjavesiin kohdistuva hopea-, alumiini-, kadmium-, koboltti-, mangaani-, nikkeli- ja sinkkikuormitus dominoi nykyiseltä sivukivialueelta lähtevä kuormitus. Muiden aineiden osalta kuormitus muodostuu pääosin tavanomaisen sivukivialueen suotovedestä. Pohjavesiin kohdistuvassa kuormituksessa rikkipitoinen sivukivialue ei enää dominoi kuormitusta, koska rikkipitoisen sivukivialueen tiivis pohjarakenne pienentää tehokkaasti suotautumista maaperään. Nykyisellä sivukivialueella ei ole rikkipitoisen sivukivialueen tavoin tiivistä pohjarakennetta, ja siksi suurempi osa suotovesistä pääsee suotautumaan pohjavesiin.

Taulukko 5-3. Sulkemisen jälkeen pintavesiin kohdistuva kuormitus hankevaihtoehdon VE2 mukaisilta sivukivialueilta ja nykyiseltä sivukivialueelta.

Kuormituksen kohde		Kuormitus pintavesiin			Kokonais- kuormitus pintavesiin
Kulkureitti		Suotovesiojista louhosjärven kautta Lahnasjokeen / Jormaslahteen			
Kuormituksen lähde		Tavanomainen sivukivialue (VE2)	Rikkipitoinen sivukivialue (VE2)	Nykyinen sivukivialue	
Ag	kg/a	0,0011	0,0064	0,03	0,038
Al	kg/a	21	3	90	110
As	kg/a	0,0063	0,00056	0,0006	0,0075
B	kg/a	3,5	0,37	0,12	4
Ba	kg/a	1,6	0,078	0,0156	1,7
Be	kg/a	0,035	0,0012	0,006	0,042
Ca	kg/a	2800	490	384	3700
Cd	kg/a	0,000013	0,72	0,078	0,8
Cl	kg/a	180	12	4,32	200
Co	kg/a	0,0033	0,65	0,72	1,4
Cr	kg/a	0,013	0,0057	0,0024	0,021
Cu	kg/a	0,064	0,13	0,0174	0,21
F	kg/a	7,5	0,47	2,22	10
Fe	kg/a	3,5	1300	4,92	1300
HCO ₃ ⁻	kg/a	7300	98	0,72	7400
Hg	kg/a	0,0013	0,0000006	0,000039	0,0013
K	kg/a	1200	57	25,2	1300
Li	kg/a	0,5	0,026	0,21	0,74
Mg	kg/a	1900	450	1680	4000
Mn	kg/a	0,23	8,6	19,2	28
Mo	kg/a	0,03	0,00034	0,000186	0,031



Kuormituksen kohde		Kuormitus pintavesiin			Kokonais- kuormitus pintavesiin
Kulkureitti		Suotovesiojista louhosjärven kautta Lahnasjokeen / Jormaslahteen			
Kuormituksen lähde		Tavanomainen sivukivialue (VE2)	Rikkipitoinen sivukivialue (VE2)	Nykyinen sivukivialue	
Na	kg/a	120	2,7	12	130
Ni	kg/a	0,0079	300	22,2	320
P	kg/a	0,32	0,029	0,000192	0,35
Pb	kg/a	0,0096	0,11	0,00000258	0,12
Sb	kg/a	2,4	0,0036	0,00162	2,4
Se	kg/a	0,14	0,12	0,00186	0,26
Si	kg/a	500	15	9	520
Sn	kg/a	0,00094	0,0000048	0,006	0,0069
Sr	kg/a	5,5	0,67	0,84	7
Th	kg/a	0,035	0,0037	0,00156	0,04
Tl	kg/a	0,0035	0,0026	0,0003	0,0064
U	kg/a	0,42	0,22	0,00012	0,64
V	kg/a	0,31	0,019	0,0003	0,33
W	kg/a	0,039	0,0037	-	0,043
Zn	kg/a	0,00077	91	23,4	110
SO ₄	kg/a	8900	4600	7800	21000
NO ₃ -N	kg/a	3,8	0,13	1,32	5,3
NH ₄ -N	kg/a	2,8	0,41	0,102	3,3

Taulukko 5-4. Sulkemisen jälkeen pohjaveteen kohdistuva kuormitus hankevaihtoehdon VE2 mukaisilta sivukivialueilta ja nykyiseltä sivukivialueelta.

Kuormituksen kohde		Kuormitus pohjaveteen			Kokonais- kuormitus pohjaveteen
Kulkureitti		Pohjarakenteen läpi maaperään ja pohjaveteen			
Kuormituksen lähde		Tavanomainen sivukivialue (VE2)	Rikkipitoinen sivukivialue (VE2)	Nykyinen sivukivialue	
Ag	kg/a	0,00076	0,0001	0,02	0,021
Al	kg/a	14	0,048	60	74
As	kg/a	0,0042	0,0000091	0,0004	0,0046
B	kg/a	2,3	0,006	0,08	2,4
Ba	kg/a	1,1	0,0013	0,0104	1,1
Be	kg/a	0,023	0,000019	0,004	0,027
Ca	kg/a	1900	7,9	256	2200
Cd	kg/a	0,0000085	0,012	0,052	0,064
Cl	kg/a	120	0,19	2,88	120
Co	kg/a	0,0022	0,01	0,48	0,49
Cr	kg/a	0,0085	0,000092	0,0016	0,01
Cu	kg/a	0,043	0,0021	0,0116	0,057
F	kg/a	5	0,0076	1,48	6,5
Fe	kg/a	2,3	22	3,28	28
HCO ₃ ⁻	kg/a	4900	1,6	0,48	4900



Kuormituksen kohde		Kuormitus pohjaveteen			Kokonais- kuormitus pohjaveteen
Kulkureitti		Pohjarakenteen läpi maaperään ja pohjaveteen			
Kuormituksen lähde		Tavanomainen sivukivialue (VE2)	Rikkipitoinen sivukivialue (VE2)	Nykyinen sivukivialue	
Hg	kg/a	0,00085	9,6E-09	0,000026	0,00088
K	kg/a	790	0,93	16,8	810
Li	kg/a	0,33	0,00042	0,14	0,47
Mg	kg/a	1300	7,3	1120	2400
Mn	kg/a	0,15	0,14	12,8	13
Mo	kg/a	0,02	0,0000054	0,000124	0,02
Na	kg/a	78	0,044	8	86
Ni	kg/a	0,0053	4,8	14,8	20
P	kg/a	0,21	0,00046	0,000128	0,21
Pb	kg/a	0,0064	0,0018	0,00000172	0,0082
Sb	kg/a	1,6	0,000058	0,00108	1,6
Se	kg/a	0,09	0,0019	0,00124	0,093
Si	kg/a	330	0,24	6	340
Sn	kg/a	0,00063	0,000000078	0,004	0,0046
Sr	kg/a	3,7	0,011	0,56	4,3
Th	kg/a	0,023	0,00006	0,00104	0,024
Tl	kg/a	0,0023	0,000041	0,0002	0,0025
U	kg/a	0,28	0,0036	0,00008	0,28
V	kg/a	0,21	0,0003	0,0002	0,21
W	kg/a	0,026	0,00006	0	0,026
Zn	kg/a	0,00051	1,5	15,6	17
SO ₄	kg/a	5900	75	5200	11000
NO ₃ -N	kg/a	2,5	0,0021	0,88	3,4
NH ₄ -N	kg/a	1,9	0,0066	0,068	2

5.3 Uusi rikastushiekka-allas

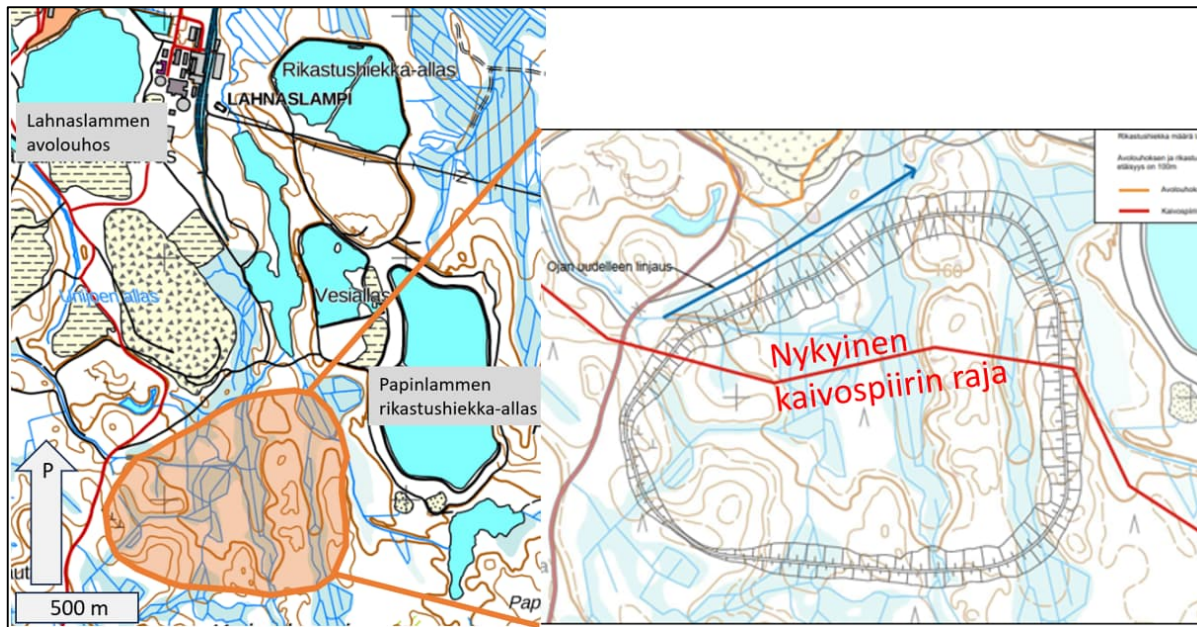
5.3.1 Uuden rikastushiekka-altaan tekniset suunnitelmat

Kuvassa 5-7 esitetään suunnitelma hankevaihtoehtossa VE2 rakennettavan uuden rikastushiekka-altaan sijainnista ja koosta (70 ha). Tuotantovuosille laskettu rikastushiekka mahtuu altaaseen kokonaisuudessa padon korkeudella 25 m (taso +180 m). Uusi allas ei mahdu kokonaisuudessaan nykyisen kaivospiiriin sisään, vaan vaihtoehtossa kaivospiiriä laajennetaan nykyisestä noin 95 ha.

Tässä raportissa rikastushiekka-altaan alle on oletettu rakennettavaksi HDPE-kalvo. Tämän ansiosta suotovesiä jää talteen ottamatta vähemmän kuin pohjarakenteettomalla Papinlammen rikastushiekka-altaalla, ja siksi pohjaveteen suuntautuvat kuormitukset muodostuvat vain pohjarakenteen reikien läpi pääsevistä virtauksesta. Kuormitukset pohjaveteen ovat toiminnan aikana huomattavasti pienempiä kuin Papinlammen rikastushiekka-altaalta. Sulkemisen jälkeen suurempi osa uuden rikastushiekka-altaan kuormituksesta kohdistuu pintavesiin kuin Papinlammella. Pohjaveteen suuntautuvia kuormituksia ei esitetä erikseen, mutta ne on laskettavissa kokonaiskuormituksesta olettaen tiiviin pohjarakenteen läpipääsevän veden osuudeksi esimerkiksi 1 %. Mikäli pohjarakenne on jokin muu, sulkemisen jälkeinen kuormitus on silti sama, mutta se jakaantuu eri suhteessa pohja- ja pintaveteen.

Vuosina 2030–2049 rikastushiekkaa arvioidaan muodostuvan 12,90 Mt, eli 0,64 Mt/vuosi. Tiheydellä 1,35 laskettuna rikastushiekan tilavuudeksi saadaan 9,55 Mm³. Tällä kuivatiheydellä rikastushiekka on rikastushiekka-alueella. Läjitys kestää 20 vuotta eli läjityksen määrä on noin 0,48 Mm³/vuosi ja maksimissaan 0,52 Mm³/vuosi.

Rikastushiekka-altaalle sijoitetaan rikastushiekan lisäksi myös vesienkäsittelyn sakkoja arviolta noin 0,01 Mt/a (yhteensä noin 0,2 Mt). Näitä ei ole huomioitu mallinnuksessa.



Kuva 5-7. Hankevaihtoehdossa VE2 rakennettava uusi rikastushiekka alue (70 ha), joka sijaitsee Papinlammen rikastushiekka-altaan lounais/länsipuolella.

5.3.2 Arvioinnin toteutus

Arviointi tehtiin suoraan Papinlammen rikastushiekka-altaan geokemiallista mallia muokkaamalla. Toimintaan ja kokoon liittyvät parametrit muutettiin, mutta muut oletukset pysyivät samoina kuin Papinlammen suotovedenlaadun mallinnuksessa (AFRY Finland Oy, 2024c). Oletuksiin kuuluvat mm. rikastushiekan geokemiallinen ja fysikaalinen koostumus, sekä pitkäaikaiskäyttäytyminen, sorption mallintaminen, prosessiveden laatu ja konseptualisointi, sekä ilmastoon liittyvät parametrit. Sulkemisen jälkeisessä mallissa oleellista ovat myös peittorakenteen ominaisuudet, jotka määritettiin erikseen laki- ja patoalueilla.

Läjitysmäärät (maks. 0,52 Mm³/vuosi) ovat VE2 rikastushiekka-altaalla pinta-alaan (70 ha) suhteutettuna samankaltaiset kuin Papinlammella (jossa läjitysmäärä ~0,31 Mm³/vuosi ja pinta-ala 40 ha). Eli rikastushiekkaa kumuloituu samankaltainen paksuus vuodessa. Suunniteltu rikastushiekkapatjan maksimipaksuus (~24 m) on hieman ohuempi kuin Papinlammella. Ohuempi rikastushiekkapatja aiheuttaa toiminnan aikana pienemmän painekorkeuseron ja siten suotovettä tyypillisesti muodostuu vähemmän kuin paksummalta rikastushiekka-altaalta. Suotoveden muodostumisen määrä suhteessa pinta-alaan pidetään kuitenkin samana. Papinlammen toiminnan aikainen malli on kalibroitu nykyisen suotovesimäärän perusteella. Sulkemisen jälkeen vuotuinen suotovesimäärä on sama kuin alueelle peiton läpi imeytyvä sadanta.

Lakialueen oletetaan olevan sulkemisvaiheessa hieman laajempi verrattuna kokonaispinta-alaan kuin on Papinlammella. Konservatiivisesti laen pinta-ala sulkemisvaiheessa oletetaan olevan 30 hehtaaria eli 43 % kokonaispinta-alasta Papinlammella lakialuetta on noin 30 %. Lakialueen yliarvioiminen on konservatiivinen oletus.

5.3.3 Rikastushiekka-altaan vedenlaatu ja kuormitukset

Taulukossa 5-5 esitetään VE2 mukaisen rikastushiekka-altaan suotovedenlaadun mallinnuksen tulokset sekä vertailu Papinlammen rikastushiekka-altaan tuloksiin, jotka esitetään osana nykytoiminnan sulkemissuunnitelmaa (AFRY Finland 2024c).

Suurin ero vedenlaadussa nähdään toiminnan aikana ja sulkemisen alkuvaiheessa. Erot aiheutuvat suuremmasta prosessiveden määrästä verrattuna sadantaan. Huokosveden oletetaan olevan täysin sekoittunut eli vesimäärät ovat samassa suhteessa kuin sadanta ja läjityksen mukana altaalle tuleva prosessivesi. Sama vesiseos jää rikastushiekka-altaalla huokosvedeksi ja poistuu sulkemisen jälkeen. Olettaen tasainen vesipinnan lasku vuotuisen sadannan perusteella ja rikastushiekkapatjan paksuudeksi 24 m, prosessivesijäämien korvautuminen kokonaan sadevedellä huokosvedestä kestää noin 26 vuotta. Tämän jälkeen viimeistään siirrytään "pitkä aika" vaiheeseen.

Taulukko 5-5. Uuden VE2 mukaisen rikastushiekka-altaan ja Papinlammen rikastushiekka-altaan suotovesilaadun mallinnuksen tulokset. Toiminnan aikainen mallinnettu vedenlaatu on kalibroitu mitattujen suotovedenlaatuojen perusteella. Arseenipitoisuudelle sulkemisen jälkeen käytetään 90 % sorptioon perustuvia tuloksia (konservatiivinen oletus johtuen sorption mallintamiseen liittyvistä epävarmuuksista).

		Papinlampi			VE2 rikastushiekka-allas		
		Toiminta	Sulkeminen lyhyt aika	Sulkeminen pitkä aika	Toiminta	Sulkeminen lyhyt aika	Sulkeminen pitkä aika
pH	mg/l	8,6	8,7	8,7	8,6	8,7	8,7
Ag	mg/l	0,011	0,010	0,000046	0,021	0,017	0,000043
Al	mg/l	0,021	0,013	0,0026	0,031	0,02	0,0024
As	mg/l	0,021	0,054	0,028	0,025	0,0690	0,0270
B	mg/l	0,15	0,068	0,026	0,19	0,094	0,024
Ba	mg/l	0,028	0,011	0,0055	0,033	0,014	0,0053
Be	mg/l	0,0012	0,00036	0,00026	0,0012	0,00042	0,00024
Ca	mg/l	120	74	16	180	110	15
Cd	mg/l	0,00008	0,00002	<0,00001	0,00009	0,00003	<0,00001
Cl	mg/l	9,0	5,0	1,3	12	7,4	1,2
Co	mg/l	0,041	0,012	0,0057	0,045	0,014	0,0054
Cr*	mg/l	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Cu	mg/l	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
F	mg/l	0,63	0,15	0,15	0,62	0,15	0,15
Fe	mg/l	27***	22***	22	270	22	22
HCO ₃ ⁻	mg/l	200	230	230	940	220	220
Hg*	mg/l	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
K	mg/l	31	10	6,7	34	12	6,3
Li	mg/l	0,03	0,014	0,0051	0,037	0,019	0,0049
Mg	mg/l	350	210	87	420	280	83
Mn	mg/l	0,12	0,051	0,013	0,15	0,07	0,013
Mo	mg/l	0,0041	0,0041	0,00001	0,008	0,0067	0,00001
Na	mg/l	6,8	6,8	0,0063	13	11	0,0059
Ni	mg/l	0,55	0,17	0,035	0,65	0,22	0,033
P	mg/l	0,39	0,03	0,013	0,39	0,023	0,012
Pb*	mg/l	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Sb	mg/l	1,4	0,41	0,3	1,4	0,46	0,29
Se	mg/l	0,0055	0,0015	0,0013	0,0056	0,0016	0,0012
Si	mg/l	14	3,4	3,4	14	3,2	3,2



		Papinlampi			VE2 rikastushiekka-allas		
		Toiminta	Sulkeminen lyhyt aika	Sulkeminen pitkä aika	Toiminta	Sulkeminen lyhyt aika	Sulkeminen pitkä aika
Sn	mg/l	0,0035	0,0039	0,00051	0,0057	0,0046	0,0005
Sr	mg/l	0,2	0,13	0,024	0,29	0,19	0,023
Th	mg/l	0,0023	0,00073	0,00051	0,0025	0,00084	0,00049
Ti	mg/l	0,0053	0,0029	0,00077	0,0072	0,0042	0,00073
U	mg/l	0,0005	0,00035	<0,00001	0,00078	0,00054	<0,00001
V	mg/l	0,011	0,0027	0,0026	0,011	0,0026	0,0024
W	mg/l	0,0021	0,00051	0,00051	0,0021	0,00049	0,00049
Zn	mg/l	0,0070	0,0018	0,00029	0,0080	0,0021	0,00027
SO ₄	mg/l	1500	820	230	2100	1200	220
NO ₃ -N	mg/l	0,69	0,65	0,013	1,3	1,1	0,012
NH ₄ -N	mg/l	0,2	0,12	0,026	0,28	0,18	0,024

* Metallit sorboituu lähes täysin ja pitoisuus oletetaan vähäpätöisen pieneksi

*** Raudan määrä laskettiin kosteuskammiokoeksessa vapautuvasta sulfaattimäärästä olettaen kaiken rikin olevan pyriittinä ja sulkemisen aikana 33 % raudasta olevan sorboivaa (vapaata) rautaa, toiminnan ajalle käytettiin lukua 10 %.

Taulukossa 5-6 esitetään VE2 mukaisen rikastushiekka-altaalta suotoveden mukana poistuvien aineiden määrä sulkemisen jälkeisessä tilanteessa (heti sulkemisen jälkeen ja prosessiveden huuhtouduttua pois huokosvedestä) olettaen, että allas on peitetty suunnitelmien mukaisella kaksikerrosmoreenipeitolla (vedenläpäisy lakialueella 90 % nettosadannasta ja 70 % luiskilla). Vuotuiseksi läpisuotaumaksi oletetaan laskennassa 186 470 m³. Tiiviin pohjarakenteen vuoksi suotovesi poistuu lähes kokonaan suotovesiojiin kerääntyvänä pintavaluntana, joka kulkee Jormaslahden suuntaan. Pohjavesiin suuntautuvaa kuormitusta ei erikseen arvioida, tiiviin pohjarakenteen reikien läpi voi päästä noin 1 % suotovesistä. Pohjaveteen suuntautuva kuormitus oletetaan pieneksi, ja siten kuormitus maaperään ja pohjaveteen on huomattavasti Papinlammen rikastushiekka-allasta vähäisempää. Kuormitus on pinta-alaan suhteutettuna samanlainen Papinlammen kanssa (Papinlammesta esim. 86 t vuodessa sulfaattia lyhyellä aikavälillä ja 24 t vuodessa pitkällä aikavälillä).

Taulukko 5-6. VE2 YVA-vaihtoehdossa rakennettavalta rikastushiekka-altaalta sulkemisen jälkeisissä tilanteissa suotoveden mukana poistuvat kuormitukset. Kuormitus poistuu suotovesiojiin kerääntyvänä suotovenenä, joista suotovesi valuu kohti Jormaslahtea. Lyhyt aika tarkoittaa heti sulkemisen jälkeistä tilannetta ja pitkä aika tilannetta prosessiveden huuhtouduttua pois huokosvedestä (noin 26 vuotta sulkemisen jälkeen).

	yksikkö	Sulkeminen lyhyt aika	Sulkeminen pitkä aika		yksikkö	Sulkeminen lyhyt aika	Sulkeminen pitkä aika
Ag	kg/v	1,9	0,0082	Mo	kg/v	0,74	0,0023
Al	kg/v	2,4	0,46	Na	kg/v	1 200	1,1
As	kg/v	9,7	5,1	Ni	kg/v	30	6,3
B	kg/v	12	4,6	P	kg/v	4,2	2,3
Ba	kg/v	2	1	Pb	kg/v	<0,001	<0,001
Be	kg/v	0,066	0,046	Sb	kg/v	73	55
Ca	kg/v	13 000	2 900	Se	kg/v	0,27	0,23
Cd	kg/v	0,004	<0,001	Si	kg/v	610	610
Cl	kg/v	910	230	Sn	kg/v	0,53	0,093
Co	kg/v	2,2	1	Sr	kg/v	23	4,4
Cr	kg/v	0*	0*	Th	kg/v	0,13	0,093
Cu	kg/v	<0,001	<0,001	Ti	kg/v	0,53	0,14
F	kg/v	28	28	U	kg/v	0,063	<0,001
Fe**	kg/v	9,3	9,3	V	kg/v	0,48	0,46

	yksikkö	Sulkeminen lyhyt aika	Sulkeminen pitkä aika		yksikkö	Sulkeminen lyhyt aika	Sulkeminen pitkä aika
HCO ₃ ⁻	kg/v	42 000	42 000	W	kg/v	0,093	0,093
Hg	kg/v	0*	0*	Zn	kg/v	0,3	0,052
K	kg/v	1 800	1 200	SO ₄	kg/v	150 000	41 000
Li	kg/v	2,5	0,93	NO ₃ -N	kg/v	120	2,3
Mg	kg/v	38 000	16 000	NH ₄ -N	kg/v	22	4,6
Mn	kg/v	9,2	2,4				

* Metallit sorboituvat täysin ja niiden pitoisuus ja siten myös kuormitus ovat hyvin pienet.

** Arvio perustuu kosteuskammiookeen viikkoliuoksessa oleviin pitoisuuksiin eli laskussa ei huomioida taulukon 5 5 pitoisuutta, joka perustuu arvioon sorptiokykyisen raudan pitoisuudesta.

6 Tarkastelun herkkyydet ja epävarmuudet

6.1 Herkkyydet

Käytetty mallinnustapa on pitkälle yksinkertaistettu ja käsittelee mallinnettavat skenaariot tasapainotiloina, joissa hapettumistuotteita muodostuu ja poistuu läjityksestä yhtä paljon. Lähtötietoina käytetään vuosittaisia keskimääräisiä lukuarvoja, joka yleistää aineiston käsittelyä.

Jotta tasapainomallinnusta voidaan hyödyntää, on ensin tunnistettava mallinnettavan kohteen pääasialliset saostumisreaktiot. Kaivannaisjätteille käytetään tyypillisesti raudan saostumistuotteita. Tasapainomallinnuksessa sorptio on määritelty yksinkertaistettusti käyttäen läjitysalueella saostuvaa ferrihydraattia pääasiallisena pintareaktioalustana, ja sekundäärisinä sorboivina pintoina götiittiä ja hematiittiä. Mallinnuksessa myös oletetaan, että kaikki liuoksessa oleva rauta on vaihdettavissa vastaavaan mineraaliin eli ferrihydraattiin.

Mallien herkkyyksistä mainittakoon keskeisimpänä reaktiivinen massa eli hapettumiselle altistuvan massan suuruus. Suotoveden laatumalli on aina herkkä hapettumiselle altistuvan vyöhykkeen tai mineraalimäärän määritelmän suhteen. Jos sivukivi sisältäisikin arvioitua suuremman määrän (poikkeuksellisen määrän) hienoaainesta, hapettumiselle altistuvaa mineraalipinta-alaa olisi enemmän. Vastaavasti louhoksessa reaktiivinen massa on suurempi, jos räjäytysten seurauksena muodostuva rikkonaisuusvyöhyke ulottuu syvemmälle tai räjäytyksen seurauksena penkereille jää arvioitua enemmän hienoaainesta.

Sulfidien hapettumiseen liittyy myös muita tekijöitä, esimerkiksi lämpötila, jotka osaltaan vaikuttavat mallin tulokseen. Vaikka lämpötilan merkitys hapettumisnopeuteen on kiistaton, toisaalta vuoden keskilämpötilamuutosten täytyisi olla mittavia vaikuttaakseen mallinnustuloksiin suuruusluokkatasolla.

6.2 Epävarmuudet

Mallin on tarkoitus luoda tietoja, joilla voidaan ohjata suuntaa antavasti tulevaisuuden toimintaa. Tämän tarkastelun kyseessä olevassa suhteellisen varhaisessa hankekehitysvaiheessa epävarmuuksia on luonnollisesti enemmän kuin suunnitelmien tarkentuessa. Epävarmuutta malleihin tulee monesta lähteestä, ja ne on asetettava sopivalle tasolle suhteessa tarvittavaan tietoon. Epävarmuuksien vähentäminen täytyy aloittaa muuttujista, joihin voidaan vaikuttaa ja joihin liittyy suurin epävarmuus. Mallinnuksessa ei ole tarkoituksenmukaista pyrkiä minimoimaan kaikkea epävarmuutta, koska osaoptimoinnilla voi olla hyvin pieni vaikutus kokonaisuuteen. Tärkeintä on tunnistaa epävarmuuksien lähteet ja ymmärtää mallinnuksen herkkyys kyseiselle epävarmuudelle. Alla olevissa kappaleissa on tunnistettu merkittävimmät mallinnukseen vaikuttavat epävarmuudet.

Tämä raportti rakentuu aiemmalle mallinnukselle, alla toistetaan suuri osa tekijöistä, joita käsitellään tarkemmin lähtötietona käytetyissä malleissa, esimerkiksi arseenipitoisuus on yksi näistä. On tärkeä huomioda, että tämä raportin tarkoitus ei ole olla yksinään kattava kokonaisuus, vaan sulkemissuunnitelman vedenlaatuojen mallinnusraporttia (AFRY Finland Oy, 2024c) täydentävä tarkastelu.

6.2.1 Rikastushiekka-altaan suotoveden laatuun liittyvät epävarmuudet

Vedenlaadun kannalta tärkeitä tekijöitä ovat mm. rikastushiekka-altaalle muodostuvan veden pH sekä rautapitoisuus. Näillä on suora vaikutus sorptiokykyisten sekundäärimineraalien muodostumiseen ja metallien pidättymiseen. Kaikki tulokset viittaavat siihen, että pH on selkeästi emäksinen. Geokemiallisissa tarkasteluissa on muistettava, että jotkut metallit pysyvät neutraalisissa tai lievästi emäksisessä vedessä suhteellisen hyvin liukoisina. Uusien suunniteltujen rikastushiekka-altaiden, kuten Papinlammen rikastushiekka-altaan tapauksessakin, nikkeli on tällainen huomionarvoinen aine. Neutraalin tai lievästi emäksisen pH:n lisäksi, nikkeli-rauta -suhteen täytyy

olla varsin alhainen, että nikkeliä pidättyy jätealueella tehokkaasti. Vapautuvan raudan määrän arvio SO_4 -määrän perusteella tuo malliin epävarmuutta, sulfaattia voi vapautua muistakin kuin rautasulfideista. Mallissa käytetty oletus raudan olevan vapautunut pyriitin hapettumisesta on sen sijaan konservatiivinen oletus verrattuna pyrroitiiniin.

Raudan määrän lisäksi epävarmuutta liittyy raudan käyttäytymiseen ja kontakteihin muiden aineiden kanssa: oletettua vähäisempi raudan oksihydroksidien muodostuminen tai sorptiokyvyn rajoittuminen muilla tavoin, esimerkiksi pidättymispaikoista kilpailevien muiden aineiden vaikutuksesta tai rautahydroksidien rajoittuneen kontaktin haitta-ainekationien kanssa takia, voivat johtaa alhaisempaan pidättymiseen. Yllä olevien sorptiota rajoittavien tekijöiden takia ja mahdollisen raudan määrän yliarvion huomioimiseksi, kaikesta vapautuvasta raudasta oletettiin vain osa "vapaaksi" eli sorboivia yhdisteitä ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) muodostavaksi. Toiminnan aikana metallikationeja tulee rikastushiekka-altaalle myös prosessiveden mukana, ja on oletettavaa, että suurin osa prosessivedestä ei tule kontaktiin sulfidien hapettumisen seurauksena muodostuvien rautaoksihydroksidien kanssa, joten vapaan raudan osuudeksi arvioitiin 10 %. Toiminnan päättymisen jälkeen systeemi on suljettu ja vapaan raudan osuudeksi arvioitiin 33 %. Mikäli vapaan raudan osuus jäisi n. 10 % tasolle sulkemisen aikana, suotoveden arseenipitoisuus olisi huomattavasti korkeampi 0,1 mg/l luokkaa (ja vuotuinen kuormitus 10 kg luokkaa). Nykyisen suotoveden koostumuksen perusteella tämä olisi yliarvio. Lisäksi on oletettavaa, että sulkemisrakenteen tasapainottaa rikastushiekka-altaan olosuhteita, ja siten pidentää viipymää ja vähentää haitta-aineiden pitoisuuksia suotovedessä.

Sulkemisen aikaisessa tilanteessa peittorakenne estää hapen pääsyä rikastushiekka-altaalle, ja suotoveden Eh voi laskea. Redox-potentiaalin laskemisella tasolle -100 mV ei vielä ole merkitystä pidättymisen kannalta, mutta tämän jälkeen Eh:lla alkaa olla vaikutusta sorptioon. Tasolla -250 mV, arseenin sorptio on enää 54 % luokkaa. Eh:n laskeminen näin alhaiseksi ei ole oletettavaa, ja vaikka Eh laskisikin, ei arseenipitoisuuden suotovedessä oleteta nousevan nykyistä suotovedessä mitattua pitoisuutta korkeammalle tasolle, koska altaan dekantointiveden mukana poistuu altaalta enemmän arseenia kuin sitä prosessiveden mukana sinne saapuu eli arseenia poistuu rikastushiekasta veden mukana. Kuormitus on laskettu olettaen arseenin sorptioksi 90 %. Tällä lasketun kuormituksen arvioidaan kattavan kaikkien epävarmuuksien rajoissa oleva suotoveden arseenipitoisuuksien mahdollinen vaihtelu.

Kosteuskammio- ja koejakson edustavuuden puutteet tuovat tuloksiin epävarmuutta. Viikkojen 9-12 tulosten käyttö oletettavasti johtaa hapettumisella vapautuvien haitta-aineiden vapautumisen ja siten suotoveden pitoisuuksien yliarvioon. Sulfaatin (ja siten raudan) vapautumisen osalta arvio voi olla "optimistinen" eli sorptiota yliarvioiva (kuten yllä todetaan). Erityisesti sulkemisen jälkeiselle ajalle hyvinkin alkupään viikkojakson valinta luo merkittävää epävarmuutta. Epävarmuuksia haarukoitiin tekemällä vertailu NAG-liuoksen koostumuksen kautta määritettyihin viikkoliuoksiin (ks. AFRY Finland Oy 2024c). Nikkelin kohdalla kosteuskammiokoetuloksen käyttö tuottaa selkeästi konservatiivisen arvion. Nikkelin pitoisuudessa ennen sorptiota oleva pitoisuus on merkittävä epävarmuustekijä (ja sorptio vähemmän herkkä parametri). Arseenin osalta käytettiin NAG-liuokseen perustuvaa viikkoliuosta, joka sekin todennäköisesti johtaa ennen sorptiota olevan pitoisuuden yliarvioon, vaikka vähemmän kuin kosteuskammiokoetuloksen käyttö. Arseenin pitoisuuden määrittämisessä sorption vaikutus on selkeästi merkittävin tekijä (toisin kuin nikkelille) ja siten kosteuskammio-kokeen mukaan tehtävä syöte vähemmän merkityksellinen. Toisaalta pitää huomioida, että selkeästi korkeampi As-pitoisuus ennen sorptiota pienentää sorption tehokkuutta ja siten johtaa suurempiin pitoisuuksiin, mutta tällöin kyseessä olisi epärealistisen korkeat As-pitoisuudet. Arseenin sorptioon liittyvät tekijät huomioidaan mallinnustulosten tärkeimpänä epävarmuustekijänä.

Laboratoriossa analyysit tehdään $25 \pm 2^\circ\text{C}$ lämpötilassa. Kemiaalliset reaktiot ovat sitä hitaampia mitä alhaisempi lämpötila on. Vuoden keskilämpötila on Sotkamon kaivosalueella $4,6^\circ\text{C}$ (Kuolaniemen sääasema; AFRY Finland Oy, 2024d), jonka perusteella lämpötilakertoimeksi määritettiin 0,25. Tällä

on suora vaikutus kosteuskammiokeista tulevaan syötteeseen, mutta tähän liittyvä epävarmuus on verrattain pieni. Lämpötilan dramaattisella muutoksella ($\sim +5^{\circ}\text{C}$) kerroin voisi kasvaa noin 40 % käyttäen oletettua konseptia.

Veden määrääarvioiden epävarmuudet liittyvät sääoloihin, sekä altaan tekniseen toteutukseen ja peittorakenteeseen. Mallissa imeynnän määrän lisääntyminen voi johtua joko nettosadannan lisääntymisestä tai peittorakenteen heikommasta kyvystä johtaa vesiä pois pintavaluntana. Peittorakenteelle annettuihin pintavaluntaa kuvastaviin kertoimiin liittyy epävarmuutta, mutta ääritapauksessakaan vesimäärä ei lisääntyisi merkittävästi.

Toiminnan aikana "ylimääräisten" vesijakeiden (prosessivesi) tilavuuden kasvu lisää altaalle tulevien aineiden määrää lineaarisesti. Mallissa ei huomioida dekanttiveden mukana altaalta lähtevien aineiden määriä. Joidenkin haitta-aineiden osalta tällä on suurikin merkitys, toisten osalta vaikutus jää pieneksi. Mallissa tehty oletus tuottaa konservatiivisia tuloksia. Huokosveden huuhtoutumiseen prosessivedestä sulkemisen jälkeen liittyy epävarmuuksia, koska nesteiden sekoittumista ja laimenemiskäyttäytymistä ei mallissa huomioida.

Myös itse prosessiveden koostumukseen, jota mallissa käytettiin, liittyy epävarmuuksia. Puuttuvat parametrit korvattiin dekantointiveden laadusta saaduilla pitoisuuksilla eikä ole tietoa, miten nämä kuvaavat todellisuutta. Erityisesti typpiyhdisteiden arvion oletetaan olevan epävarma näistä syistä. Syötteiden konsentraatioissa oli muitakin vähäisiä puutteita joidenkin alkuaineiden osalta, mutta nämä puutteet kohdistuvat alkuaineisiin, joilla ei olla havaittu olevan merkittävää vaikutusta ympäristökuormitusten tarkastelussa.

Hapettumisen kautta vapautumiseen liittyvien ominaisuuksien lisäksi, pidätyvien alkuaineiden (kuten raskasmetallit) osalta tärkeimmät epävarmuudet liittyvät sorptioon kuten edellä esitetään. Pidättymättömien aineiden, kuten sulfaatin, karbonaatin ja typpiyhdisteiden määrien epävarmuudet liittyvät laadullisesti eri prosesseihin ja oletuksiin. Tärkeimpinä prosessiveden koostumus sekä poistumiseen liittyvät oletukset. Osalla näistä yhdisteistä voi olla ympäristölle haitallisia ominaisuuksia.

6.2.2 Sivukiven läjitysalueen suotoveden laatuun liittyvät epävarmuudet

Kosteuskammiokeiden tuloksia oli mallinnuksen aikaan valmistuneena vasta 32 viikon ajalta, mikä on suhteellisen lyhyt aika kuvaamaan sivukivialueelle toiminnan alkuvuosina läjitettyjen kivien käyttäytymistä toiminnan loppuvaiheessa (19 vuotta) ja sulkemisen jälkeen (> 20 vuotta). Niiltä osin kuin kyseessä ei ole erityisen sulfidipitoinen kaivannaisjäte, 32 viikon jakso voi kuitenkin antaa riittävän kuvan materiaalin käyttäytymisestä. Sulfidipitoisissa jättejakeissa, joita Elementisin kaivoksella läjitetään erityisesti vaihtoehtoon VE2 rikkipitoiselle sivukivialueelle, suositetaan yleensä pidempiä testijaksoja, jotta saataisiin kuva hapettumisesta, haitta-aineiden vapautumisesta ja olosuhdemuutoksesta jätemateriaalissa. Myös niiden aineiden osalta, jotka eivät ole sulfideihin sitoutuneena, on eduksi, että testijakson aikana muodostuu sulfidien hapettumistuotteita, jotta saadaan käsitys niiden vaikutuksesta ei-sulfidiseen ainekseen.

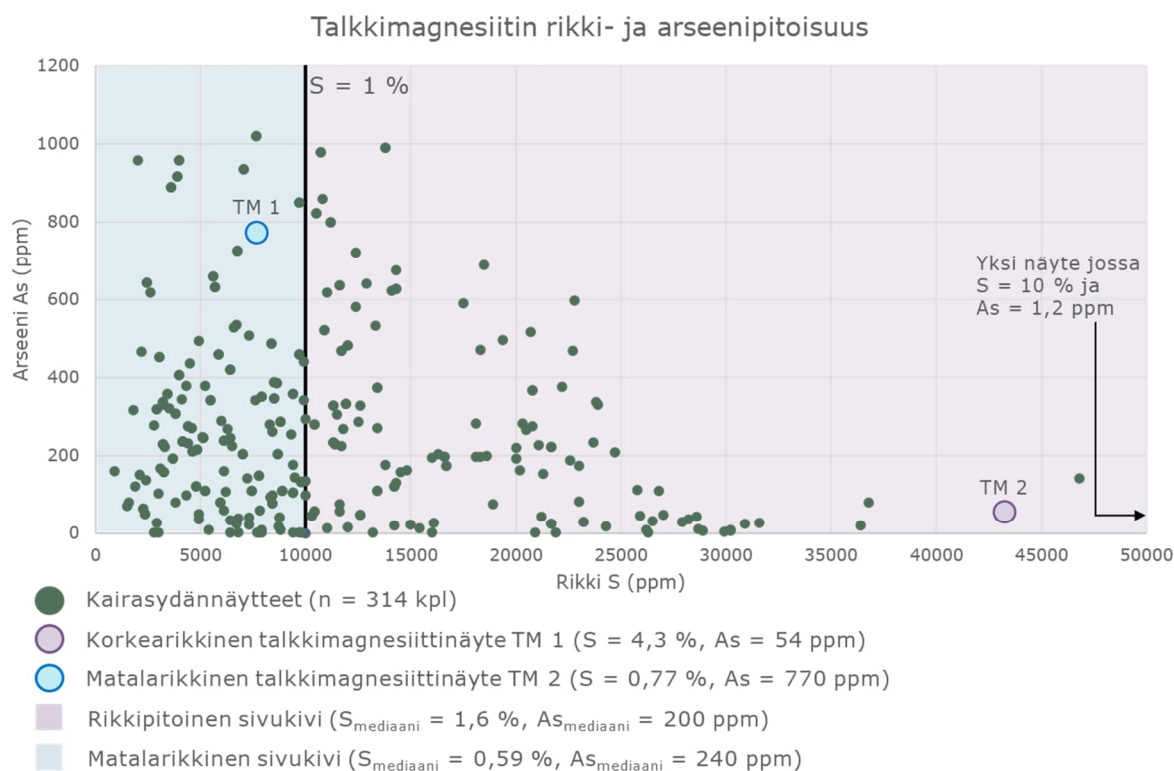
Sulfaatin muodostuminen sivukivinäytteissä (pois lukien mustaliuske) on ensimmäisten 32 viikon aikana ollut vähäistä suhteessa kivien sisältämien sulfidimineraalien määrään (Kuva 2-4, kpl 2.1). Kaikilla näytteillä (pois lukien mustaliuske) on myös runsaasti neutralointipotentiaalia jäljellä, mutta ainakin kiilleliuskeen neutralointipotentiaalin voidaan olettaa kuluvan loppuun kokeen aikana. Kiilleliuske- ja talkkimagnesiitin pitkäaikaiskäyttäytymisestä saadaan lisää tietoa kokeiden jatkuessa.

Rikkipitoisen sivukivialueen peittorakenteen tarkoitus on hidastaa hapen pääsyä läjitykseen, eli estää kiteisten mineraalien oksidoituminen ja liukoisten sekundäärimineraalien muodostuminen. Peittorakenteiden vaikutusta hapen pääsyyn on tarkasteltu peittokerroksen kosteuden ja kerrospaksuuden avulla (luku 1.2.2). Bentoniittimatolle käytettiin happivuota $3 \text{ mol/m}^2/\text{a}$. Mikäli peittorakenne ei pysy mallinnuksessa oletetussa kosteudessa, happivuo on suurempi ja

sulfidimineraaleja pääsee hapettumaan enemmän. Käytetty happivuon arvo on kuitenkin todennäköisesti yliarvio, sillä bentoniittimaton toimiessa optimaalisesti se estää kaasunvaihdon erittäin tehokkaasti.

Tasapainomallinnuksessa pääasiallisena sorptiopintana käytetään raudan saostumistuotteita. Kosteuskammiokeessa rautaa saostuu erityisesti niissä näytteissä, joissa jäännösluoksen pH on korkeahko. Tällöin kosteuskammiokeeseen viikkoliuoksesta analysoitu liukoisen raudan pitoisuus ei kuvaa kivistä irtoavaa rautaa kokonaisuudessaan. Jotta sorptio voitiin laskea mallinnetulle suotovedelle, tasapainomallinnuksessa sorptiopintana käytettävän raudan oksihydroksidin määrä laskettiin sulfaattipitoisuudesta olettaen sulfaatin olevan peräisin magneettikiisusta, joka on Punasuon louhoksen kivien yleisin sulfidimineraali, sekä osittain rikkikiisusta. Laskennassa hyödynnettiin tietoja sivukivien mineralogiasta.

Muodostuvista pääsivukivilajiryhmistä kiilleliuskeessa ja talkkimagnesiitissa on siinä määrin vaihtelua rikkipitoisuudessa, että kumpaakin sivukiveä läjitetään sekä rikkipitoiselle että tavanomaiselle sivukivialueelle. Tavanomaisen sivukivialueen suotovedenlaadun mallintamisessa käytettiin talkkimagnesiitin syötteenä matalarikkisen talkkimagnesiittinäytteen (TM 1) kosteuskammiokeeseen tuloksia. Kuvasta 6-1 nähdään, että näytteen arseenipitoisuus (770 ppm) on huomattavasti suurempi kuin matalarikkisen talkkimagnesiitin kairasydännäytteiden mediaanipitoisuus (240 ppm). Jotta mallinnus ei yliarvioisi liikaa talkkimagnesiitista vapautuvan arseenin määrää, keskimääräisestä talkkimagnesiitin arseenipitoisuuden omaavasta kivistä vapautuvan arseenin määrä laskettiin kertomalla se kosteuskammiokeessa vapautuvan arseenin ja kosteuskammiokeinäytteen arseenin kokonaispitoisuuden suhteella: $As_{kok. (TM \text{ keskiarvo})} * (As_{HCT} / As_{kok.})$.



Kuva 6-1. Talkkimagnesiitin kairasydännäytteet Punasuon louhoksessa sekä matalarikkistä (TM 1) ja korkearikkistä (TM 2) sivukiveä kosteuskammiokeissa edustaneet talkkimagnesiittinäytteet.

6.2.3 Lahnaslammen louhosjärven vedenlaatuun liittyvät epävarmuudet

Lahnaslammen mallinnukseen liittyvät kosteuskammiokeista ja vedenlaadun tasapainomallinnuksesta tulevat epävarmuudet ovat samat kuin rikastushiekka-altaan mallinnuksen osiossa (kappale 6.2.1), ja liittyvät erityisesti vapaan raudan määrään ja arseenin sorption-

käyttäytymiseen. Tässä kappaleessa kuvataan itse louhosjärven mallinnukseen liittyviä tärkeimpiä epävarmuuksia.

Lahnaslammen louhosjärven vedenlaadun mallintamisessa tehtiin useita oletuksia, joiden vertautumista todelliseen toteumaan ei voida tarkoin tietää. Oletuksia ja niiden taustalla olevia prosesseja (epävarmuuksineen) käsitellään yksityiskohtaisesti jäljempänä. Näiden mallintamiseen liittyvää epävarmuutta ei nähdä pystyttävän merkittävästi pienentää. Oletuksissa on pyritty huomioimaan tunnistettujen potentiaalisten ympäristövaikutusten kannalta oleelliset tekijät ja tekemään näiden kannalta mieluummin kuormituksia yliarvioivia kuin optimistisia numeerisia valintoja.

Louhosjärven sekoittumiskäyttäytyminen on yksi tärkeimmistä epävarmuuden lähteistä. Erityisesti rikastushiekkaläjityksen tapauksessa on vaikea arvioida, miten rikastushiekka sekoittuu läjityksen seurauksena ja toisaalta, miten kiintoaines painuu eli kuinka tiivis rikastushiekkapatjasta louhosjärvessä muodostuu. Tällä on vaikutusta laimenemiskehityksen (eli neste:kiinteä aine -suhteen) lisäksi rikkonaisen louhosseinämän vedenjohtavuuteen ja siten pohjaveden virtaukseen. Läjityksen aikana rikastushiekan huokosveden muodostumisen dynamiikkaan liittyy myös merkittäviä epävarmuuksia, eli onko huokosveden koostumus lähellä painumisen aikaista louhosjärven sekoittunutta koostumusta ja kuinka paljon huokosvesi pääsee vuorovaikuttamaan louhosjärven veden kanssa. Näillä on merkittävä vaikutus neste:kiinteä aine -suhteisiin ja niiden kehitykseen louhosjärven täytyessä (ja vapaan veden tilavuuden pienetessä). Kolonnikokeen tuloksista päätellen erityisesti arseenin huuhtoutumisessa neste:kiinteä aine -suhde on tärkeä parametri, johon myös liittyy kolonnikoetuloksesta periytyvää jäännösepävarmuutta. Muiden tarkastelulle oleellisten (eli ympäristövaikutusten arvioinnin kannalta tärkeiden) parametrien osalta huuhtoutuminen väheni lähes nollaan kokeen lopun olosuhteisiin päästyä (neste:kiinteä aine -suhde 10:1) ja tyypillisesti jo suhteessa 1:1 eli epävarmuus näiden suhteen on pieni.

Laimenemista tarkastellessa täytyy huomioida myös, että mukaan laskettiin prosessivesi, jossa on mukana huomattava osa "huuhtoutuvissa olevasta" rikastushiekan arseenista. Tarkasteluun tuo lisää epävarmuutta arseenin yhdisteiden ja hapetustilan moninaisuus. Arseenin hapetustilan mallintaminen luotettavasti mallinnetun kohteen kompleksisessa tilanteessa on lähes mahdotonta. Voidaan kuitenkin olettaa, että arseenin muista alkuaineista poikkeava käyttäytyminen kolonnikokeessa aiheutuu ainakin osittain kolonnin olosuhteiden muuttumisesta pelkistävämmiksi kokeen edetessä, ja siten arseenin hapetusluvun muutoksesta. Louhosjärven vedenlaadusta (Kuva 4-6) nähdään, että arseenipitoisuus voi vaihdella merkittävästi huonosti tunnistettujen muutosten seurauksena. Keskimäärin pintaveden arseenipitoisuus on noin kertaluokkaa suurempi kuin syvemmällä (20 m mittauksen alapuoliset mittaukset). Toisaalta pintaveden koostumuksessa on havaittu nopeita muutoksia (esim. Kuva 4-6). Samantyyppisiä merkittäviä pitoisuusvaihteluita tavataan Papinlammen rikastushiekka-altaaseen liittyvissä vesijakeissa. Todetaan, että arseenin käyttäytymiseen liittyy merkittävää epävarmuutta, joka olisi hyvä huomioida eri vaihtoehtoja tarkasteltaessa ja epävarmuuksia olisi hyvä vähentää testauksen avulla tarkempaa toimintasuunnitelmaa tehdessä.

Sekoittumiskäyttäytymiseen liittyy myös epävarmuutta sen suhteen, että kaiken vuosittain louhosjärveen tulevan kuormituksen oletetaan sekoittuvan tasaisesti koko louhoksen kulloiseenkin vesimäärään ja toisaalta poistuvan veden laatu oletetaan sekoittuneen louhosjärven vedenlaaduksi. Läjityksen toteutus, esimerkiksi mille tasolle läjitys ohjataan ja kuinka suuria virtauksia se tulee muodostamaan, ei ole tarkoin suunniteltu ja siten ei tiedetä, muodostuuko louhosjärveen vedenlaatuun vaikuttavaa kerroksellisuutta tms. Käytetty mallinnusoletus nähdään kohtuullisena pyrkimyksenä yksinkertaistaa systeemiä ja siten arvioida mahdollista kehitystä, mutta oletukseen sisältyy huomattavaa epävarmuutta.

6.3 Ilmastomuutos

Ilmastomuutoksen myötä ilman lämpötilojen ja keskimääräisten vuotuisten sademäärien odotetaan kasvavan Elementisin kaivosalueella. Lämpötila vaikuttaa erityisesti sulfidimineraalien hapettumiseen, mutta myös silikaattien ja karbonaattien liukenemiseen, sekundääristen mineraalien liukoisuuteen ja liuenneiden aineiden saostumiseen. Sadevesi vuorostaan huuhtoo rapautuneen aineksen kiven pinnalta ja toimii haitta-aineiden kuljettajana.

Nousevan lämpötilan myötä sulfidimineraalien hapettuminen nopeutuu. Toisaalta kasvavan sadannan seurauksena haitta-aineet liukenevat suurempaan määrään vettä, jolloin liuos laimenee. Sadannan merkitys suotoveden muodostumiselle ei kuitenkaan ole yksiselitteinen, sillä se riippuu haihdunnan lisäksi sadetapahtumien intensiteetistä ja ajoittumisesta. Pitkien kuivien jaksojen jälkeisten rankkasateiden aikana voi suotoveden pitoisuuksissa näkyä hetkellisiä piikkejä. Purkaushuipun jälkeen pitoisuudet lähtevät laskuun, usein päätyen rankkasateita edeltävää tilannetta pienempiin pitoisuuksiin (Nordstrom 2008). Sulkemisen jälkeisessä vaiheessa sademäärän kasvun laimentava vaikutus kuitenkin korostuu. Peittorakenteiden takia sivukiven kanssa kosketuksissa olevan veden määrä pienenee hieman, peittoon varastoituu vettä, joka haihtuu pidemmällä aikavälillä. Myös pintavalunta voi kasvaa.

7 Yhteenveto syötetiedoista ja oletuksista

7.1 Rikastushiekka-altaan syötetiedot ja oletukset

Rikastushiekka-altaan suotovedenlaadun mallinnuksessa käytetyt tärkeimmät oletukset ja lähtötiedot esitetään taulukossa 7-1. Tarkemmin lähtötietoja esitetään sulkemissuunnitelmaan liittyvässä vedenlaadun mallinnusraportissa (AFRY Finland Oy, 2024c) ja niihin liittyviä epävarmuuksia kappaleessa 6.2.1.

Taulukko 7-1. Rikastushiekka-altaan suotoveden mallinnuksessa käytetyt syötetiedot ja oletukset.

Parametri	Syötetieto tai oletus	Yksikkö
Säätietojen vuosikeskiarvot		
Lämpötila	4,6	°C
Sadanta	626	mm/a
Nettosadanta	313	mm/a
Skaalauskerroimet		
Lämpötilakerroin	0,25	Arrheniuksen yhtälön mukaan
Papinlammen rikastushiekka-alueen peittorakenne		
Tiiviskerroksen keskimääräinen kosteus	85	% (mallinnus)
Hapenläpäisy (lakialue ja rinteet)	3	mol/m ² /vuosi (mallinnus)
Pintavaluntaa (lakialue/rinteet)	10/30	%
Rikastushiekka-aitaiden tekniset tiedot (Papinlampi / VE1 / VE2)		
Pinta-ala (suurin laajuus)	40/22/70	ha
Pinta-ala (laki sulkemisvaiheessa)	11,8/11/30	ha
Rikastushiekan tilavuus (sulkeminen)	9,9/5,1/12,9	Mm ³
Läjäytysten määrä	310/538/519	tuhatta m ³ /vuosi
Läjäytysten kuiva-ainepitoisuus	70	%
Rikastushiekan tiedot		
Haitta-aineiden vapautuminen	viikkojen 9-12 keskiarvo	mg/kg/vko
Arseenin vapautuminen	NAG liuoksesta laskettu	mg/kg/vko

7.2 Sivukivialueiden syötetiedot ja oletukset (VE2)

Sivukivialueiden mallinnuksessa käytetyt syötetiedot ja oletukset on esitetty taulukossa 7-2. Lämpötila- ja sadantatietoina on käytetty havaintoaseman Kuolaniemi keskimääräisiä arvoja vuosina 2010–2023 (Ilmatieteenlaitos 2024). Haihdunnan on oletettu olevan 50 % sadannasta.

Taulukko 7-2. Sivukivialueiden suotoveden mallinnuksessa käytetyt syötetiedot ja oletukset.

Parametri	Syötetieto tai oletus	Yksikkö
Säätietojen vuosikeskiarvot		
Lämpötila	4,6	°C
Nettosadanta	313	mm/a
Skaalauskerroimet		
Lämpötilakerroin	0,25	Arrheniuksen yhtälön mukaan
Raekokkerroin	0,2	
Huhtoutumiskerroin	0,2	
Tavanomainen sivukivialue		
Pinta-ala	35	ha
Suotauma kasaan (sulkemisen jälkeen)	305	mm/a
Sivukiven kokonaismassa	12,6	Mt
Kokonaismassa, Kiilleliuskeet	8,0	Mt
Kokonaismassa, Talkkimagnesiitti	3,1	Mt
Kokonaismassa, Serpentiinibreksia	1,4	Mt
Kokonaismassa, Mustaliuskeet	0,05	Mt
Peittokerroksen happivuo	16	mol/m ² /a
Rikkipitoinen sivukivialue		
Pinta-ala	28	ha
Suotautuminen kasaan (sulkemisen jälkeen)	8 800	m ³ /a (bentoniittimatto)
Sivukiven kokonaismassa	11,4	Mt
Kokonaismassa, Talkkimagnesiitti	5,3	Mt
Kokonaismassa, Mustaliuskeet	4,4	Mt
Kokonaismassa, Kiilleliuskeet	1,7	Mt
Peittokerroksen happivuo	3	mol/m ² /a

7.3 Lahnaslammen syötetiedot ja oletukset

Louhosjärven vedenlaadun mallinnuksessa käytetyt syötetiedot ja oletukset on esitetty taulukossa 7-3.

Taulukko 7-3. Lahnaslammen louhosjärven vedenlaadun mallinnuksessa käytetyt syötetiedot ja oletukset.

Parametri	Syötetieto tai oletus	Yksikkö
Säätietojen vuosikeskiarvot		
Lämpötila	4,6	°C
Sadanta	626	mm/a
Skaalauskerroin		
Lämpötilakerroin	0,25	Arrheniuksen yhtälön mukaan
Erittäin rakoillut vyöhyke	0,9	
Raekokokerroin	0,2	
Huhtoutumiskerroin	0,75	
Rakoillut vyöhyke	2,9	
Raekokokerroin	0,05	
Huhtoutumiskerroin	0,5	
Louhosjärvi (täytynyt vedellä)		
Pinta-ala	22	ha
Pohja	20	m mpy
Vesipinnan matalin taso	147	m mpy
Kokonaistilavuus	11,5	Mm ³
Vesitilavuus läjityksen jälkeen	0,89	Mm ³
Läjityksen kesto	15,5	vuotta
Seinämän kivilajijakauma ja syötteen		
Kiilleliuske	45	%
Mustaliuske	42	%
Talkkimagnesiitti	8	%
Serpentiinibrekcia	2	%
Epäpuhdas talkkimagnesiitti	3	%
Kosteuskammiokeksen jakso	20–35	viikkojen keskiarvo (mg/kg(vko))
Vesitilavuudet		
Sivukivialueelta vettä toiminnan aikana	yht. 0,203	Mm ³ /vuosi
Sivukivialueelta vettä sulkemisen jälkeen	yht. 0,02	Mm ³ /vuosi
Läjityksen mukana tuleva vesi	0,504	Mm ³ /vuosi
Syrjäytyvä tilavuus	0,541	Mm ³ /vuosi
Pohjaveden määrä louhokseen (ei rikastushiekkaa/täynnä rikastushiekkaa)	0,26/0,13	Mm ³ /vuosi
Suora sadanta louhokseen	0,14	Mm ³ /vuosi
Valuma-alueen vedet louhokseen	0,14	Mm ³ /vuosi

7.4 Geokemiallinen tasapainomallinnus

Geokemiallisessa tasapainomallinnuksessa kuvataan tutkittavan liuoksen koostumusta aineiden tasapainovakioiden eli liukenemisen ja saostumisen sekä sorption avulla. Myös mahdollinen aineiden sorptio saostuvien rautaoksihydroksidien pinnalle otetaan huomioon. Mallinnustulokseen vaikuttaa merkittävästi käytettävän termodynaamisen ja kineettisen vertailukirjaston laajuus, johon tutkittavan liuoksen komponentteja verrataan.

Tässä työssä käytettiin Geochemist's Workbench -mallinnusohjelman versiota 17.0.2.

Mallinnuksessa käytettiin seuraavia oletuksia:

- Reaktiot tapahtuvat äkillisesti ja tasapainoon asti eli mineraalien muodostumiseen liittyviä kineettisiä tekijöitä ei ole huomioitu, eikä mahdollisia sekoittumiseen liittyviä reaktioita hidastavia vuorovaikutuksia.
- Sorptioon liittyvien reaktioiden tehokkuutta arvioitiin olettamalla vain osan vapautuvasta raudasta muodostavan $\text{Fe}(\text{OH})^3$ mineraaleja, jotka ovat kontaktissa haitta-aine kationeihin.
- Adsorptiomalli: Dzombak ja Morel (1990), 2-kerrosvakiokapasitanssimalli, $C=2,0 \text{ F/m}^2$
- Ferrihydriitti ensisijaisena sorboivana mineraalina, liukoisuus ja sorptio-ominaisuudet kirjastosta $\text{FeOH}+(\text{V8.R6+})\text{AB_AW_20220607.sdat}$. Kirjastoon on lisätty antimoni(V):n kineettinen aineisto VisualMINTEQ-ohjelman kirjastosta.
- Termodynaaminen kirjasto: $\text{thermo.com.V8.R6+_AW_17052022.tdat}$. Kirjastoon on lisätty antimoni(V):n kineettinen aineisto VisualMINTEQ-ohjelman kirjastosta.
- CO_2 :n osapaine fugasiteetin logaritmina -3,5 ja H^+ tasapainossa hiilidioksidin (kaasumainen) kanssa.
- HCO_3 :n tai Mg^{2+} :n pitoisuuden sallitaan muuttua ionitasapainon ylläpitämiseksi.

8 Viitteet

- AFRY Finland Oy 2025. Elementis Minerals B.V. Branch Finland. Sivukivialueen peittokerroksen mallinnus. 24.3.2025
- AFRY Finland Oy 2024a. Elementis Minerals B.V. Branch Finland. Rikastushiekka-altaan peittokerroksen mallinnus. 12.11.2024
- AFRY Finland Oy 2024b. Punasuon avolouhoksen kehitys louhosjärveksi kaivostoiminnan lopettamisen jälkeen – louhosjärvimallinnus 25.11.2024
- AFRY Finland Oy 2024c. Elementis Minerals B.V. Branch Finland. Sotkamon kaivoksen kaivannaisjätteiden läjitysalueiden sekä louhosjärven sulkemisen jälkeisten vedenlaatujen geokemiallinen mallinnus. 16.12.2024
- AFRY Finland Oy 2024d. Elementis Minerals B.V. Branch Finland. Punasuon louhoksen numeerinen pohjavesimallinnus. 17.12.2024
- Dzombak D.A. ja Morel F.M.M. 1990. Surface complexation modeling: Hydrous ferric oxide. John Wiley & Sons, New York, 416 p. ISBN: 978-0-471-63731-8.
- Geochemic Ltd 2024. Compiled Static Testing. Elementis Minerals B.V. Branch Finland. 5.8.2024
- Geochemic Ltd 2025. ASTM D 5744-18 Humidity Cell Testing – Issue 4. Elementis Minerals B.V. Branch Finland. 21.2.2025
- Ilmatieteenlaitos 2024. Havaintojen lataus. Tiedot ladattu 10/2024.
<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>
- Lorax, 2013. Casino geochemical source term development. Pit wall source terms. 4. December 2013. Report number: J862-5. Available at: https://casinomining.com/resources/YESAA_Project_Proposal/Volume3/7D_Geochemistry_Reports_Appendix.pdf
- MEND 1997. Short course for prediction models for acid rock drainage. 4th International conference on acid rock drainage. Vancouver 1997.
- MEND, 2009. Prediction manual for drainage chemistry from sulphidic geologic material. Report 1.20.1. December 2009
- Nordstrom D. K. 2008. Acid rock drainage and climate change. Journal of Geochemical Exploration 100, 97-104.
- Pöyry Finland Oy. 2012. Lahnaslammen louhoksen virtausmallinnus. 67 s.
- Ramboll Finland Oy 2015. Mondo Minerals B.V. Branch Finland, Sotkamon kaivos ja tehdas. Kaivannaisjätteen jätehuoltosuunnitelma. 5.10.2015
- Reardon, E.J., Moddle, P.M. 1985. Gas diffusion coefficient measurements on uranium mill tailings: implications to cover layer design. Uranium 2, 111-131.
- Sanchidrian, J. ja Singh A. (Ed.) 2012. Measurement and Analysis of Blast Fragmentation. CRC Press 2012.
- Sjölund G. 1997. Kväveläckage från sprängtesmassor. Examensarbete. Luleå Tekniska Universitet. Institutionen för Samhällsbyggnadsteknik.