

SULKEMISSUUNNITELMA

LIITE 13

Elementis Minerals B.V. Branch Finland

Kaivannaisjätteiden ja vesienhallinnan YVA-selostus



Sotkamon kaivosalueen sulkemissuunnitelma

Elementis Minerals B.V. Suomen sivuliike

Projektinnumero: 101023791

Päivitetty 19.5.2025



Sisällysluettelo

1	Johdanto	7
2	Sulkemissuunnittelun eteneminen ja tarkistuskäytännöt	8
2.1	Yleiset sulkemissuunnittelun periaatteet	8
2.2	Sotkamon kaivoksen sulkemissuunnittelu ja etenemistapa.....	10
3	Olemassa oleva kaivostoiminta.....	12
3.1	Punasuon avolouhos	13
3.2	Lahnaslammen avolouhos.....	14
3.3	Sivukivet	14
3.4	Rikastushiekka-altaat.....	15
3.4.1	Papinlammen rikastushiekka-allas	15
3.4.2	Vanhat läjitysalueet	16
3.5	Malmin rikastaminen.....	16
3.6	Vesienhallinta	17
3.7	Kemikaalit	19
4	Kaivoksen sijainti ja ympäristö	20
4.1	Sijainti	20
4.2	Maisema, maankäyttö ja kaavoitus	22
4.3	Geologia.....	23
4.3.1	Kallioperägeologia	23
4.3.2	Maaperägeologia	25
4.3.3	Maa- ja kallioperän radiologiset ominaisuudet	27
4.4	Luonto ja suojelukohteet	27
4.5	Vesistöt.....	28
4.5.1	Vesistöalue	28
4.5.2	Virtaama	29
4.5.3	Veden laatu	31
4.5.4	Ekologinen tila	34
4.5.5	Kalasto.....	34
4.5.6	Pohjaeläimistö.....	35
4.6	Pohjavesiolosuhteet	36

4.6.1	Pohjavesialueet ja talouskaivot.....	36
4.6.2	Vedenjohtavuus ja pohjaveden virtaussuunnat.....	38
4.6.3	Pohjaveden pinnankorkeus	41
4.6.4	Pohjaveden laatu.....	43
4.7	Ilmasto ja ilman laatu	47
5	Kaivannaisjätteiden ominaisuudet ja luokittelu	48
5.1	Tutkimusmenetelmät	48
5.1.1	ABA-testi.....	49
5.1.2	NAG-testi ja NAG-uutteen tutkimus.....	50
5.1.3	Ravistelutestit	51
5.1.4	Kuningasvesiuutto alkuainepitoisuuksien arvioinnissa.....	51
5.1.5	Nelihappouutto alkuainepitoisuuksien arvioinnissa	52
5.1.6	Kosteuskammio koe.....	52
5.1.7	Mineraloginen analyysi	53
5.2	Pintamaan ominaisuudet	54
5.3	Sivukiven ominaisuudet	60
5.3.1	Sivukiven näytteenotto ja analyysit.....	60
5.3.2	Sivukiven mineralogia	61
5.3.3	Geokemialliset ominaisuudet.....	64
5.3.4	Arvio pitkäaikaiskäyttäytymisestä ja liukoisuusominaisuudet	69
5.3.5	Radiologiset ominaisuudet	75
5.3.6	Kuitumineraalit.....	75
5.3.7	Sivukiven vaaraominaisuuksien arvioinnin tarve	76
5.3.8	Sivukivinäytteiden edustavuus	79
5.4	Poraussoijan ominaisuudet	80
5.5	Rikastushiekan ominaisuudet	80
5.5.1	Fysikaaliset ominaisuudet	80
5.5.2	Rikastushiekan mineralogia.....	80
5.5.3	Geokemialliset ominaisuudet.....	81
5.5.4	Arvio pitkäaikaiskäyttäytymisestä ja liukoisuusominaisuudet	84
5.5.5	Rikastushiekan kemikaalijäämät	88
5.5.6	Rikastushiekan radiologiset ominaisuudet	88
5.5.7	Kuitumineraalit.....	89
5.5.8	Rikastushiekan vaaraominaisuuksien arviointi	89
5.6	Vesienkäsittelyssä muodostuvat sakat	90

5.6.1	Soidinsuon ja neutralointisakan geokemialliset ominaisuudet	91
5.6.2	Sotkamon kaivoksen vesienkäsittely- ja neutralointisakan liukoisuusominaisuudet (kaatopaikkakelpoisuus)	92
5.6.3	Soidinsuon vesienkäsittelysakan ja neutralointisakan vaaraominaisuuksien arviointi	93
5.6.4	Uutelan vesienkäsittelysakkojen geokemialliset ominaisuudet	94
5.6.5	Uutelan vesienkäsittelysakkojen liukoisuusominaisuudet.....	95
5.6.6	Uutelan vesienkäsittelysakkojen vaaraominaisuuksien arviointi	97
5.7	Kaivannaisjätteiden luokittelu	99
6	Kaivannaisjätteiden jätealueet ja niiden pohjarakenteet sekä jätealueiden luokitukset	101
6.1	Kaivannaisjätteen jätealueen määritelmä ja jätealueiden luokitukset	101
6.2	Pintamaan läjitysalue.....	102
6.3	Sivukivialue	102
6.4	Papinlammen rikastushiekka-allas	102
6.5	Soidinsuon allas	103
6.6	Lahnaslammen louhosjärvi	103
7	Sulkemisen jälkeisen tilan konseptualisointi	103
7.1	Konseptualisoinnin tarkoitus	103
7.2	Papinlammen rikastushiekka-altaan konseptuaalinen malli.....	104
7.3	Sivukivialueen konseptuaalinen malli	104
7.4	Louhosjärven konseptuaalinen malli.....	105
7.5	Hydrologinen käsitteellistäminen	106
8	Riskien ja mahdollisuuksien tunnistaminen suunnittelun alkaessa	108
9	Sulkemista koskevat vaatimukset	109
9.1	Kaivoksen sulkemista koskeva lainsäädäntö.....	109
9.2	Hyviä käytäntöjä kaivoksen sulkemisessa.....	110
9.3	Sijaintikohtaiset vaatimukset	110
10	Sulkemisen tavoitteet.....	112
11	Sulkemistoimenpiteet.....	113
11.1	Maanläjitysalue	115
11.1.1	Maanläjitysalueen sulkemistoimenpiteet	115
11.2	Lahnaslammen sivukivialue	116
11.2.1	Maisemointi 2011	116

11.2.2	Uudet sulkemistoimenpiteet	117
11.3	Rikastushiekka-allas	119
11.3.1	Papinlammen sulkemistoimenpiteet	119
11.3.2	Soidinsuon allas sekä vanhat rikastushiekan läjitysalueet	120
11.4	Punasuon avolouhos	121
11.4.1	Punasuon avolouhoksen sulkemistoimenpiteet	122
11.4.2	Punasuon louhosjärven muodostuminen ja toiminta	122
11.5	Lahnaslammen avolouhos	123
11.5.1	Lahnaslammen avolouhoksen sulkemistoimenpiteet	123
11.5.2	Lahnaslammen louhosjärven muodostuminen ja toiminta	123
11.6	Teollisuusalue ja infrastruktuuri	124
11.7	Vesien johtamiseen ja käsittelyyn liittyvät rakenteet	125
12	Sulkemisaikataulu	126
13	Sulkemisenaikaiset ja jälkeiset vaikutukset ympäristöön ja ihmisiin	127
13.1	Vaikutukset ilmanlaatuun	127
13.2	Kuvaus maaperään, pintaveteen ja pohjaveteen suuntautuvasta kuormituksesta	127
13.3	Vaikutukset maaperään ja pohjaveteen	128
13.4	Vesistövaikutukset	132
13.4.1	Vedenlaadun tavoitteet	132
13.4.2	Vesistön herkkyys	133
13.4.3	Sulkemisen jälkeiset kuormitukset vesistöön	133
13.4.4	Alustava kuvaus vesistövaikutuksista	134
13.5	Vaikutukset kasvillisuuteen, eläimistöön ja suojelualueisiin	137
13.6	Vaikutukset maisemaan	137
13.7	Melu- ja värinävaikutukset	137
13.8	Liikennevaikutukset	138
13.9	Vaikutukset ihmisiin ja yhteiskuntaan	138
14	Jäännösriskien arviointi hallintatoimenpiteiden valinnan jälkeen	138
15	Arvio BAT-päätelmien huomioimisesta	140
16	Tarkkailu	140
16.1	Päästö- ja ympäristötarkkailu	140
16.2	Geotekninen tarkkailu	141



17 Sulkemiskustannusten ja vakuuksien arviointi.....	141
18 Väliaikainen ja ennenaikainen sulkeminen.....	141
18.1 Väliaikainen sulkeminen	141
18.2 Ennenaikainen sulkeminen.....	142
19 Sulkemissuunnitelman tarkentaminen ja päivittäminen.....	142
20 Lähdeluettelo	143

Liitteet

1. Pohjavesimallinnus
2. Hydrus 1D-mallinnus
3. Kaivannaisjätealueiden ja louhoksen vedenlaadun mallinnusraportti
4. Punasuon louhosjärvimalli
5. BAT-taulukko
6. Vakuusarvio

Sulkemissuunnitelmien versiohistoria

Pvm	Suunnitelma	Laatija
19.5.2025	Sotkamon kaivosalueen sulkemissuunnitelman päivitys: - Uutelan vesienkäsittelysakan vaaraominaisuuksien päivitys ekotoksisuustestin tulosten perusteella - Uutelan ja Soidinsuon altaan vesienkäsittelysakkojen jäteluokkien päivitys - Porasojan jäteluokan päivitys - Pintamaiden ominaisuudet - Vakuusarvioon on päivitetty aktiivisen vesienkäsittelyn tarve 20 vuoden ajalle.	AFRY Finland Oy
20.12.2024	Sotkamon kaivosalueen sulkemissuunnitelma	AFRY Finland Oy
31.3.2020	Lahnaslammen kaivostoiminnan sulkemissuunnitelma 2020–2023	Elementis Minerals B.V. Branch Finland

1 Johdanto

Tässä asiakirjassa esitetään Elementis Mineralsin Sotkamon kaivosalueen sulkemista ja sulkemisen jälkeistä aikaa koskeva päivitetty sulkemissuunnitelma. Suunnitelmaan sisältyvät kaikki Elementisin Sotkamon toiminnot, kuten Punasuon ja Lahnaslammen avolouhokset, sivukivialue, tehdasalue, Soidinsuon allas ja Papinlammen rikastushiekka-allas. Lisäksi suunnitelmassa käsitellään muut kaivostoimintaa tukevien toimintojen alueet ja sulkemisen jälkeinen vesienjohtaminen. Tämä sulkemissuunnitelma koskee nykyisiä toimintoja, kuitenkin niin että Papinlammen rikastushiekka-altaan padot ovat tasossa +190 (nykyisin tasossa +178). Suunnitelmaa päivitetään kaivoksen toiminnan aikana ja se viimeistellään lopulliseksi sulkemissuunnitelmaksi ennen kaivoksen sulkemista.

Sotkamon kaivosalueella on voimassa seuraavat Pohjois-Suomen aluehallintoviraston (ent. Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto) myöntämät luvat ja päätökset

Taulukko 1-1. Toimintaa koskevat luvat ja niiden muutokset.

Lupanumero	Diaarinumero	Asia ja antopäivä	Tila
9/08/2	Psy-2003-y-175	Sotkamon kaivoksen ja tehtaan ympäristö- ja vesitalouslupa, 18.1.2008	Lainvoimainen
09/0111/1	00804-00810/08/5399	Vaasan hallinto-oikeuden päätös ympäristö- ja vesitalousluvan valitukseen, 27.3.2009	Lainvoimainen
1847	1396/1/09, 1397/1/09	Korkeimman hallinto-oikeuden päätös, 29.6.2011	Lainvoimainen
41/10/1	PSAVI/72/04.08/2010	Lahnaslammen kaivoksen sulkemissuunnitelma vuosille 2009–2013, 1.6.2010	Lainvoimainen
42/10/1	PSAVI/109/04.08/2010	Lahnaslammen kaivoksen ja tehtaalta vesistöön kohdistuvaa hajakuormitusta ja sen hallintaa koskeva selvitys, 1.6.2010	Lainvoimainen
123/11/1	PSAVI/88/04.08/2011	Sotkamon kaivoksen ympäristö- ja vesitalousluvan lupamääräyksen nro 9 muuttaminen, 14.12.2011	Lainvoimainen
128/2016/1	PSAVI/7/04.08.2011	Lahnaslammen kaivoksen vanhojen jätealueiden sulkemistoimien hyväksyminen, 22.9.2016	Lainvoimainen
103/2023	PSAVI/455/2021	Lahnaslammen kaivoksen toiminnan olennainen muuttaminen koskien Papinlammen	Lainvoimainen

Lupanumero	Diaarinumero	Asia ja antopäivä	Tila
		rikastushiekka-altaan korottamista, 28.6.2023	

Lahnaslammen kaivoksen vanhojen jätealueiden sulkemistoimien hyväksymispäätöksellä (nro 128/2016/1, 22.9.2016) on täydennetty 1.6.2010 hyväksyttyä kaivoksen sulkemissuunnitelmaa ja Sotkamon kaivoksen ja tehtaan ympäristö- ja vesitalouslupaa nro 9/08/2 lupamääräyksellä 1a, koskien Talkkipiirin eteläpään kaivannaisjätteen jätealuetta.

Lahnaslammen kaivoksen Papinlammen rikastushiekka-altaan korottamista koskevalla päätöksellä (nro 103/2023 28.6.2023) on lisätty ympäristölupapäätökseen nro 9/08/2 uudet lupamääräykset A1, A2 ja A3 sekä muutettu lupamääräyksiä 18a, 20, 26, 37a, 43, 57, 61 ja 64.

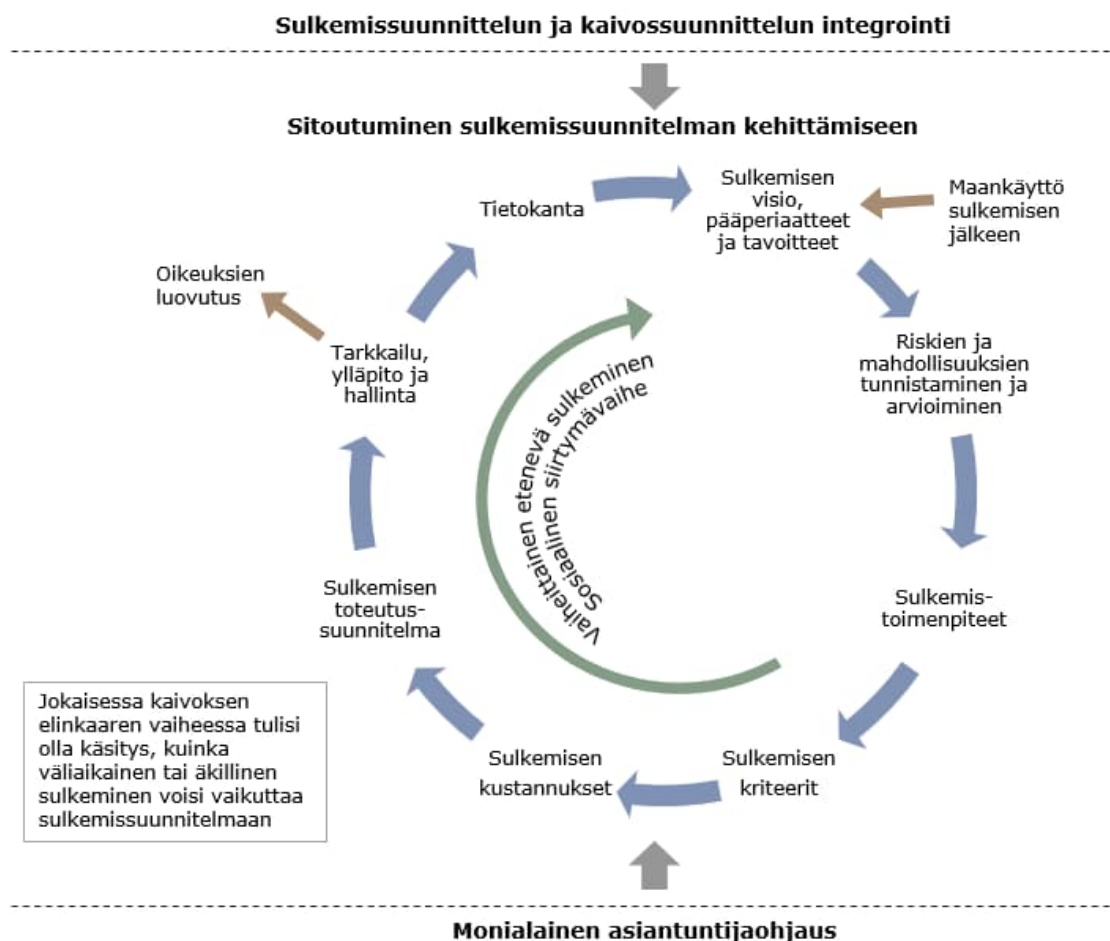
Yhtiöllä on vireillä hakemus koskien Sotkamon kaivoksen ja tehtaan ympäristö- ja vesitalouslupan nro 9/08/2 lupamääräyksien 4,5 ja 7 muuttamista (PSAVI/3658/2024).

2 Sulkemissuunnittelun eteneminen ja tarkistuskäytännöt

2.1 Yleiset sulkemissuunnittelun periaatteet

Yleisten kansainvälisten suositusten mukaan sulkemissuunnittelu tarkentuu vaiheittain ja päivitysten kautta (mm. ICMM, 2019, Vastuullisen kaivostoiminnan verkosto, 2017). Sulkemissuunnittelu on iteratiivinen prosessi, jossa tunnistetut riskit ja vaikutukset ohjaavat työtä (ICMM 2019). Sulkemissuunnitelma tarkentuu vaiheittain hankesuunnittelun ja aluetta koskevien tietojen tarkentuessa (Kuva 2-1).

Vaiheittain tarkentuvassa sulkemissuunnittelussa tarkistetaan kaavailtujen sulkemistoimenpiteiden riittävyys aina vaikutusten- ja riskinarviointien tarkentuessa. Ensimmäinen sulkemistoimenpiteiden suunnitelma perustuu kokemuseräiseen arviointiin ja esimerkiksi peittorakenteita koskeviin BAT-päätelmiin. Ensimmäinen toimenpideratkaisu tarkastetaan arvioimalla millaiset ympäristövaikutukset ja jäännösriskit liittyvät kohteeseen, jos se suljetaan toimenpideratkaisun mukaisesti. Jos vaikutukset tai jäännösriskit eivät ole hyväksyttävissä, palataan toimenpidesuunnitteluun ja laaditaan paranneltu toimenpideratkaisu. Jälleen arvioidaan vaikutukset ja riskit. Riskien ja vaikutusten ja arviointi on osa sulkemissuunnittelua myös BAT-päätelmien mukaan: esimerkiksi peittorakenteita käsittelevät parhaat käytännöt (BAT 38) viittaavat vaikutusarvioinnin ja riskinarvioinnin tarpeeseen, BAT 5 (EC 2018).



Kuva 2-1. Kaivoksen sulkemissuunnittelun syklisyys ja vähitellen tarkentuva luonne ICMM:n (2019) mukaan.

Ympäristövaikutusten arviointivaiheessa sulkemisen jälkeisten numeeristen kuormitus- ja vaikutusarvioiden laatimista estää usein vaihtoehtojen määrä, huomioiden numeerisen arvioinnin hitauden ja koostumisen lukuisista peräkkäisistä työvaiheista. Ympäristölupavaiheessa numeerinen vaikutusarviointi on tarpeen, jotta voidaan vahvistaa kaavailtujen sulkemistoimenpiteiden riittävyys siten, että esimerkiksi vastaanottavan vesistön tila ei vaarannu sulkemisen jälkeen. Lisäksi lupavaiheessa täytyy tuottaa tiedot sulkemisen kustannuksista, sillä tarkkuudella, että vakuusarvio on mahdollinen.

Sulkemissuunnitelmaa tarkistetaan ja päivitetään säännöllisesti myös tuotantovaiheessa. Tuotannon aikana sulkemissuunnitelman päivitystarpeen voi laukaista myös muutos kaivoksen toiminnassa. Sulkemisvaiheen lähestyessä, yksityiskohtaisessa sulkemissuunnitelmassa numeeriset arviot ovat niin tarkkoja, että niiden perusteella voidaan suorittaa sulkemistyön urakkahankinnat ja määritellä toimeenpanon kone- ja työvoimatarpeet yksityiskohtaisine aikatauluineen.

2.2 Sotkamon kaivoksen sulkemissuunnittelu ja etenemistapa

Nykyaikaisen sulkemissuunnittelun eteneminen yleisellä tasolla on esitetty kuvassa (Kuva 2-2).



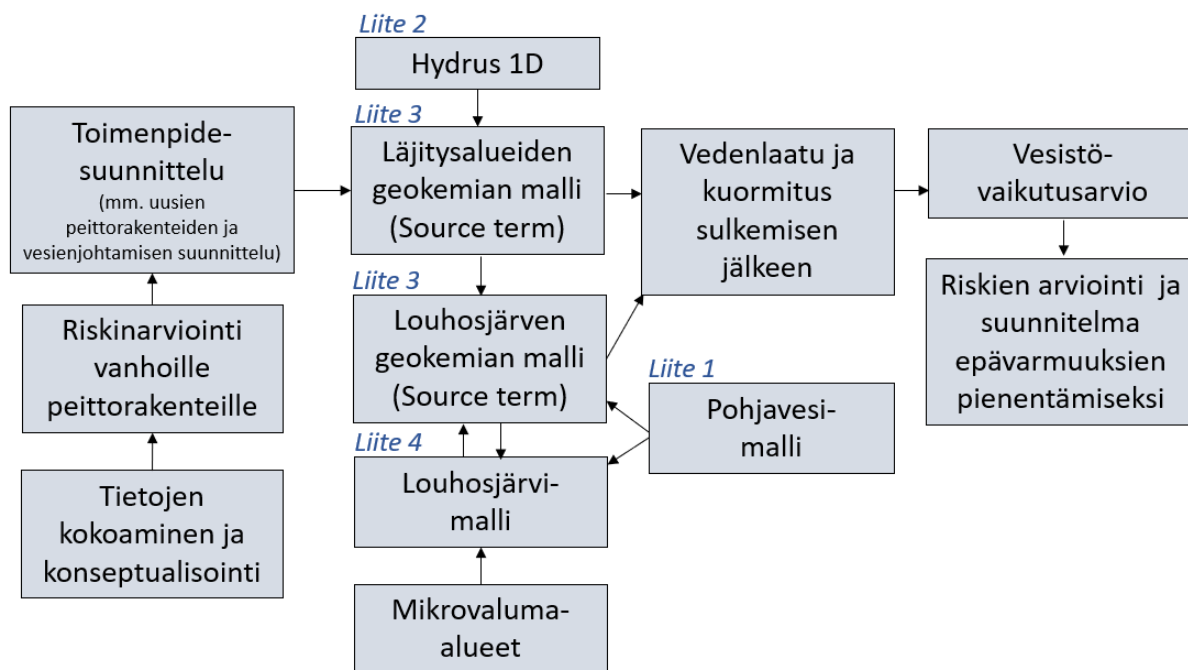
Kuva 2-2. Sulkemissuunnittelun eteneminen yleisesti kaivoshankkeessa.

Edellä olevan kuvan mukaisen periaatteen mukaisesti laadittiin Elementis Sotkamon sulkemissuunnitelma. Sotkamon kaivoksen sulkemissuunnittelun eteneminen on esitetty taulukossa (Taulukko 2-1. Sulkemissuunnittelun eteneminen.) sekä kuvassa (Kuva 2-3).

Taulukko 2-1. Sulkemissuunnittelun eteneminen.

Työvaihe	Toteutus ja erityiset tehtävät
Sulkemissuunnittelu alkoi välttämättömien taustatietojen kokoamisesta. Tarvittiin tietoja alueen perustilasta, nykyisestä kaivostoiminnasta, jätelaaduista, louhoksesta sekä rikastustoiminnasta.	Tiedot on esitetty sulkemissuunnitelman kappaleissa 3-6.
Tunnistettiin että lähtötiedoksi tarvitaan lisätietoa pohjavesien virtauksesta Punasuon louhokseen.	Laadittiin pohjavesimallinnus (liite 1).
Alueen sulkemisen jälkeinen tila käsitteellistettiin, mikä tarkoittaa, että tunnistettiin osakohteiden (louhos, rikastushiekka-allas jne.) sisäiset	Konseptualisointi esitetty sulkemissuunnitelman kappaleessa 7.

prosessit. Lisäksi tunnistettiin osakohteiden vuorovaikutus toistensa kanssa sekä koko kaivosalueen vuorovaikutus ympäristönsä kanssa	
Tehtiin riskinarvio ympäristöluvan mukaisille peittorakenteille.	Riskinarvio ympäristöluvan mukaisille peittorakenteille on esitetty kappaleessa 8, ja ehdotetut uudet peittorakenteet, kappaleessa 11.
Arvioitiin kaivoksen sulkemisen jälkeiset vaikutukset valituilla peittorakenteilla.	Tehtiin seuraavat mallinnukset, jotta voitiin arvioida osakohteiden vesien laadut ja määrät: - Rikastushiekka-altaan peittorakenteen kosteus (liite 2) geokemiallista mallinnusta varten - Kaivannaisjätealueiden vesien laadun ja määrän arviointi (geokemiallinen mallinnus, liite 3) - Punasuon louhosjärven mallintaminen (liite 4) - Eri osakohteiden kuormat yhdistettiin sulkemisen jälkeiseksi kuormataseeksi, jonka pohjalta voitiin laatia vaikutusarviot.
BAT-arvio	Laadittiin uusien peittorakenteiden mukainen BAT-arvio (liite 5)
Vakuus	Laadittiin uusien peittorakenteiden mukainen vakuustarkastelu (liite 6)
Jäännösriskit	Tehtiin jäännösriskien arviointi ja suunnitelmat jatkoa varten. Esitetty kappaleessa 14



Kuva 2-3. Sulkemissuunnittelun eteneminen Elementisin hankkeessa. Osa tehdyistä töistä on raportoitu liiteraporteissa, ja osa on raportoitu tässä sulkemissuunnittelun päädokumentissa.

3 Olemassa oleva kaivostoiminta

Seuraava kaivostoimintaa koskeva kuvaus perustuu olemassa oleviin tietoihin, kuten YVA- ja lupa-asiakirjoihin sekä kaivannaisjätteen jätehuoltosuunnitelmaan.

Kaivoksella louhitaan talkkimalmia, joka rikastetaan ja jalostetaan lopputuotteiksi kaivoksen yhteydessä olevalla rikastamolla ja tehtaalla. Talkkirikasteen lisäksi rikastusprosessi tuottaa nikkeliirikastetta sekä magnesiittipitoista rikastushiekkaa. Rikastushiekka ja louhittava sivukivi läjitetään kaivoksen alueelle. Alueella on ollut kaivostoimintaa vuodesta 1968 lähtien.

Malmia louhitaan tällä hetkellä Punasuon avolouhoksesta, josta malmia on toimitettu Sotkamon tehtaalle vuodesta 2010 lähtien. Sotkamon tehtaalle tuodaan malmia myös Uutelan kaivokselta. Ennen Punasuon avaamista louhinta oli käynnissä Lahnaslammen avolouhoksessa, jossa louhinta lopetettiin loppuvuodesta 2010, kun tuotanto Punasuon louhoksessa käynnistyi. Louhinnan lopettamisen jälkeen Lahnaslammen kaivokseen on läjitetty Punasuon kaivoksen sisäraakkua ja hyödyntämiskelvotonta sivukiveä. Sivukiveä on sijoitettu Lahnaslammen kaivoksen lisäksi sivukivialueelle. Rikastushiekan läjitys on tapahtunut tähän asti pääasiallisesti Papinlammen rikastushiekka-altaaseen, Lahnaslammen kaivokseen on läjitetty hiukan myös rikastushiekkaa. Lahnaslammen kaivokseen on johdettu myös Punasuon kaivosvedet, sivukiven läjitysalueelta tulevat



käsitellyt suotovedet, Pikarinpuron vedet sekä tarvittaessa prosessivettä. Lahnaslammen kaivoksen vedenpinta pyritään pitämään alle +147 m tasolla. 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.

Talkkia tuotetaan teollisuuden tarpeisiin. Pääasiallisia käyttäjiä ovat mm. paperi-, muovi- ja maaliteollisuus. Lopputuote toimitetaan asiakkaille kuivana, jauheena, granuloituna. Tuotteet kuljetetaan tilaajille junalla tai maantiekuljetuksena rekoilla.

Nykyinen tuotanto on noin 150 000 t/a. Toimintaa koskevat voimassa olevat luvat mahdollistavat rikastamon tuotannon nostamisen tasolle 400 000 t/a. Malmi rikastetaan ja jatkojalostetaan karkeusasteeltaan vaihteleviksi talkkituotteiksi. Talkin rikastuksen sivutuotteena saatavan nikkelirikasteen tuotanto on noin 4 500 t/a riippuen talkkirikasteen tuotannosta.

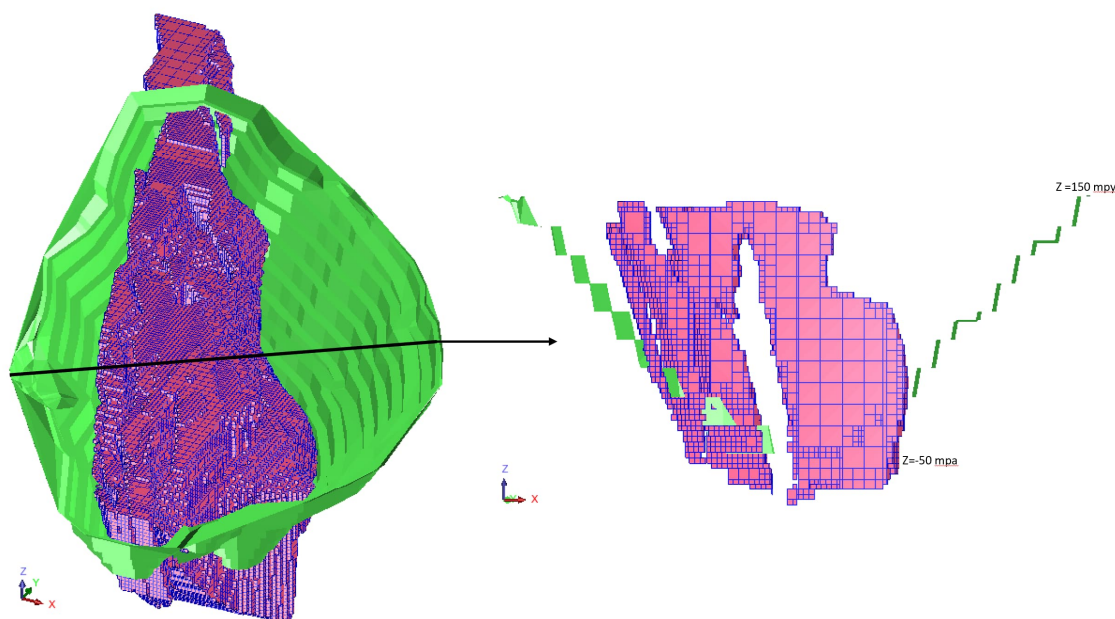
Malmin lisäksi louhitaan sivukiveä noin 0,5–1,5 Mt/a. Rikastushiekkaa muodostuu 350 000–450 000 t/a.

Kaivoksen nykyisten toimintojen sijoittuminen on esitetty kappaleessa 4 (Kuva 4-2).

3.1 Punasuon avolouhos

Talkkimalmi louhitaan avolouhintana vuolukiviesiintymästä. Käytössä oleva Punasuon avolouhos sijaitsee tehdasalueen eteläpuolella. Sen pinta-ala on noin 20,5 ha ja sen on arvioitu laajenevan enimmillään 26 hehtaariin. Avolouhoksen pohja tulee ulottumaan tuotannon loppuvaiheessa tasolle -50 m. Maanpinta on alueella tasossa noin +155 m.

Punasuon louhintasuunnitelman sisältämän malmin kokonaismäärä on n. 15 miljoonaa tonnia. Louhintasuunnitelman sisältämän sivukiven määrä on n. 24 miljoonaa tonnia (Kuva 3-1).



Kuva 3-1. Punasuon kaivoksen louhintasuunnitelma ja blokkimalli Punasuon talkkimalmista.

3.2 Lahnaslammen avolouhos

Lahnaslammen avolouhoksen pinta-ala on noin 24 ha. Maanpinta on louhoksen reunalla tasolla +160 m (mpy) ja louhoksen pohja on tasolla – 20 m. Kaivoksen kokonaissyvyys on n. 180 m ja tilavuus 17 Mm³. Louhinta Lahnaslammella loppui vuonna 2010 ja louhos täyttyi vedestä vuonna 2020, jonka jälkeen vettä alettiin purkaa vesistöön.

Muodostuvan sivukiven ja rikastushiekan läjitystoiminta on lupaehtojen mukaan siirrettävä läjitysalueilta Lahnaslammen avolouhokseen sen jälkeen, kun malmin louhinta on loppunut. Louhokseen on läjitetty Punasuon louhoksen pintamaita, sivukiviä ja magnesiittihiekkaa. Sivukiven läjitys Lahnaslammen kaivokseen on käynnissä. Avolouhokseen johdetaan myös sivukivialueen suotovedet sekä johdettiin Punasuon kaivosvedet syksyyn 2024 asti.

3.3 Sivukivet

Lahnaslammen kaivoksesta louhittu sivukivi on läjitetty erilliselle läjitysalueelle (noin 60 ha). Sivukiven läjitysalue sijaitsee kaivospiirin luoteiskulmalla (Kuva 4-2). Läjitysalueelle on läjitetty pääasiassa Lahnaslammen kaivoksesta v. 1968–2010 louhittua sivukiveä. Sivukiveä on läjitettynä noin 17 milj. m³ eli noin. 29 milj. tonnia. Läjitysalueen korkeus on noin 30-40 m ympäröivää maanpintaa korkeammalla noin tasolla +190–205 m mpy.

Taulukko 3-1. Lahnaslammen sivukivialueelle läjitettyjen sivukivien kivilajijakauma.

Kivilaji	Tonnia	Osuus kokonaismassasta
Mustaliuskeet	17 000 000	59 %
Kiilleliuskeet	6 000 000	21 %
Serpentiniittibreksia/vuolukivet	95 000	0,3 %
Talkkimagnesiitti	4 600 000	16 %
Karsikivet, kloriitti- ja talkkiliuskeet sekä dolomiitti	1 400 000	5 %
Yhteensä	29 000 000	100 %

Sivukivialueelle ei ole tehty pohjarakennetta, vaan pohja muodostuu huonosti vettä läpäisevästä luonnonmoreenista. Sivukivialueen suotovedet kerätään ympärysojia pitkin suotovesien neutralointilaitokselle ja Lahnaslammen louhokseen, joka on nykyisellään louhosjärvi.

Ympäristölupapäätöksen nro 103/2023 lupamääräyksen 26 mukaisesti sivukiven läjitystoiminta on siirretty Lahnaslammen avolouhokseen sen jälkeen, kun malmin louhinta louhoksesta on loppunut. Lahnaslammen avolouhokseen on vuosien 2011–2023 välisenä aikana läjitetty yhteensä 3,5 milj. m³ eli noin 9,8 milj. tonnia sivukiveä. Toisinaan sivukiveä on silti edelleenkin läjitetty sivukivialueelle. Syynä väliaikaiselle läjitykselle on ollut Lahnaslammen kaivoksen ajoittainen poikkeuksellisen korkea vedenpinta, jolloin sivukiveä ei ole voitu läjittää louhokseen työturvallisuussyistä.

3.4 Rikastushiekka-altaat

Talkki- ja nikkeli-rikastuksen lopputuotteena muodostuva hienojakoinen rikastushiekka (magnesiittihiekka) pumpataan vesilietteenä varastoitavaksi Papinlammen rikastushiekka-altaaseen, joka sijaitsee tehdasalueen itäpuolella. Papinlammen rikastushiekka-altaan patojen korotukset tehdään rikastushiekalla.

Rikastushiekkaliete pumpataan rikastamolta rikastushiekka-allasta kiertäviä putkilinjoja pitkin ja jaetaan tasaisesti haluttuun kohtaan spigotointiputkien avulla. Lisäksi altaalle pumpataan toisella linjalla vähemmän kiintoainetta sisältävää ja talkkipitoisempaa rikastushiekkalietettä. Altaalla kiintoaine laskeutuu ja selkeytynyt vesi palautetaan takaisin prosessivesikiertoon.

3.4.1 Papinlammen rikastushiekka-allas

Rikastusprosessin sivutuotteena muodostuva hienojakoinen magnesiittihiekka pumpataan vesilietteenä tehdasalueen itäpuolelle Papinlammen rikastushiekka-altaaseen. Papinlammessa on rikastushiekkaa kokonaisuutena arviolta noin 11,2 milj. tonnia ja vuosina 2010–2023 rikastushiekkaa on pumpattu Papinlampeen noin 296 000–502 000 t/a. Juuri läjitettävässä lietteessä kuiva-ainepitoisuus on noin 20 %. Vettä pumpataan pois



toiminnan aikana ja sedimentoitumisen seurauksena kuiva-aine pitoisuus kasvaa ollen syvemmällä altaassa noin 70 %. Osa Papinlammen altaalle läjitetystä magnesiitista on myyty hyötykäyttöön. Vuosina 2014–2021 magnesiittia myytiin yhteensä 471 885 tonnia. Vuoden 2021 jälkeen magnesiittia ei ole myyty.

3.4.2 Vanhat läjitysalueet

Ennen Papinlammen käyttöönottoa rikastushiekkaa on läjitetty useampaan eri paikkaan. Soidinsuon altaan eteläinen osa (14 ha) toimi rikastushiekka-altaana vuosina 1974–1990. Toiminnan viimeisinä vuosina altaiden pintaa nostettiin tekemällä altaan sisälle erillisiä altaita magnesiittihiekasta patoamalla vastaavalla tavalla kuin rikastushiekka-allasta korotetaan Papinlammen altaalta. Täyttymisen jälkeen Soidinsuon allas on maisemoitu vuosina 1991–1992 moreenilla, johon on muodostunut kasvukerros. Lopullinen täyttötaso on noin +165 m. Sulkemistoimenpiteet on hyväksytty ja alue on metsittynyt. Muita vanhoja läjitysalueita ei ole suljettu. Läjitysalueet on kuvattu tarkemmin kappaleessa 11.3.2.

3.5 Malmin rikastaminen

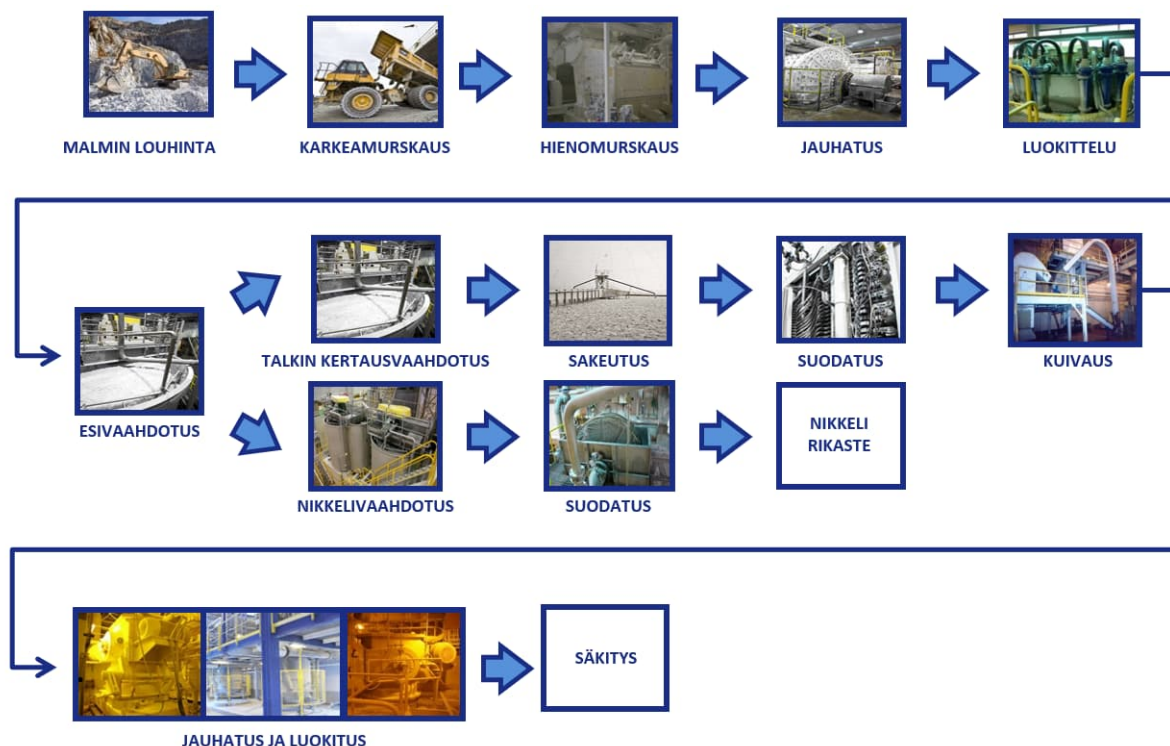
Rikastuksen päävaiheet ovat murskaus, jauhatus ja luokitus, vaahdotus, sakeutus, suodatus ja kuivatus. Malmin jauhatus ja rikastus tapahtuu rikastamorakennuksessa lukuun ottamatta sakeutusaltaita, jotka sijaitsevat rikastamorakennuksen ympärillä. Rikastusprosessissa tarvittava vesi otetaan pääasiassa prosessivesialtaista (Talkkipiirin allas ja Papinlammen allas).

Rikastamon prosessin lopputuotteena talkkimalmista saadaan tuotetta, jonka talkkipitoisuus on 96–98 %. Osa rikasteesta varastoidaan suodinkakkuna erilliseen varastoon, josta sitä toimitetaan yhtiön muille tehtaille jatkojalostettavaksi.

Nikkelirikaste erotetaan talkkivaahdotuksen rejektistä monivaiheisessa vaahdotuksessa. Saatu nikkelirikaste suodatetaan kiekkosuodattimella kuiva-ainepitoisuuteen 92 %. Suodinkostea rikaste säkitetään. Rikastushiekka (pääosin magnesiittihiekkaa) pumpataan rikastushiekka-altaille. Nikkelirikaste toimitetaan asiakkaille kosteana rikasteena. Nikkelirikasteen painosaaanti rikastamon syötteestä on noin 1 %. Rikasteen nikkelipitoisuus on tavallisesti noin 10 %.

Mikrotalkkitehdas sijaitsee ratapihan läheisyydessä tehdasalueen keskellä. Mikrotalkkitehtaalle siirretty kuiva talkkirikaste jauhetaan myllyillä lukuisiksi karkeudeltaan vaihteleviksi tuotteiksi. Lopputuotteet toimitetaan asiakkaille bulk toimituksina tai paperi- ja suursäkkeihin pakattuna kuivana jauheena tai granulaattina.

Kaivoksen yksinkertaistettu prosessikaavio malmin louhinnasta lähtien on esitetty kuvassa (Kuva 3-2).

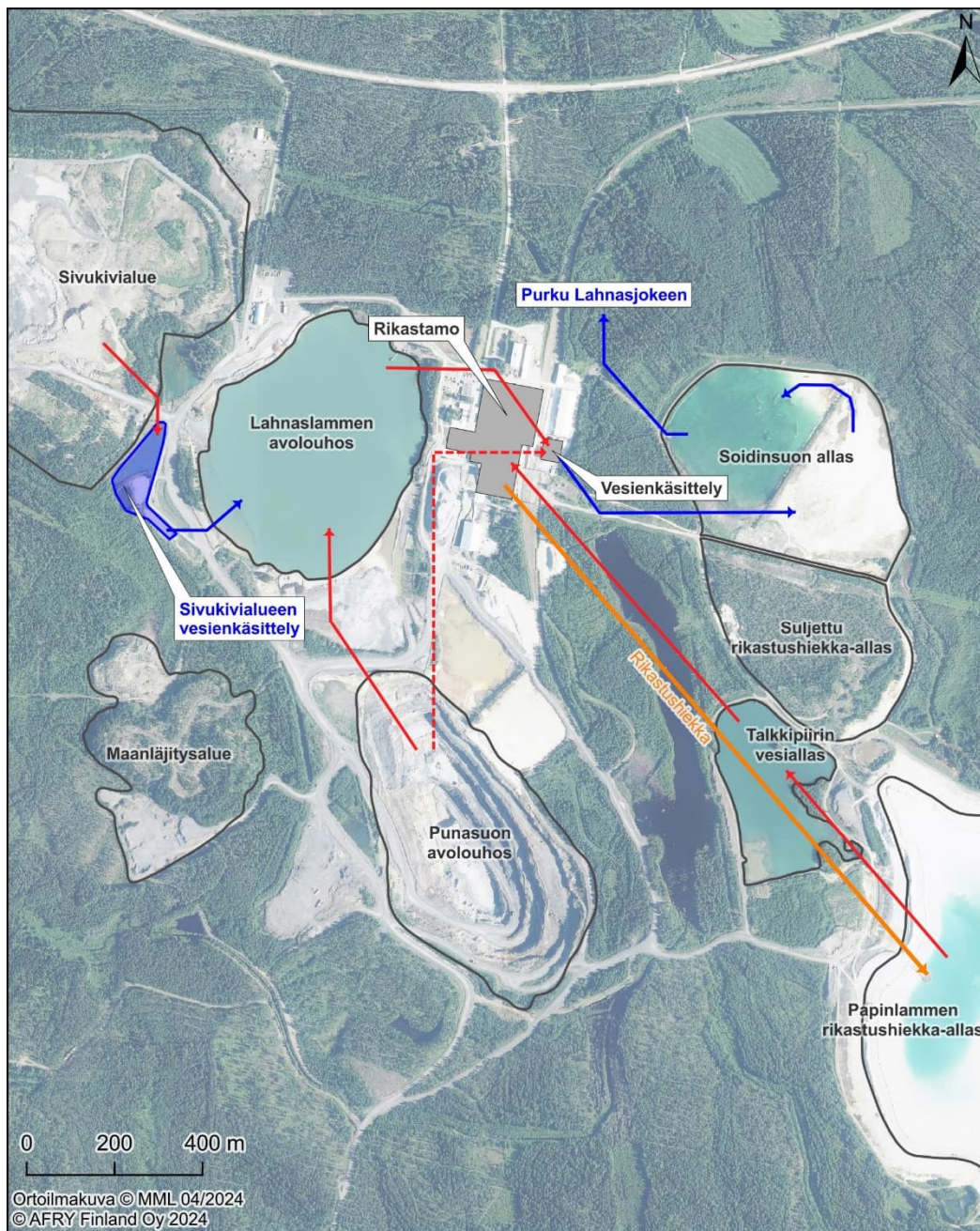


Kuva 3-2. Prosessikuvaus.

3.6 Vesienhallinta

Kaivoksella muodostuu vesiä louhoksiin muodostuvista pohjavesistä sekä eri toiminta-alueilta muodostuvista valuma- ja suotovesistä. Kaivoksen vesikierto on esitetty kuvassa 3-3.

Rikastushiekka-altaalla kiintoaine laskeutuu ja selkeytynyt vesi palautetaan Talkkipiirin altaan kautta takaisin prosessivesikiertoon.



Kuva 3-3. Kaivoksen vesienjohtaminen.

Punasuon kuivatusvedet on pumpattu syksyyn 2024 asti Lahnaslammen avolouhokseen ja sieltä edelleen vedenpuhdistuksen kautta Lahnasjokeen. Punasuon louhokseen kuivatusvesien kokonaismäärä on nykyisellään noin 750 000 m³/a, vesimäärä kuitenkin vaihtelee vuosittain. Punasuon kuivatusvesien ohjaaminen on muutettu syksyllä 2024 niin, että vedet ohjataan jatkossa suoraan purkuveden käsittelyn kautta Lahnasjokeen (punainen katkoviiva kuvassa).

Sivukivialueelta kertyvät happamat ja metallipitoiset suotovedet kerätään läjitysaluetta ympäröivän suotovesiojan avulla. Ojaan keräytyvä vesi johdetaan läjitysalueen kaakkoiskulmassa olevalle suotovesien neutralointilaitokselle. Neutralointilaitoksella käsitellyt vedet on johdettu syksyyn 2024 asti sakkoineen Lahnaslammen avolouhokseen ja sieltä edelleen vesienkäsittelyn kautta Soidinsuon altaaseen ja sieltä Lahnasjokeen. Syksyllä 2024 altaita muokattiin niin että vesienkäsittelyn sakka saadaan laskeutumaan altaisiin ja voidaan ruopata jatkossa Soidinsuonaltaalle tai Papinlampeen, ja vain käsitelty vesi jatkaa matkaa Lahnaslammen avolouhokseen.

3.7 Kemikaalit

Toiminnassa käytetään kemikaaleja lähinnä rikastusprosessissa ja vesienkäsittelyssä. Kemikaaleja ja niiden syöttöä optimoidaan jatkuvasti toiminnan aikana, joten käytössä olevat kemikaalit ja niiden määrät voivat vaihdella.

Rikastuskemikaaleja käytetään erottamaan haluttu erotettava fraktio jauhetusta kiviaineksesta. Talkin rikastuksessa käytetään alkoholijohdannaista vaahdotetta. Nikkelirikastuksessa aktivointikemikaalina käytetään kuparisulfaattia, kokoojakemikaalina natriumetyyliksantaattia, painajana karboksimeetyliselluloosaa (CMC) sekä polymeerivaahdotetta. Nikkelisuodatuksen apuaineena käytetään lisäksi alumiinisulfaattia.

Kaivosalueen vesien käsittelyssä käytetään pääosin sammutettua kalkkia eli kalsiumhydroksidia. Tarvittaessa vesienkäsittelyssä käytetään lisäksi natriumhydroksidia. Saniteettivesien puhdistamiseen käytetään ferrosulfaattia. Kaivostoiminnassa vuonna 2022 käytettyjen kemikaalien kulutus on esitetty taulukossa 3-2.

Taulukko 3-2. Rikastamalla, vesienkäsittelyssä ja talkkitehtaalla käytettävät kemikaalit, niiden käyttökohteet ja vuotuiset käyttömäärät vuonna 2022 (AFRY Finland Oy 2024a).

Kemikaali	Käyttökohde	Kulutus (kg / a)
2-etyyliheksanoli	talkkirikasteen vaahdotus	12 264
Propyleeniglykolimetyylieetteri	nikkelirikasteen vaahdotusaine	6 476
Natriumetyyliksantaatti	nikkelirikasteen vaahdotusaine	9 041
Kuparisulfaatti	nikkelirikasteen vaahdotus	4 453
Natriumkarboksyylimetyyliselluloosa	nikkelirikasteen vaahdotus	15 455
Ferrisulfaatti	nikkelirikasteen suodatus, As saostus vedestä	15 570
Natriumhydroksidi, 49–50 %	vesien käsittely	409 850
Sammutettu kalkki	vesien käsittely	461 000
Grip fix SW 10/3 LS	säkityksen liima	2 900



Räjähdysaineet

Louhinnassa käytetään erilaisia räjähteitä nykytuotannolla noin 300 t/a. Tällä hetkellä louhinnassa käytetään lähinnä reikään pumpattavaa emulsioräjähdysaineita ja aloitepanoksina patruunoituja emulsioräjähteitä. Räjähdysaineiden tyypillisenä osa-aineena on ammoniumnitraatti (AFRY Finland Oy 2024a).

Poltto- ja voiteluaineet

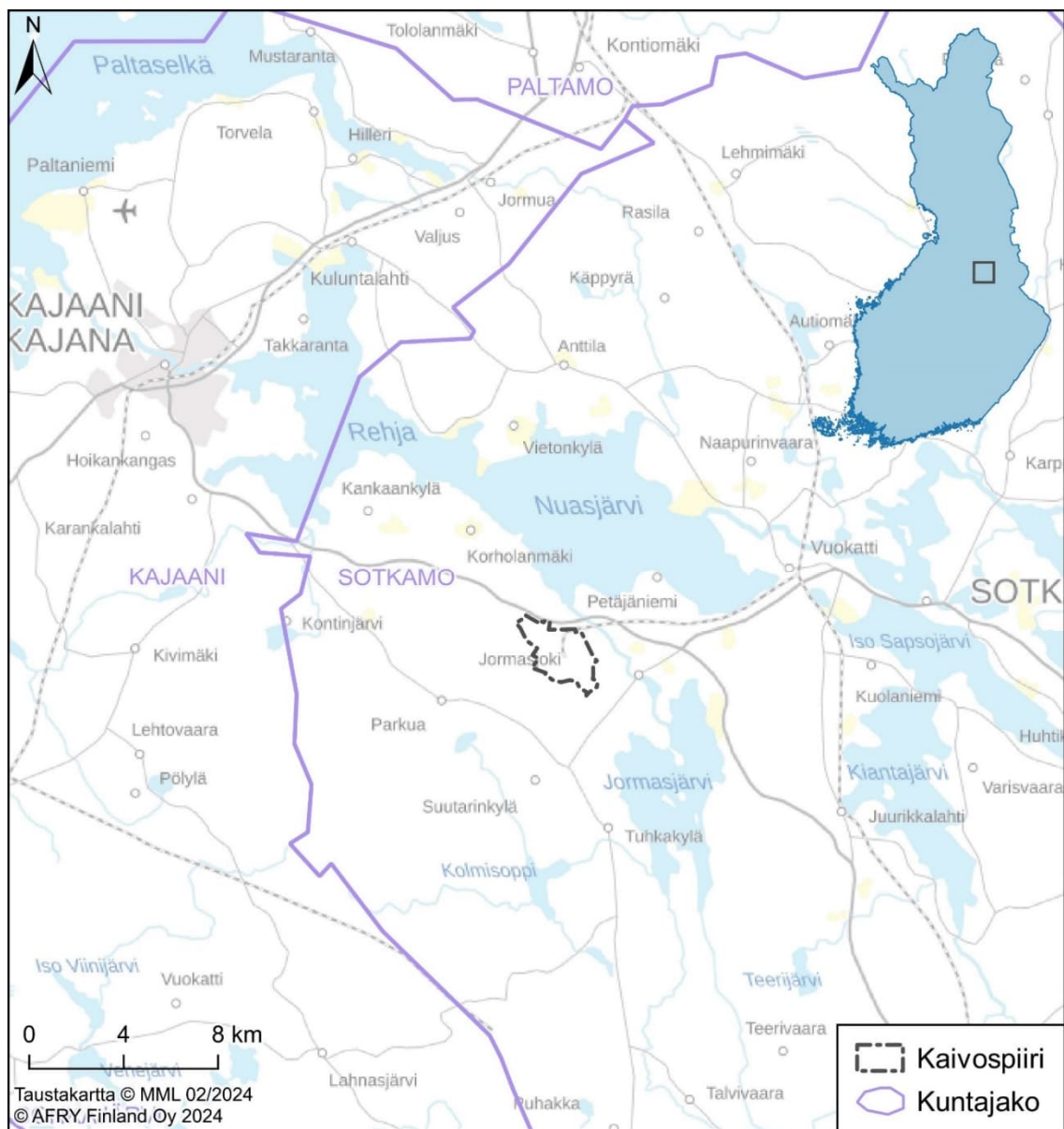
Talkkirikasteen kuivaamiseen käytettiin vuonna 2023 n. 1200 tonnia nestekaasua, mutta vuotuinen käyttömäärä tulee olennaisesti laskemaan 2024 käyttöönotetun hybridikuivaimen myötä, joka mahdollistaa talkin kuivaamisen myös sähköllä.

Työkoneet käyttävät polttoaineenaan kevyttä polttoöljyä. Polttoaineen kulutus tehdasalueella oli vuonna 2023 noin 6 000 l. Lisäksi urakoitsijan kaivostoiminnassa käyttämien koneiden kevyen polttoöljyn kulutus vuonna 2023 oli noin 1 milj. litraa (AFRY Finland Oy 2024a).

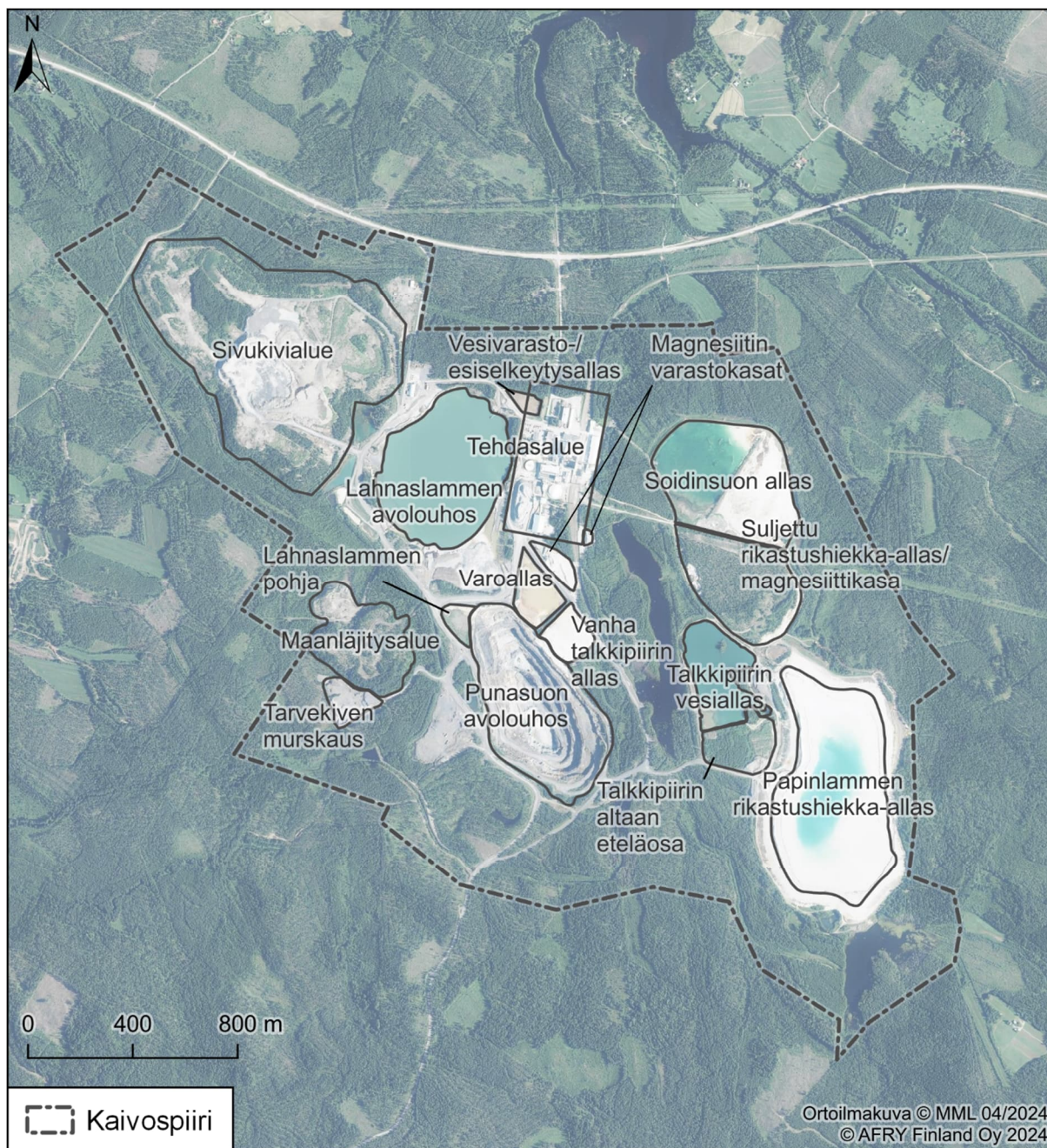
4 Kaivoksen sijainti ja ympäristö

4.1 Sijainti

Elementis Sotkamon kaivosalue sijaitsee Sotkamon kunnassa, n. 16 km Sotkamon kuntakeskuksesta länteen. Kaivoksen toiminta sijoittuu Lahnaslampi- ja Punasuo-nimisille kaivospiireille. Kaivospiirin kokonaispinta-ala on noin 593 ha. Lähin vesistö on hankealueen pohjoispuolelle, n. 600 m:n etäisyydelle sijoittuva Nuasjärvi. Kaivoksen pohjoispuolitse kulkee - valtatie nro 6. Kaivospiirin sijoittuminen kartalla on esitetty kuvassa (Kuva 4-1). Kuvassa (Kuva 4-2) on esitetty kaivoksen nykyisten toimintojen sijoittuminen.



Kuva 4-1. Kaivospiirin sijainti.



Kuva 4-2. Ilmakuva kaivospiirin alueesta.

4.2 Maisema, maankäyttö ja kaavoitus

Maisema

Kaivos sijoittuu Nuasjärven eteläpuolelle ja Jormasjoen länsipuolelle alueelle, jolla kumpuilevat matalat vaarat ja niiden väliin jäävät suot puroineen. Maisemakuva on metsäinen. Metsiä pirstovat metsähakkuut ja metsätiet.

Maankäyttö

Hankealueen lähiympäristö on pääosin metsätalousvaltaista aluetta, jossa on suoalueita, järviä ja maatalousmaata. Asuinrakennuksia on alle kilometrin etäisyydellä kaivospiiristä, erityisesti pohjoispuolella Jormasjoen varrella ja Telkkälässä. Lähimmät asuinrakennukset ovat noin 300 metrin päässä kaakkoon, 480 metrin päässä pohjoiseen ja 560–660 metrin päässä länteen kaivospiirin rajasta. Vapaa-ajan asuinrakennukset keskittyvät vesistöjen läheisyyteen, lähimmillään noin 800 metriä kaivospiiristä.

Kaivoksen läheisyydessä ei ole herkkiä kohteita, kuten kouluja tai päiväkoteja. Rommakon moottoriurheilukeskus on reilun 500 metrin päässä kaivospiirin länsipuolella, ja alueella on myös moottorikelkkareitti.

Jormaslahden rannalla on vakituista ja vapaa-ajan asutusta, ja aluetta käytetään virkistykseen. Kaivoksen läheisyydessä metsästetään, ja alueella toimii Jormasjoen metsästysseura.

Kaavoitus

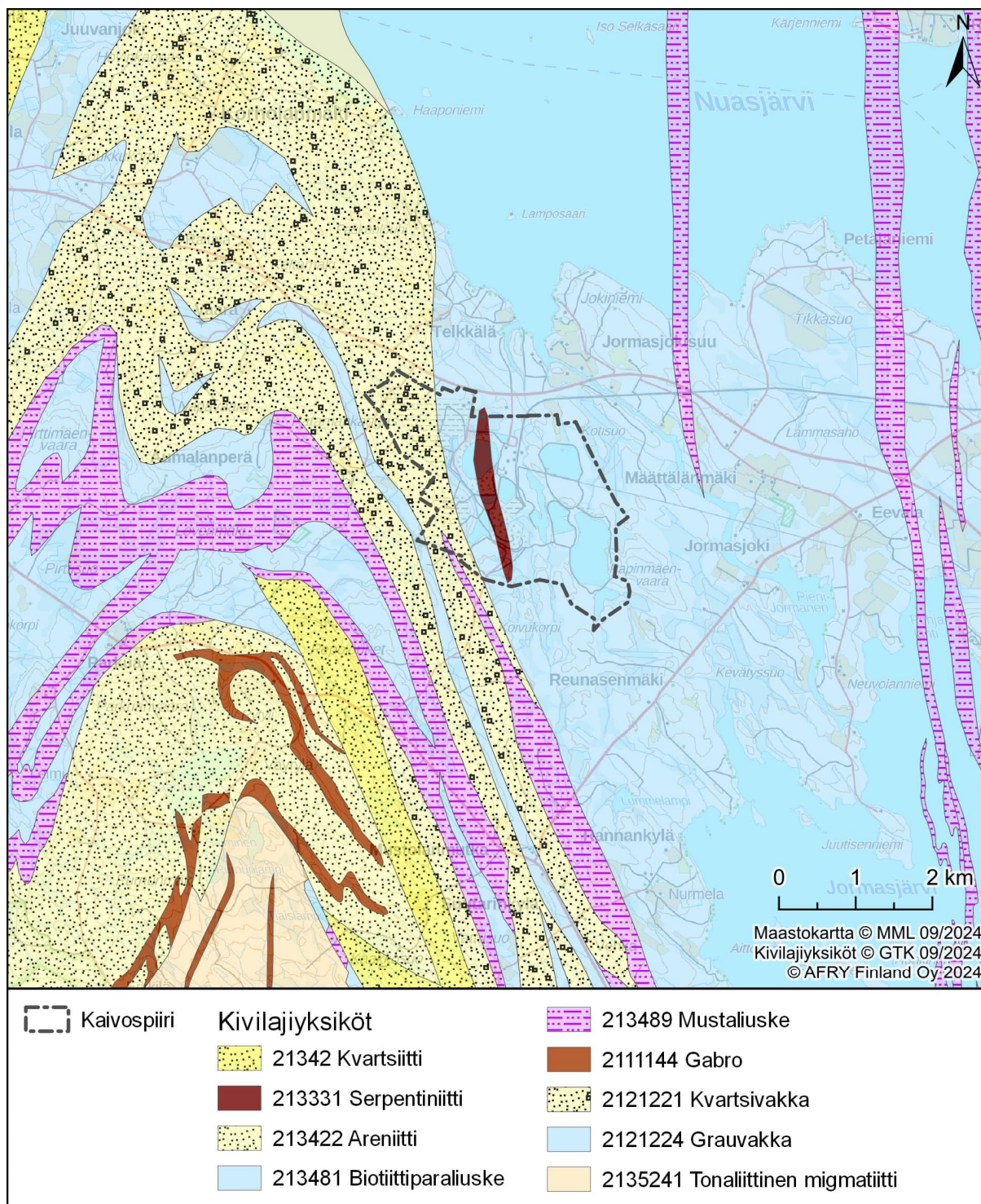
Koko Kainuun alueella on voimassa Kainuun maakuntakaava 2020, joka on hyväksytty 7.5.2007 ja vahvistettu 29.4.2009. Kainuun maakuntakaavoitusta on täydennetty vaihemaakuntakaavoin. Hankealue on osoitettu maakuntakaavassa merkinnällä EK (kaivos tai kaivostoimintaan liittyvä alue). Kaivospiirin alueella ei ole voimassa olevaa yleis- tai asemakaavaa.

4.3 Geologia

4.3.1 Kallioperägeologia

Alueen kallioperä on pääosin biotiittiparaliusketta (kiilleliuske), varsinainen talkkimalmi on talkkimagnesiittikiveä eli vuolukiveä. Kaivospiirin länsireunalla kivilajina on kvartsiitti (kvartsivakka). Biotiittiparaliuske on rakenteeltaan suuntautunut, sedimenttissyntyinen metamorfinen kivilaji, jonka päämineraaleja ovat kvartsi, maasälpä ja kiilteet; alkuperältään se on yleensä savisyntyinen. Lisänimensä mukaisesti se sisältää runsaasti biotiittia. Kvartsiitti koostuu nimensä mukaisesti pääosin kvartsista. Talkkimagnesiitti on metamorfinen kivi, joka koostuu pääasiassa talkista ja karbonaatista (magnesiitti). Alueella tavataan myös mustaliusketta, ja sen takia alueen maaperä ja pohjavedet sisältävät luontaisesti kohonneita metalli-, arseeni- ja rikkipitoisuuksia.

Hankealueen ja sen lähiympäristön kallioperän yleispiirteet on esitetty kuvassa 4-3.



Kuva 4-3. Kaivosalueen ja sen lähiympäristön kallioperän yleispiirteet. Kaivosalueella serpentiniitti on muuttunut talkkimagnesiitiksi.

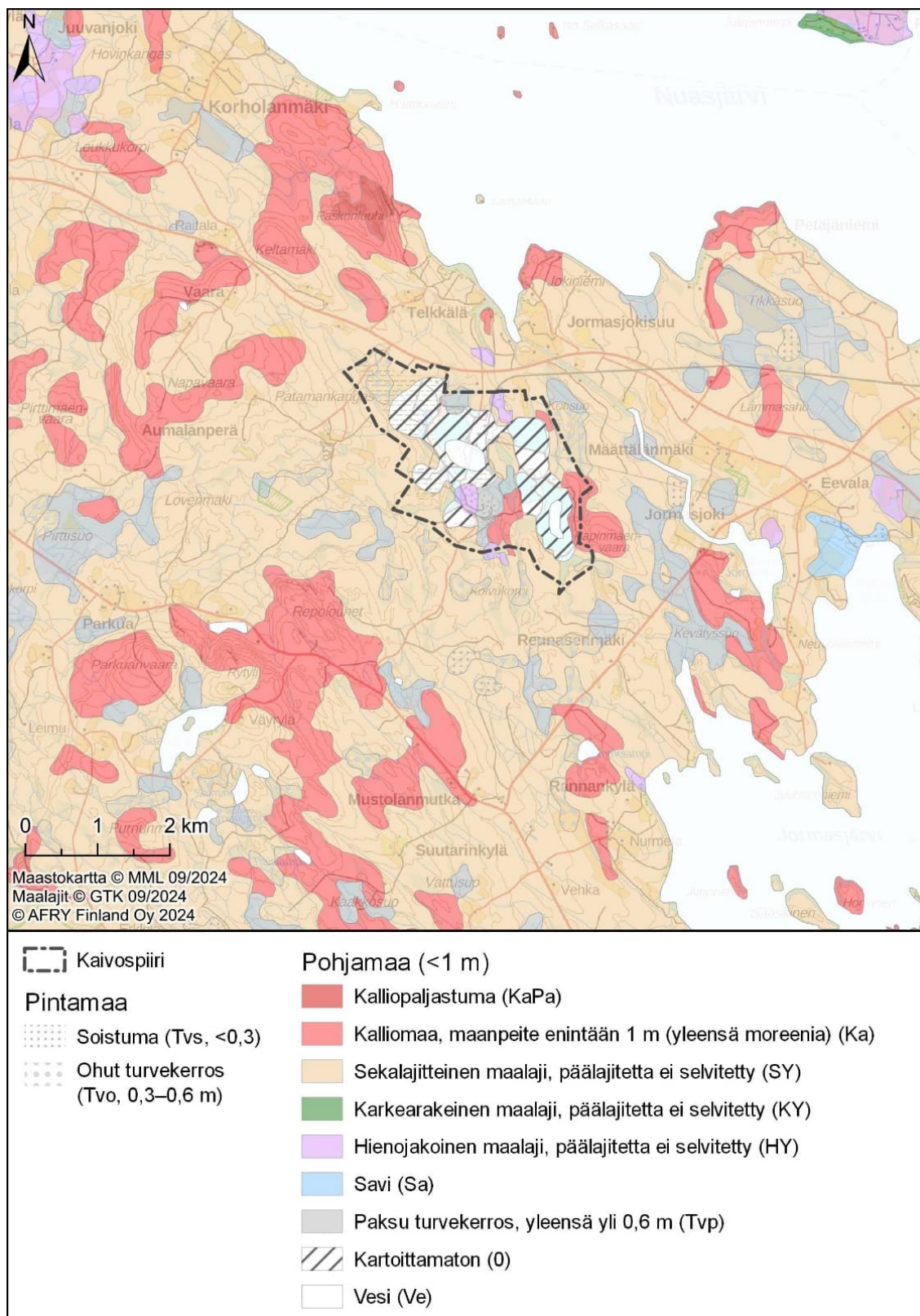
4.3.2 Maaperägeologia

Kohdealueen maaperän yleispiirteet on esitetty kuvassa 4-4. Maaperä on sen mukaisesti pääasiassa sekalajitteista maalajia eli moreenia, jonka päälajitetta ei ole selvitetty. Myös hienolajitteisia maalajeja (siltti) tavataan paikoin. Maaperän paksuus on GTK:n karttapalvelun (<https://gtkdata.gtk.fi/maankamara/>) mukaan noin 10 m.

Lahnaslammen kaivos sijaitsee ns. metalliprovinssin alueella. Metalliprovinssit ovat alueita, joilla kobolttin, kromin, kuparin, nikkelin, vanadiinin tai sinkin pitoisuudet ovat moreenissa usein suurempia kuin muualla Suomessa. Geologian tutkimuskeskuksen maaperän taustapitoisuudet (TAPIR) -karttapalvelun (<http://gtkdata.gtk.fi/Tapir/>) perusteella hankealueen moreenin (Luonnonmaa: moreeni < 2 mm raekoko) alkuaineiden mediaanipitoisuudet ovat lähinnä tavanomaisella tasolla (laskennan säde 15 km, keskipiste 551967,7110215, Metalliprovinssi_3). Esimerkiksi kaikkien ns. PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) mukaisten alkuaineiden (11 kpl) pitoisuudet olivat alle kynnysarvotasojen (AFRY Finland Oy 2024).

Kohdealueelta ei ole tietoa happamista sulfaattimaista GTK:n palvelussa (<https://gtkdata.gtk.fi/Hasu/index.html>) eikä myöskään arviota niiden esiintymisen todennäköisyyksistä.

Alueella on ollut toimintoja vuosikymmenten ajan, joihin liittyen alueella on toteutettu paljon rakentamisia, kaivuja ja läjityksiä. Kohteessa on yksi merkintä ympäristöhallinnon maaperän tilan tietojärjestelmässä (MATTI). Tietojärjestelmässä on tietoja alueista, joiden maaperään on voinut päästä haitallisia aineita, tai joiden tilaa on selvitetty tai jotka on jo puhdistettu. Merkintä sijaitsee Punasuon louhoksen luoteispäässä (551807, 7110022).



Kuva 4-4. Kaivosalueen ja sen lähiympäristön maaperän yleispiirteet.

4.3.3 Maa- ja kallioperän radiologiset ominaisuudet

Louhinnassa muodostuvista sivukivistä on mitattu uraani- ja toriumpitoisuudet nelihappouuttomenetelmällä. Uraanipitoisuus oli tutkituissa näytteissä (n=7) pienimmillään alle määritysrajan (0,05 mg/kg) ja suurimmallaan 8,9 mg/kg. Toriumpitoisuus oli pienimmillään alle määritysrajan (0,05 mg/kg) ja suurimmallaan 22 mg/kg.

Maankuoren keskimääräinen uraanipitoisuus on 2,4–2,7 mg/kg. Graniiteissa arvioidaan olevan uraania 3–5 mg/kg ja gabroissa 0,5–1,0 mg/kg. Graniittien toriumpitoisuudet puolestaan ovat 10–20 mg/kg, kun taas gabroissa pitoisuus on 1–5 mg/kg. Maankuoren keskimääräinen toriumpitoisuus on 6–13 mg/kg (Lahermo 1996). Maankuoren keskimääräisiin pitoisuuksiin verrattuna testattujen sivukivinäytteiden uraani- ja toriumpitoisuudet olivat hieman koholla.

Punasuon sivukiville ja rikastushiekalle on tehty U- ja Th-aktiivisuuspitoisuuksien tarkastelu STUK:in ohjeistuksen (STUK 2021) mukaisesti. Tarkastelu on esitetty luvussa 5.3.5 ja 5.5.6. Yhtiö on laatinut säteilylain 146 § mukaisen selvityksen Sotkamo kaivoksen ja tehdasalueen osalta 17.12.2024 ja täydentänyt sitä 14.1.2025 ja 27.3.2025. Säteilyturvallisuuskeskus STUK antoi ilmoituksen 3.4.2025 että toimitettu selvitys on riittävä säteilylain 146 §:n mukaiseksi selvitykseksi.

4.4 Luonto ja suojelukohteet

Alueen luontoa ja suojelukohteita on kuvattu Elementisin kaivannaisjätteiden ja vesienhallinnan YVA-ohjelmassa (Afray Finland 2024), josta tähän on poimittu keskeiset tiedot. Kaivosta lähimmät luonnonsuojelualueet ovat yli yhden kilometrin päässä sijaitseva yksityismaan luonnonsuojelualue Reettalan luonnonsuojelualue (YSA207643) ja noin kahden kilometrin etäisyydellä alueen itäpuolella sijaitseva Ritvanlehto (YSA250647).

Lähin Natura-alue on noin 6,4 kilometrin päässä hankealueen lounaispuolella sijaitseva Losonvaara (FI1201009). Losonvaaran Natura-alueella sijaitsee valtion ja yksityismaan luonnonsuojelualueita. Losonvaara on merkittävä puustoisten soiden ja luontaisesti kehittyneiden metsien kokonaisuus. Alue on kooltaan 370,8 hehtaaria ja sen suojelu perustuu luontodirektiiviin (SAC). Suojelun perusteena Natura-tietolomakkeen mukaan on kuusi metsien, soiden ja vesistöjen luontotyyppiä sekä lajeista ahma ja liito-orava.

Suomen ympäristökeskuksen avoimessa paikkatietoaineistossa "serpentiinikalliot ja -kivikot" on esitetty Lahnaslammen kaivos mahdollisesti serpentiinivaikutteisena louhoksena. Serpentiiniluontotyytit ovat luonnonsuojelulain 65 § mukaan tiukasti suojeltuja ilman erillistä suojelupäätöstä. Serpentiiniluontotyyppien esiintymistä selvitettiin kesällä 2024 osana kasvillisuus- ja luontotyyppiselvitystä, eikä luontotyyppiä tavattu alueelta.

Unijoen varressa on Metsäkeskuksen kuviotiedoissa metsälain 10 § mukainen erityisen tärkeä elinympäristö, pienveden välitön lähiympäristö.

Suomen Lajitietokeskuksen laji.fi-tietokannan (tietopyyntö käyttörajoitettuun aineistoon 9.4.2024) mukaan kaivoksen lähiympäristöstä ei ole havaintoja luontodirektiivin liitteen IV, luonnonsuojelulain mukaan rauhoitetuista, erityisesti suojeltavista, uhanalaisista tai silmälläpidettävistä (Hyvärinen ym. 2019) lajeista. Lähimmät havainnot ovat uhanalaisuudeltaan vaarantuneista (VU) jäkälälajeista hentokesijäkälästä ja nukkamunuaisjäkälästä Koivukorvesta noin 300–500 metriä kaivospiirin eteläpuolelta.

Kaivospiirin välittömään läheisyyteen ei sijoitu linnustollisesti arvokkaita IBA-, FINIBA- tai MAALI-alueita (Birdlife Suomi 2024).

Luontodirektiivin liitteen IVa lajeista kaivoksen ympäristössä on havaittu laaja saukon elinpiiri ja yksilöitä liikkuu myös lähellä kaivoksen nykyisiä toimintoja sijaitsevilla virtavesiuomissa. Kaivoksen lähialueella on havaintoja myös metsäpeurasta ja liito-oravasta. Lisäksi lähialueella liikkuu suurpetoja kuten ilves, ahma ja susi. Kaivospiirin eteläosa kuuluu Laakajärven susireviiriin. Hankealueella ja sen ympäristössä tehtiin liito-oravan ja viitasammakon erillisselvityksiä v. 2024, eikä kummastakaan lajista tehty havaintoja.

4.5 Vesistöt

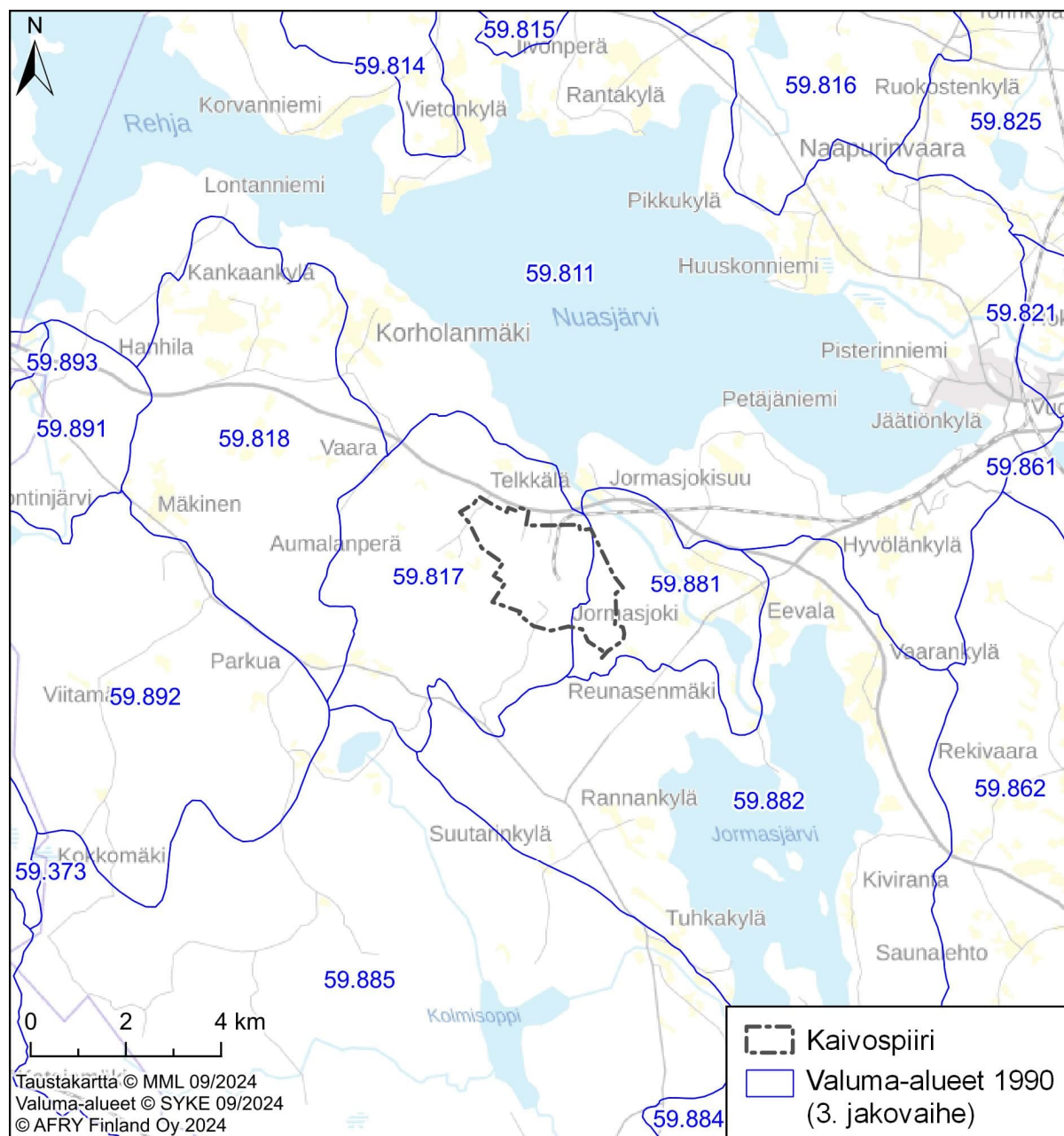
4.5.1 Vesistöalue

Kaivos- ja tehdasalue sijaitsee pääosin Lahnasjoen valuma-alueella (59.817), johon sisältyy kolme pienvaluma-aluetta: Juuanpuro, Pikarinpuro ja Unijoki. Lahnasjoen valuma-alueen laajuus on noin 25 km². Juuanpuron ja Pikarinpuron vedet virtaavat sivukivialueen pohjoispuolelta ja laskevat Lahnasjokeen tehtaan alapuolella. Unijoen vedet virtaavat kaivettua uomaa pitkin Unijoen altaan eteläpuolelta ja laskevat Lahnasjoen altaaseen. Lahnasjoki alkaa mainitusta altaasta ja laskee tehdasalueen läpi Nuasjärven Jormaslahteen. Lahnasjoen keskivirtaama on noin 0,4 m³/s. Nykytilassa kaivos- ja tehdasalueen purkuvedet johdetaan Lahnasjokeen.

Osa rikastushiekka-altaiden alueesta kuuluu Papinpuron valuma-alueeseen, jonka laajuus on noin 1,5 km². Papinpuro laskee kaivosalueen itäpuolitse virtaavaan Jormasjokeen, joka laskee edelleen Nuasjärven Jormaslahteen. Alue sijaitsee Jormasjoen valuma-alueella (59.881) (Kuva 4-5). Jormasjoen valuma-alueen kokonaispinta-ala on sen laskiessa Nuasjärveen noin 313 km².

Kaivosalueen pohjoispuolella sijaitsee Oulujoen vesistön Sotkamon reittiin kuuluva Nuasjärvi. Nuasjärvi sijaitsee Nuasjärven lähialueella (59.811). Nuasjärvi on Oulujärveen laskevan Sotkamon reitin alin järvi, jossa päävirtaus kulkee idästä länteen. Järven pinta-ala on noin 96 km² ja keskisyvyys 8,5 m. Järveä säännöstellään, säännöstelyvälin ollessa

2,3 m. Nuasjärven valuma-alueen pinta-ala on luusuasta mitattuna 7 475 km² ja luusuan keskivirtaama on 89 m³/s. (AFRY Finland Oy 2024a).



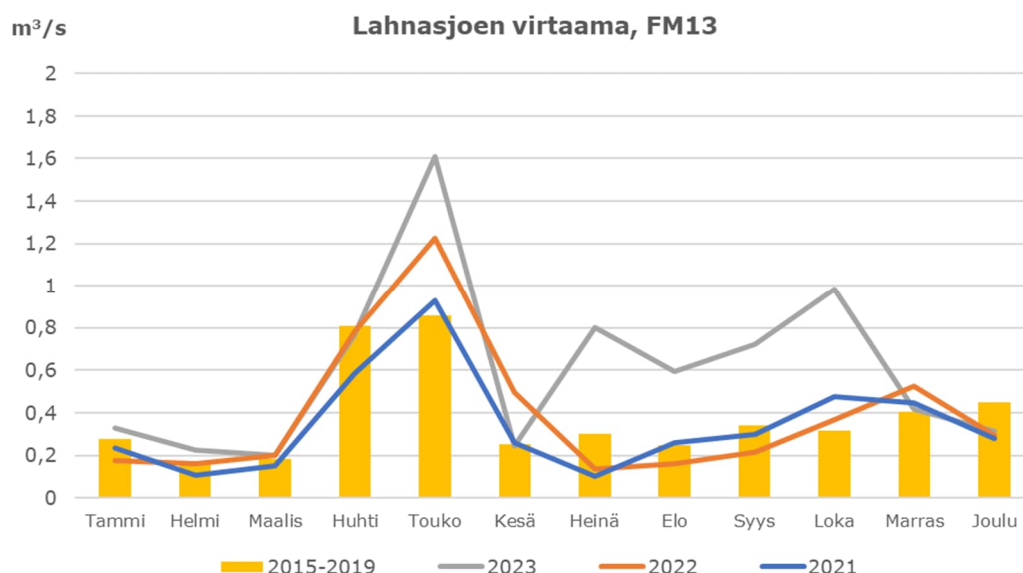
Kuva 4-5. Valuma-aluejako ja hankealueen sijainti.

4.5.2 Virtaama

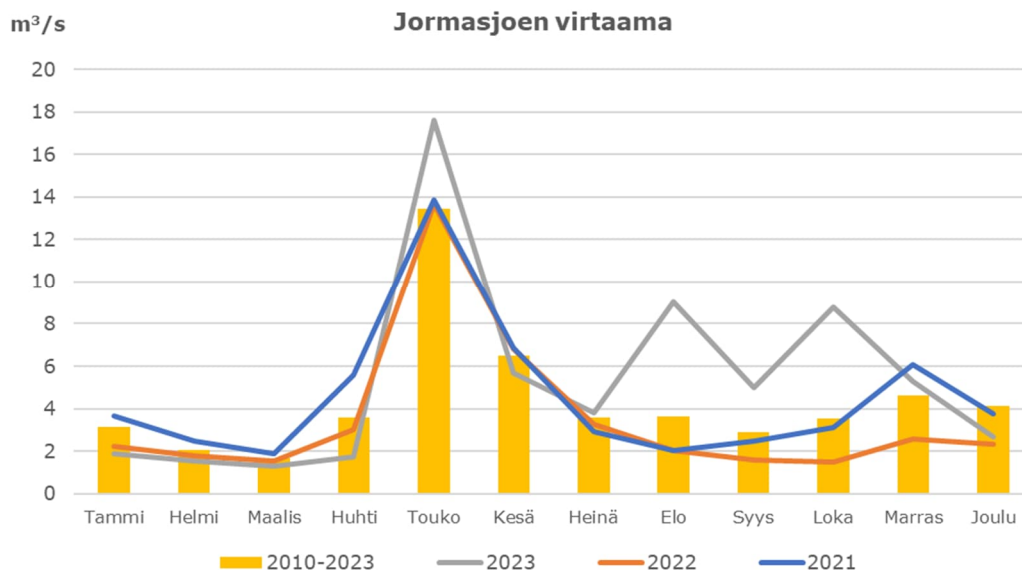
Lahnasjoen virtaamaa mitataan havaintopaikalla FM13 jatkuvatoimisella virtaamamittarilla. Vuosina 2021–2023 virtaama vaihteli Lahnasjoessa keskimäärin 0,3–

0,6 m³/s. Kuvassa (Kuva 4-6) on esitetty virtaamavaihtelu kuukausitasolla vuosina 2021–2023 sekä keskimäärin vuosina 2015–2019. Vuodet 2015–2019 kuvastavat keskimääräistä virtaamaa silloin kun Lahnaslammen avolouhoksesta ei johdettu vesiä Lahnasjokeen. Juoksutusten ollessa tauolla virtaama oli selvästi voimakkainta kevätkuukausina huhti-toukokuussa. Tilanne oli varsin samankaltainen vuosina 2021 ja 2022. Vuonna 2023 heinä-lokakuussa virtaama oli suurempi kuin vuosina 2015–2019 keskimäärin.

Ympäristöhallinnon WSFS-Vemala-järjestelmän simuloima Jormasjoen virtaama alajuoksulla ennen sen laskua Nuasjärven Jormaslahteen on esitetty kuvassa (Kuva 4-7). Vuosina 2021–2023 simuloitu keskivirtaama vaihteli Jormasjoessa 3,5–5,4 m³/s, ja vuosien 2010–2023 simuloitu keskivirtaama oli 4,4 m³/s.



Kuva 4-6. Lahnasjoen keskimääräinen virtaama havaintopaikalla FM13 eri kuukausina vuosina 2021–2023 sekä keskimäärin vuosina 2015–2019.



Kuva 4-7. Jormasjoen keskimääräinen WSFS-Vemala-järjestelmän simuloima virtaama eri kuukausina vuosina 2021–2023 sekä keskimäärin vuosina 2015–2019 (Suomen ympäristökeskus 2024).

4.5.3 Veden laatu

Nykytilassa kaivos- ja tehdasalueen purkuvedet johdetaan Lahnasjokeen. Vesien käsittely ja juokutus aloitettiin kymmenen vuoden tauon jälkeen jaksottaisesti marraskuussa 2020, ja yhtäjaksoisesti vuodesta 2021 lähtien. Tauon aikana vedet johdettiin käytöstä poistuneeseen Lahnaslammen louhokseen.

Lahnasjoen yläpuolisen Unijoen (FM1a) vesi on kaivos- ja tehdasalueen yläpuolella peruslaadultaan ruskeaa tai erittäin ruskeaa ja keskimäärin runsashumuksista. Veden pH-taso vaihteli hapahkosta lievästi emäksiseksi, ja puskurikyky happamoitumista vastaan oli tyydyttävä tai hyvä. Veden sähkönjohtavuus vaihteli 4,1–6,1 mS/m ja sulfaattipitoisuus 5,2–12 mg/l ollen valuma-alueen luonne huomioiden luonnontasoa. Veden sähkönjohtavuudessa ja sulfaattipitoisuudessa ei ole todettavissa tarkastelujaksolla 2010–2023 muutosta.

Kokonaisnikkelin pitoisuudet olivat Unijoessa vuosina 2021–2023 melko pienet, ja nikkeli oli tutkittuina ajankohtina lähes kokonaan liukoisessa muodossa. Yksittäiselle näytteelle asetettu enimmäispitoisuuden laatunormi (MAC-EQS, 34 µg/l liukoista nikkeliä) ei ylittynyt vuosina 2021–2023, jos oletetaan, että nikkeli oli kokonaan liukoisessa muodossa. Vuonna 2023 biosaatavan nikkelin vuosikeskiarvo oli Unijoessa 0,7 µg/l, mikä alitti biosaatavan nikkelin pitkänajan ympäristölaatunormin (AA-EQS, 5 µg/l). Arseenin pitoisuustaso oli matala jääden alle laboratorion määrittäysrajan.

Lahnasjoessa vedenlaatu heikkenee selvästi kaivos- ja tehdasalueen purkuvesien sekä alueelta tulevan hajakuormituksen seurauksena yläpuoliseen Unijokeen verrattuna.



Vedenlaatu on heikoimmillaan purkupaikan alapuolisella havaintopaikalla FM13, ja keskimäärin vedenlaatu paranee lievästi Lahnasjoen jokisuulla (FM3, Jormaslahden sivulahti). Purkuvedet nostavat voimakkaasti etenkin veden sähkönjohtavuutta ja sulfaattipitoisuutta. Juoksutusten aloitus vuonna 2021 näkyi sähkönjohtavuuden ja sulfaattipitoisuuksien nousuna edellisvuosiin verrattuna. Sulfaatti on ehdotettu lisättäväksi vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista annetun Valtioneuvoston asetuksen (1022/2006) liitteeseen 1D. Ehdotus AA-EQS-arvoksi sisävesille on 39 mg/l liukoisena pitoisuutena ja MAC-EQS-arvoksi sisävesille 279 mg/l liukoisena pitoisuutena (Mehtonen ym. 2023). Verrattuna ehdotettuihin ympäristölaatuunormeihin sulfaattipitoisuudet ovat nykytilanteessa Lahnasjoessa erittäin korkeat.

Happitilanteeseen kuormituksella ei ole oleellista vaikutusta. Lahnasjoen happitilanne vaihteli vuosina 2021–2023 hyvästä erinomaiseen. Kaivos- ja tehdasalueen purkuvesillä ja alueelta tulevalla hajakuormituksella on Lahnasjoen veden pH-tasoa kohottava vaikutus. Veden pH vaihteli Lahnasjoessa lievästi happamasta lievästi emäksiseksi. Joulukuussa 2023 veden pH oli selvemmin emäksinen. Kaivos- ja tehdasalueelta ei kohdistu Lahnasjokeen merkittävää ravinnekuormitusta. Vuosina 2021–2023 Unijoen kokonaisfosforipitoisuus oli keskimäärin jopa suurempi kuin Lahnasjoessa havaintopaikalla FM13 Kokonaistyyppipitoisuus oli keskimäärin lievästi suurempi Lahnasjoessa Unijokeen verrattuna.

Purkuvedet nostavat myös Lahnasjoen nikkeli- ja arseenipitoisuutta. Juoksutusten aloitus vuonna 2021 näkyi selvästi nikkelin ja arseenin pitoisuuksissa. Kokonaisnikkelin pitoisuudet olivat Lahnasjoessa (FM13) vuosina 2021–2022 selvästi luonnontasoa suuremmat ja vaihtelivat 16–100 µg/l. Nikkeli oli tutkittuina ajankohtina lähes kokonaan liukoisessa muodossa. Yksittäiselle näytteelle asetettu enimmäispitoisuuden laatuunormi (MAC-EQS, 34 µg/l liukoista nikkeliä) ylittyi useamman kerran, jos nikkelin oletetaan olevan kokonaan liukoisessa muodossa. Nikkelin ja arseenin pitoisuudet olivat vuonna 2023 kuormituksen vähentymisen myötä Lahnasjoessa vuosia 2021–2022 pienemmät. Kokonaisnikkelin pitoisuudet vaihtelivat vuonna 2023 11–31 µg/l ja liukoisen nikkelin pitoisuudet 8–28 µg/l. Liukoiselle nikkelille asetettu enimmäispitoisuuden laatuunormi (MAC-EQS, 34 µg/l liukoista nikkeliä) ei siten ylittynyt yhdelläkään havaintokerralla. Biosaatavan nikkelin pitoisuudet vaihtelivat 1,7–5,6 µg/l ja niiden keskiarvo oli vuonna 2023 2,6 µg/l. Biosaatavan nikkelin keskiarvo alitti siten nikkelin pitkänajan ympäristölaatuunormin (AA-EQS, 5 µg/l). Arseenin pitoisuudet vaihtelivat vuonna 2023 0,7–4,5 µg/l.

Osa rikastushiekka-altaiden alueesta kuuluu Papinpuron valuma-alueeseen. Papinpuro laskee kaivosalueen itäpuolitse virtaavaan Jormasjokeen. Papinpuron virtaama on pieni suhteessa Jormasjoen virtaamaan, eikä sillä ole merkittävää vaikutusta Jormasjoen veden laatuun.

Papinpuroon ei johdeta vesiä kaivos- ja tehdasalueelta, mutta puroon pääsee suotautumaan kuormittuneita vesiä. Kuormituksen vaikutukset näkyvät Papinpurossa sähkönjohtavuuden ja sulfaattipitoisuuden nousuna. Papinpuron valuma-alueella on tehty

hajakuormituksen vähentämiseen tähtääviä toimenpiteitä, joista merkittävimpänä Soidinsuon altaan kaakkoisnurkan suotovesien pumppaaminen takaisin altaille. Veden sähkönjohtavuudessa ja sulfaattipitoisuudessa ei ole toimenpiteistä huolimatta todettavissa selvää muutosta vuosina 2010–2023. Vuosina 2021–2023 veden sähkönjohtavuus oli keskimäärin 90 mS/m ja sulfaattipitoisuus 436 mg/l. Sulfaatille ehdotettuihin ympäristölaatunormeihin (AA-EQS, MAC-EQS) verrattuna sulfaattipitoisuudet ovat nykytilanteessa Papinpurossa korkeat.

Kuormituksen vaikutukset näkyvät Papinpurossa myös nikkelpitoisuuden nousuna. Sekä vuonna 2021 että 2022 todettiin liukoiselle nikkelle asetetun hetkellisen maksimipitoisuuden ympäristölaatunormin (MAC-EQS, 34 µg/l) ylitys. Vuonna 2023 liukoisen nikkelin pitoisuus alitti hetkellisen ympäristölaatunormin kaikkina tutkittuina ajankohtina. Myös biosaatavan nikkelin keskiarvo alitti vuonna 2023 nikkelin pitkänajan ympäristölaatunormin (AA-EQS, 5 µg/l). Papinpuron arseenipitoisuudet olivat vuosina 2021–2023 pieniä ja vaihtelivat 0,25–2,3 µg/l.

Jormasjoen tarkkailupiste FM8 sijaitsee maantiesillan kohdalla noin 0,5 km ennen joen laskua Nuasjärven Jormaslahteen ja noin 1,6 km Papinpuron suun alapuolella. Vuodesta 2010 lähtien myös Terrafame Oy:n (ent. Talvivaaran) kaivokselta vesistöön johdettuja vesiä on virrannut kyseisen pisteen kautta Nuasjärveen.

Jormasjoen vesi on peruslaadultaan keskimäärin lievästi sameaa, lievästi ruskeaa ja kiintoainetta on niukasti. Sekä sähkönjohtavuudessa että sulfaattipitoisuudessa todettiin vuoteen 2015 saakka nouseva suuntaus, jonka jälkeen pitoisuustasossa on todettavissa selvä lasku. Jormasjoen liukoisen arseenin pitoisuudet (<0,50 µg/l) olivat vuosina 2021–2023 pieniä. Liukoisen nikkelin pitoisuudet (3,8–11 µg/l) olivat niin ikään pienet ja alittivat liukoiselle nikkelle asetetun ympäristölaatunormin (MAC-EQS) enimmäispitoisuustason. Terrafame Oy:n veloitettarkkailuun liittyen Jormasjoesta on määritetty myös muita metallipitoisuuksia. Kadmiumin ja lyijyn ympäristölaatunormit (AA-EQS, MAC-EQS) sekä kuparille ja sinkille ehdotetut ympäristölaatunormit (AA-EQS) eivät Jormasjoessa ylittyneet vuosina 2021–2023.

Nuasjärvi on pitkään ollut purkuvesistönä Elementisin Sotkamon kaivos- ja tehdasalueen kuormitukselle, ja vuodesta 2010 lähtien se on kuulunut myös Terrafame Oy:n kaivoksen jätevesien vaikutusalueeseen. Terrafame Oy:n jätevesien purkuputki Nuasjärveen on otettu käyttöön marraskuussa 2015.

Nuasjärven vesi on peruslaadultaan kirkasta tai vain lievästi sameaa, lievästi ruskeaa ja runsashumuksista. Veden pH-taso vaihteli vuosina 2021–2023 lievästi happamasta neutraaliin. Ekologisen luokituksen luokkarajoihin (Aroviita ym. 2019) verrattuna Nuasjärven (FM12) kokonaisfosforipitoisuudet viittasivat vuosina 2021–2023 erinomaiseen tai hyvään tilaan ja kokonaistyyppipitoisuudet erinomaiseen tilaan. Kokonaisravinnepitoisuudet vaihtelivat karujen ja lievästi rehevien vesien tasolla. Klorofylli a -pitoisuuksissa todettiin voimakkaampaa vaihtelua. Pienimmillään klorofylli a -pitoisuus oli karujen vesien tasoa ja enimmillään se indikoi rehevyyttä.

Kaivosvesien vaikutusta kuvaavat sähkönjohtavuusarvot sekä sulfaattipitoisuudet olivat pintavedessä lähes poikkeuksetta vuosina 2021–2023 matalat, eikä pitoisuustasossa ole todettavissa Elementisin juoksutuksen aloittamisen jälkeen muutosta. Pohjan lähellä on todettavissa juoksutusten aloittamisen jälkeen aiempaa suurempia sähkönjohtavuuksia ja sulfaattipitoisuuksia. Muihin Nuasjärven syvänteisiin verrattuna pitoisuustaso on ollut Jormaslahden edustan syvänteellä (FM12) pohjan lähellä suurin. Sulfaatin osalta maksimipitoisuudet ylittivät pohjan lähellä sulfaatille ehdotetun maksimipitoisuuden (MAC-EQS, 279 mg/l). Myös sulfaatille ehdotettu pitkänajan ympäristölaatunormi (AA-EQS, 39 mg/l) ylittyi vuosina 2022–2023.

Liukoisen nikkelin pitoisuudet olivat vuosina 2021–2023 Jormaslahden edustan syvänteellä matalat. Pohjan lähellä on todettavissa nikkelpitoisuudessa kuitenkin nousua. Liukoisen nikkelin pitoisuudet alittivat liukoiselle nikkelille asetetun hetkellisen maksimipitoisuuden ympäristölaatunormin (MAC-EQS, 34 µg/l). Biosaatavan nikkelin keskimääräinen pitoisuus oli vuonna 2023 pintavedessä 0,17 µg/l, välivedessä 0,18 µg/l ja pohjan lähellä 0,6 µg/l. Biosaatavan nikkelin keskiarvot alittivat siten nikkelin pitkänajan ympäristölaatunormin (AA-EQS, 5 µg/l). Arseenipitoisuudet olivat koko vesipatsaassa vuosina 2021–2023 pienet.

4.5.4 Ekologinen tila

Kaivosalueen vesien nykyisellä purkureitillä lähin luokiteltu pintavesimuodostuma on Rehja-Nuasjärven vesimuodostuma, joka on pintavesityypiltään suuri humusjärvi (Sh). Kaivosalueen itäpuolitse virtaava Jormasjoki on tyypitelty keskisuureksi turvemaiden joeksi (Kt). Rehja-Nuasjärven vesimuodostuman ekologinen tila on määritelty vesienhoidon kolmannella luokittelukaudella hyväksi. Biologisista luokittelumuuttujista kasviplanktonin, pohjaeläimistön ja kalaston tila on hyvä. Fysikaalis-kemiallisten muuttujien tila on sekä fosforin että typen osalta erinomainen. (SYKE 2024a)

Myös Jormasjoen ekologinen tila on määritelty hyväksi. Päälylslevästön tila on hyvä, pohjaeläinten erinomainen ja kalaston tyydyttävä. Fysikaalis-kemiallisten muuttujien tila on erinomainen. (SYKE 2024a)

Rehja-Nuasjärven ja Jormasjoen vesimuodostumien kemiallinen tila on määritelty vesienhoidon kolmannella luokittelukierroksella hyvää huonommaksi. Aiemmin palonestoaineina käytettyjen bromattujen difenyylietterien (PBDEt) pitoisuudet ylittävät ympäristölaatunormin tason kaikkialla Suomessa ja Eu-roopassa, sillä yhdisteet ovat kaukokulkeutuvia ja erittäin hitaasti hajoavia (SYKE 2020). Jormasjoessa lisäksi elohopea ylittyy kalassa kaukokulkeumariskin ja luonnonolosuhteiden perusteella. (SYKE 2024a)

4.5.5 Kalasto

Sähkökoekalastuksia Lahnasjoessa on tehty viimeksi vuosina 2020 ja 2022. Ylemmältä koealalta ei vuonna 2020 saatu lainkaan saalista. Alemmalta koealalta saatiin kaksi



ahventa sekä yksi kivisimppu. Viimeisimmissä, vuoden 2022 koekalastuksissa tulokset olivat hyvin samankaltaisia. Ylemmältä koealalta tavattiin vain särkeä (ja alemmalta koealalta kivisimppua ja ahventa. Lahnasjoen kalasto on ollut koko tarkkailuhistorian ajan varsin niukka, ja kaikkina vuosina kaloja ei ole saatu ollenkaan. Vuosina 2002 ja 2013 joesta on saatu yksittäisiä harjuksen poikasia ja niin ikään satunnaisesti on tavattu myös taimenen poikasia.

Jormasjoki on merkittävä virkistyskalastusalue. Kalastus on lähinnä vapakalastusta ja Jormasjoella kalastaa vuosittain noin 260–280 kalastajaa. Vuosittainen kokonaissaalis on noin 800–1 000 kg (n. 3-4 kg/kalastaja/vuosi), josta kirjolohen osuus on 60–70 %. Jormasjoesta kalastetaan myös haukea, harjusta, ahventa, kuhaa, särkeä ja siikaa. Joen harjuskanta on todennäköisesti osittain luontaisesti lisääntyvä. Jormasjoelle on laadittu kalataloudellinen kunnostussuunnitelma, johon liittyviä toimenpiteitä aloitettiin elokuussa 2024 (Dnro PSAVI/2262/2021).

Kalojen metallipitoisuuden tarkkailussa Nuasjärven Jormaslahdelta ja yläpuoliselta vertailualueelta (Kiimanen) pyydettiin kuhia, haukia, muikkuja ja ahvenia. Kalojen arseeni- ja nikkelpitoisuudet olivat vuonna 2021 pieniä, eivätkä ne heikentäneet kalojen käyttökelpoisuutta. Nikkelin osalta pitoisuudet jäivät Jormaslahdella lähes poikkeuksetta alle määritystarkkuuden ($<0,05$ mg/kg tp). Vain yhdessä muikkunäytteessä todettiin määritysrajan ylittävä, mutta pieni pitoisuus. Vertailualueellakin nikkelin pitoisuudet olivat pääasiassa alle määritystarkkuuden. Muikun osalta kahdessa ja ahvenen osalta yhdessä näytteessä todettiin määritysrajan ylittävä pieni pitoisuus. Nikkelin tavoin myös arseenin pitoisuudet olivat pieniä. Suurin yksittäinen pitoisuus mitattiin vertailualueen muikkunäytteessä. Kuormituksen vaikutusta kalojen metallipitoisuuksiin ei ole tuloksista havaittavissa. Metallipitoisuudet ovat olleet 2000-luvulla Jormaslahdella kaikilla kalalajeilla keskimäärin samaa tasoa kuin vertailualueella. (AFRY Finland Oy 2022).

4.5.6 Pohjaeläimistö

Pohjaeläimistön tarkkailua on tehty Lahnasjoessa viimeksi vuosina 2019 ja 2022 ja Nuasjärven Jormaslahdessa vuosina 2019 ja 2016. Ekologisessa tilaluokittelussa käytettyjen pohjaeläinmittarin perusteella Lahnasjoki oli erinomaisessa ekologisessa tilassa vuonna 2022. Lahnasjoen nikkeli- ja sulfaattipitoisuudet ovat olleet vesistötarkkailuraportin mukaan koholla sen jälkeen, kun kuormitus jatkui vuonna 2021. Kohonneet pitoisuudet eivät kuitenkaan ole heikentäneet pohjaeläinyhteisöjen laskennallista ekologista tilaa (AFRY Finland Oy 2020a, 2023) Ympäristöhallinto ei ole määritellyt Lahnasjoen pohjaeläimistön ekologista tilaa (SYKE 2024b).

Vuonna 2019 toteutetun tarkkailun perusteella Nuasjärven Jormaslahden edustan syvännepohjaeläimistön ekologinen tila vaihteli laskettujen indeksien perusteella tyydyttävästä erinomaiseen. Syvännepohjaeläimistön tilan arvioitiin heikentyneen vuodesta 2016 vuoteen 2019, mikä voi johtua Terrafamen johtamista puhdistetuista jätevesistä (AFRY Finland 2020b). Nuasjärvellä vuonna 2020 toteutetun

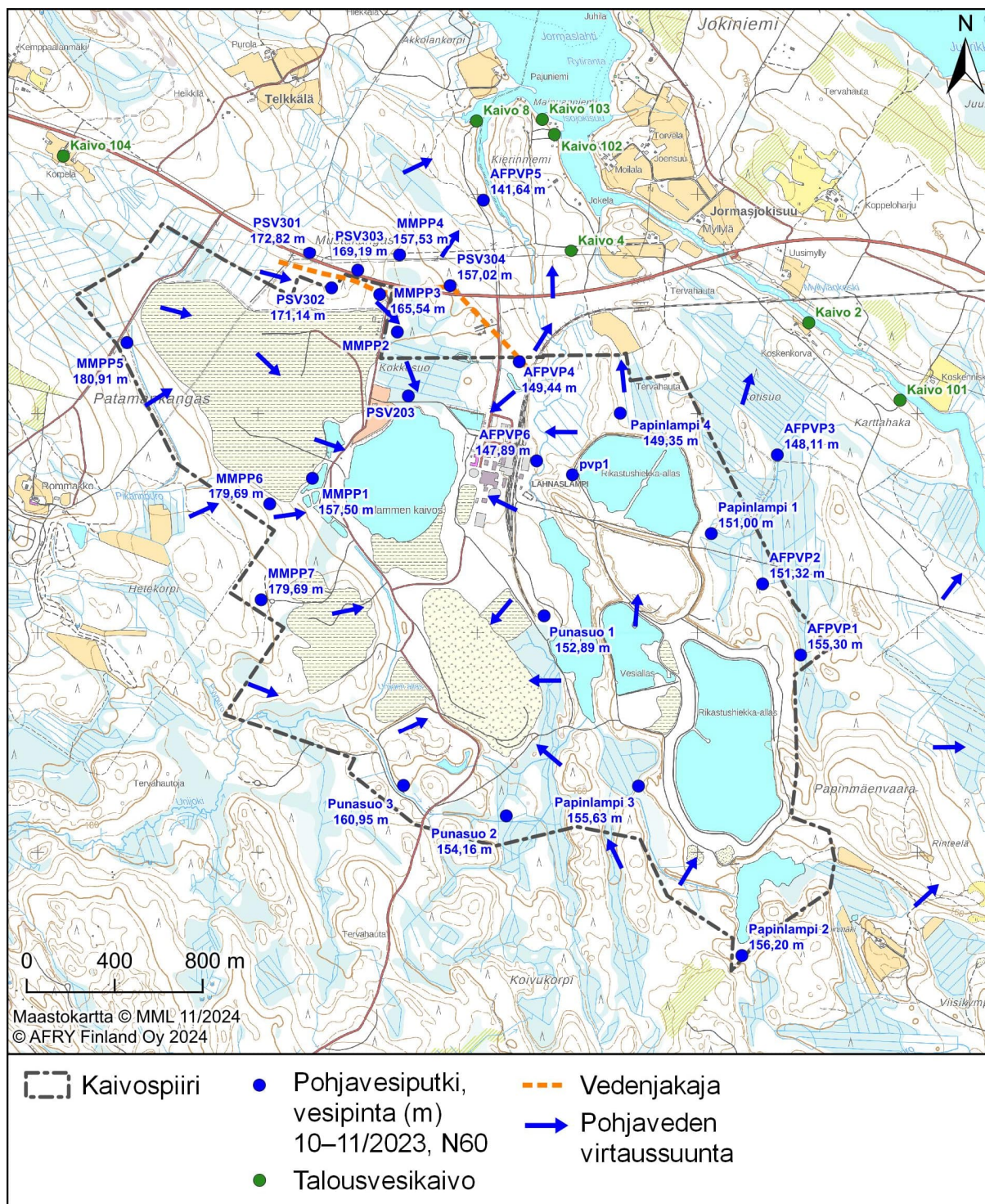


syvännepohjaeläintutkimuksen mukaisesti (Kainuun ELY-keskus 2022) puhtaasti kaivostoiminnan vaikutusten erottelu muusta kuormituksesta on todettu vaikeaksi. Jormasjoen pohjaeläimistöä on seurattu vuodesta 2013 asti osana Terrafamen tarkkailua (Eurofins Ahma 2022). ASPT-indeksillä mitattuna Jormasjoen pohjaeläinyhteisö on kärsinyt viime vuosina hieman orgaanisesta kuormituksesta, mutta ASPT:n arvo on pysynyt melko samalla tasolla vuodesta toiseen. Ekologisten mittareiden perusteella Jormasjoen tila oli erinomainen vuonna 2021.

4.6 Pohjavesiolosuhteet

4.6.1 Pohjavesialueet ja talouskaivot

Alueen pohjavesiolosuhteita on kuvattu Elementisin kaivannaisjätteiden ja vesienhallinnan YVA-ohjelmassa (AFRY Finland Oy 2024), josta tähän on poimittu keskeiset tiedot. Kaivospiirin alueella tai sen läheisyydessä ei ole luokiteltuja pohjavesialueita. Läheisyydessä on muutamia talousvesikaivoja, joista muutama on ollut seurannassa. Pohjavesiputkien ja talousvesikaivojen sijainnit on esitetty kuvassa 4-8.



Kuva 4-8. Pohjavesiputket ja talousvesikaivot sekä pohjaveden yleispiirteinen virtauskuva.

4.6.2 Vedenjohtavuus ja pohjaveden virtaussuunnat

Lahnaslammen kaivoksen alueen hydrologisista virtausolosuhteista on tehty mallinnus v. 2012 (Pöry Finland Oy). Mallinnus on tehty kaivostoimintaa edeltävässä tilanteessa, mallinnushetkellä (2012) ja vuoden 2020 tilanteelle. Tavoitteena oli selvittää mallinnukseen perustuen mahdollinen haitta-aineiden kulkeutuminen suljetusta Lahnaslammen louhoksesta alapuoliseen vesistöön. Vuonna 2024 tehtiin Punasuon louhoksesta pohjavesimallinnus (AFRY Finland Oy 2024b, Liite 4), jossa mallinnettiin nykytilanne (vuosi 2024) ja simuloitiin vuoden 2035 pohjavesiolosuhteita sekä vuoden 2035 mukaisen louhoksen sulkemisen jälkeistä tilannetta.

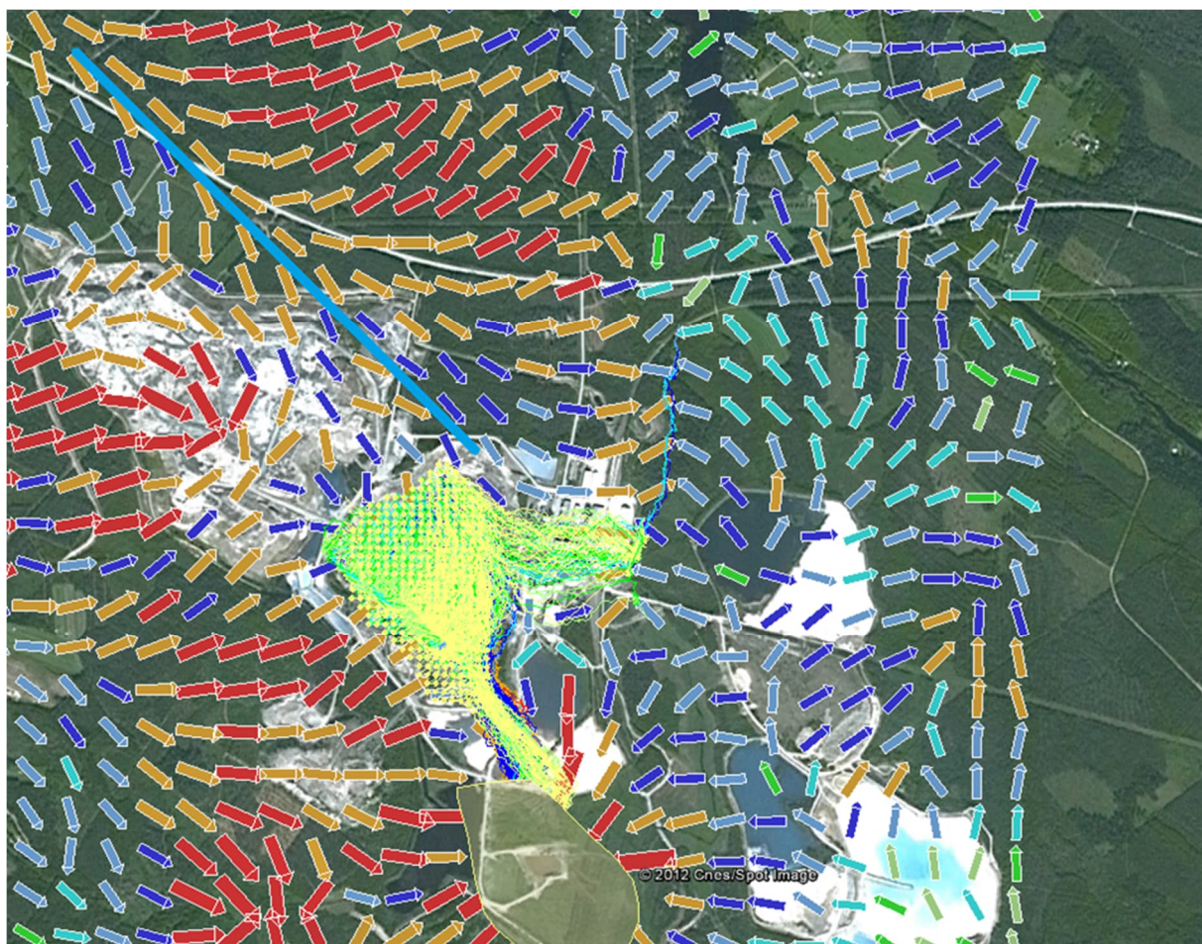
Alueen maaperä on pääosin moreenia. Tutkittujen (Saarelainen ja Räisänen 2001) moreeninäytteiden vedenläpäisevyys oli $1,42 \times 10^{-7}$ m/s ja $3,22 \times 10^{-8}$ m/s. Paremmiin vettä johtava ensimmäinen näyte edustaa alueen pintaosan moreenia ja toinen huonommin vettä johtava moreeni alueen hienojakoista yleensä muutaman metrin syvyydessä olevaa moreenia. Punasuon ja Lahnaslammen louhosalueella on tehty maaperän vedenjohtavuuden määrittämiseksi slug-testejä maaperän pohjavesiputkissa (Pöry Finland Oy 2012). Testien pohjavesiputket valittiin eri puolilta kaivospiirin aluetta. Mittauksissa maaperän vedenjohtavuus vaihteli välillä $1,20 \times 10^{-6} - 3,40 \times 10^{-5}$ m/s.

Kalliopohjaveden virtaus tapahtuu rakoilua ja ruhjevyöhykkeitä pitkin, joten virtausreitit ovat maaperän virtauksiin nähden monimutkaisemmat. Niissä kuitenkin pätee sama lähtökohta kuin maaperän virtauksissakin eli virtaus tapahtuu korkeammasta potentiaalista matalampaan, joten pääosin virtaukset tapahtuvat topografian mukaisesti. Lahnaslammen louhoksen vuoden 2012 pohjaveden virtausmallinnuksessa (Pöry Finland Oy 2012) vedenjohtavuuden lähtöarvoina käytettiin 3×10^{-7} m/s syvyysvälille 0–50 m, 1×10^{-7} m/s syvyysvälille 50–100 m, rikkonaiselle kohdetilavuuden kalliolle (mustaliuske) 2×10^{-8} m/s ja ruhjeille yhteensä 3×10^{-7} m/s. Ehyen kallion vedenjohtavuutena 100 m alapuolella käytettiin arvoa 1×10^{-9} m/s. Vuoden 2024 Punasuon louhoksen pohjavesimallinnuksessa käytetyt kallioperän vedenjohtavuuden arvot on esitetty taulukossa 4-1. Arvot perustuvat mallin kalibrointiin, joka tehtiin Punasuon ja Lahnaslammen louhosten kuivatusvesimäärien ja alueella 2024 mitattujen pohjavesipintojen perusteella.

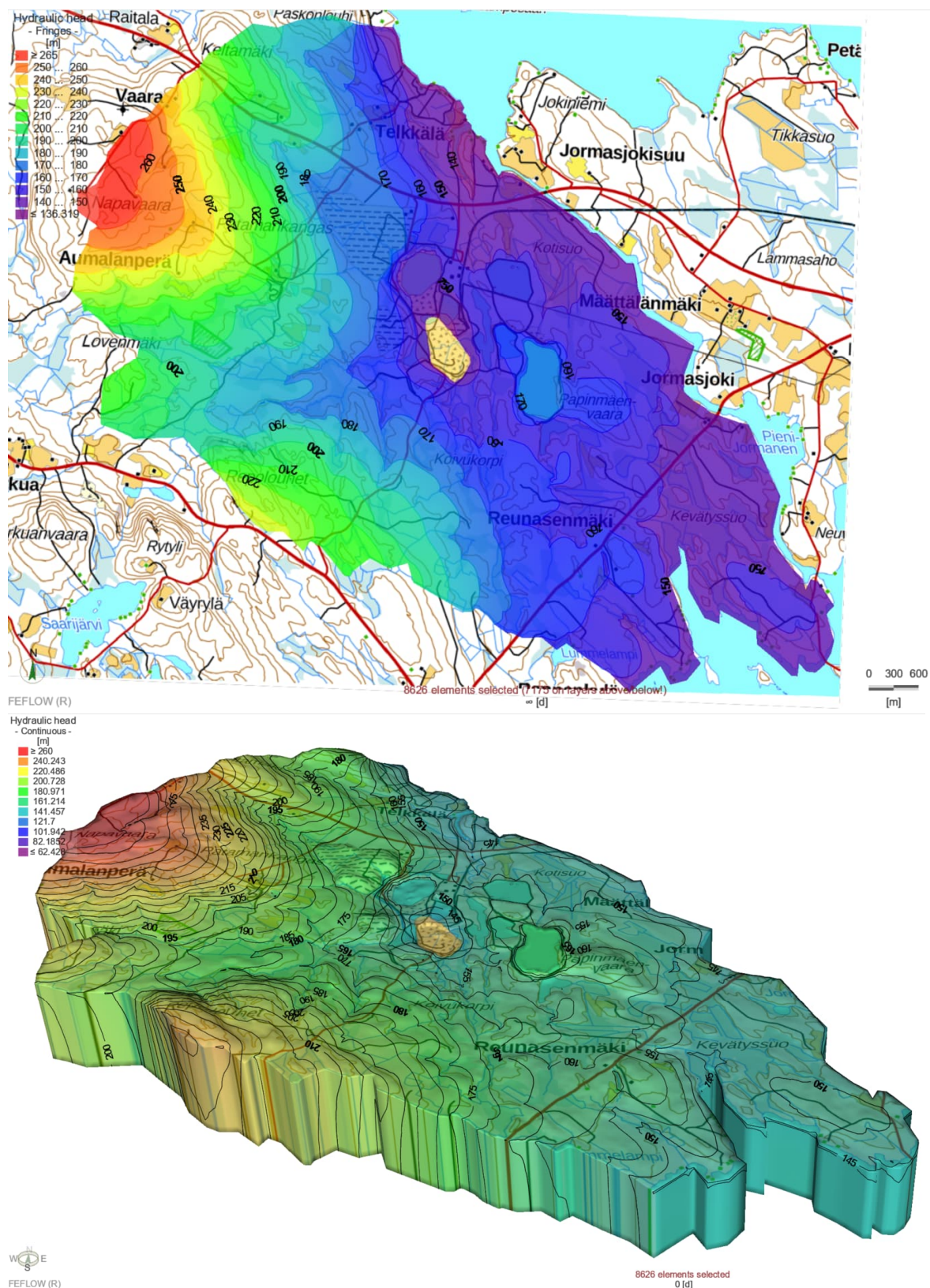
Taulukko 4-1. Pohjavesimallin kalliokerroksissa käytetyt hydraulisen johtavuuden arvot.

Syvyys kallion pinnasta (m), z noin (m mpy)	Kallio Kxyz, m/s
0–10 m, +150...+140	1×10^{-6}
10–20 m, +140...+130	5×10^{-7}
20–35 m, +130...+115	2×10^{-7}
35–50 m, +115...+100	$1,325 \times 10^{-7}$
50–100 m, +100...+45	1×10^{-7}
100–150 m, +45...0	$2,5 \times 10^{-8}$
150–225 m, -0...-75	$1,25 \times 10^{-8}$
225–275 m, -75...-125	$2,5 \times 10^{-9}$

Pohjaveden virtaussuunta on sivukivialueella ja sen eteläpuolella itäkaakkoon ja sivukivialueen pohjoispuolella koilliseen eli alueella on vedenjakaja. Pohjoisen rikastushiekka-altaan kohdalla pohjaveden virtaussuunta on pohjoiseen-koilliseen. Kaivospiirin eteläosalla virtaussuunnissa on enemmän topografian mukaista vaihtelua. Lisäksi on merkittävää, että kaivospiirin alueella pohjavesiolo-suhteet ovat muuttuneet louhinnan, vedenhallinnan ja muun rakentamisen takia. Lahnaslammen louhos on täytetty vedellä (pinta on noin tasolla +149 m mpy) ja kuivana pidettävän Punasuon avolouhoksen pohja on noin tasolla + 65 mpy. Punasuon louhoksen lähialueella pohjaveden virtaus (maa- ja kalliopohjavesi) on louhoksen suuntaan. Vuoden 2012 pohjavesimalliin perustuva pohjaveden yleispiirteinen virtauskuva Lahnaslammen kaivoksen alueelta vuodelle 2020 on esitetty oheisessa kuvassa (Kuva 4-9). Virtauskuvan laadinnassa on hyödynnetty vanhoja tutkimustietoja, pohjaveden tarkkailutietoja ja uusien putkien vesipintatietoja (AFPVP1-AFPV6) sekä pintaveden korkeuksia. Vuoden 2024 Punasuon louhoksen pohjavesimalliin laskemat pohjavesipinnan korkeudet vuoden 2024 tilanteelle on esitetty kuvassa 4-10.



Kuva 4-9. Mallilla lasketut pohjaveden virtausreitit ja virtaussuunnat 2020-luvun tilanteessa. Kuvaan on merkitty myös luode-kaakko-suuntainen pohjavedenjakaja (Pöyry Finland Oy 2012).



Kuva 4-10. Vuoden 2024 pohjavesimallin laskema pohjavesipinnan korkeus vuonna 2024.

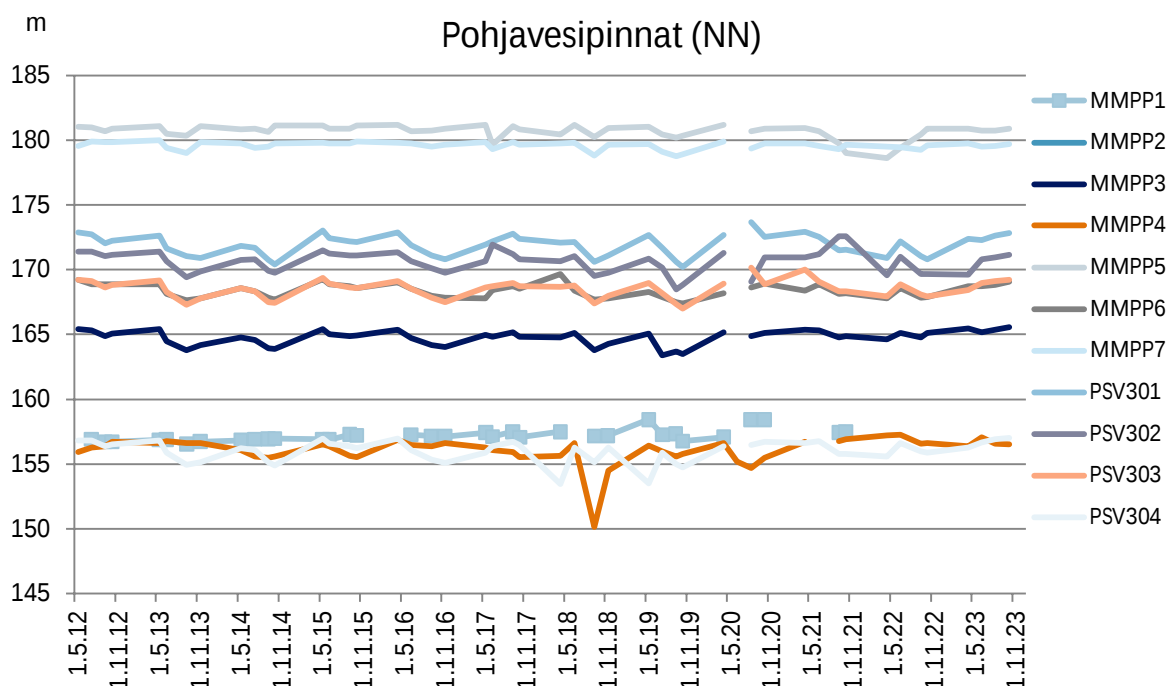


Vuoden 2012 mallilla laskettiin myös arvio siitä, kuinka paljon Lahnaslammen täytettävän louhoksen kautta virtaa vettä kalliopohjavetenä, maakerrosten kautta ja pintavaluntana. Tulosten mukaan 2020-luvun tilanteessa Punasuon louhos lisää jonkin verran kalliopohjavesien virtausta Lahnaslammen täytettävän louhoksen läpi ja selvästi enemmän maakerrosten (syvyysväli 0.5–10 m) virtausmääriä. Pintavalunnan osuus on kuitenkin sekä 1960-luvun tilanteessa, että 2020-luvun tilanteessa ylivoimaisesti suurin vesitaseen komponentti. Pinta- ja kalliopohjavesien vedenjakaja Lahnaslammen louhoksen pohjoispuolelle säilyy 2020-luvun tilanteessa melkein samalla paikalla kuin 1960-tilanteessa. 2020-luvun tilanteessa Punasuon avolouhos voimistaa kalliopohjavesien virtausta etelän suuntaan 1960-luvun tilanteeseen verrattuna. Tämä ilmenee siten, että 45 % virtausreiteistä päättyy Punasuon louhokseen. Lähempänä pintaa liikkeelle lähtevistä virtausreiteistä suuri osa päättyy joko maanpintaan tai Lahnasjoen laaksoon. Kalliopohjavedet eivät pääse virtaamaan täytettävältä louhokselta pohjoisen suuntaan vaan kaikki virtausreitit suuntautuvat joko etelään tai itään. (Pöyry Finland Oy 2012)

Vuoden 2024 mallissa vuoden 2024 Punasuon louhoksen simuloinnin tulosten perusteella pohjavettä suotautuu louhokseen noin 1810 m³/vrk, ja kuivatusvesimäärä on noin 1990 m³/vrk, kun sadannan mukana avolouhoksen kautta kaivokseen tuleva vesi lasketaan mukaan ja haihdunnan louhoksen kohdalla oletetaan olevan 50 % sadannasta. Punasuon louhoksen mitatut kuivatusvesimäärät vuosina 2021–2022–2023 ovat olleet 1980–2180–2040 m³/vrk.

4.6.3 Pohjaveden pinnankorkeus

Sivukivialueen ympäristön pohjavesipinnoissa ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia. Pohjaveden korkeuserot ovat alueella suuria (Kuva 4-11), mikä johtuu alueen geologisista ja morfologisista tekijöistä. Pohjavedenpintojen vaihtelu oli vuonna 2023 tarkkailuputkissa välillä 0,19–1,53 m, ja pohjavedenpinnan etäisyys maanpinnasta oli enimmillään noin 7,0 m. Syvimmillään vesipinta maanpinnasta oli sivukivialueen pohjoispuolen putkissa MMPP4 ja PSV304. Lähinnä maanpintaa vesi oli putkissa MMPP5 ja MMPP7.

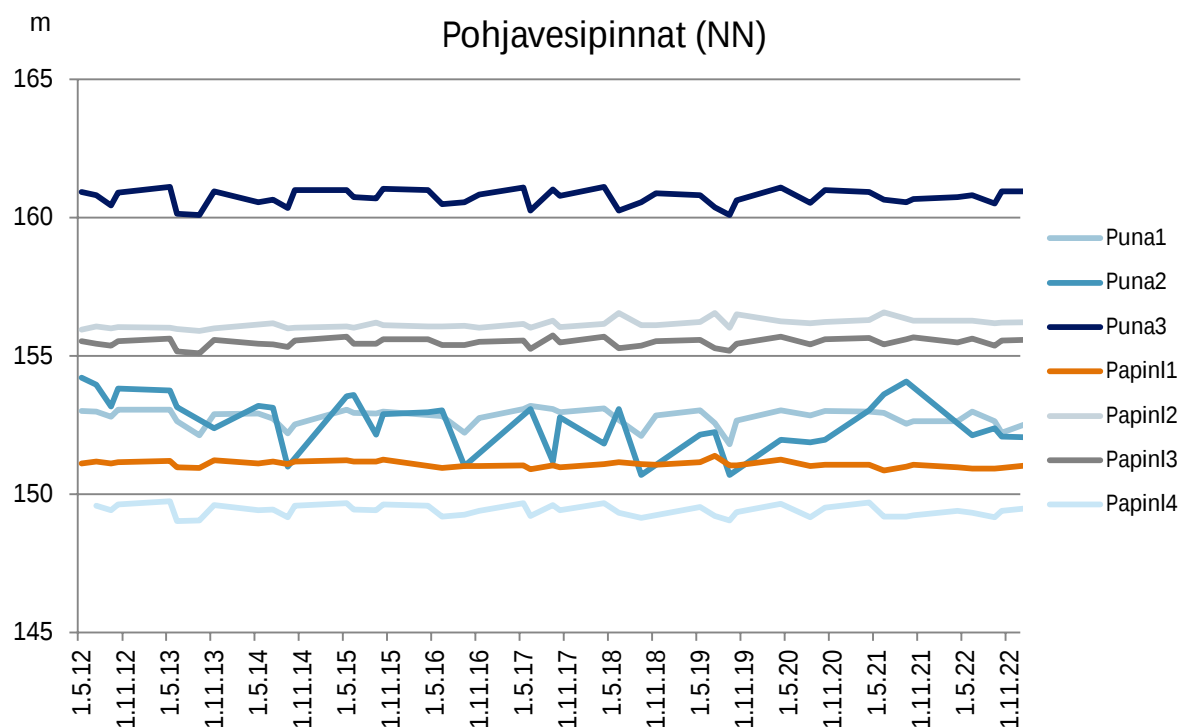


Kuva 4-11. Pohjaveden pinnankorkeus m (NN) sivukivialueen ympäristössä vuosina 2012–2023.

Punasuon louhosalueen ja jätealtaiden ympäristön pohjavesiputkia tarkkailtiin ensimmäisen kerran vuonna 2009. Pohjavesipinnan korkeudet vuosilta 2012–2023 on esitetty kuvassa (Kuva 4-12). Pohjavesipinnoissa ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia ko. vuosien aikana. Vesipinnat ovat lähellä maanpintaa ja vaihtelu on ollut melko vähäistä (0,14–2,14 m). Punasuon 2 ympäristössä vesipinta oli keskimäärin 2,5 m syvyydessä. Pohjavesipinta on ollut selvästi korkein eteläosan putkessa Punasuo 3 ja alin rikastushiekka-altaan pohjoispuolen putkessa Papinlampi 4 (Kuva 4-12).

Vesipintojen vaihtelut kuvastavat kuitenkin pääosin normaaleja vuodenaikaisvaihtelua ja putken sijaintipaikan olosuhteita. Moreenialueilla pohjaveden vuodenaikaisvaihtelu on yleensäkin suurempaa kuin esimerkiksi hiekka- ja sora muodostumissa (harjualueet). Suoalueella pohjavedenpinta on lähellä maanpintaa ja vuodenaikaisvaihtelu hyvin pientä.

Malmin louhinta Lahnaslammen avolouhoksesta loppui syksyllä 2010. Sivukiven läjitys Lahnaslammen suljettuun louhokseen aloitettiin vuonna 2010. Vuonna 2023 vesikerroksen paksuus oli noin 170 m, kun vedenpinta oli korkeudessa 149 m. Louhoksen vaikutus lähiympäristön vesipintoihin on ollut hyvin vähäinen. Louhoksen ympäristössä on puroja, jokia, ojia ja kanavia sekä jätealtaita. Niillä voi olla osaltaan alueen vesitaloutta vakauttava vaikutus. Punasuon louhoksen pohja on noin tasolla +65 mpy ja syvyys maanpinnasta noin 80 m (Pöyry Finland Oy 2012).



Kuva 4-12. Pohjaveden pinnankorkeus m (NN) Punasuo-Papinlampi -alueella vuosina 2012-2023.

4.6.4 Pohjaveden laatu

Talousvesikaivot

Kaivovesiä tarkkaillaan kolmesta kaivosta. Tulokset ovat täyttäneet talousveden laatuvaatimukset (STM 2/2023). Yhdessä kaivossa pH-arvo on ollut yleensä talousvesiasetuksen suositusta hieman alhaisempi. Liukoiset arseeni- ja nikkelpitoisuudet ovat olleet hyvin pieniä ja talousvesiasetuksen mukaisia sekä alittaneet pohjavesien ympäristölaatunormit (341/2009). Pitoisuuksissa ei ole havaittavissa tutkittujen muuttujien osalta selviä muutostrendejä.

Sivukivialue

Sivukivialueen vaikutuksia pohjavesiin on seurattu yhteensä 11 pohjavesiputkesta (PSV301-304 ja MMPP1-7), minkä lisäksi näytteet on otettu myös sivukivialueen itäpuolella sijaitsevasta putkesta PSV203.

Piste MMPP1 edustaa vedenlaadultaan sivukivialueen suotovettä ja sen pitoisuudet ovat olleet yleensä merkittävästi suurempia kuin muiden pisteiden (Kuva 4-13). Sivukivialueen suotovedet vaikuttavat pohjaveden laatuun tässä pisteessä. Nämä vedet kuitenkin



päätyvät altaaseen ja tätä kautta neutralointilaitokselle ja edelleen Lahnaslammen suljettuun louhokseen.

Sivukivialueen itäpuolella Kokkosuolla, lähellä louhosta, sijaitsevan putken PSV203 sulfaattipitoisuus ja sähkönjohtavuusarvo ovat olleet lievästi koholla.

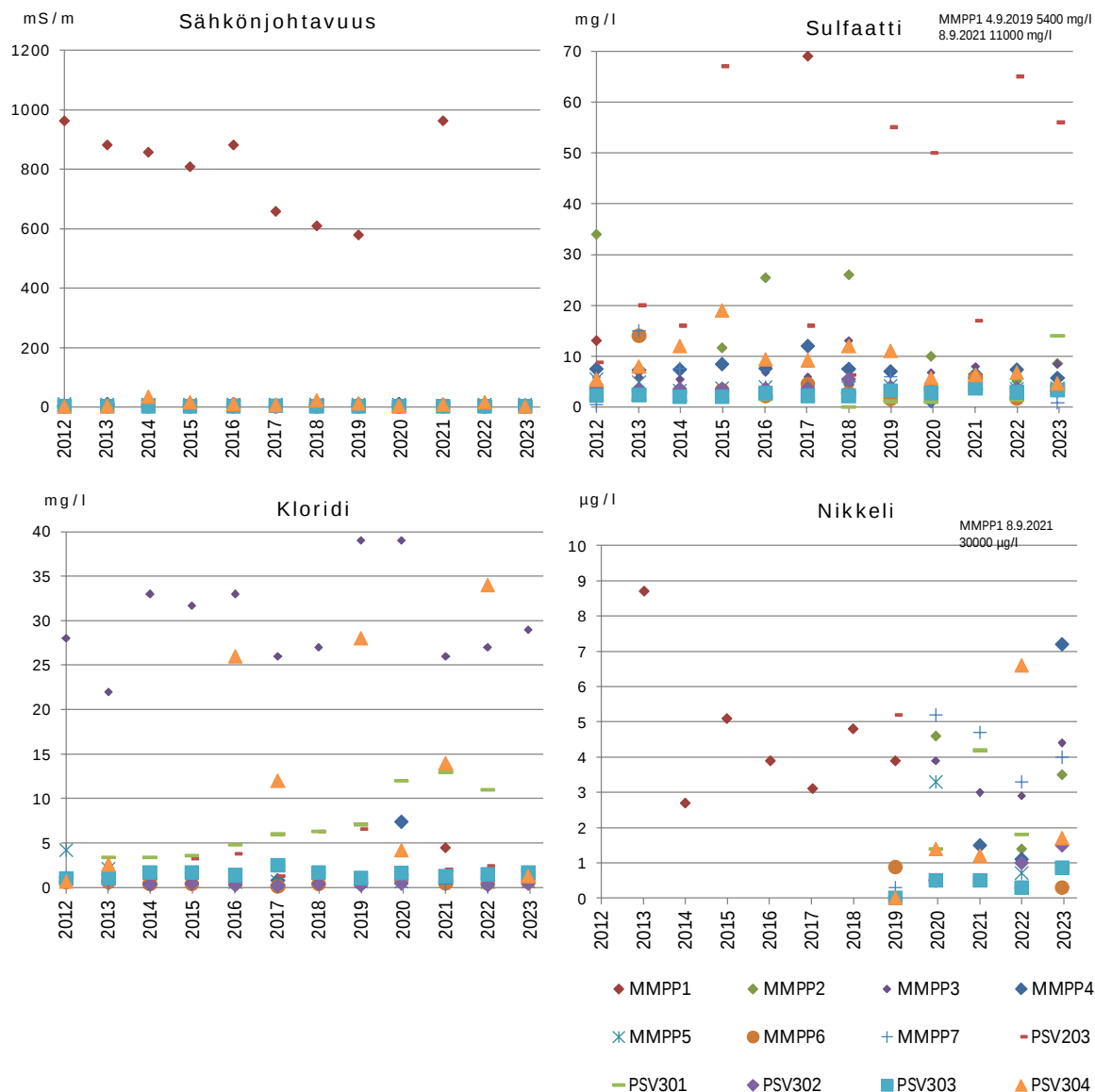
Kokkosuon pohjoisosan putki MMPP2 on ollut monena vuonna kuiva. Vuonna 2023 näyte saatiin otettua ilmeisesti tavanomaista runsaammasta sadannasta johtuen. Pitoisuustasot olivat ko. putkessa alhaisia.

Sivukivialueen etelä- ja itäpuolen putkien MPP5, MPP6 ja MMPP7 pitoisuudet ovat olleet pääosin pieniä. Nämä pisteet sijaitsevat pohjaveden virtaussuunnassa yläpuolella, mutta kuitenkin lähellä sivukiven läjitysalueita.

Pisteessä PSV304 on havaittu aika ajoin kohonneita kloridi- ja sulfaattipitoisuuksia, jotka saattavat johtua kaivosvesien vaikutuksesta.

Sivukivialueen pohjavesivaikutukset rajoittuivat lähinnä sivukivialueen kaakkoisreunalle, jossa vedenlaadun muutokset ovat olleet selviä etenkin putkessa MMPP1. Muilla tarkkailusuunnilla selviä pohjavesivaikutuksia ei ollut havaittavissa.

Valtioneuvoston asetuksessa (341/2009) on annettu ympäristölaatunormit mm. ammoniumtyypelle, kloridille, sulfaatille, arseenille ja nikkelille. Pohjavesiputken (PSV203) nikkelpitoisuus (73 µg/l) ylitti vuonna 2023 ympäristölaatunormin pitoisuuden (10 µg/l) myös ammoniumtyypipitoisuus (470 µg/l) ylitti ympäristölaatunormin pitoisuustason (200 µg/l). Lisäksi vuonna 2023 pisteillä MMPP3 kloridipitoisuus (29 mg/l) ylitti ympäristölaatunormin pitoisuustason (25 mg/l) ja pisteellä PSV301 nikkelpitoisuus (20 µg/l) ylitti ympäristölaatunormin. Osassa tarkkailupisteitä pH-arvo oli alhainen verrattuna talousvesiasetukseen (STM 2/2023). Alue ei ole pohjavesialuetta eikä alueen vettä käytetä talousvetenä.



Kuva 4-13. Sivukivialueen pohjaveden sähkönjohtavuusarvon, sulfaatti-, kloridi- ja nikkelipitoisuuksien kehitys vuosina 2012–2023.

Punasuon louhosalue

Punasuon uuden louhosalueen ympäristön pohjavesitarkkailu aloitettiin vuonna 2009, Punasuon louhinta alkoi vuonna 2010. Alueella on kolme havaintoputkea. Punasuo1 sijaitsee louhosalueen pohjoispuolella sekä Punasuo2 ja Punasuo3 louhosalueen eteläpuolella.

Punasuo 1:n pitoisuuksissa ei ole havaittavissa juurikaan merkittäviä muutoksia ja ainepitoisuudet ovat pääosin pieniä (Kuva 4-14). Putken Punasuo2 laadullinen tarkkailu on lopetettu vuonna 2014. Veden korkeuden tarkkailu jatkuu. Putki sijaitsee Unijoen uuden kaivetun uoman lähellä. Punasuon 3:n pitoisuudet ovat pääosin pieniä.



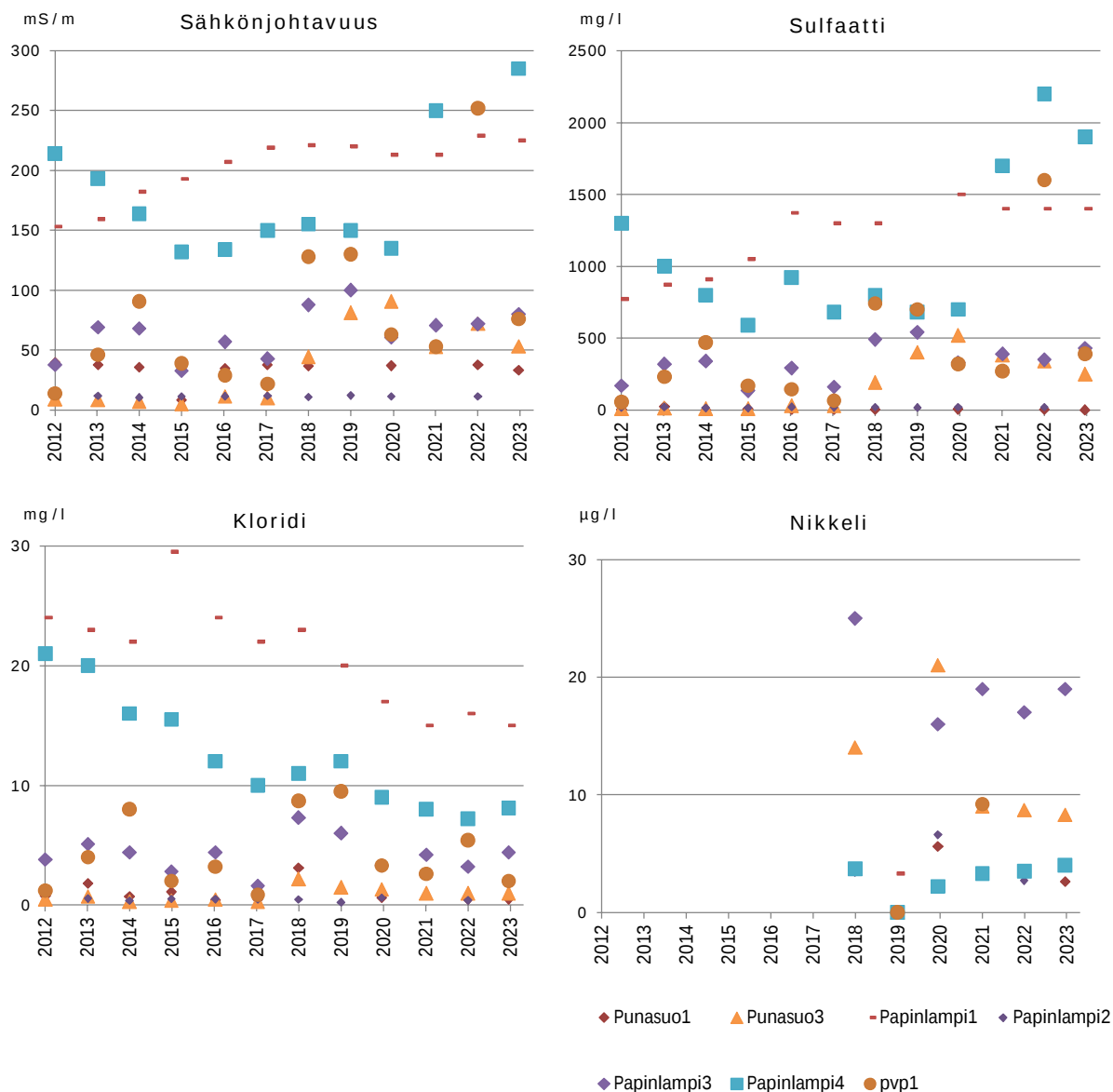
Sulfaattipitoisuudet ovat kasvaneet putkessa vuodesta 2018 lähtien, ollen kuitenkin laskussa vuodesta 2021.

Vuonna 2023 Punasuon 1 ammoniumtyppipitoisuus (660 µg/l) ylitti valtioneuvoston asetuksen (341/2009) ympäristölaatunormin pitoisuustason (200 µg/l). Louhosalueen eteläpuolella (Punasuo 3) pH-arvo (4,7) alitti talousvesiasetuksen (2/2023) mukaisen laatutavoitteen (6,5–9,5) ja kloridipitoisuus (250 mg/l) ylitti ympäristölaatunormin (150 mg/l) vuonna 2023. Putkien, Punasuo 1 ja Punasuo 3 COD_{Mn}-arvot (13 ja 10 mg/l) ylittivät talousvesiasetuksen mukaisen laatutavoitteen (5 mg/l) vuonna 2023. Alue ei ole pohjavesialuetta eikä alueen vettä käytetä talousvetenä.

Papinlammen rikastushiekka-altaan ympäristö

Soidinsuon altaan ympäristössä putkissa Papinlampi 1, Papinlampi 4 ja pvp1 sekä rikastushiekka-altaan länsipuolisessa putkessa Papinlampi 3 on havaittu sulfaattipitoisuuksien ja sähkönjohtavuusarvojen kohoamista.

Papinlampi 1 ja Papinlampi 4 ammoniumtyppipitoisuudet (250 ja 310 µg/l) ylittivät valtioneuvoston asetuksen (341/2009) ympäristölaatunormin pitoisuustason (200 µg/l). Sulfaattipitoisuudet ylittivät ympäristölaatunormin pitoisuustason (150 µg/l) edellisvuoden tapaan kaikilla havaintopaikoilla. Liukoisen nikkelin osalta ympäristölaatunormi (10 µg/l) ylittyi pisteillä Papinlampi 1, Papinlampi 3 ja pvp1. Arseenin osalta ympäristölaatunormi (5 µg/l) ylittyi pisteellä Papinlampi 4. Myös pH-arvo oli osin alhainen verrattuna talousvesiasetukseen (2/2023). Kuten aiemmin on mainittu, kaivospiirin alue ei ole pohjavesialuetta eikä alueen vettä käytetä talousvetenä.



Kuva 4-14. Punasuon louhosalueen ja allasalueen pohjaveden sähkönjohtavuusarvos, sulfaatti-, kloridi- ja nikkelpitoisuuksien kehitys vuosina 2012–2023.

4.7 Ilmasto ja ilman laatu

Alueen ilmasto-olosuhteita ja ilman laatua on kuvattu Elementisin kaivannaisjätteiden ja vesienhallinnan YVA-ohjelmassa (Afrý Finland 2024), josta tähän on poimittu keskeiset tiedot.

Hankealue sijaitsee Kainuun maakunnan eteläosassa keskiborealisella ilmastovyöhykkeellä. Alueen ilmastolle on ominaista mantereisuus ja vuoden keskilämpötila on tavallisesti noin +2,5 °C (Ilmasto-opas 2022). Hankealuetta lähimmällä



Sotkamon Tuhkakylän mittausasemalla vuoden 2023 keskilämpötila ja vuotuinen sademäärä olivat 2,8 °C ja 879 mm. Kajaanin lentoaseman mittausasema on lähin, jolta on saatavissa keskilämpötiloja pidemmällä aikavälillä. Siellä vuoden 2023 keskilämpötila oli 2,9 °C (Ilmatieteen laitos 2024a), ja vertailukausien 1981–2010 ja 1991–2020 vastaavat arvot olivat 2,0 °C (Pirinen ym. 2012) ja 2,6 °C (Ilmatieteen laitos 2024b). Keskilämpötila on noussut vertailukaudelta toiselle 0,6 °C ja vuosi 2023 oli molempien vertailukausien keskiarvoa lämpimämpi.

Ilmatieteen laitos mittasi vuonna 2009 Sotkamon tehtaan ja kaivosalueen ympäristössä alle 10 mikrometrin suuruisten ns. hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) pitoisuuksia kahdessa mittauspisteessä (Tehdasalue ja Asuntola). Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden terveysvaikutusperusteinen vuorokausiohjearvo ei ylittynyt mittausjaksolla kummassakaan mittauspisteessä. Mittauspisteiden kaakkoispuolella sijaitsevia mahdollisia pölylähteitä ovat rikastushiekka-altaat ja lastausalue. (Ilmatieteen laitos 2010).

Viiden vuoden välein tehtävien bioindikaattoriselvitysten mukaan kaivos- ja tehdasalueen läheisyyden viidestä näytepisteestä otettujen kangasrouskun, kekomuurahaisten ja maaperänäytteiden arseeni- ja nikkelipitoisuudet olivat vuonna 2023 alhaisia, eikä oleellisia muutoksia aiempaan ollut todettavissa.

5 Kaivannaisjätteiden ominaisuudet ja luokittelu

Tämä sulkemissuunnitelman kappale 5 on suora kopio Elementis Sotkamon kaivannaisjätteen jätehuoltosuunnitelman kappaleesta 6. Tieto on tuotu myös tähän dokumenttiin, jotta sulkemissuunnitelma toimii tarvittaessa itsenäisenä dokumenttina.

5.1 Tutkimusmenetelmät

Jätejakeiden ympäristökelpoisuus määräytyy mineralogisista ja kemiallisista ominaisuuksista, mahdollisten haitta-aineiden liukenemisesta ja ainesten haponmuodostuspotentiaalista. Säädosvaatimuksia sivukiven testaukselle on esitetty kaivannaisjäteasetuksen (VNa 190/2013) liitteessä 1.

Kaivannaisjätteiden karakterisointitietoja tulee verrata pysyvän kaivannaisjätteen määritelmään (VNa 190/2013, Liite 1).

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

Kuningasvesiuutto edellytetään tehtäväksi myös Valtioneuvoston asetuksen maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (214/2007, ns. PIMA-asetus) liitteessä 1. Tätä asetusta sovelletaan pintamaiden karakterisoinnissa.

Kaivannaisjätteiden ympäristökelpoisuutta on tutkittu alla olevin tutkimusmenetelmin:

- Aqua Regia-uutto ja metallipitoisuusmääritykset
- Hapontuotto- ja neutralointipotentiaalia mittaava ABA-testi (EN 15875)
- NAG-testi ja NAG-uutteen tutkimus (AMIRA P387A (Appendix D))
- Pitkäaikaikäyttyymistä kuvaava kosteuskammio-koel (ASTM D 5744–18)

Standardit, käsikirjat ja muut julkaisut ovat tekijänoikeuslain suojaamia teoksia. Tästä syystä menetelmien yksityiskohtaista toteutusta ei kuvata.

5.1.1 ABA-testi

ABA-testin tarkoituksena on selvittää, voiko kaivannaisjätteestä aiheutua hapanta valumaa. Määrityspaketti ja laskennat toteutetaan standardin EN 15875 mukaisesti. Testissä saadaan tuloksena kokonaisrikki- ja kokonaishiilipitoisuudet, karbonaatti- ja ei-karbonaattihiili sekä sulfaattirikki. Laskennallisena tuloksena saadaan sulfidinen (S^{2-}) rikki, josta lasketaan aineksen hapontuottokapasiteetti AP. Neutralointikapasiteetti NP määritetään titraamalla, karbonaattisten mineraalien tuottama neutralointikapasiteetti voidaan määrittää laskennallisesti karbonaattisen hiilen määrästä. Testin tuloksista lasketaan myös neutralointipotentiaalisuhde NPR (kaavalla NP/AP ; *neutralization potential ratio*) sekä nettoneutraloimisipotentiaali NNP (kaavalla $NP-AP$; *net neutralization potential*). Tulosten perusteella tutkittava materiaali voidaan määritellä mahdollisesti happoa tuottavaksi (PAF; *potentially acid forming*) tai ei-happoa tuottavaksi (NAF; *non acid forming*). On kuitenkin huomioitava, että testi vertaa vain hapontuoton ja



neutraloinnin kokonaiskapasiteetteja, mutta ei anna kuvaa näiden kulumisnopeudesta suhteessa toisiinsa.

5.1.2 NAG-testi ja NAG-uutteen tutkimus

NAG-testillä määritetään nettohapontuottoa (*net acid generation*). NAG-testi hapettaa tehokkaasti näytteessä olevia sulfidimineraaleja. NAG-testin aikana tapahtuvassa sulfidien hapettumisessa vapautuu myös happamuutta, joka puolestaan reagoi karbonaattimineraalien ja reaktiivisten silikaattimineraalien kanssa. Tuloksena saadaan siis viitteitä myös ei-sulfidisten alkuaineiden (esim. alumiini, mangaani ja kromi) liukenemisesta reaktioiden seurauksena. NAG-uutteen pitoisuusmittauksen avulla saadaan selville ne aineet, jotka liukenevat läjityksestä sulfidien rapautumisen seurauksena. Metallisten haitta-aineiden pitoisuuksia voidaan määrittää NAG-testin uuttoliuoksesta pH:sta riippuen sekä ennen kiehumista tai kiehumisen jälkeen.

NAG-tutkimus tehdään ohjeen AMIRA P387A (Appendix D) mukaisesti. Tutkimus perustuu näytteen hapettamiseen vetyperoksidilla, jolloin haponmuodostus ja neutralisointireaktiot tapahtuvat samanaikaisesti. Pulverisoitu kaivannaisjätenäyte asetetaan reagoimaan vetyperoksidin kanssa ja ylimääräinen vetyperoksidi poistetaan kuumentamalla, mikä edistää neutralointikapasiteetin vapautumista ja neutraloinnin käynnistymistä. Kuumennusvaihe kuuluu testaukseen, mikä tehdään ohjeen AMIRA P387A (Appendix D) mukaan. Testin kuumennusvaihe voidaan myös jättää pois, jolloin reaktioaikaa pidennetään. Tämä siksi, että keittovaihe ajaa reaktioita liikaa emäksiksi, kun keittovaiheessa hiilidioksidi (CO_2) poistetaan. Kun pH ei enää laske, on saavutettu minimi-pH eli NAG-pH. Kuumennuksen jälkeen näyte titrataan emäksellä (yleensä natriumhydroksidi eli NaOH) pisteeseen, jossa pH on 4,5 tai 7. NaOH:n kulutuksesta saadaan laskettua nettohapontuotto (NAG) yksikössä $\text{kg H}_2\text{SO}_4/\text{t}$. NAG-testi tehdään yleensä ABA-testin rinnakkaismenetelmänä, osana kaivannaisjätteen suotoveden laatuun liittyvien riskien tunnistamista. Tuloksena NAG-testauksesta saadaan täten NAG-pH ja nettohapontuottopotentiaali eli NAG-arvo.

NAG-testin yhteydessä voidaan analysoida NAG-uutteen eli NAG-testin loppuliuoksen pitoisuudet. Koska NAG-testi on lyhykestoinen ja mineraalien hapettuminen tapahtuu äärimmäisen nopeasti, NAG-testin perusteella ei saada todenmukaista kuvaa aineiden vaihteittaisesta liukenemisesta. Lisäksi peroksidi hajoaa katalyyttisesti (metalli-ionit liuoksessa edistävät peroksidin hajoamista) ja peroksidin kulumisen takia on myös mahdollista, että sulfidit eivät hapetu täydellisesti yksivaiheisen NAG-testin aikana. Tulosten tulkinnassa tulee noudattaa varovaisuutta myös pH:n noustessa erityisen korkeaksi, sillä kyseinen tilanne saattaa mahdollistaa näytteelle muutoin epätyypillisiä saostumisreaktioita. Tätä voidaan pyrkiä välttämään luopumalla kuumennusvaiheesta, kuten yllä on kuvattu.

5.1.3 Ravistelutestit

Ravistelutesti ei ole varsinaisesti kaivannaisjätteen tutkimusmenetelmä. Ravistelutesti on kuitenkin Suomessa melko vakiintunut osa kaivannaisjätteiden testausta eikä siitä ole toistaiseksi vielä luovuttu, vaikka sen tuottama hyöty kaivannaisjätetutkimuksessa jääkin usein vähäiseksi.

Muiden jätteiden kuin kaivannaisjätteiden tarkastelussa ravistelutestejä käytetään kaatopaikalle sijoitettavan jätteen luokittelussa. Testin perusteella jäte luokitellaan loppusijoituskelpoiseksi joko pysyvän, vaarattoman tai vaarallisen jätteen kaatopaikalle (Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista, VNA 331/2013). Kaivannaisjätteen jätealueita ei kuitenkaan luokitella pysyvän, vaarattoman tai vaarallisen jätteen kaatopaikaksi vaan kaivannaisjätteiden jätealueet ovat joko suuronnettomuuden vaaraa aiheuttavia jätealueita tai muita kaivannaisjätealueita. Ravistelutestin perusteella ei myöskään luokitella jätettä vaarattomaksi tai vaaralliseksi jätteeksi, sillä ravistelutesti on liukoisuustutkimus.

Kaksivaiheisessa ravistelutestissä (standardi EN 12457-3) käytetään uuttoluoksena deionisoitua vettä. Testi koostuu kahdesta peräkkäisestä uutosta. Ensimmäinen ravistelu tehdään L/S 2-suhteessa ja toinen L/S 8-suhteessa. L/S-suhde kuvaa nesteen ja kiinteän aineksen suhdetta. Molemmista uutuksista määritetään metallit ja tarvittaessa anionit (kloridi, fluoridi ja sulfaatti), pH, sähkönjohtokyky ja liuennut orgaaninen hiili (DOC). Tulokset ilmoitetaan kuiva-ainetta kohti sekä L/S 2- että kumulatiivisessa eli laskennallisessa L/S 10-suhteessa.

Materiaaleille voidaan myös tehdä yksivaiheinen ravistelutesti EN 12457-4. Tämä uutto tehdään suoraan uuttosuhteessa L/S 10 deionisoidulla vedellä. Molemmat em. ravistelutestimenetelmät ovat säädösmielessä hyväksyttäviä. Ravistelutestimenetelmän valinta riippuu mm. tutkittavan näytteen raekoosta ja uutoksen suodattavuudesta. Ensisijaisesti käytetään kaksivaiheista ravistelutestiä (VNA 331/2013).

Ravistelutestillä saadaan selville, mitä aineita näytteestä voi vapautua ilman hapettumisreaktioiden vaikutusta. Testi voi siten antaa kuvan siitä, mitä aineita suotovesissä voi esiintyä jo lyhyellä aikavälillä, mutta kvantitatiivisessa kaivannaisjätteitä koskevan vedenlaadun arvioinnissa ravistelutestiä ei käytetä. Ravistelutestiä käytetään toisinaan myös eräänä osana peräkkäisuuttosarjaa, selvitettyä eri aineiden esiintymismuotoja ja mobilisaatoriskejä vanhemmasta erilaisille olosuhteille altistuneesta kaivannaisjätteestä.

5.1.4 Kuningasvesiuutto alkuainepitoisuuksien arvioinnissa

Epäorgaanisista haitallisista aineista kuningasvedellä pyritään uuttamaan muut kuin vaikeasti silikaattimineraaleihin sitoutuneet metallit (YM 2014). Kuningasvesiuutto toteutetaan standardin SFS ISO 11466 mukaisella tavalla väkevän suolahapon (HCl) ja typpihapon (HNO₃) seoksella. Kuningasvesiuutto tehdään kaivannaisjätteelle aina, sillä



kyseessä on kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013) mukainen vaatimus. Kaivannaisjäteasetuksen liitteessä 1 viitataan PIMA-asetuksen (214/2007) kuningasvesiuuttoon perustuviin kynnysarvoihin osana kaivannaisjätteen luokittelua pysyväksi tai ei-pysyväksi jätteeksi.

5.1.5 Nelihappouutto alkuainepitoisuuksien arvioinnissa

Kaivannaisjätteiden karakterisoinnissa käytetään myös nelihappouuttoa, joka on hajotusmenetelmänä kuningasvesiuuttoa tehokkaampi ja voi tuottaa kuningasvesiuuttoa suurempia pitoisuuksia. Nelihappouutossa käytetään suolahappoa (HCl), typpihappoa (HNO_3), vetyfluoridihappoa (HF) ja kloorihappoa (HClO_3). Nelihappouuton tuloksia esitetään kuningasvesiliukoisten metalli- ja metalloiditulosten yhteydessä vertailevana. On huomioitavaa, että nelihappouuton tulosten vertailu PIMA-asetuksen mukaisiin kynnys- ja ohjearvoihin ei ole kaivannaisjäteasetuksen 190/2013 liitteen 1 mukainen menettely. Nelihappouuton tulosten vertaamista kuningasvesiuuttoon perustuviin raja-arvoihin voidaan pitää konservatiivisena, eli varovaisuusperiaatteen mukaisena lähestymistapana, sillä nelihappouutto on pääsääntöisesti uuttona "ylitehokas" tähän käyttötarkoitukseen.

Nelihappouuton käyttö kaivannaisjätteiden kokonaispitoisuuksien arvioinnissa liittyy siihen, että malminetsinnässä nelihappouutto on vakiintunut analyysimenetelmä. Esimerkiksi prosessijätteen ja malmin tutkiminen yhteisellä menetelmällä voi helpottaa kokonaisuuden hallintaa, sillä malmin vaihtelun vaikutusta rikastushiekan laatuun on helpompi arvioida käytettäessä yhteistä menetelmää.

5.1.6 Kosteuskammiokoe

Kosteuskammiokoe on ensisijainen testimenetelmä silloin, kun tarvitaan tietoa sulfidimineraalien hapettumisesta ja hapettumistuotteista pitkällä aikavälillä. Kosteuskammiokoe on 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.

Kosteuskammiokoe (ASTM D5744) on pitkäaikainen kineettinen koe (kesto vaihtelee tarpeen mukaan 20 viikosta useisiin vuosiin). Kosteuskammiokokeessa näytettä altistetaan viikoittain sekä hapettumiselle että vesihuuhtelulle. Ensimmäinen huuhtelu tehdään kokeen alkaessa. Läpivirrannut huuhteluvesi tutkitaan ja tuloksia tarkastellaan aikasarjana. Viikkoliuosten pitoisuuksia voidaan käyttää syötetietona suotoveden laadun arvioinnissa. Koko testin aikasarjasta valitaan tiedon käyttökohteen kannalta olennainen. Esimerkiksi tuotannon ajalle lasketaan alkupäästä joidenkin kymmenien viikkojen keskiarvo, kun taas sulkemiselle myöhemmästä vaiheesta useiden kymmenien viikkojen keskiarvo. Myös näytteen reagointinopeus vaikuttaa aikasarjan valintaan. Näytteissä havaitaan usein samoja prosesseja samassa järjestyksessä, mutta nopeasti reagoivissa materiaaleissa prosessit tapahtuvat nopeutetusti.

On muistettava, että kosteuskammiokokeen tulos on suotoveden laatuarvioinnin syötetieto, mutta ei koskaan suoraan suotoveden laatu. Todellisella kaivannaisjätealueella vesi ja kiintoaine kohtaavat eri määrasuhteissa ja eri lämpötilassa kuin laboratoriossa. Lisäksi sivukiven raekoko poikkeaa kosteuskammiokokeessa käytettävästä raekoosta. Kaivannaisjätealueen ja laboratoriokokeen välillä voi olla myös muita olosuhde-eroja.

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

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

5.1.7 Mineraloginen analyysi

Mineralogian voidaan tarkastella sekä laadullisin että määrällisin menetelmin. Ensin mainitussa tunnistetaan mineraalit ja jälkimmäisessä mineraalien tunnistamisen lisäksi muodostetaan kuva mineraalien määrasuhteista. Lisäksi menetelmästä riippuen joko tunnistetaan mineraaleja tai tunnistamisen lisäksi tuotetaan tietoa myös mineraalien alkuainekoostumuksesta. XRD-menetelmä (röntgendiffraktometria, *x-ray diffractometry*) on perusmineraloginen tutkimus, jolla saadaan tietoa aineksen rakenteesta ja mineraalikoostumuksesta.

XRD-menetelmä (röntgendiffraktio) on nopea menetelmä, mutta epätarkka. Saatua ”summaspektriä” verrataan kirjastossa olevien mineraalien spektreihin ja siten iteroidaan mineraloginen koostumus. Tällöin tulkinta riippuu huomattavasti käytetyistä oletuksista mineralogian suhteen. Toistuva XRD-analyysi antaa tilastollisesti merkittävää tietoa mineralogisen koostumuksen vaihtelusta, mutta tuloksissa voi olla systemaattista virhettä.

Muilla mineralogisilla menetelmillä (SEM, EPMA ja optinen mikroskopia) tutkimus kohdistuu yhteen pieneen osaan kiveä (esim. $\sim 10 \text{ cm}^2$), joten tutkittavan kohdan yksittäinen vaikutus tuloksiin on merkittävä. Pyyhkäisyelektronimikroskoopi (SEM) skannauksella yhdistettynä EDX-detektoriin (energiadispersiivinen röntgensäde) saadaan tietoa kemiallisesta koostumuksesta. SEM-laitteiston tulokset perustuvat kemiaan, joten kiderakennetta ei voida selvittää toisin kuin optisella mikroskopiolla (ja XRD-menetelmällä), jolla kiderakenteen selvittäminen on mahdollista. Elektronimikroanalyysointilaitteisto (EPMA) on resoluutioltaan SEM-laitteistoa (pyyhkäisyelektronimikroskoopi) parempi eli sen tulokset ovat ainoita, joista saadaan



tietoa eri mineraalien hivenainemääristä. Nämä menetelmät soveltuvat käytettäväksi täydentämään rutiininomaisesti tehtävien menetelmien tuloksia sekä tulosten tulkinnan tukena.

5.2 Pintamaan ominaisuudet

Pintamaalla tarkoitetaan maaperän orgaanisia ja epäorgaanisia maalajeja, kuten turvetta ja kivennäismaalajeja (esim. moreenia). Näitä maa-aineksia irrotetaan kaivosalueella esim. rakentamisen yhteydessä. Maa-aineksia voidaan hyödyntää rakentamisessa ja maisemoinnissa. Maa-aines, jota ei hyödynnetä tai hyödynnetään myöhemmin, läjitetään tai varastoidaan sille varatuille läjitysalueille.

Alueen maaperä on pääosin huonosti vettä johtavaa moreenia (Saarelainen ja Räisänen 2001, Infrasuunnittelu Oy 2020).

Lahnaslammen kaivosalueen maaperän luontaisessa koostumuksessa on tunnistettavissa kallioperän mustaliuskeiden ja ultramafisten kivien koostumus. Tämä heijastuu kohonneina rauta-, rikki-, sinkki- ja nikkelpitoisuuksina erityisesti rapakallio- ja hienoainesmoreenin sekä sulfidipitoisten liejujen ja turpeiden koostumuksessa. Moreenin nikkelpitoisuus kaivosalueella ja sen lähiympäristössä vaihtelee välillä 5–117 mg/kg ja rikkipitoisuus välillä 50–2 750 mg/kg. Hiesun ja lustosaven nikkeli- ja rikkipitoisuudet ovat keskimäärin samaa suuruusluokkaa, mutta sulfidipitoisten liejujen ja turpeiden pitoisuudet ovat moreenia alhaisempia. (Ramboll Finland Oy, 2015)

Rikastushiekka-altaiden pohjaan rajoittuvassa moreenikerroksessa nikkelpitoisuus on Soidinsuon altaalla korkeampi ja Papinlammen altaalla matalampi kuin allasaluetta ympäröivissä maakerroksissa. Arseenipitoisuudet ovat altaan alapuolisessa moreenissa ympäristöä alhaisempia. Allasaluetta ympäröivien moreenien Ni- ja As-pitoisuudet vastaavat alueen luonnollisia pitoisuustasoja. (Ramboll Finland Oy, 2015)

Lahnaslammen kaivosalueen luontaisessa maaperän koostumuksessa on kohonneita raudan, sinkin, nikkelin ja rikin pitoisuuksia. Nikkelpitoisuus ylittää osin valtioneuvoston maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista antaman asetuksen (PIMA-asetus, 214/2007) mukaisen nikkelin kynnsarvon (50 mg/kg) ja alemman ohjearvon (100 mg/kg). (Ramboll Finland Oy, 2015)

Vuonna 2024 Sotkamon kaivoksen maanläjitysalueella tutkittiin seitsemän tutkimuspisteen 62 maaperänäytteestä läjitysalueen maapeitteen paksuutta ja maa-aineksen laatua. Näytteistä määritettiin aistinvaraisesti maalaji, kosteus ja aineksen koostumusta (jäte-fraktiota). Tutkimuspisteet esitetään kuvassa (Kuva 5-1).

Kaikista näytteistä mitattiin metallit XRF-kenttäanalyysointorin avulla. 12 näytteestä määritettiin kuningasvesiuutolla standardin SFS-EN ISO 54321:2021 mukaisesti metalli- ja metallidipitoisuuksia ja ABA-testillä hapontuotto-ominaisuuksia. (AFRY Finland Oy 2024c)

Vuoden 2024 tutkimuksissa kairapisteet ulottuivat 3 m – 17 m välisille syvyyksille. Tutkimuspisteissä 5 ja 7 kairaukset ulottuivat kolmen metrin syvyyteen asti kovan pohjan, kuten kiven tai kallion takia. Tutkimusalueella maaperä koostuu pääasiassa silttisestä tai hiekkaisesta moreenista, jonka seassa on paikoin turvetta ja vaaleaa maa-ainesta, joka oli mahdollisesti talkkia. (AFRY Finland Oy 2024c)



Kuva 5-1. Sotkamon kaivoksen vanhalta maanlajitustalueelta otettujen näytteiden näytepisteiden sijainnit (AFRY Finland Oy 2024c)

Vuonna 2024 tehdyissä XRF-kenttämittauksissa ei havaittu yhdessäkään näytteessä antimoniamia eikä kobolttia (Taulukko 5-1). Lisäksi vain yhdelle näytteelle saatiin kadmiumin pitoisuus, ja kolmelle näytteelle elohopean pitoisuus. Tarkemmat näytekohtaiset XRF-mittauksen tulokset on esitetty liitteessä 1. Arseenin ja kromin osalta kolmen näytepisteen mediaanipitoisuudet ylittivät ylemmän ohjearvon, ja nikkelin kohdalla ylitys tapahtui viidessä näytepisteessä. Lisäksi arseenin ja sinkin osalta kolmen näytepisteen

maksimipitoisuudet ylittivät ylemmän ohjearvon. Kromin osalta ylempi ohjearvo ylittyi kuuden näytepisteen maksimiarvoissa, ja nikkelin osalta kaikissa seitsemässä näytepisteessä. Kuparin ja elohopean osalta ylempi ohjearvo ylittyi kahden näytepisteen maksimiarvoissa. Alemmat ohjearvot ylittyivät arseenin maksimiarvojen osalta kahdessa näytteessä ja sinkin osalta yhdessä näytepisteessä. Mediaaniarvojen osalta alemmat ohjearvot ylittyivät kahdessa näytepisteessä nikkelin, ja yhdessä näytepisteessä sinkin sekä kadmiumin osalta. Kynnysarvot ylittyivät useammassa näytepisteessä arseenin ja kromin osalta, kahdessa näytepisteessä kuparin osalta sekä yhdessä näytepisteessä sinkin ja vanadiini osalta. (AFRY Finland Oy 2024c)

Taulukko 5-1. Sotkamon kaivoksen metallipitoisuudet XRF-kenttämittarilla. Taulukossa on esitetty mittaustulosten mediaani- ja maksimipitoisuus eri näytepisteillä. - = pitoisuutta ei havaittu XRF-mittauksissa. Vertailuna on käytetty PIMA-asetuksen (214/2017) kynnys- ja ohjearvoja. Taustapitoisuuden osalta on käytetty taustapitoisuusrekisterin pitoisuuksia (TAPIR 2024). Taustapitoisuuksien näytemäärä on 172, paitsi vanadiinilla n=171 (15 km säde). *Taustapitoisuudet 50 km säteellä arseenille (n= 31); kadmiumilla, elohopealla ja antimonilla (n=39) sekä lyijylle (n= 33). n=näytemäärä

Metallit ja metalloidit, kokonaispitoisuudet									
	As	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	Hg	Cd	V
Taustapitoisuus	0,91*	27	22	3*	18	28	0,01*	0,03*	29
SSTP	1,7*	48	48	32*	36	57	0,11*	0,07*	57
Kynnysarvo	5	100	100	60	50	200	0,5	1	100
Alempi ohjearvo	50	200	150	200	100	250	2	10	150
Ylempi ohjearvo	100	300	200	750	150	400	5	20	250
Näytepiste	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
1	med.	7,5	170	31	9,9	160	110	-	48
	maks.	35	810	61	12	720	360	-	64
	n	11	12	12	12	12	12	0	12
2	med.	14	130	62	13	130	290	7	71
	maks.	20	150	110	22	180	610	7	88
	n	5	5	5	5	5	5	1	5
3	med.	27	200	38	9,9	210	110	-	51
	maks.	77	550	61	14	490	170	-	59
	n	18	18	18	18	18	18	0	18
4	med.	16	100	36	11	110	91	5,9	56
	maks.	68	400	220	15	640	740	5,9	120
	n	17	17	17	17	17	17	2	17
5	med.	150	1600	24	-	1100	100	-	21
	maks.	170	1800	130	-	1200	200	-	33
	n	3	3	3	0	3	3	0	3
6	med.	190	1300	32	10	1300	120	-	20
	maks.	230	1400	270	11	1500	620	-	58
	n	4	4	4	2	4	4	0	4
7	med.	110	1100	27	-	1300	87	-	13
	maks.	140	1200	27	-	1500	100	-	16
	n	3	3	1	0	3	3	0	3

Taulukossa 5-2 on esitetty Sotkamon kaivosalueen maanäytteiden metalli- ja metalloidipitoisuudet kuningasvesiliukoisina pitoisuuksina. Taulukon ohje- ja kynnysarvot ovat PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) mukaisia. Tuloksia on vertailtu taustapitoisuusrekisterin vastaaviin pitoisuuksiin, jotka ovat määritetty kuningasvesiuutolla. Tuloksista havaitaan, että elohopean ja lyijyn pitoisuudet jäävät alle PIMA-asetuksen kynnysarvojen. Arseenin, kromin, nikkelin ja sinkin pitoisuudet ylittävät useammassa näytteessä niin kynnys- kuin ohjearvot. Kadmiumin, koboltin, kuparin, antimonin ja vanadiinin osalta ylityksiä on vähemmän tai ne ovat vähäisempiä. Laskettaessa kaikkien näytteiden keskiarvot eri alkuaineille, niin tällöin kokonaisuudessaan läjitetyn materiaalin keskiarvopitoisuudet ylittävät kynnysarvon kaikkien muiden pitoisuuksien paitsi kuparin, elohopean, lyijyn ja vanadiinin osalta. Näiden keskiarvopitoisuudet ovat alle PIMA-asetuksen kynnysarvon koko materiaalille laskettuna.

Taulukkoon 5-2 on tuotu taustapitoisuusrekisteristä Sotkamon kaivosalueesta 15 km säteellä haettujen pitoisuuksien mediaanipitoisuudet (Co, Cr, Cu, Ni, V, Zn). Rekisteristä saa esille pitoisuudet, kun näytemäärä ylittää 30 näytteen rajan. Toisin sanoen 15 km:n tarkastelusäteellä ei ole riittävästi näytteitä arseenin, kadmiumin, elohopean, lyijyn ja antimonin osalta, jolloin näiden alkuaineiden taustapitoisuus tarkastellaan 50 km:n kilometrin säteellä. Pienemmällä säteellä taustapitoisuuksien tilastollisten tunnuslukujen laskentaan tarvittava näytemäärä ei olisi ollut riittävä. Tarkastelusäde 15 km on soveltuva arvioitaessa lähialueen taustapitoisuuksia. Suurempi tarkastelusäde vähentää anomaalista pitoisuusvaikutusta maaperän taustapitoisuuksissa. Kaikkien kynnysarvon ylittäneiden alkuaineiden osalta taustapitoisuusrekisteri antoi huomattavasti alemmat SSTP-arvot kuin kaivosalueella. Mataliin taustapitoisuuksiin on voinut vaikuttaa näytteiden vähäinen määrä metalliprovinssin sisältä, ja ero näytteenottoisyvyyksissä.

Taulukko 5-2. Sotkamon kaivosalueen läjitäysalueen aineksen metalli- ja metalloidipitoisuudet vuonna 2024 tehdyssä tutkimuksessa (AFRY Finland Oy 2024c). Vertailuna on käytetty PIMA-asetuksen (214/2017) kynnys- ja ohjearvoja sekä taustapitoisuuden osalta taustapitoisuusrekisterin pitoisuuksia (TAPIR 2024). Taustapitoisuuksien näytemäärä on 172, paitsi vanadiinilla n=171 (15 km säde). *Taustapitoisuudet 50 km säteellä arseenille (n= 31); kadmiumilla, elohopealla ja antimonilla (n=39) sekä lyijylle (n= 33). NP=näytepiste

	Metallit ja metallidit, kokonaispitoisuudet										
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Taustapitoisuus	0,91*	0,03*	7,0	27	22	0,01*	18	3*	0,03*	30	28
SSTP	1,7*	0,07*	14	48	48	0,11*	36	32*	0,12*	57	57
Kynnysarvo	5	1	20	100	100	0,5	50	60	2	100	200
Alempi ohjearvo	50	10	100	200	150	2	100	200	10	150	250
Ylempi ohjearvo	100	20	250	300	200	5	150	750	50	250	400
NP 1, 1–2 m	29	0,18	30	250	53	<0,01	650	8,4	0,37	86	270
NP 1, 9–10 m	5,1	0,35	15	89	38	<0,01	160	5,1	0,13	49	99
NP 2, 1–2 m	11	1,7	23	88	75	0,03	150	10	1,8	110	490

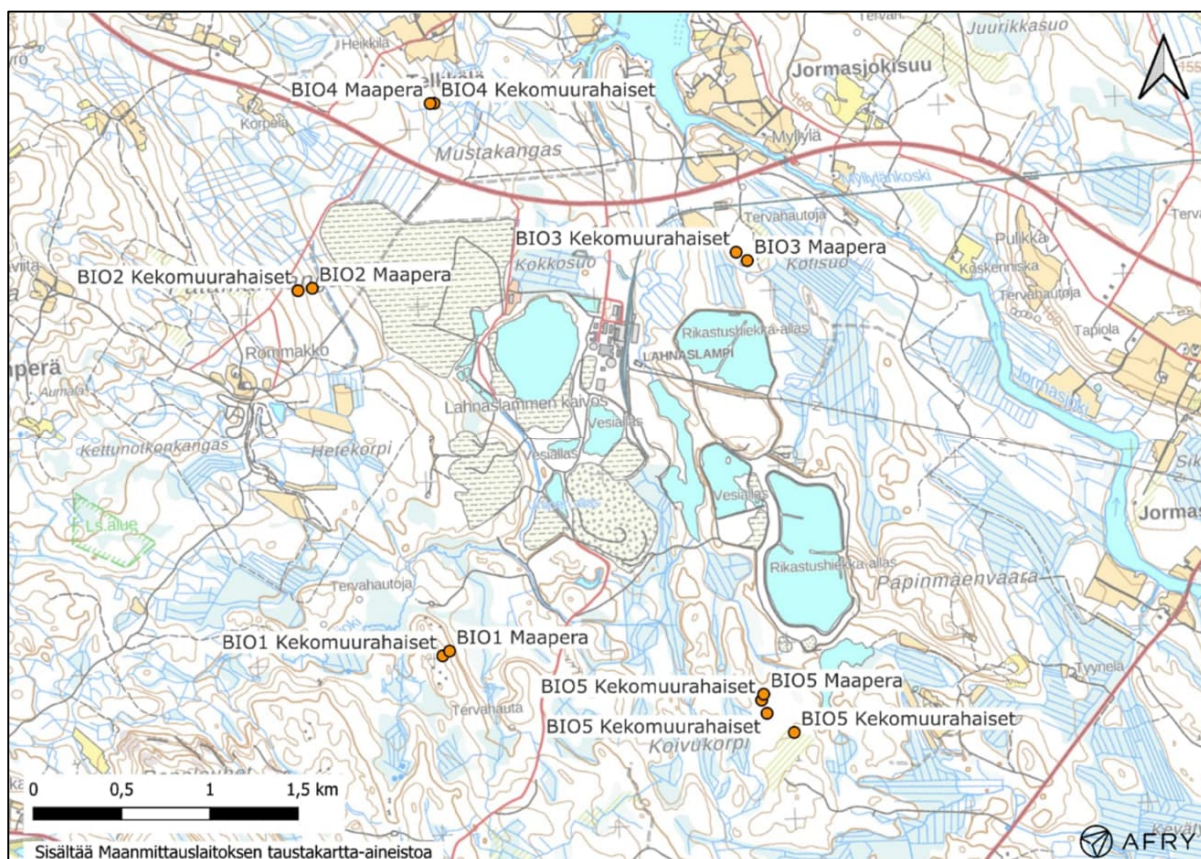
NP 3, 0–0,5 m	83	1,7	27	210	60	0,017	350	6,3	1,4	62	150
NP 3, 8–9 m	89	0,44	32	160	57	0,014	500	5,9	1,6	36	100
NP 3, 13–14 m	36	0,36	23	160	33	<0,01	300	5,5	0,7	43	90
NP 4, 0–1 m	50	15	36	190	190	0,14	610	20	3,9	200	780
NP 4, 7–8 m	75	0,38	30	290	28	0,012	460	4,5	1,7	30	150
NP 4, 14–15 m	11	0,34	12	77	36	0,017	95	6	0,32	54	86
NP 5, 2–3 m	160	0,15	44	820	33	<0,01	1000	2,3	2,3	33	46
NP 6, 3–3,3 m	65	1,7	150	330	340	0,035	1600	12	3,7	56	620
NP 7, 1–2 m	110	0,18	66	410	14	<0,01	1300	1,2	3,2	11	42

Taulukossa 5-3 puolestaan esitetään Sotkamon kaivoksen läjitysalueen aineksen ABA-testin tulokset: rikin kokonaispitoisuus sekä neutralointipotentiaalisuhde NPR, mukaan lukien haponmuodostuspotentiaali (AP) ja neutralointipotentiaali (NP). Tulosten perusteella näytteiden kokonaisrikkipitoisuus vaihtelee välillä 0,11 % – 4,99 %, ollen keskimäärin hieman alle 1 % (0,99 %). Läjitysalueen tutkitussa aineksessa on paikoin runsaasti haponmuodostuspotentiaalia, etenkin näytteen 4 pintaosan (0–1 m) näytteessä, joka näytteenottotietojen koostuu murskeesta ja tummasta maa-aineksesta. Kyseissä näytteessä ei ole neutralointipotentiaalia lainkaan, joten neutralointipotentiaalisuhdeluku (NP/AP) on alle 0,1. Kaikissa näytteissä NPR-arvo on matala, joten näytteissä ei ole happamuutta neutraloivaa potentiaalia. Näiden tulosten perusteella kaikki näytteet ovat mahdollisesti happoa muodostavia.

Taulukko 5-3. Sotkamon kaivosalueen läjitysalueen rikin kokonaispitoisuus sekä neutralointipotentiaalisuhde NPR, mukaan lukien haponmuodostuspotentiaali (AP) ja neutralointipotentiaali (NP).

	S kok	AP	NP	NPR
Määrittäysraja	0,01	0,32		
	%	kg CaCO ₃ /t	kg CaCO ₃ /t	
NP 1, 1–2 m	0,11	3,4	0,18	<0,1
NP 1, 9–10 m	0,19	5,9	0,96	0,16
NP 2, 1–2 m	1,07	33	-0,56	<0,1
NP 3, 0–0,5 m	1,14	36	3,4	<0,1
NP 3, 8–9 m	0,37	12	2,1	0,18
NP 3, 13–14 m	0,26	8,1	4	0,49
NP 4, 0–1 m	4,99	160	-0,68	<0,1
NP 4, 7–8 m	0,19	5,9	1,6	0,27
NP 4, 14–15 m	0,35	11	0,82	<0,1
NP 5, 2–3 m	0,76	24	13	0,55
NP 6, 3–3,3 m	1,9	59	9,4	0,16
NP 7, 1–2 m	0,54	17	8,4	0,5

Vuonna 2023 kaivosalueen bioindikaattoritarkkailun (Kuva 5-2) yhteydessä otettiin viidestä pisteestä pintamaanäytteet kivennäismaasta (moreeni) 0–10 cm:n syvyydeltä, poikkeuksena yksi näyte, BIO5, joka otettiin 20–30 cm:n syvyydeltä. Näytteistä määritettiin metalli- ja metalloidipitoisuudet kuningasvesiutolla. Näytepisteessä BIO5, syvemmällä pintamaassa, pitoisuudet olivat kaikkien tutkittujen muuttujien osalta suurempia kuin ylempänä kivennäismaassa. Arseenin pitoisuus vaihteli alle määrittäysrajan ($<0,7$ mg/kg) pitoisuudesta pitoisuuteen 3,5 mg/kg, kromin pitoisuus vaihteli välillä 2,3 – 55,2 mg/kg, kuparin pitoisuus vaihteli välillä alle määrittäysrajan ($<1,4$ mg/kg) pitoisuudesta 20,5 mg/kg -pitoisuuteen, nikkelin pitoisuus vaihteli välillä alle määrittäysrajan ($<0,5$ mg/kg) pitoisuudesta 32,4 mg/kg -pitoisuuteen sekä lyijy vaihteli välillä 2,3–8,1 mg/kg. Kadmiumin ja elohopean pitoisuudet olivat kaikissa näytteissä alle määrittäysrajan. Taulukkoon 5-4 on koottu em. viiden näytteen keskiarvopitoisuudet (mg/kg) kuiva-aineessa (KA.) sekä taustapitoisuusrekisteristä 15 km:n säteellä kaivosalueesta haetut tiedot (TAPIR 2024). Tulosten perusteella kaivosalueen ympäristössä pintamaan pitoisuudet ovat pienempiä kuin taustapitoisuusrekisterissä.



Kuva 5-2. Bioindikaattoritarkkailun seurantapisteet kartalla (AFRY Finland Oy 2023b). Vuonna 2023 tarkkailussa otettiin kaivosalueen ympäristöstä maaperän pintamaasta kivennäismaanäytteet alkuainemäärityksiin.

Taulukko 5-4. Sotkamon kaivosalueen ympäristön maaperän metallien ja metalloidien keskimääräiset pitoisuudet (kuningasvesiuutto) vuonna 2023 (AFRY Finland Oy 2023b). Vertailuna on taustapitoisuusrekisteristä pitoisuudet (TAPIR 2024). Taustapitoisuuksien näytemäärä on 172, paitsi vanadiinilla n=171 (15 km säde). *Taustapitoisuudet 50 km säteellä arseenille (n= 31); kadmiumilla, elohopealla ja antimonilla (n=39) sekä lyijylle (n= 33). n.d. = ei määrittystä.

Metallit ja metalliloidit, kokonaispitoisuudet											
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	mg / kg	mg / kg	mg / kg	mg / kg	mg / kg	mg / kg	mg / kg	mg / kg	mg / kg	mg / kg	mg / kg
Taustapit. med.	0,91*	0,03*	7,0	27	22	0,01*	18	3*	0,03*	30	28
SSTP	1,7*	0,07*	14	48	48	0,11*	36	32*	0,12*	57	57
Kynnysarvo	5	1	20	100	100	0,5	50	60	2	100	200
Alempi ohjearvo	50	10	100	200	150	2	100	200	10	150	250
Ylempi ohjearvo	100	20	250	300	200	5	150	750	50	250	400
Vuosi 2023											
Kivennäismaa ka. (n=5)	1,3	<0,3	n.d.	18	6,5	<0,2	8,1	4,0	n.d.	n.d.	17

5.3 Sivukiven ominaisuudet

5.3.1 Sivukiven näytteenotto ja analyysit

Sivukiven mineralogiaa, geologiaa ja geokemiallisia ominaisuuksia on selvitetty Punasuon louhoksen sivukivistä. Lahnaslammen ja Punasuon louhokset sijaitsevat vierekkäin ja niiden kivet ovat laadultaan samankaltaisia. Seuraavissa kappaleissa on esitetty vuosien 2015 ja 2023 näytteenottokerran analyysitulokset.

Vuoden 2015 selvitys

Kesällä 2015 Punasuon kaivoksen sivukivistä otettiin kokoomanäytteet kiilleliuskeesta (MS), mustaliuskeesta (BS), epäpuhtaasta talkkimalmista (ITM) ja serpentiniittibreksiasta (SPB). Näytteistä tutkittiin SGS Inspection Services Oy:n sekä SGS Canada Inc:n laboratorioissa mm. alkuaineiden (menetelmä ISO 11885, ICP-AES), haitta-aineiden liukoisuuksia (2-vaiheinen ravistelutesti, SFS-EN 12457-3) sekä mahdollista hapontuottopotentiaalia (ABA-testi, SFS-EN 15875). (Ramboll Finland Oy 2015). Alkuaineanalyysin hajotusmenetelmä ei ole tiedossa, mutta sen oletetaan olevan kuningasvesiuutto.

Vuoden 2023 selvitys

Elementisin toimittaman kairasydänten analyysitulosaaineiston perusteella tehtiin kivilajikohtainen tilastollinen analyysi eri alkuaineiden pitoisuuksista kivilajikohtaisesti. Punasuon ja Lahnaslammen louhosten seinämien kivilajijakauman sekä Punasuolta louhittavan sivukiven kivilajijakauman perusteella valittiin analysoitavat kivilajinäytteet sekä näytteiden lukumäärä per kivilaji siten, että seuraavan vaiheen analyysituloksia voidaan luotettavasti käyttää edustamaan kutakin kivilajia. Serpentiinittibreksiasta ei muista kivilajeista poiketen valittu näytettä kokeisiin sen pienen osuuden vuoksi (7 % louhosseinämän kokonaispinta-alasta, Taulukko 5-5). Serpentiinittibreksiaa on sijoitettu pääosin Lahnaslammen louhosjärveen. Lahnaslammen sivukivialueelle on läjitetty myös jonkin verran serpentiinibreksiaa, mutta sen osuus sivukivialueelle läjitetystä kokonaismassasta on pieni, noin 0,3 % (Taulukko 3-1).

Kairasydänaineiston tilastollisen tarkastelun perusteella tunnistettiin kivilajeittain merkityksellisten alkuaineiden jakauma, jonka perusteella staattiseen testauksen valitaan seitsemän sivukivinäytettä, joista analyysitulosten perusteella valittiin 5 näytettä edelleen kosteuskammiokokeisiin. Staattisiin testeihin lähetettiin alla kuvattu näytteet.

Talkkimagnesiitti ja epäpuhdas talkkimagnesiitti -kivistä kolme näytettä:

- Keskimääräinen nikkelpitoisuus ja rikkipitoisuus, Ni n. 1500 ppm ja S n. 1 %
- Korkea Ni ja S, Ni >1700 ppm, S >2,2 % (molemmat ylin 25 % näytteistä)
- Korkea nikkeli ja keskimääräinen/matala rikkipitoisuus, Ni >1500 ppm, S <0,6 %

Kiilleliuskeesta kaksi näytettä:

- Rikkipitoisuus n. 0,3 % ja >0,5, nikkelpitoisuus on vähäinen/kohtalainen kaikissa näytteissä verrattuna muiden kivilajien rikkipitoisuuteen.

Mustaliuskeesta kaksi näytettä:

- Nikkelpitoisuus <500 ppm ja rikkipitoisuus n. 6 %
- Nikkelpitoisuus >1000 ppm ja rikkipitoisuus >8 %

5.3.2 Sivukiven mineralogia

Lahnaslammen ja Punasuon talkkiesiintymien sivukivet ovat samantyyppisiä. Punasuon louhoksen seinämien kivilajijakauma on esitetty taulukossa 5-5. Sivukivialueelle läjitettyjen sivukivien kivilajijakauma on esitetty taulukossa 3-1.

Taulukko 5-5. Punasuon avolouhoksen seinämien kivilajien pinta-alajakauma.

Kivilaji	Kivilajikoodi	Osuus kokonaisalasta
Kiilleliuske	MS	37 %
Mustaliuske	BS	27 %
Talkkimagnesiitti	TM	21 %

Serpentiniittibreksia	SPB	7,1 %
Epäpuhdas talkkimagnesiitti	ITM	5,7 %
Skarni	SK	2,1 %
Grafiittipitoinen kiilleliuske	GS	0,015 %
Yhteensä		100 %

Punasuon louhoksen sivukivien mineralogialla on tutkittu vuonna 2023 otetuista sivukivinäytteistä XRD- ja SEM-EDX -menetelmillä (taulukot 5-6 ja 5-6, Geochemic 2024 ja Petrolab 2024). SEM-EDX -menetelmä perustuu pieneen määrään näytettä ja siksi on edustavuudeltaan heikohko vaikka menetelmän herkkyys (havaitsemisraja) on yleisesti XRD -menetelmää parempi. Menetelmien välillä on eroja eri mineraalien prosentuaalisissa osuuksissa, mutta mineraalijakaumat ovat pääsääntäisesti yhtenevät kaikille näytteille.

Talkkimagnesiitissa ja epäpuhtaassa talkkimagnesiitissa on runsaasti neutralointikykyisiä karbonaattimineraaleja. Epäpuhtaassa talkkimagnesiitissa (näyte ITM) päämineraaleina esiintyy magnesiittia, talkkimineraaleja sekä kloriittia. Talkkimagnesiittinäytteissä (TM1 ja TM2) päämineraalit vaihtelevat. Molemmissa näytteissä päämineraaleina esiintyy talkkiryhmän mineraaleja ja kloriittia. Näytteessä TM1 on lisäksi päämineraalina magnesiitti. Näytteessä TM2 on puolestaan päämineraalina dolomiittia. Molemmissa talkkimagnesiitteissa on myös pyrroitiittia ja pyriittia. Näyte TM2 ei edusta talkkimagnesiitin keskimääräistä laatua, vaan näyte on valittu edustamaan korkean rikkipitoisuuden talkkimagnesiittia kaivannaisjätteiden pitkäaikaistestauksessa.

Kiilleliuskenäytteissä päämineraaleina esiintyy kvartsia, maasälpää ja kiilteitä. Toisessa kiilleliuskenäytteessä (MS2) päämineraaleihin lukeutuu lisäksi kloriitti ja toiseen pyrroitiitti. Näytteessä MS1 on myös XRD-menetelmä havaittu grafiittia.

Mustaliuskeessa on runsaasti sulfidimineraaleja. Sulfidimineraalien lisäksi se koostuu pääasiassa kvartsista, kloriitista ja alumiinisilikaateista (maasälpä, kiilteet). Mustaliuskeessa karbonaattimineraaleja on alle 1 %.

Taulukko 5-6 Punasuon sivukivien mineralogia XRD-menetelmällä (Geochemic 2024). ITM = epäpuhdas talkkimagnesiitti, TM = talkkimagnesiitti, MS = kiilleliuske ja BS = mustaliuske. Tulokset ovat näytekohtaisia.

Kivilaji	ITM	TM 1	TM 2	MS1	MS 2	BS 1	BS 2
Mineraali	m - %	m - %	m - %	m - %	m - %	m - %	m - %
Kiille	0.0	0.0	0.0	24.4	13.6	0.0	46.3
Kaoliniitti	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Kloriitti	7.2	13.2	8.5	3.2	TR	9.8	7.1
Kvartsi	TR	TR	1.2	38.2	39.8	45.3	0.0
K-maasälpä	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3	7.3	0.0

Kivilaji	ITM	TM 1	TM 2	MS1	MS 2	BS 1	BS 2
Mineraali	m - %	m - %	m - %	m - %	m - %	m - %	m - %
Plagioklaasi	0.0	0.0	0.0	27.4	31.8	19.7	0.0
Amfiboli	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Talkki	31.0	58.6	36.8	TR	0.0	TR	2.3
Turmaliini	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7
Kalsiitti	TR	TR	0.0	0.0	0.8	0.3	0.0
Dolomiitti	3.5	6.2	41.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Sideriitti	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0
Magnesiitti	56.8	17.9	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Apatiitti	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4
Pyriitti	0.0	0.0	3.7	0.0	0.0	2.8	6.8
Pyrroitiitti	1.6	4.1	5.0	0.0	5.8	14.8	13.1
Grafiitti	0.0	0.0	0.0	6.8	0.0	0.0	21.3

Taulukko 5-7. Punasuon sivukivien mineralogia SEM-EDX-menetelmällä (Petrolab 2024). ITM = epäpuhdas talkkimagnesiitti, TM = talkkimagnesiitti, MS = kiilleliuske ja BS = mustaliuske. Tulokset ovat näytekohtaisia.

Kivilaji	ITM	TM 1	TM 2	MS 1	MS 2	BS 1	BS 2
Mineraali	m - %	m - %	m - %	m - %	m - %	m - %	m - %
Talkkiryhmä	37	54	33	0,1	0,1	1,3	0,4
Kvartsi	0,02	0,03	0,1	32	35	30	0,2
Maasälvät	0,03	-	-	36	38	21	0,3
Kiilleryhmä	0,01	0,004	0,2	23	16	9,3	36
Magnesiitti	52	19	1,1	0,01	-	0,01	0,05
Pyrroitiitti	1,3	1,7	5,5	1,5	6,1	23	30
Kloriitti	8,8	14	5,8	6,1	1,7	9,7	13
Dolomiitti	0,2	8,0	28	0,004	0,007	0,20	0,33
Pyriitti	0,2	0,1	11,7	0,1	1,1	2,4	8,1
Aksessoriset	0,1	2,8	9,8	0,4	0,6	1,3	6,0
Sideriitti	0,05	0,04	3,4	0,06	0,1	0,19	0,48
Sfaleriitti	-	-	-	-	0,01	0,5	2,7
Pentlandiitti	0,3	0,1	1,0	-	0,01	0,003	1,3
Rutiili	0,01	0,01	0,005	0,2	0,8	0,5	0,7
Kromi-magnetiitti	0,2	0,05	0,1	-	-	-	0,003
Kalsiitti	-	0,03	0,1	0,01	0,02	0,01	0,05

GTK selvitti vuonna 2005 sivukivien ympäristökelpoisuutta (GTK 2005, Ramboll Finland Oy 2015). Verrattaessa vuoden 2023 tutkimuksen tuloksia vuonna 2005 esitettyihin lukuihin, muutoksia voidaan havaita mustaliuskeesta mitatusta sulfidimineraalien määrässä, joka on vuoden 2023 tuloksissa 4–7 -kertainen verrattuna vuoden 2005 tulokseen (noin 6 %). Samoin kiilleliuskeen sulfidipitoisuus on suurempi vuoden 2023 näytteissä kuin vuoden 2005 (alle 0,2 %). Epäpuhtaan vuolukiven osalta sulfidimineraalien osuus (noin 7 %) on vähentynyt.

Serpentiniittibreksian mineralogiaa ei tutkittu uudelleen. Serpentiniittibreksiassa on vuoden 2005 mineralogiatutkimusten perusteella runsaasti neutralointikykyisiä karbonaattimineraaleja (36 %). Muita päämineraaleja ovat talkki (41 %), antigoriitti (15 %) ja kloriitti (6 %). Serpentiniittibreksiassa sulfidimineraaleja on n. 2 %.

Edellä mainitut erot eri vuosien mittaustuloksissa voivat johtua mm. kivilajien sisäisesti koostumuksen vaihtelusta, näytteenotosta tai mittaustavasta.

5.3.3 Geokemialliset ominaisuudet

Taulukossa 5-8 on esitetty Punasuon sivukivien kairasydännäytteiden kuningasvesiliukoiset pitoisuudet sekä vuoden 2015 näytteiden kokonaispitoisuudet (ISO 11885, ICP-AES). Vuoden 2015 kokonaispitoisuuksien uuttomenetelmä ei ole tiedossa. Taulukossa on esitetty myös PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) mukaiset kynnysarvot sekä alemmat ja ylemmät ohjearvot. Neli happouutto on kuningasvesiuuttoa voimakkaampi uuttomenetelmä, joka hajottaa myös silikaattimineraaleja ja siten kuvaa koko kiven alkuainejakaumaa kuningasvesiuuttoa paremmin. PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) kynnys- ja ohjearvoja verrataan kuningasvesiliukoisiin pitoisuuksiin.

Taulukko 5-8. Punasuon sivukiven kairasydännäytteiden kuningasvesiliukoiset pitoisuudet verrattuna PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) kynnys- ja ohjearvoihin. Taulukossa on lisäksi esitetty vuonna 2023 määritetyt sivukivinäytteiden neli happouuton tulokset (Geochemic Ltd 2024a) sekä vuonna 2015 määritetyt kokonaispitoisuudet (Ramboll Finland Oy 2015, SGS 2015). MS = kiilleliuske (*mica schist*), BS = mustaliuske (*black schist*), ITM = epäpuhdas talkkimagnesiitti, SPB = serpentiniittibreksia ja TM = talkkimagnesiitti

Tunnus	Metallit										
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	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	mg/kg
Taustapitoisuus	-	-	7	27	22	-	18	-	-	29	28
Kynnysarvo	5	1	20	100	100	0,5	50	60	2	100	200
Alempi ohjearvo	50	10	100	200	150	2	100	200	10	150	250
Ylempi ohjearvo	100	20	250	300	200	5	150	750	50	250	400
Kuningasvesiuuttotulokset											
TM (n=314)											
ka.	280	0,58	77	710	19	-	1600	3,6	8,4	14	51
med.	230	0,5	77	580	7,1	-	1600	2,5	10	9,6	16

Tunnus	Metallit										
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	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	mg/kg
Taustapitoisuus	-	-	7	27	22	-	18	-	-	29	28
Kynnysarvo	5	1	20	100	100	0,5	50	60	2	100	200
Alempi ohjearvo	50	10	100	200	150	2	100	200	10	150	250
Ylempi ohjearvo	100	20	250	300	200	5	150	750	50	250	400
min.	2	0,01	30	94	0,5	-	470	0,25	0,66	1	8,6
maks.	1000	41	170	1700	550	-	2600	71	25	270	4700
BS (n=60)											
ka.	40	16	62	210	450	-	880	45	10	360	2200
med.	12	13	35	130	370	-	520	34	10	370	1600
min.	2,5	0,55	9,1	44	41	-	120	2,5	0,66	110	140
maks.	260	62	270	2200	2800	-	3100	180	81	700	7500
MS (n=48)											
ka.	28	0,65	21	100	61	-	86	15	1,7	130	170
med.	16	0,11	18	99	43	-	57	15	0,25	110	89
min.	0,5	0,05	13	67	23	-	43	2,5	0,025	73	67
maks.	160	14	86	260	670	-	1000	55	10	440	2900
SPB (n=10)											
ka.	150	0,026	87	1500	5,5	-	1900	1,3	3,3	24	44
med.	180	0,02	88	1500	5,2	-	1900	1,3	3	25	39
min.	2,3	0,01	74	1000	2,5	-	1600	0,5	0,67	15	25
maks.	360	0,07	100	2100	11	-	2200	2,9	7,6	31	74
Vuoden 2015 kokonaispitoisuudet*											
2015 MS	17	<0,4	17	72	27	<0,2	37	<10	<10	66	55
2015 BS	140	9	24	75	220	<0,3	290	19	<10	390	770
2015 ITM	250	5	45	710	<10	<0,4	880	<10	<10	<10	13
2015 SPB	5	<0,4	47	930	<10	<0,5	930	<10	<10	11	13

*Vuoden 2015 kokonaispitoisuuksien uuttomenetelmä ei ole tiedossa. Oletus on, että uuttomenetelmänä on ollut kuningasvesiuutto.

Sivukiven kairasydännäytteissä talkkimagnesiitissa (n=314 kpl) arseenin, kromin ja nikkelin mediaanipitoisuus ylittää PIMA-asetuksen ylemmän ohjearvon. Alempi ohjearvo ylittyy antimonin osalta ja kynnysarvo koboltin osalta. Mustaliuskeessa (n=60 kpl) mediaanipitoisuudet ylittävät ylemmän ohjearvon kuparin, nikkelin, vanadiinin ja sinkin osalta sekä alemman ohjearvon kadmiumin ja antimonin osalta. Kynnysarvo ylittyy arseenin, koboltin ja kromin osalta. Kiilleliuskeessa (n=48 kpl) pitoisuudet ovat huomattavasti pienempiä. Ohjearvojen ylityksiä ei ole ja kynnysarvo ylittyy vain vähän arseenin, nikkelin ja vanadiinin osalta. Serpentiinibrekssiassa (n=10 kpl) mediaanipitoisuudet ylittävät ylemmän ohjearvon arseenin, kromin ja nikkelin osalta. Kynnysarvo ylittyy koboltin ja antimonin osalta.

Vuoden 2015 näytteiden kokonaispitoisuuksien uuttomenetelmästä ei ole tietoa, mutta kokonaispitoisuuksia on v. 2015 jätehuoltosuunnitelmassa verrattu PIMA-asetuksen kynnys- ja ohjearvoihin. Punasuon louhoksen kiilleliuskeessa (MS) haitta-aineiden pitoisuudet olivat alhaisia, ainoastaan arseenin pitoisuus (17 mg/kg) ylitti tutkitussa näytteessä PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) arseenin kynnysarvon (5 mg/kg). Mustaliuskeessa (BS) arseenin, kuparin, nikkelin, vanadiinin ja sinkin pitoisuudet ylittivät tutkitussa näytteessä ylemmät ohjearvot sekä kadmiumin ja koboltin pitoisuudet ylittivät kynnysarvot. Epäpuhtaassa talkkimalmassa arseenin, kromin ja nikkelin pitoisuudet ylittivät ylemmät ohjearvot ja kadmiumin sekä koboltin pitoisuudet kynnysarvot. Serpentiiniitibreksiassa kromin ja nikkelin pitoisuudet ylittivät ylemmät ohjearvot sekä arseenin ja koboltin pitoisuudet ylittivät kynnysarvot. Kaikissa Punasuon louhoksen tutkituissa näytteissä antimonin pitoisuudet olivat alle määritysmenetelmän määritysrajan 10 mg/kg. Antimonin kynnysarvo on 2 mg/kg. (Ramboll Finland Oy 2015) Määritysrajan ollessa suurempi kuin kynnysarvon, ei voida luotettavasti todeta onko antimonipitoisuus yli tai alle kynnysarvon.

Vuoden 2023 näytteistä määritettiin metalli- ja metalloidipitoisuudet nelihappouutolla (Taulukko 5-9). Tämän takia pitoisuudet ovat suurempia verrattuna kuningasvesiuuton tuloksiin.

Taulukko 5-9. Vuoden 2023 sivukivinäytteiden nelihappouuton tulokset (Geochemic Ltd 2023). MS = kiilleliuske (mica schist), BS = mustaliuske (black schist) ja TM = talkkimagnesiitti

Tunnus	Metallit										
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	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	mg/kg
2023 MS 1	25	0,05	18	120	43	0,01	68	15	0,1	170	89
2023 MS 2	6	0,6	17	110	59	0,02	66	14	0,9	130	120
2023 BS 1	13	12	17	110	290	0,09	390	33	3,8	510	1600
2023 BS 2	31	44	210	150	570	0,51	3400	100	13	610	9000
2023 TM 1	770	0,04	92	2200	26	0,008	1900	1	2,5	35	88
2023 TM 2	55	0,1	140	2000	130	0,04	2500	7	0,4	19	85

Alkuaineiden pitoisuudet vaihtelevat luontaisesti saman kivilajin sisällä. Esimerkiksi kiilleliuskenäytteissä (MS 1 ja MS 2) arseenin pitoisuusero on noin viisinkertainen ja kadmiumin noin kymmenkertainen. Muiden alkuaineiden osalta kiilleliuskenäytteiden välinen pitoisuusero on tätä vähäisempi. Mustaliuskeessa vaihtelu vaikuttaa näiden tulosten perusteella suuremmalta kuin kiilleliuskeessa. Esimerkiksi kahden mustaliuskenäytteen (BS 1 ja BS 2) nikkeli-pitoisuuden vaihteluväli on 390–3400 mg/kg.

Vuoden 2024 selvityksessä (Petrolab 2024) nikkelin todettiin esiintyvän sulfidimineraaleja sisältävissä näytteissä lähes yksinomaan pentlandiitissa. Näytteissä, joissa pentlandiittia oli vain vähän, nikkeli esiintyy enimmäkseen kloriitissa (silikaattimineraali) ja vähäisemmässä määrin pyrrotiitissa ja pentlandiitissa. Kupari esiintyy kaikissa Punasuon



sivukivinäytteissä ensisijaisesti kalkopyriitissa eli kuparikiisussa, arseeni esiintyy suurimmassa osassa näytteistä lähes kokonaan pyrrotiitissa. Muutamassa näytteessä arseeni esiintyy vain pentlandiitissa. Pyrrotiitti, pentlandiitti ja kalkopyriitti ovat sulfidimineraaleja eli ns. kiisumineraaleja.

Edellä esitetyn selvityksen havainnot ovat samansuuntaisia vuonna 2005 tehdyn selvityksen havaintojen kanssa. Tuolloin todettiin, että nikkeli esiintyy sivukivissä pääasiassa nikkelipitoisissa sulfideissa (happoliukoinen) ja vähäisessä määrin magnesiumsilikaateissa (talkki). Nikkeli voi vapautua esim. rautasulfidien hapettuessa ilman hapen ja veden myötävaikutuksesta. Arseeni esiintyy epäpuhtaan vuolukiven sulfidimineraaleissa, joista se voi vapautua em. rautasulfidihapettumisen seurauksena. Kromi esiintyy oksidimineraaleissa ja magnesiumsilikaateissa. Kromioksidit ovat niukkaliukoisia happamissa oloissa. Silikaateista kromi ja nikkeli voivat vapautua vain hyvin happamissa oloissa (pH <2) silikaattien kiderakenteen hajotessa. (GTK 2005, Ramboll Finland Oy 2015)

Sivukiven hapontuottopotentiaali

Sivukivien hapontuotto-ominaisuuksia on tutkittu vuosina 2015 ja 2023 otetuista näytteistä. Tulokset on esitetty taulukossa Taulukko 5-10. Mustaliuske (BS) on kivilajeista ainoa, joka kaikkien näytteiden perusteella on mahdollisesti happoa tuottavaa. Kiilleliuskeen v. 2015 näyte ja toinen v. 2023 näytteistä (MS1) ovat ei-happoa tuottavia alhaisen sulfidisen rikin pitoisuuden takia. Toinen (MS2) vuoden 2023 näytteistä on mahdollisesta happoa tuottava, sillä sulfidisen rikin pitoisuus on 0,5 % ja NPR vain 0,05. Talkkimagnesiittinäytteistä kaksi on ei-happoa muodostavia ja kaksi mahdollisesti happoa muodostavia.

Taulukko 5-10. Sivukivinäytteiden ABA-testin tulokset. Näytteet on otettu vuosina 2015 ja 2023. (Ramboll Finland Oy 2015, Geochemic Ltd 2024a). 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 _{sulf} /S _{kok}	C kok	AP	NP	NPR
	%	%		%	kg CaCO ₃ /t	kg CaCO ₃ /t	
2015 ITM	0,58	0,57	0,98	5,5	18	30	1,7
2015 MS	0,07	0,02	0,3	0,03	0,62	5,7	9,2
2015 BS	0,95	0,81	0,86	0,75	25	8,4	0,33
2015 SPB	0,23	0,20	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	0,08	0,07	13	1,6	0,13
2023 MS 2	2,6	0,47	0,18	0,87	82	3,8	0,05
2023 BS 1	6,9	1,5	0,22	6,8	220	14	0,07
2023 BS 2	13	3,9	0,29	9,3	410	9,5	0,02

Punasuon vuoden 2023 sivukivinäytteiden hapontuotto-ominaisuuksia on tutkittu lisäksi NAG-testillä (Taulukko 5-11). NAG-testissä talkkimagnesiittinäytteiden pH pysyi neutraalina näytteen kuumennuksen jälkeen (pH 7,7–7,8). Tämä tarkoittaa, ettei näytteillä ole NAG-testin tulosten perusteella haponmuodostuspotentiaalia. Kumpikin mustaliuskenäyte ja yksi kiilleliuskenäyte ovat NAG-testin perusteella mahdollisesti happoa muodostavia. Näiden näytteiden pH oli ennen ja jälkeen kuumennuksen hapan (pH 2,3–3,0) ja pH:n nosto vaati merkittävän lisäyksen natriumhydroksidia. Myös toinen kiilleliuskenäytteistä on mahdollisesti happoa tuottava, joskin NAG-testin perusteella hapontuottopotentiaali on alhainen.

Taulukko 5-11. Punasuon sivukivinäytteiden NAG-testin tulokset. Näytteet ovat vuodelta 2023. Taulukossa käytetyt lyhenteet ovat: ITM = epäpuhdas talkkimagnesiitti, TM = talkkimagnesiitti, MS = kiilleliuske ja BS = mustaliuske.

Näyte	pH ennen kuumennusta	pH kuumennuksen jälkeen	pH 4,5 NAG	pH 7,0 NAG	NAG (kok)
			kg H ₂ SO ₄ eq/t		
ITM	7,8	8,8	0	0	0
TM 1	8,0	8,8	0	0	0
TM 2	7,8	7,7	0	0	0
MS 1	4,4	4,9	0	1,9	1,9
MS 2	2,5	2,3	36,0	17,4	53,4
BS 1	2,7	2,8	33,3	61,9	95,3
BS 2	2,9	3,0	11,5	137	148,8

Kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013) liitteen 1 kohdan 2. b) mukaan kaivannaisjäte luokitellaan pysyväksi jätteeksi, mikäli kaivannaisjätteen sulfidisen rikin pitoisuus on enintään 0,1 % tai sulfidisen rikin pitoisuus on välillä 0,1–1 % ja neutralointipotentiaalisuhde (NPR) on suurempi kuin kolme. Vuoden 2015 näytetuloksen perusteella serpentiniittibreksia voidaan hapontuotto-ominaisuuksiltaan luokitella pysyväksi kaivannaisjätteeksi (Taulukko 5-10). Vuosien 2015 ja 2023 näytetulosten perusteella muut sivukivilajit mustaliuske, kiilleliuske, puhdas ja epäpuhdas talkkimagnesiitti luokitellaan hapontuotto-ominaisuuksiltaan ei-pysyväksi kaivannaisjätteeksi.

Lisäksi kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013) liitteen 1 kohdan 2. d) mukaan kaivannaisjäte luokitellaan pysyväksi jätteeksi, mikäli kaivannaisjätteen haitallisten aineiden pitoisuudet eivät ylitä PIMA-asetuksen (214/2007) kynnysarvoja tai maaperän taustapitoisuuksia. Haitta-aineiden pitoisuuksien osalta kaikki Punasuon sivukivet luokitellaan ei-pysyväksi kaivannaisjätteeksi.

5.3.4 Arvio pitkäaikaiskäyttäytymisestä ja liukoisuusominaisuudet

5.3.4.1 NAG-testin loppuliuos ja kosteuskammiokokeet

Punasuon sivukivinäytteiden pitkäaikaiskäyttäytymistä on tutkittu vuoden 2023 näytteistä NAG-testin loppuliuoksen ja kosteuskammiokokeiden tulosten avulla. NAG-testin menetelmäkuvaus on esitetty luvussa 5.1.2 ja kosteuskammiokokeiden luvussa 5.1.6.

NAG-testin loppuliuos

Sivukivinäytteiden NAG-testin loppuliuoksen pitoisuudet on esitetty taulukossa 5-12. Mustaliuskenäytteiden, toisen talkkimagnesiittinäytteen (TM 2) ja toisen kiilleliuskenäytteen (MS 2) NAG-uuton loppuliouksessa on merkittävästi rikkiä, mikä viittaa

sulfidimineraalien läsnäoloon. Tulokset vertautuvat hyvin näytteistä tutkittuun mineralogiaan (Taulukko 5-6). Mustaliuskenäytteistä vapautuu happamissa olosuhteissa keskimäärin muita näytteitä enemmän mm. alumiinia, kadmiumia, kobolttia, kromia, rautaa, lyijyä, mangaania, uraania ja sinkkiä. Myös toisesta kiilleliuskenäytteestä (MS 2) mobilisoituu merkittävässä määrin em. alkuaineita. Arseenia ja antimonia mobilisoituu epäpuhtaasta talkkimagnesiittinäytteestä ja toisesta talkkimagnesiittinäytteestä (TM 1). Yleisesti tarkastellen epäpuhtaassa ja puhtaissa talkkimagnesiittinäytteissä haitta-aineiden mobilisoituminen on huomattavasti muita näytteitä maltillisempaa. Poikkeuksena on rikin mobilisoituminen talkkimagnesiittinäytteessä (TM 2).

Taulukko 5-12. Punasuon vuoden 2023 sivukivinäytteiden NAG-testin loppuliuksen pitoisuudet (mg/kg). Taulukossa käytetyt lyhenteet ovat ITM = epäpuhdas talkkimagnesiitti, TM = talkkimagnesiitti, MS = kiilleliuske ja BS = mustaliuske.

	ITM	TM 1	TM 2	MS 1	MS 2	BS 1	BS 2
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Al	0,2	0,1	0,1	43,9	1830,0	6570,0	525,0
Sb	1,14	0,629	0,01	0,01	0,02	0,05	0,2
As	26,8	12,1	0,01	0,013	0,136	0,182	0,2
Ba	0,173	0,232	0,613	20,5	19	16,6	11
Be	0,002	0,002	0,002	0,002	0,0843	0,193	0,1
Bi	0,005	0,005	0,005	0,005	0,01	0,025	0,1
B	22,8	48,2	31,7	15,2	42,1	57,9	46,7
Cd	0,0005	0,0005	0,0005	0,0302	0,581	10,3	39
Ca	398	2770	15700	479	982	5430	1920
Cs	0,0044	0,0092	0,0127	0,0142	0,0311	0,0244	0,0439
Cr	7,82	9,41	0,139	0,769	1,81	0,69	1
Co	0,01	0,01	0,691	3,03	15,7	9,6	55,9
Cu	0,172	0,122	0,21	0,92	49,4	150	79,4
Fe	1	1	1	1	5310	23500	71200
Pb	0,0634	0,041	0,0531	0,0572	3,21	8,04	22,6
Li	0,1	0,1	0,1	1,18	1,63	0,98	2
Mg	2560	1770	10600	1130	1300	1830	3140
Mn	0,113	0,073	1,27	32,9	77	64,1	115
Mo	0,0788	0,0233	0,118	0,243	0,01	0,0363	0,1
Ni	0,191	0,199	28,6	24,7	61,6	340	2880
P	5	5	5	5	10	25	100
K	52,6	71,2	60,8	1800	1980	1090	2890
Rb	0,102	0,064	0,152	4,15	7,39	4,02	9,48
Se	0,227	0,612	5,46	0,226	2,85	10,8	15,6
Si	803	558	269	1380	2410	8810	1960
Ag	0,001	0,001	0,0107	0,0023	0,0782	0,0069	0,02
Na	22	44,1	36,2	196	445	476	100
Sr	0,342	1,82	18,4	1,78	3,09	17,9	3,44

	ITM	TM 1	TM 2	MS 1	MS 2	BS 1	BS 2
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
S	3000	3880	28900	2850	18800	37500	58600
Te	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,1	0,4
Tl	0,001	0,0026	0,0526	0,0088	0,183	0,147	0,389
Th	0,01	0,01	0,01	0,01	0,949	0,391	0,2
Sn	0,01	0,01	0,01	0,015	0,02	0,05	0,2
Ti	0,03	0,03	0,03	0,094	1,34	0,372	0,6
W	0,019	0,014	0,01	0,031	0,02	0,05	0,2
U	0,001	0,001	0,001	0,0066	1,05	8,01	19,7
V	0,216	0,258	0,05	3,59	0,211	0,54	1
Zn	0,72	0,41	0,59	5,81	114	1310	7480
Zr	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,1	0,4

Kosteuskammiokokeet

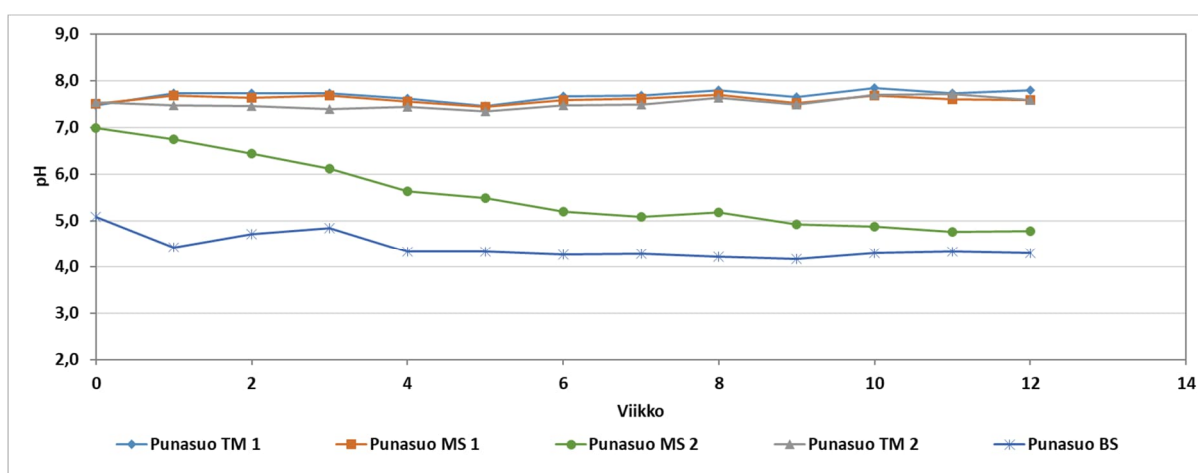
Sivukivinäytteiden kosteuskammiokokeet on aloitettu kesällä 2024. Näytevalinta perustui kairasydänaineiston tilastolliseen tarkasteluun. Näytteet valittiin siten, että analyysituloksia voidaan luotettavasti käyttää edustamaan kutakin kivilajia. Kosteuskammiokokeissa mustaliusketta edustaa vain yksi näyte, sillä mustaliuskenäytteet vastasivat laadultaan toisiaan. Kiilleliuske- ja talkkimagnesiittinäytteissä havaittiin kivilajien sisäistä koostumusvaihtelua, ja niistä valittiin kaksi erillistä näytettä per kivilaji. Tulosten tulkinnassa on huomioitavaa, että näytteet ovat peräisin vanhoista kairasydännäytteistä, ja näin ollen ne ovat valmiiksi jossain määrin hapettuneita.

Tämän sulkemissuunnitelman päivityksen aikaan kosteuskammiokokeiden tuloksia oli käytettävissä ensimmäisen 12 viikon ajalta. Kuvissa 5-3...5-6 on esitetty tulokset pH:n kehityksen, jäljellä olevan nettoalkaliniteetin sekä sulfaatin ja nikkelin vapautumisen osalta. Mustaliuskeen ja toisen kiilleliuskenäytteen (MS 2) viikkoliuoksen pH alenee heti ensimmäisten viikkojen aikana, joskin mustaliuskeen viikkoliuoksen pH on jo alkuun matala. Muiden näytteiden pH pysyttelee neutraalina koko alkujakson ajan (Kuva 5-3). Mustaliuskeessa nettoalkaliniteetti on viikolla 12 hyvin alhainen (-1 600 mg/l CaCO₃). Myös toinen kiilleliuskenäyte (MS 2) ja talkkimagnesiittinäyte (TM 2) ovat viikolla 12 nettohappaman puolella (Kuva 5-4). Negatiivinen nettoalkaliniteetti tarkoittaa, ettei näytteessä ole happamoitumista puskuroivia aineita jäljellä.

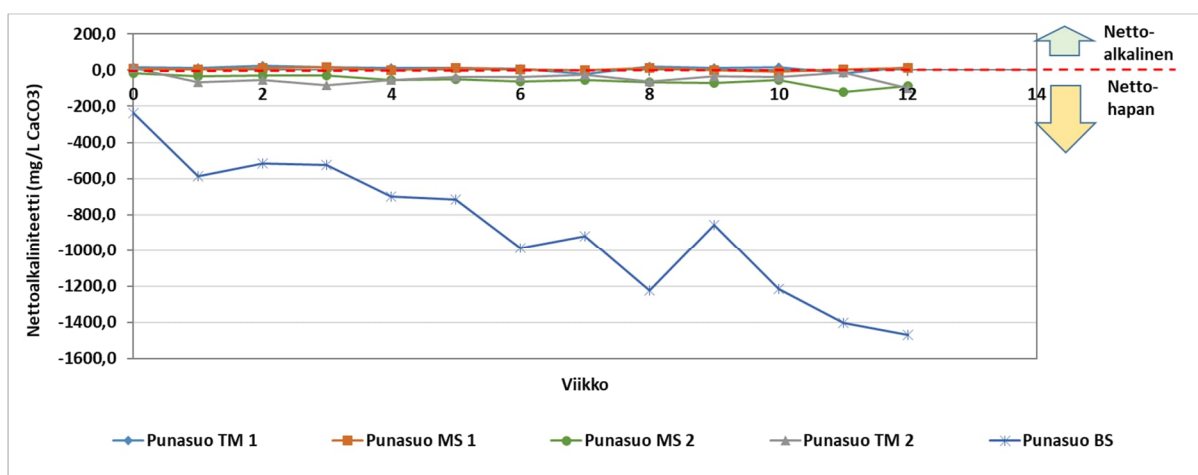
Sulfaatin muodostuminen sivukivinäytteissä 12 viikon jaksolla on ollut mustaliuskenäytettä lukuun ottamatta maltillista (Kuva 5-5). Talkkimagnesiitista (TM 2) vapautui sulfaattia alkuhuuhtelussa, mikä on todennäköisesti seurausta kokeita edeltävästä hapettumisesta. Toistaiseksi vain mustaliuskeessa on havaittavissa sulfidimineraalien hapettumista. Mineralogian perusteella (kpl 5.3.2) sulfidimineraaleja esiintyy kuitenkin myös muissa sivukivissä.

Nikkeliä vapautuu erityisesti mustaliuskeesta (Kuva 5-6), minkä lisäksi liukeneminen on suhteellisen suurta myös toisesta talkkimagnesiittinäytteestä (TM 2) ja toisesta kiilleliuskenäytteestä (MS 2). Kokeen 12. viikolla mustaliuskeen loppuliuosken nikkelpitoisuus on 25 mg/l. Vastaavasti talkkimagnesiitin loppuliuosken nikkelpitoisuus on 0,45 mg/l ja kiilleliuskeen 0,073 mg/l.

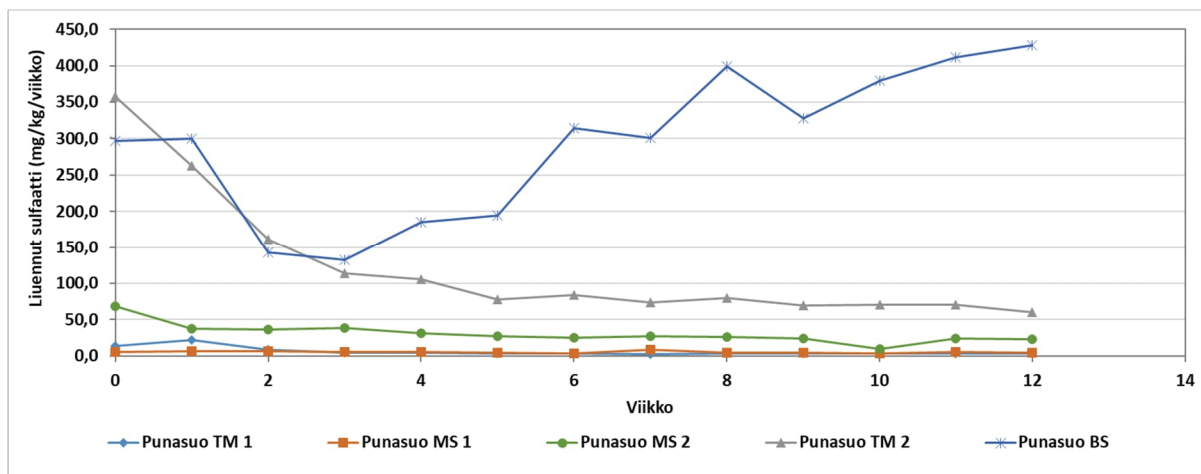
Kosteuskammiokokeiden tulokset on esitetty kokonaisuudessaan jätehuoltosuunnitelman liitteessä 1.



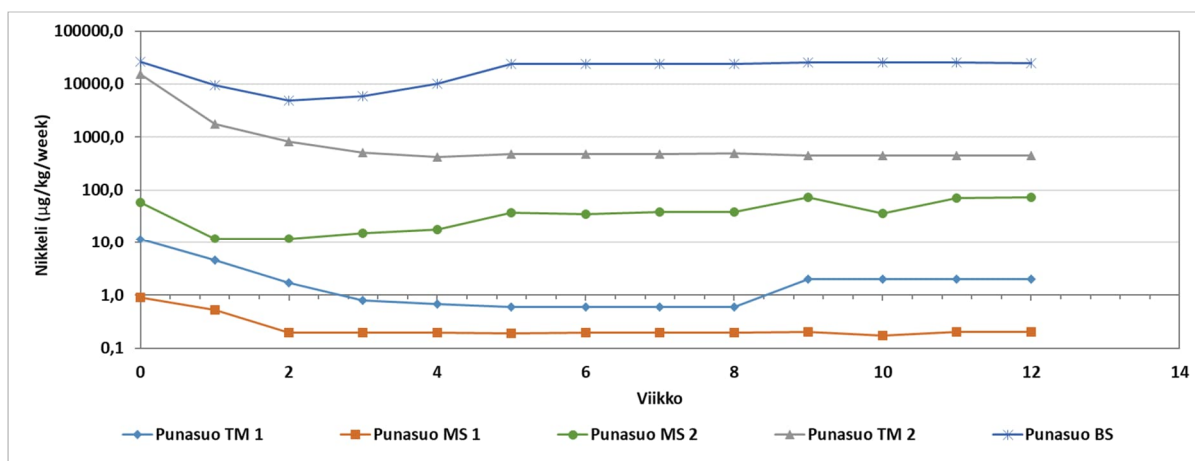
Kuva 5-3. Kosteuskammiokokeen tulokset pH-kehityksen osalta. Mustaliuskeen viikkoliuosken pH on lähtötilanteessa jo alhainen. Kiilleliuskenäytteen (TM 1) pH laskee tutkimusviikkojen aikana. Muiden sivukivinäytteiden pH pysyttelee 7–8 välillä 12 viikon tutkimusjaksolla. Kuvaajassa käytetyt Punasuon sivukivinäytteiden lyhenteet ovat TM = talkkimagnesiitti, MS = kiilleliuske ja BS = mustaliuske.



Kuva 5-4. Kosteuskammiokokeen tulokset jäljellä olevan nettoalkaliteetin osalta. Kuvaajassa käytetyt Punasuon sivukivinäytteiden lyhenteet ovat TM = talkkimagnesiitti, MS = kiilleliuske ja BS = mustaliuske.



Kuva 5-5. Kosteuskammiokokeen viikkoliuoksen sulfaattipitoisuuden kehitys. Kuvaajassa käytetyt Punasuon sivukivinäytteiden lyhenteet ovat TM = talkkimagnesiitti, MS = kiilleliuske ja BS = mustaliuske



Kuva 5-6. Kosteuskammiokokeen viikkoliuoksen nikkelpitoisuuden kehitys (Huom. logaritminen asteikko). Kuvaajassa käytetyt Punasuon sivukivinäytteiden lyhenteet ovat TM = talkkimagnesiitti, MS = kiilleliuske ja BS = mustaliuske

5.3.4.2 Ravistelutesti

Punasuon sivukivien liukoisuusominaisuuksia on tutkittu vuoden 2015 näytteistä. Taulukossa 5-13 on esitetty vuoden 2015 kokoomanäytteiden 2-vaiheisen ravistelutestin tulokset. Taulukossa on esitetty myös ns. kaatopaikka-asetuksen (VNA 331/2013) mukaiset pysyvän jätteen, vaarattoman jätteen sekä vaarallisen jätteen kaatopaikkakelpoisuuskriteerit.

On huomioitavaa, että ravistelutesti ei ole kaivannaisjäteasetuksen velvoittama kaivannaisjätteen tutkimusmenetelmä, eikä kaatopaikka-asetuksen mukaisia raja-arvoja sovelleta kaivannaisjätteisiin. Ravistelutestillä voidaan arvioida, mitä aineita suotovesissä

voisi esiintyä lyhyellä aikavälillä, mutta kvantitatiivisessa kaivannaisjätteitä koskevan vedenlaadun arvioinnissa ravistelutestiä ei käytetä.

Taulukko 5-13. Sivukivinäytteiden 2015 liukoiset pitoisuudet (liukoisuusominaisuudet suhteessa L/S 10) verrattuna kaatopaikka-asetuksen mukaisiin raja-arvoihin (Ramboll Finland Oy 2015). Kaatopaikka-asetuksen mukaisia raja-arvoja ei sovelleta kaivannaisjätteille.

	Näytteet				VNA 1030/2021 mukaiset kaatopaikkakelpoisuus- raja-arvot, L/S 10		
	Punasuo-MS (kiilleliuske)	Punasuo-BS (mustaliuske)	Punasuo-ITM (epäpuhdas talkkimalmi)	Punasuo-SPB (serpentiini- breksia)	Pysyvä	Vaaraton	Vaarallinen
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg			
As	<0,2	<0,2	2,5	<0,2	0,5	2	25
Ba	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	20	100	300
Cd	<0,01	0,08	<0,01	<0,01	0,04	1	5
Cr	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,5	10	70
Cu	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2	50	100
Hg	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,01	0,2	2
Mo	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,5	10	30
Ni	<0,1	8,6	<0,1	<0,1	0,4	10	40
Pb	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,5	10	50
Sb	<0,01	<0,01	0,09	0,06	0,06	0,7	5
Se	<0,01	0,07	<0,01	<0,01	0,1	0,5	7
Zn	<0,1	9,3	<0,1	<0,1	4	50	200
V	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-
Cl ⁻	<10	<10	<10	<10	800	15 000	25 000
F ⁻	<5	<5	<5	<5	10	150	500
SO ₄ ²⁻	27	490	150	<20	1000	20 000	50 000
DOC	7	9	13	13	500	800	1 000
TDS	440	1300	690	690	4000	60 000	100 000

Punasuon louhoksen sivukivistä vuonna 2015 otetuissa kokoomanäytteissä haitta-aineiden liukoisuudet 2-vaiheisessa ravistelutestissä olivat pääosin alhaisia. Kiilleliuskeessa testissä lienneet pitoisuudet jäivät alle pysyvän jätteen kaatopaikalle sijoitettavan jätteen kaatopaikkakelpoisuuden raja-arvot kaikkien määritettyjen muuttujien osalta. Mustaliuskeessa kadmiumin, nikkelin ja sinkin pitoisuudet ylittivät pysyvän jätteen kaatopaikkakelpoisuuden raja-arvot, mutta alittivat vaarattoman jätteen kaatopaikan raja-arvot. Tulokset ovat yhteneväisiä NAG-testin ja kosteuskammiotestissä saatujen tulosten kanssa eli nämä alkuaineet ovat helpommin vapautuvia tutkituissa näytteissä. Epäpuhtaassa talkkimalmissa arseenin pitoisuus ylitti vaarattoman jätteen kaatopaikkakelpoisuudelle asetetun raja-arvon ja antimonin liukoisuus pysyvän jätteen kaatopaikkakelpoisuusraja-arvon. Serpentiinibrekssiassa antimonin pitoisuus oli pysyvän jätteen kaatopaikkakelpoisuusraja-arvon tasolla. (Ramboll Finland Oy 2015).



Vuonna 2001 tutkittiin CEN-ravistelutestillä (prEN 12457-3) Lahnaslammen talkkiesiintymän mustaliuske- ja kiilleliuskemurskenäytteistä liukoisuusominaisuuksia. Testiolosuhteissa kivistä liukeni hyvin pieniä raskasmetallien pitoisuuksia, vaikka kivien metallikoostumuksessa oli huomattavan suuria eroja. Läjitysoloissa metallien liukenevuutta säätelee ensisijaisesti rautasulfidien hapettuminen ja sitä seuraava vajoveden happamoituminen, mikä edesauttaa raskasmetallien liukenemista muista metallisulfideista ja silikaateista. Pitkän ajan rapautumisilmiötä ei voida simuloida ravistelu- tai kolonnitesteissä. (GTK 2005, Ramboll Finland Oy 2015).

5.3.5 Radiologiset ominaisuudet

Säteilyasetuksen (1512/1991) 29 §:n mukaan säteilyturvakeskukselle tulee ennen toiminnan aloittamista tehdä ilmoitus sellaisten luonnonvarojen laajamittaisesta hyödyntämisestä, joiden uraani- tai toriumpitoisuus on suurempi kuin 0,1 kilogrammaa tonnissa (100 mg/kg), lukuun ottamatta ydinenergialain (990/87) nojalla valvottavaa toimintaa. Punasuon kaivoksen sivukivinäytteiden pitoisuudet alittavat mainitun raja-arvon.

Punasuon sivukiville on tehty U- ja Th-aktiivisuuspitoisuuksien tarkastelu STUK:in ohjeistuksen (STUK 2021) mukaisesti. Aktiivisuuspitoisuudet määritettiin laskennallisesti nelihappouuttotuloksista. Nelihiippouuton uraani ja toriumpitoisuudet on määritetty ICP-MS-tekniikalla. U-238 aktiivisuuspitoisuus laskettiin $12.4 \times$ pitoisuus (mg/kg) ja Th-232 laskettiin $4.1 \times$ pitoisuus (mg/kg). Vapautusraja on 1000 Bq/kg kunkin radionuklidin osalta eli mikään aktiivisuuspitoisuus erikseen ei saa ylittää tuota raja-arvoa. Punasuon sivukiviä oli testauksessa yhteensä seitsemän. Näytteiden U-238 aktiivisuuspitoisuus vaihteli välillä $<0,6\text{--}267$ Bq/kg ja Th-232 välillä $<0,2\text{--}36$ Bq/kg. Minkään radionuklidin aktiivisuuspitoisuus ei siis ylittänyt vapautusrajaa 1000 Bq/kg. Yhtiö on laatinut säteilylain 146 § mukaisen selvityksen Sotkamo kaivoksen ja tehdasalueen osalta 17.12.2024 ja täydentänyt sitä 14.1.2025 ja 27.3.2025. Säteilyturvallisuuskeskus STUK antoi ilmoituksen 3.4.2025 että toimitettu selvitys on riittävä säteilylain 146 §:n mukaiseksi selvitykseksi.

5.3.6 Kuitumineraalit

Punasuon sivukivien mineralogisten analyysien perusteella talkkiryhmän mineraaleissa on pieniä määriä mm. tremoliittia (Petrolab 2024). Sivukivien kuitumineraalien esiintymistä on lisäksi selvitetty kairanäytteiden raportoinnin yhteydessä sekä kaivoksen geologisten kartoitusten yhteydessä. Tutkimusten yhteydessä Punasuon louhoksesta on paikannettu kuitumineraaleja sisältävät alueet. Malmin louhinnan yhteydessä jokaisen malmikentän porasoihasta tutkitaan kuitumineraalit.

Työntekijöiden altistumista ilman epäpuhtauksille selvitetään säännöllisesti sekä kaivoksella että rikastamolla. Viimeisin työhygieeninen selvitys tehtiin vuonna 2024 (Työterveyslaitos 2024).

5.3.7 Sivukiven vaaraominaisuuksien arvioinnin tarve

Kaivannaisjätteiden jäteluokittelussa ei louhinnassa syntyvälle jätteelle, ts. sivukiville, ole omaa luokkaa vaaralliselle jätteelle, vaan louhinnassa syntyvät kaivannaisjätteet luokitellaan jäteluettelon mukaisesti metallimineraalien tai muiden mineraalien louhinnassa syntyväksi jätteeksi (Jäteasetus 978/2021, liite 3). Valtioneuvoston asetuksen kaivannaisjätteistä (VNA 190/2013) perusteella jätteet luokitellaan joko pysyviksi tai ei-pysyviksi asetuksen liitteen 1 perusteella. Mineraloginen analyysi ei sinänsä kuitenkaan erittele mineraalien esiintymistä asbestimuotoisena.

Jos jäteluettelon mukaisesta luokituksesta halutaan poiketa, on se mahdollista (jätelaki 646/2011 ja YM 2019). Luokittelusta poikkeaminen tulee kyseeseen vain silloin, kun jätteellä ei ole jäteluettelossa rinnakkaisnimikettä. Tällaisessa tapauksessa jäteluettelon vaaraton jäte voidaan poikkeusmenettelyllä luokitella vaaralliseksi, jos sillä on jokin vaaraominaisuus.

Päätöksen luokittelusta poikkeamisesta voi yksittäistapauksessa jätelain (646/2011) 7 §:n mukaan tehdä ympäristölupaviranomainen (aluehallintovirasto). Jäsenmaiden on ilmoitettava EU:n komissiolle kaikki yleiset ja yksittäistapauksessa tehdyt kansalliset poikkeukset EU:n jäteluokitukseen. Aluehallintoviraston (AVI) on toimitettava kopiot kaikista tekemistään 7 §:n mukaan tehdyistä poikkeuspäätöksistä Suomen ympäristökeskukselle (SYKE), joka kokoaa puolen vuoden välein yhteenvedon Suomessa tehdyistä luokituspoikkeuksista ympäristöministeriölle. Komission tarkastelee tehtyjen ilmoitusten perusteella, tulisiko vastaava muutos tehdä EU:n jäteluetteloon (YM 2019).

Sivukivimateriaalin ominaisuuksia on seuraavassa tarkasteltu ympäristövaarallisen jätteen, vaaraominaisuus HP 14, kriteerien mukaan siten, kun Ympäristöministeriön oppaassa ”Jätteen luokittelu vaaralliseksi jätteeksi – päivitetty opas 02/2019” on esitetty. Oppaan liitteessä 9 on annettu eri metalleille pitoisuusrajat ja yhteenlaskussa alin huomioitava pitoisuus (Cut-off-arvo). Käytetyt raja-arvot ja keskimääräiset pitoisuudet on esitetty taulukoissa 5-14. Oppaan ohjeistuksesta poiketen sivukivien kuiva-ainepitoisuuksina määritettyjä tuloksia ei ole muutettu pitoisuuksiksi tuorepainossa, koska kosteuden määrän läjitetyssä sivukivessä oletetaan olevan merkityksetön tämän tarkastelun kannalta. Tulosten tarkastelu kuiva-ainetta kohti kuitenkin yliarvioi pitoisuudet, sillä näytteen sisältämää vesimäärää ei ole huomioitu.

Varsinainen vaaraominaisuustarkastelu tehdään seuraavasti:

1. Tarkastellaan, ylittävätkö vesiympäristölle vaarallisten tai haitallisten aineiden pitoisuudet kuvassa 5-7 esitettyjä cut-off-arvoja. Jos minkään Aquatic Acute 1 (H400) tai Aquatic Chronic 1 (H410) -luokituksen saavan aineen tai yhdisteen pitoisuus ei ole yli 0,1 %, tai minkään Aquatic Chronic 2 (H411) Aquatic Chronic 3 (H412) tai Aquatic Chronic 4 (H413) -luokituksen saavan aineen tai yhdisteen pitoisuus ei ole yli 1 %, ei jätettä luokitella ympäristölle vaaralliseksi, eikä arviointia tarvitse jatkaa pidemmälle. Joillain metallisuoloilla käytetään 0,1 % sijaan

- erityisesti sille yhdisteelle annettua cut-off -arvoa, jossa metalli-ionien pitoisuus on laskettu pitoisuutena ko. yhdisteenä.
2. Tarkastellaan, ylittääkö jonkin yksittäisen aineen pitoisuus vaarallisen jätteen pitoisuusrajan. Ympäristöministeriön oppaan (YM 2019) taulukkoon 22 on laskettu neuvoston asetuksen yhteenlaskukaavojen perusteella vastaava yhden aineen pitoisuusraja kullekin CLP-asetuksen mukaiselle luokitukselle. Jos jäte sisältää vain yhtä vesiympäristölle vaaralliseksi luokiteltua ainetta, jäte luokiteltaisiin vaaralliseksi, jos aineen pitoisuus jätteessä on vähintään yhtä suuri kuin taulukon 22 pitoisuusraja. Silloin, kun jäte luokitellaan ympäristölle vaaralliseksi jo yhden aineen pitoisuuden perusteella, ei arviointia tarvitse jatkaa pidemmälle.
 3. Vaarallisen jätteen pitoisuusrajojen lisäksi on huomioitava mahdolliset aineiden yhteisvaikutusten arvioinnissa sovellettavat yhteenlaskusäännöt silloin, kun jäte sisältää useampaa ainetta, jolla on samaan vaaraominaisuuteen vaikuttava vaaraluokitus. Yhteenlaskua voidaan soveltaa jätteen ympäristövaaran (HP 14) arvioinnissa.

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

Välitön myrkyllisyys vesieliöille:

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

Pitkäaikaiset haittavaikutukset vesieliöille:

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

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

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

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

Kuva 5-7. Ympäristövaarallisuuden arvioinnin periaate (YM 2019).

Haitta-aineen esiintymismuoto on merkittävä osa luokittelua. Mikäli saatavilla ei ole tietoa kokonaispitoisuuksien tulkitsemiseksi, luokittelu tehdään varovaisuusperiaatteen mukaan olettaen, että koko haitta-aineen pitoisuus on sitoutuneen vaarallisimmassa mahdollisessa muodossa, vaikka todellisuudessa haitallisinta muotoa olisi läsnä vain vähän. Esimerkiksi, jos metallien esiintymismuotoja ei tiedetä, yksittäisen metallin kokonaispitoisuus käsitellään kyseisen metallin haitallisimpina mahdollisena esiintymismuotona, vaikka

todellisuudessa haitallisinta muotoa olisi läsnä vain vähän. Tästä syystä esimerkiksi nikkeli lasketaan nikkelisulfaattina kaikille sivukivinäytteille, vaikka nikkeli ei esiinny nikkelisulfaattina kaikissa Elementisin sivukivissä.

Elementisin sivukivistä on olemassa mineralogisia tietoja, joita hyväksikäyttäen seuraavassa on selvitetty sivukivien sulfidisen nikkelin maksimiosuutta kokonaisnikkelistä. Mineralogisten tutkimusten (Petrolab 2024) perusteella on voitu arvioida, että epäpuhtaassa talkkimagnesiitissa nikkeli on lähes täysin pentlandiitissa (rautanikkelisulfidi). Kahdessa mustaliuskenäytteessä puolestaan sulfidisen nikkelin osuus on 27 % ja 98 %; ja kahdessa kiilleliuskenäytteessä 0 % ja 65 %. Näytteissä loput nikkelistä esiintyy kloriitissa (silikaattimineraali). Talkkimagnesiittinäytteissä, epäpuhtas talkkimagnesiitti mukaan lukien, sulfidisen nikkelin osuus on 97–100 %.

Pääsääntöisesti sulfidimineraalista vapautuva nikkeli on suotovedessä vapaana nikkelinä ja pidättyy osittain hydroksideihin. Nikkelisulfaattia on liukoissa tilassa eli suotovedessä. Tarpeen niin vaatiessa voidaan geokemiallisesta tasapainomallista tarkastella, paljonko nikkeliä pysyy vedessä ja kuinka paljon saostuu. Tästä tarkastelusta voitaisiin saada tarkempi arvio esiintyvän nikkelisulfaatin osuudesta.

Taulukko 5-14. Punasuon sivukivien ympäristövaarallisuuden arviointi Neuvoston asetuksen (EU) 2017/997 mukaisesti. Kokonaispitoisuudet määritetty kuningasvesiuutolla. ITM = epäpuhtas talkkimagnesiitti, MS = kiilleliuske, BS = mustaliuske, SPB = serpentiiniitibreksia.

Alkuaine	Pitoisuusraja				ITM	MS	BS	SPB
	Aquatic Acute 1, H400	Cut-off	Aquatic Chronic, H410	Cut-off	mg / kg	mg / kg	mg / kg	mg / kg
Sb			25000	10000	<10	<10	<10	<10
As	250000	1000	2500	1000	250	17	140	5
Cd	250000	1000	2500	1000	5	<0,4	9	<0,4
Co (CoO)	200000	790	2000	790				
Co (CoCl ₂)	110000	450	1100	450				
Co (CoSO ₄)	95000	380	9500	380	45	17	24	47
Cr(VI)	250000	1000	2500	1000	710	72	75	930
Hg	250000	1000	2500	1000	<0,4	<0,2	<0,3	<0,5
Cu (CuSO ₄)	100000	400	1000	400	<10	27	220	<10
Cu (CuCl ₂)	120000	470	12000	4700				
Pb	250000	1000	25000	1000	<10	<10	19	<10
Ni (NiSO ₄)	95000	380	950	380	880	37	290	930
Ni (NiS)	150000	600	1500	600				
Zn (ZnCl ₂)	120000	470	1200	470				
Zn (ZnSO ₄)	100000	4000	1000	400	13	55	770	13
V (V ₂ O ₅)			14000	5600	<10	66	390	11

Edellä olevan taulukon mukaisesti nikkelisulfaatin osalta kokonaispitoisuuksiksi muunnetut, laskennalliset cut-off-arvot ylittyvät epäpuhtaassa talkkimagnesiitissa sekä serpentiniittibreksiassa, sekä sinkkisulfaatin osalta mustaliuskeessa. Kummankaan yhdisteen/aineen osalta ei ylitetä yksittäiselle yhdisteelle tai aineelle em. taulukossa annettuja ympäristölle vaarallisen jätteen pitoisuusrajoja (sarakkeet H410 ja H400). Yhteenlaskukaavoja ei ole täten tarpeen soveltaa, sillä muiden metallien pitoisuudet eivät olleet huomioitavalla tasolla (yli cut-off arvon). Sivukivet eivät luokituu ympäristölle vaarallisiksi jätteiksi, koska ympäristölle vaarallisten aineiden ja/tai yhdisteiden pitoisuudet eivät ylity yksittäisten yhdisteiden osalta.

Sivukivien vaaraominaisuuksia tarkasteltaessa on tärkeää ottaa huomioon, että sivukiville ei ole jäteluettelossa annettu vaarallisen jätteen jätenumeroa (jotka luettelossa osoitetaan * merkillä jätenumeron lopussa). Vaihtoehtoja on vain kaksi (01 01 01 "metallimineraalien louhinnassa syntyvät jätteet" ja 01 01 02 "muiden mineraalien louhinnassa syntyvät jätteet". Elementis Sotkamon sivukivet saavat jäteluettelon mukaisen luokituksen 01 01 02. Sivukivien osalta tarkastelua ei voida tehdä samoin kuin useimpien muiden jätteiden osalta, koska kivet ovat luonnonmateriaalia joka on nostettu uuteen ympäristöön. Niiden reagointi ympäristön kanssa on rajoitettua eli ns. reaktiivinen massa on paljon pienempi kuin koko massa. Kivilohkareesta vain pinta ja rakopinnan altistuvat uudelle ympäristölle, tässä tapauksessa ilmalle. Vaaraominaisuuksien arviointi pitäisi kohdistaa vain tähän mahdollisesti reagoivaan massan osuuteen.

5.3.8 Sivukivinäytteiden edustavuus

Sivukivien ominaisuuksia on tutkittu vuosina 2015 ja vuonna 2024. Viimeisimmät näytteet valittiin vuonna 2023 ja analyysitulokset valmistuivat vuonna 2024. Näytteenoton kuvaus on esitetty luvussa 5.3.1.

Vuoden 2015 näytteenotossa kustakin merkittävässä määrin muodostuvasta kivilajista tehtiin kokoomanäyte. Tuolloin samasta kivilajista otettiin useampi näyte eri kohdasta/sijainnista. Näin pystytään huomioimaan kivilajin sisäiset erot eli kivilajin koostumuksen heterogeenisyys.

Vuoden 2023 näytteenotossa huomioitiin vastaavalla tavalla kuin vuonna 2015 näytteenotossa kivilajien sisäinen heterogeenisyys. Näytevalinnassa hyödynnettiin jo olemassa olevaa kairatietoaineistoa ja kivilajien alkuaainepitoisuuksia. Kokoomanäytteen sijaan kivilajista valittiin erilliset näytteet niin, että kivilajin koostumuserot nikkelin ja rikin suhteen huomioitiin. Näin saadaan parempi käsitys siitä, miten sama kivilaji käyttäytyy sen koostumuksen vaihdellessa.

5.4 Poraussoijan ominaisuudet

Alueella tehtävän malminetsinnän yhteydessä muodostuva kairauksen porasoija vastaa kemialliselta laadultaan malmin ja sivukivien laatua. Raekooltaan se on huomattavasti pienempää kuin louhittu malmi tai sivukivi.

Porasoijan määrää eikä ominaisuuksia ei ole erikseen selvitetty.

5.5 Rikastushiekan ominaisuudet

Talkki- ja nikkeliirikastuksen lopputuotteena muodostuu hienojakoista rikastushiekkaa (magnesiittihiekkaa).

Magnesiittihiekkaa muodostuu noin 70 % nostetun malmin määrästä. Nykyisillä malminlouhinnan vuosikapasiteeteilla (noin 350 000–600 000 milj. t/a) vuosina 2018–2023 muodostui yhteensä noin 300 000–460 000 milj. t/a rikastushiekkaa.

Rikastushiekan keskeisten metallien ja rikin kokonaispitoisuus ja liukoisuudet analysoidaan kokoomanäytteistä kahdesti vuodessa. Lisäksi määritetään rikastushiekan hapontuottopotentiaali ja neutralointikapasiteetti.

5.5.1 Fysikaaliset ominaisuudet

Rikastushiekalle on tehty v. 1989 patoturvallisuusselvityksen yhteydessä laboratoriokokeita. Rikastushiekka vastaa kokeiden perusteella rakeisuudeltaan silttiä ja hienoaainespitoisuus vaihtelee läjitysalueella selkeytysolosuhteiden mukaan. Tiiviissä tilassa magnesiittihiekan kitkakulmaksi on saatu kolmiakselikokeella $\phi=36^\circ$ ja tehokkaaksi koheesioksi $c=7.4$ kPa. Keskimääräinen vedenläpäisevyys on n. 1×10^{-6} m/s. Rikastushiekka-altaan korotusten suunnittelussa on käytetty magnesiittihiekalle leikkauskestävyysparametreina vuoden 2003 korotussuunnitelmaa vastaavasti $\phi=30^\circ$ – 33° ($c=0$ kPa), koska rikastushiekka jää läjitystekniikasta ja korotusosan rakentamistavasta johtuen verrattain löyhään tilaan. (Kaivannaisjätteen jätehuoltosuunnitelman liite 4)

Rikastushiekalle on tehty lisäksi laboratoriotutkimuksia vuonna 2020 Mitta Oy:n toimesta. Rikastushiekka on myös tuolloin todettu rakeisuudeltaan silttiseksi hiekaksi. Keskimääräinen vedenläpäisevyys on n. 3×10^{-6} m/s.

5.5.2 Rikastushiekan mineralogia

Rikastushiekan mineralogaa on tutkittu vuonna 2023 otetusta rikastushiekan kokoomanäytteestä (Geochemic Ltd 2024a, Petrolab 2024). Rikastushiekka koostuu pääosin magnesiittikarbonaateista, minkä takia sitä kutsutaankin magnesiittihiekaksi. Muita merkittävässä määrin esiintyviä mineraaleja on talkki, kloriitti, dolomiitti ja sulfidimineraalit.

Taulukossa 5-15 annetaan rikastushiekan kokoomanäytteen mineralogia perustuen XRD -menetelmään (Geochemic Ltd 2024a), sekä SEM-EDX menetelmään (Petrolab 2024). SEM-EDX -menetelmä perustuu pieneen määrään näytettä ja siksi on edustavuudeltaan heikohko vaikka menetelmän herkkyys (havaitsemisraja) on yleisesti XRD -menetelmää parempi. SEM-EDX -analyysillä saatu korkea pentlandiittipitoisuus on peräisin yhdestä suuresta pentlandiittirakeesta eikä edusta koko näytettä. Kokoomanäytteen matalan nikkelpitoisuuden (0,1 %) perusteella voidaan todeta, että pentlandiitin ((Fe,Ni)₉S₈) määrä voi olla korkeintaan 0,2 % luokkaa.

Taulukko 5-15. Rikastushiekan v. 2023 kokoomanäytteen mineralogia SEM-EDX-menetelmällä (Petrolab 2024) ja XRD-menetelmällä (Geochemic Ltd 2024a) analysoituna. Rh = rikastushiekka.

Kivilaji	Rh kokooma 2023 (SEM-EDX)	Rh kokooma 2023 (XRD)
Mineraali	m - %	m - %
Magnesiitti	54	55
Talkkiryhmä	23	34
Kloriitti	13	10
Pyrroitiitti	2,6	
Pentlandiitti	5,1	
Dolomiitti	0,6	0,7
Aksessoriset	0,4	
Pyriitti	0,3	
Kromi-magnetiitti	0,1	
Sideriitti	0,2	
Kvartsi	0,1	0,2
Maasälvät	0,002	
Kalsiitti	0,004	

5.5.3 Geokemialliset ominaisuudet

Alla olevissa kappaleissa on esitetty vuosina 2021–2023 otettujen rikastushiekanäytteiden geokemiallisia ominaisuuksia. Esitetyt tulokset ovat peräisin velvoitetarkkailunäytteistä ja rikastushiekan geokemiallisesta peruskarakterisoinnista vuodelta 2024. Rikastushiekkaa johdetaan rikastushiekka-altaalle kahta eri läjityslinjastoa pitkin. Peruskarakterisoinnin "Rh kokooma"-näytteeseen on rikastushiekkaa otettu kummastakin läjityslinjasta läjitysmäärien suhteessa.

Taulukossa 5-16 on esitetty rikastushiekan kuningasvesiliukoiset metalli- ja metalloidipitoisuudet vuosina 2021–2023. Pitoisuudet on esitetty kuiva-ainepitoisuuksina.

Rikastushiekassa havaittiin kohonneita arseenin, koboltin, kromin, nikkelin ja antimonin pitoisuuksia. Rikastushiekan kuningasvesiliukoiset pitoisuudet vuonna 2023 olivat arseenin ja kromin osalta lähes samaa tasoa kuin vuonna 2022. Nikkelin pitoisuus oli

kummassakin vuoden 2023 näytteessä suurempi kuin vuoden 2022 näytteissä. Myös antimonin pitoisuus kasvoi. Arseenin, nikkelin ja kromin pitoisuudet ovat tyypillisesti ylittäneet nk. PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) mukaiset ylemmät ohjearvonsa. Antimonin pitoisuus on aika ajoin ylittänyt alemman ohjearvon. Koboltin pitoisuus on ylittänyt kynnysarvonsa säännöllisesti. Kuningasvesiliukoissa pitoisuuksissa on havaittavissa vuosittaista vaihtelua, mutta ei merkittäviä muutoksia pidemmällä aikavälillä lukuun ottamatta kadmiumia, jonka pitoisuus oli alle kynnysarvon molemmissa vuoden 2023 näytteissä aiemman kynnysarvon ylityksen sijaan.

Taulukko 5-16. Vuosien 2021–2023 rikastushiekkänäytteiden kuningasvesiliukoiset metalli- ja metalloidipitoisuudet ja vertailu VNA 214/2007 mukaisiin kynnys- ja ohjearvoihin. Näytteet on otettu kaksi kertaa vuodessa. Taulukossa on lisäksi esitetty vuoden 2023 kokoomänäytteen nelihappouuton tulokset. Huom. nelihappouuton tulosten vertailu PIMA-asetuksen mukaisiin kynnys- ja ohjearvoihin ei ole kaivannaisjäteasetuksen 190/2013 liitteen 1 mukainen menettely.

Tunnus	Metallit										
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Kynnysarvo	5	1	20	100	100	0,5	50	60	2	100	200
Alempi ohjearvo	50	10	100	200	150	2	100	200	10	150	250
Ylempi ohjearvo	100	20	250	300	200	5	150	750	50	250	400
Rh 2021 alkuvuosi	73	1,7	31	990	<10	0,1	550	<5	13	12	11
Rh 2021 loppuvuosi	140	3,2	39	780	<10	0,1	790	<5	5	13	5
Rh 2022 alkuvuosi	120	2,5	32	870	<10	0,1	530	<5	5	12	15
Rh 2022 loppuvuosi	91	1,3	31	830	<10	0,1	590	<5	5	16	15
Rh 2023 alkuvuosi	83	0,6	35	860	<10	0,1	640	<5	12	14	17
Rh 2023 loppuvuosi	110	0,7	36	850	<10	0,1	710	<5	15	15	18
Rh kokooma 2023*	130	0,03	53	2340	3,3	0,007	1050	0,8	1,8	33	57

*Kokoomänäytteen tulokset ovat nelihappouuton tuloksia. Nelihappouutto on tehokkaampi menetelmä kuin kuningasvesiuutto.

Hapontuottopotentiaali

Taulukossa 5-17 on esitetty rikastushiekkänäytteiden ABA-testin tulokset v. 2021–2023. Hapontuottopotentiaalin (AP) ja neutralointipotentiaalin (NP) suhteesta on laskettu neutralointipotentiaalisuhde eli NPR ($NPR = NP/AP$). NPR-arvon perusteella voidaan arvioida materiaalin todennäköisyyttä aiheuttaa hapanta valumaa.

Vuosittaisten näytteiden välillä on hajontaa, mikä voi johtua mm. louhittavan materiaalin laadusta ja samalla myös rikastushiekan epähomogeenisuudesta, huolellisesta ja edustavasta näytteenotosta huolimatta. Vuoden 2023 rikastushiekkänäytteiden NPR on matalampi kuin aiempina vuosina. Näytteiden perusteella happaman valuman synty on mahdollista, jos hapontuotto on nopeampaa kuin sen neutralointi. Rikastushiekan sulfidisen rikin pitoisuus on alhainen, eikä siinä ole tarkkailun kahtena viime vuotena

tapahtunut merkittäviä muutoksia, joten happaman valuman syntyä voidaan pitää epätodennäköisenä.

Magnesiittihiekan neutralointikapasiteetin arvioinnissa on huomioitava, että magnesiittihiekan sisältämä magnesiitti (MgCO_3) reagoi erittäin hitaasti, ja siten ei todennäköisesti ehdi täysin reagoida ABA-testiin kuuluvan titrauksen aikana. Standardin SFS EN 15875 mukaan tehtynä ABA-testin tulos siis aliarvioi rikastushiekan neutralointikapasiteettia, parempi käsitys rikastushiekan puskurikapasiteetista saadaan karbonaattisen hiilen avulla. Rikastushiekassa oleva hiili on pääosin peräisin karbonaattista, hiilipitoisuus on pysynyt varsin vakaana vuosina 2021–2023. Kun neutralointikykyä tarkastellaan laskennallisesti karbonaattisen hiilen perusteella, vaihtelee hapontuottokyvyn ja neutralointikapasiteetin suhde välillä 40–88 vuosien 2021–23 tarkkailutulosten perusteella (Taulukko 5-18).

Taulukko 5-17. Sotkamon tehtaan rikastushiekanäytteiden ABA-testin tulokset vuosina 2021–2023. Taulukossa esitetään rikin kokonaispitoisuus (S kok, %), sulfidisen rikin pitoisuus (S sulf., %) ja niiden suhde; hiilen kokonaispitoisuus (C kok %); epäorgaanisen hiilen pitoisuus (C epäorg., %), hapontuottopotentialiaali (AP), neutralointipotentialiaali (NP) ja niiden suhde (NPR).

	S kok	S sulf.	$S_{\text{sulf}} / S_{\text{kok}}$	C kok.	C epäorg.	AP	NP	NPR
	%	%		%	%	kg CaCO_3 / t	kg CaCO_3 / t	
Rh 2021 alkuvuosi	0,29	0,24	0,83	7,9	7,7	7,5	35	4,7
Rh 2021 loppuvuosi	0,74	0,50	0,68	7,7	7,7	16	34	2,2
Rh 2022 alkuvuosi	0,46	0,39	0,86	8,0	2,6	12	82	6,7
Rh 2022 loppuvuosi	0,37	0,33	0,89	7,8	5,2	10	62	6,0
Rh 2023 alkuvuosi	0,42	0,32	0,77	8,4	2,6	10	16	1,6
Rh 2023 loppuvuosi	0,44	0,30	0,68	8,4	3,9	9,4	14	1,5
Rh kokooma 2023	0,60	0,05	0,09	7,5	7,5	18	104	5,8

Taulukko 5-18. Rikastushiekanäytteiden laskennallinen neutralointikapasiteetti v. 2021–2023.

	S kok	S sulfidi	C	CaCO_3 (lask.)	NP (karb.)	NPR (karb.)
	%	%	mg/kg	mg/kg	kg CaCO_3 / t	kg CaCO_3 / t
Rh 2021 alkuvuosi	0,29	-	79 000	658 377	658	88
Rh 2021 loppuvuosi	0,74	-	77 000	641 709	642	40
Rh 2022 alkuvuosi	0,46	0,39	80 000	666 711	667	56
Rh 2022 loppuvuosi	0,37	0,33	78 000	650 043	650	65
Rh 2023 alkuvuosi	0,42	0,32	84 000	700 047	700	70
Rh 2023 loppuvuosi	0,44	0,30	84 000	700 047	700	74

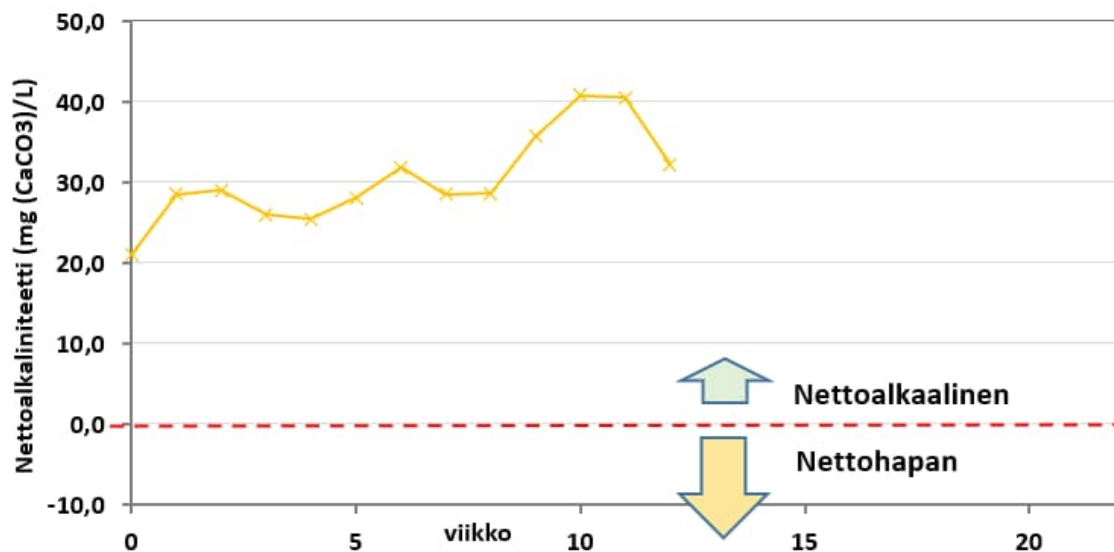
Rikastushiekan hapontuottopotentiaalia on tutkittu lisäksi NAG-testillä vuoden 2023 kokoomanäytteestä (Taulukko 5-19). NAG-testissä keiton jälkeinen pH ei laskenut ollenkaan alle pH 7 eikä testiä jatkettu pidemmälle. Rikastushiekan kokoomanäyte ei ollut NAG-testin perusteella happoa muodostavaa.

Taulukko 5-19. Sotkamon tehtaan rikastushiekan kokoomanäytteen NAG-testin tulokset vuonna 2023.

Näyte	pH ennen kuumennusta	pH kuumennuksen jälkeen	pH 4.5 NAG	pH 7.0 NAG	NAG (kok)
			kg H ₂ SO ₄ eq/t		
Rh kokooma 2023	8,0	8,4	0	0	0

5.5.4 Arvio pitkäaikaiskäyttäytymisestä ja liukoisuusominaisuudet

Kaivannaisjätteiden staattisilla testeillä saadaan arvio jätejakeiden ominaisuuksista yleisellä tasolla. Esimerkiksi NAG-testin loppuliuksen koostumuksen perusteella voidaan arvioida, kuinka paljon haitta-aineita vapautuu kaivannaisjätteen hapettuessa lähes täydellisesti. Testi ei kuitenkaan anna käsitystä esimerkiksi hapontuottopotentiaalin ja neutralointipotentiaalin kulumisen ajallisesta suhtautumisesta toisiinsa. Mikäli nopeasti liukenevat neutraloivat mineraalit, kuten karbonaatit, kuluvat loppuun nopeammin kuin hapontuottopotentiaali, on vaarana, että pitkällä aikavälillä kaivannaisjätteen kontaktivesi voi alkaa happamoitua. Staattisilla testeillä ei myöskään pystytä määrittämään sulfidien hapettumisen ajallista yhteyttä toisiinsa, esimerkiksi rautasulfideista tyypillisesti magneettikiisu hapettuu varhaisessa vaiheessa, kun taas pyriitin hapettumisen käynnistyminen kestää kauemmin ja kidemuotoisista pyriiteistä sulfaattia voi vapautua hyvinkin pitkällä aikavälillä. Esimerkkinä kosteuskammiokekeen tuloksesta esitetään kuvassa (Kuva 5-8) rikastushiekan nettoalkaliteetin kehitys ensimmäisen 12 viikon aikana. Tämänhetkisten tulosten perusteella rikastushiekan kontaktivedestä ei muodostu hapanta valumaa korkean neutralointipotentiaalin vuoksi.



Kuva 5-8. Rikastushiekan nettoalkaliniteetin kehittyminen kosteuskammiokokeen viikoilla 0–12.

Taulukossa 5-20 näytetään rikastushiekasta peroksidihapettumisen (NAG-testi) seurauksena vapautuvien aineiden määrät, sekä vapautuva osuus kokonaispitoisuudesta (%). Emäksisiä kontaktivesiä muodostavien materiaalien kohdalla NAG-testissä voi osa vapautuvista aineista osa sakkautua testin kuumennusvaiheessa pH:n noustessa korkeammalle kuin luontaisissa olosuhteissa on mahdollista. Mikä sakkautumista tapahtuu, vapautuva ainemäärä aliarvioidaan käytettäessä NAG-testin tulosta.

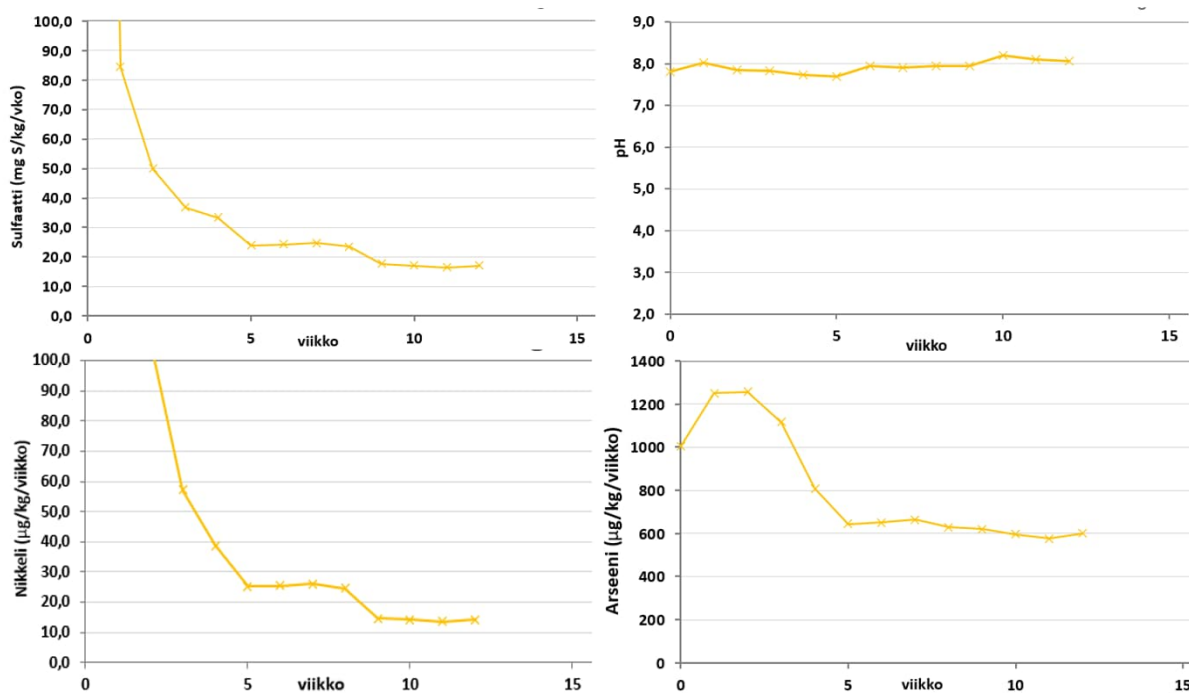
Taulukko 5-20. Rikastushiekasta hapettumisen seurauksena (NAG-uutteeseen) vapautuvat ainemäärät (mg/kg), sekä vapautuva osuus kokonaisainemäärästä (%). Tulokset Geochemic Ltd. (2024b) mukaan. NAG-testissä vapautuvasta ainemäärästä osa voi sakkautua jo testin aikana eikä siksi ole havaittavissa uutteenä.

	NAG-uutteeseen vapautuu (mg/kg)	NAG-uute (% kok. määrästä)
As	8,38	6,4
Cd	0,0005	1,7
Co	0,010	<0,1
Cr	16,6	0,7
Cu	0,17	5,0
Ni	0,098	<0,1
Pb	0,081	10
Sb	0,93	53
V	0,43	1,3
Zn	0,88	1,5
S	3330	58
Si	943	0,8
Al	0,17	<0,1
Fe	1	<0,1
Ca	459	22
Mg	2670	1,2
Na	22,9	31
K	23,8	14

Kuvassa 5-9 näytetään pH:n, sekä sulfaatti-, nikkeli- ja arseenipitoisuuden kehitys kosteuskammiokeudessa ensimmäisen 12 viikon aikana. Tulosten perusteella voidaan alustavasti arvioida hapettumisen aiheuttamaa vaikutusta rikastushiekassa. Koetta jatketaan arvioiden tarkentamiseksi pitkäaikaiskäyttämisen osalta. Ensimmäisen 5 viikon aikana tapahtuu ns. "alkuhuuhtoutuminen", jonka aikana on tyypillistä, että helppoliukoisiin yhdisteisiin sitoutuneita aineita vapautuu runsaasti. Tämän jälkeen varsinaisten sulfidimineraalien hapettumisen aiheuttamat vaikutukset alkavat näkyä paremmin. Sulfideihin sitoutuneiden aineiden vapautuminen usein seuraa sulfaatin vapautumisen käyttäytymistä. Kuvassa 5-9 nikkelin vapautuminen korreloi sulfaatin kanssa eli nikkeli on todennäköisesti peräisin pentlandiitista. Rauta sakkautuu usein testilaitteistoon eikä näy viikkoliuoksessa. Arseenin pitoisuus on odottamattoman korkea. Varsinaista syytä poikkeukselliselle käyttäytymiselle ei löydetty. Arseenia vapautuu tuloksen mukaan noin 40 kertaa enemmän kuin nikkeliä, vaikka sen kokonaismäärä rikastushiekassa on noin 10 kertaa pienempi. Mineralogisen analyysin mukaan rikastushiekan arseeni esiintyy pääasiassa gersdorfiitissa (NiAsS), jolloin arseenin vapautuminen noudattelisi läheisesti nikkelin vapautumiskäyttäytymistä. Viikolla 12 lähes

10 % rikastushiekkanäytteen koko arseenipitoisuudesta on poistunut. Havaintoa tukee rikastushiekka-altaan vesien tarkkailu, jonka perusteella arseenia poistuu rikastushiekka-altaalta dekantointiveden mukana enemmän kuin sitä prosessiveden mukana sinne saapuu. Tällä voi olla positiivinen vaikutus rikastushiekkan pitkäaikaikäkäyttämiseen arseenin suhteen eli vapautuminen pitkällä aikavälillä on vähäisempää.

Alustavista kosteuskammiokokeen tuloksista voidaan päätellä, että rikastushiekassa olevat sulfidit lähtevät hapettumaan, mikäli hiekka pääsee kuivumaan ja siten altistuu hapelle. Rikastushiekassa olevien rautasulfidien hapettuminen aiheuttaa rautahydroksidien muodostumista. Korkean neutralointipotentiaalin ansiosta rautahydroksidit sorboivat monia vapautuvia metalleja (esim. kupari ja sinkki). Neutraalille valumalle tyypilliset metallit, kuten nikkeli, sorboituvat huonosti ja siten voivat esiintyä rikastushiekkan kontaktivedessä kohonneina pitoisuuksina. Viipymä, joka lisää sorboitumista, on rikastushiekka-alueella pidempi kuin kosteuskammiokoeksessa, joten kosteuskammiokoee yliarvio tämän suhteen pitoisuuksia.



Kuva 5-9. Rikastushiekkan pH:n, sekä sulfaatti-, nikkeli- ja arseenipitoisuuksien kehitys kosteuskammiokoeksessa viikoilla 0–12.

Liukoisuusominaisuudet

Rikastushiekkan 2-vaiheisen ravistelutestin tulokset vuodelta 2023 on esitetty taulukossa 5-21. Rikastushiekassa alkuaineiden liukoisuudet olivat pieniä lukuun ottamatta arseenia ja antimonia. Arseenin liukoisuus ylitti valtioneuvoston asetuksen 331/2013 vaarattoman jätteen kaatopaikalle annetun raja-arvon, antimonin liukoisuus puolestaan pysyvän

jätteen kaatopaikan kaatopaikkakelpoisuuden raja-arvon. Muiden ominaisuuksien osalta pysyvän jätteen kaatopaikan kelpoisuuskriteerit täyttyivät.

Taulukko 5-21 Rikastushiekkänäytteiden liukoisuudet vuoden 2022 lopusta vuoden 2023 loppuun ja VNA 331/2013 liitteen 3 mukaiset kaatopaikkakelpoisuuskriteerit pysyvän, vaarattoman ja vaarallisen jätteen kaatopaikoille.

	Näytteet			VNA 331/2013 mukaiset kaatopaikka-kelpoisuusraja-arvot, L/S 10		
	Rikastushiekka 2022 loppuvuosi	Rikastushiekka 2023 alkuvuosi	Rikastushiekka 2023 loppuvuosi	Pysyvä	Vaaraton	Vaarallinen
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
As	7,2	6,7	7,8	0,5	2	25
Ba	<2,5	<2,5	<2,5	20	100	300
Cd	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	1	5
Cr	<0,1	<0,1	<0,1	0,5	10	70
Cu	<0,4	<0,4	<0,4	2	50	100
Hg	<0,002	<0,002	<0,002	0,01	0,2	2
Mo	<0,1	0,4	0,3	0,5	10	30
Ni	<0,1	<0,1	<0,1	0,4	10	40
Pb	<0,05	0,05	<0,05	0,5	10	50
Sb	0,4	0,4	0,3	0,06	0,7	5
Se	<0,03	0,07	0,08	0,1	0,5	7
Zn	<0,8	<0,8	<0,8	4	50	200
V	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-
Cl ⁻	<160	<160	<160	800	15 000	25 000
F ⁻	<2,0	<2,0	<2,0	10	150	500
SO ₄ ²⁻	660	580	500	1000	20 000	50 000
DOC	<100	<100	<100	500	800	1 000
TDS	1400	1400	1000	4000	60 000	100 000

5.5.5 Rikastushiekan kemikaalijäämät

Rikastusprosessissa käytettävät kemikaalit on esitetty luvussa 3.7. Kemikaaleja palautuu prosessiin myös sisäisestä vesikierrosta, mikä huomioidaan kemikaalien annostelussa. Kokoojakemikaalina käytettävää natriumetyyliksantaattia kertyy rikasteeseen, mutta sitä voi myös päätyä rikastushiekan mukana rikastushiekka-altaalle. Ksantaatit ovat vesiympäristölle vaarallisia aineita, mutta haittavaikutus edellyttäisi niiden päättymistä vesiympäristöön merkittävinä määrinä.

5.5.6 Rikastushiekan radiologiset ominaisuudet

Säteilyasetuksen (1512/1991) 29 §:n mukaan säteilyturvakeskukselle tulee ennen toiminnan aloittamista tehdä ilmoitus sellaisten luonnonvarojen laajamittaisesta hyödyntämisestä, joiden uraani- tai toriumpitoisuus on suurempi kuin 0,1 kilogrammaa

tonnissa (100 mg/kg), lukuun ottamatta ydinenergialain (990/87) nojalla valvottavaa toimintaa.

Elementisin rikastushiekalle on tehty U- ja Th-aktiivisuuspitoisuuksien tarkastelu STUK:in ohjeistuksen (STUK 2021) mukaisesti. Aktiivisuuspitoisuudet määritettiin laskennallisesti nelihappouuttotuloksista. Nelihappouuton uraani ja toriumpitoisuudet on määritetty ICP-MS-tekniikalla. U-238 aktiivisuuspitoisuus laskettiin 12.4 x pitoisuus (mg/kg) ja Th-232 laskettiin 4.1 x pitoisuus (mg/kg). Vapautusraja on 1000 Bq/kg kunkin radionuklidin osalta eli mikään aktiivisuuspitoisuus erikseen ei saa ylittää tuota raja-arvoa. Rikastushiekasta oli kolme näytettä, joiden U-238 aktiivisuuspitoisuus oli kaikissa näytteissä <0,6 Bq/kg ja Th-232 aktiivisuuspitoisuus vaihteli välillä <0,2–0,7 Bq/kg. Minkään radionuklidin aktiivisuuspitoisuus ei siis ylittänyt vapautusrajaa 1000 Bq/kg. Yhtiö on laatinut säteilylain 146 § mukaisen selvityksen Sotkamo kaivoksen ja tehdasalueen osalta 17.12.2024 ja täydentänyt sitä 14.1.2025 ja 27.3.2025. Säteilyturvallisuukskeskus STUK antoi ilmoituksen 3.4.2025 että toimitettu selvitys on riittävä säteilylain 146 §:n mukaiseksi selvitykseksi.

5.5.7 Kuitumineraalit

Rikastushiekan mineralogian (Taulukko 5-15) mukaan rikastushiekassa on hyvin pieniä pitoisuuksia mineraaleja, jotka voivat esiintyä asbestimuotoisena (amfibolit ja serpentiini). Täten on hyvin epätodennäköistä, että rikastushiekassa esiintyisi asbestia tai muita kuitumuotoisia mineraaleja (erioniitti) merkittävässä määrin. Työhygienian selvityksen (Työterveyslaitos, 2024) mukaan asbestipitoisuus oli alle 10 % sitovasta raja-arvosta havaintoasemalla ”Rikastamo”. Asbestipitoisuus oli alle 10 % sitovasta raja-arvosta myös kaikilla muilla havaintoasemilla.

5.5.8 Rikastushiekan vaaraominaisuuksien arviointi

Rikastushiekkojen ympäristövaarallisuutta on arvioitu Neuvoston asetuksen (EU) 2017/997 mukaisesti (Taulukko 5-22) vaaraominaisuuden HP14 ”ympäristölle vaarallinen” osalta. Rikastushiekan pitoisuuksissa on huomioitu tiivistyneen rikastushiekan kosteus (30 %). Olettaen varovaisuusperiaatteen mukaisesti kaiken nikkelin olevan rikastushiekassa vaarallisimmassa mahdollisessa muodossa eli nikkelisulfaattina, ylittyy cut-off raja vaaraominaisuuksien H400 ja H410 osalta. Minkään muun alkuaineen osalta cut-off raja ei ylity, joten yhteenlaskukaavoja ei tarvitse soveltaa ja rikastushiekka luokituu vaarattomaksi jätteeksi. Se ei saa vaaraominaisuutta HP 14 ”ympäristölle vaarallinen”.

EY:n CLP-asetuksen liitteen VI taulukon mukaisen vaarallisten aineiden luettelon (EY 1272/2008), Komission asetuksen N:o 1357/2014, (EU) 2017/997:n sekä YM (2019) perusteella rikastushiekka voidaan luokitella vaarattomaksi jätteeksi. Se saa jäteluettelon mukaisen nimen ”Muiden kuin metallimineraalien fysikaalisessa ja kemiallisessa käsittelyssä syntyvät jätteet” (01 04) – ”muut kuin nimikkeissä 01 04 07 ja 01 04 11

mainitut mineraalien pesussa ja puhdistuksessa syntyvät rikastushiekat ja jätteet" (01 04 12).

Taulukko 5-22. Elementisin rikastushiekan ympäristövaarallisuuden arviointi Neuvoston asetuksen (EU) 2017/997 mukaisesti. Keskiarvot on laskettu vain velvoitetarkkailun mukaisista analyyseistä.

	Pitoisuusraja (mg/kg)				Rh 2021	Rh 2022	Rh 2023
Alkuaine	Aquatic Acute 1, H400	Cut-off	Aquatic Chronic, H410	Cut-off	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Sb			25000	10000	6	4	9
As	250000	1000	2500	1000	75	74	68
Cd	250000	1000	2500	1000	2	1	0
Co (CoO)	200000	790	2000	790			
Co (CoCl ₂)	110000	450	1100	450			
Co (CoSO ₄)	95000	380	9500	380	25	22	25
Cr(VI)	250000	1000	2500	1000	620	595	599
Hg	250000	1000	2500	1000			
Cu (CuSO ₄)	100000	400	1000	400	4	4	4
Cu (CuCl ₂)	120000	470	12000	4700			
Pb	250000	1000	25000	1000	2	2	2
Ni (NiSO ₄)	95000	380	950	380	469	392	473
Ni (NiS)	150000	600	1500	600			
Zn (ZnCl ₂)	120000	470	1200	470			
Zn (ZnSO ₄)	100000	4000	1000	400	6	11	12
V (V ₂ O ₅)			14000	5600	9	10	10

5.6 Vesienkäsittelyssä muodostuvat sakat

Vesienkäsittelyssä muodostuvia sakkoja ovat Soidinsuon altaan nikkelisakka/vesienkäsittelysakka sekä sivukivialueen suotovesien neutralointisakka. Lisäksi sakkoja muodostuu satelliittilouhoksilla. Uutelan satelliittilouhokselta on ajanjaksolla lokakuusta 2020 vuoteen 2024 toimitettu vesienkäsittelysakkaa Sotkamon tehtaan Soidinsuon altaalle yhteensä noin 322 tonnia (Elementis Oy 2024). Vuosittain määrä on noin 10–30 % Soidinsuon altaalle läjitettävästä kokonaismäärästä. Uutelassa vesienkäsittelysakka sijoitetaan geotuubeihin. Uutelaa koskevat tulokset esitetään omina kokonaisuuksinaan (AFRY Finland Oy 2024d).

5.6.1 Soidinsuon ja neutralointisakan geokemialliset ominaisuudet

Taulukossa 5-23 on esitetty Sotkamon kaivoksen Soidinsuon altaan nikkelisakka/vesienkäsittelysakan ja sivukivialueen suotovesien käsittelyssä muodostuvan neutralointisakan kuningasvesiliukoiset pitoisuudet vuonna 2023. Tuloksia verrataan PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) kynns- ja ohjearvoihin. Soidinsuon altaan vesienkäsittelysaksassa arseenin, koboltin, kromin, nikkelin ja antimonin pitoisuudet ylittävät PIMA-asetuksen ylemmän ohjearvon. Sivukivialueen vesienkäsittelyn neutralointisaksassa ylempi ohjearvo ylittyy nikkelin ja sinkin osalta. Molemmissa sakkajakeissa kadmiumin pitoisuus ylittää asetuksen kynnsarvon. Lisäksi sivukivialueen suotovesien käsittelyn neutralointisaksassa koboltin ja antimonin pitoisuudet ylittävät asetuksen kynnsarvon.

Taulukko 5-23. Sotkamon kaivoksella muodostuvien vesienkäsittely- ja neutralointisakkajakeiden kuningasvesiliukoiset metalli- ja metalloidipitoisuudet ja vertailu PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) kynns- ja ohjearvoihin.

Tunnus	Metallit										
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Määrittäysraja	10	0,4	10	5	10	0,2	10	5	10	10	10
Kynnsarvo	5	1	20	100	100	0,5	50	60	2	100	200
Alempi ohjearvo	50	10	100	200	150	2	100	200	10	150	250
Ylempi ohjearvo	100	20	250	300	200	5	150	750	50	250	400
Vesienkäsittelysakka 2023	1500	6,1	270	590	12	0,1	5200	10	66	12	91
Vesienkäsittelysakka 2024	100	2,2	32	920	<10	<0,2	860	<5	19	15	110
Neutralointisakka 2023	5	5,3	42	2,5	11	0,1	1400	2,5	5	5	900
Neutralointisakka 2024	<10	3,6	27	<5	<10	<0,2	930	<5	<10	<10	700

Taulukossa 5-24 on esitetty vesienkäsittelyssä muodostuvien sakkajakeiden vuoden 2023 näytteiden ABA-testin tulokset. Soidinsuon altaan vesienkäsittelysakan sulfidisen rikin pitoisuus on 1,8 % ja hapontuottokapasiteetin ja neutralointipotentiaalin suhde (NPR) on 2,4. Neutralointisaksassa sulfidirikkiä on vain 0,02 % ja NPR on 260.

Taulukko 5-24. Sotkamon kaivoksella muodostuvien vesienkäsittely- ja neutralointisakkajakeiden rikin kokonaispitoisuus, sulfidisen rikin pitoisuus sekä osuus rikin kokonaispitoisuudesta, nettohapontuottokapasiteetti (AP), neutralointipotentiaali (NP) ja hapontuotto-kapasiteetin ja neutralointipotentiaalin suhde (NPR).

Näyte	S (kok)	S (sulf.)	S(SO ₄)	AP	NP	NPR
	%	%	%	kg CaCO ₃ / tn	kg CaCO ₃ / tn	
Vesienkäsittelysakka 2023	2,0	1,8		56	130	2,4
Vesienkäsittelysakka 2024	0,217	0,09	0,13	2,81	59,4	21,1
Neutralointisakka 2023	10	0,02		1,3	320	260
Neutralointisakka 2024	16,9	0,72	16,2	22,3	340	15,2

5.6.2 Sotkamon kaivoksen vesienkäsittely- ja neutralointisakan liukoisuusominaisuudet (kaatopaikkakelpoisuus)

Taulukossa 5-25 on esitetty Sotkamon kaivoksen vesienkäsittelyssä ja neutraloinnissa muodostuvien sakkojen kaksivaiheisen ravistelutestin (L/S 10) tulokset.

Vesienkäsittelyssä muodostuvien sakkojen haitta-aineiden liukoisuudet ovat pienet ja täyttävät suurilta osin pysyvän jätteen kaatopaikan vaatimukset. Vesienkäsittelysakan uuttoliuoksessa antimonin ja sulfaatin pitoisuudet ylittävät pysyvän jätteen kaatopaikkasijoitukselle asetetut raja-arvot, mutta täyttävät vaarattoman jätteen kaatopaikkakelpoisuuskriteerit. Neutralointisakan 2-vaiheisen ravistelutestissä vuonna 2023 fluoridin ja sulfaatin pitoisuudet sekä liuenneiden aineiden kokonaismäärä (TDS) ylittävät pysyvän jätteen kaatopaikkasijoitukselle asetetut raja-arvot, mutta täyttävät vaarattoman jätteen kaatopaikkakelpoisuuskriteerit. Vuonna 1-vaiheisessa ravistelutestissä 2024 ainoastaan sulfaatti ja TDS ylittivät pysyvän jätteen kaatopaikan raja-arvon.

Taulukko 5-25. Sotkamon kaivoksen vesienkäsittelysakan sekä sivukivialueen suotoveden neutralointisakan liukoisuustestin (L/S 10) tulokset sekä kaatopaikka-asetuksen (VNA 331/2013) liitteen 3 mukaiset raja-arvot.

Alkuaine	Vesienkäsittelyn sakka	Vesienkäsittelyn sakka	Neutralointisakka	Neutralointisakka*	VNA 1030/2021 mukaiset kaatopaikkakelpoisuusraja-arvot, L/S 10		
Kaatopaikkaluokitus	2023	2024	2023	2024*	Pysyvä	Vaaraton	Vaarallinen
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
As	<0,05	0,35	<0,05	<0,05	0,5	2	25
Ba	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	20	100	300
Cd	<0,01	<0,01	<0,01	<0,010	0,04	1	5
Cr	<0,1	<0,1	0,1	<0,10	0,5	10	70
Cu	<0,4	<0,4	<0,4	<0,40	2	50	100
Hg	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,01	0,2	2
Mo	0,3	<0,1	0,3	<0,10	0,5	10	30

Alkuaine	Vesienkäsittelyn sakka	Vesienkäsittelyn sakka	Neutralointisakka	Neutralointisakka*	VNA 1030/2021 mukaiset kaatopaikka-kelpoisuusraja-arvot, L/S 10		
Kaatopaikkaluokitus	2023	2024	2023	2024*	Pysyvä	Vaaraton	Vaarallinen
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Ni	<0,1	<0,1	<0,1	<0,10	0,4	10	40
Pb	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,5	10	50
Sb	0,37	0,67	<0,03	<0,03	0,06	0,7	5
Se	0,06	<0,03	0,07	<0,03	0,1	0,5	7
Zn	<0,8	<0,8	<0,8	<0,80	4	50	200
V	<0,1	<0,1	<0,1	<0,10	-	-	-
Cl ⁻	<160	<160	<160	<160	800	15 000	25 000
F ⁻	<2,0	<2,0	17	<2,0	10	150	500
SO ₄ ²⁻	14 600	1969	14 700	22 000	1000	20 000	50 000
DOC	<100	<100	<100	<100	500	800	1 000
TDS	2 300	3 500	23 000	33 000	4000	60 000	100 000

*1-vaiheinen ravistelutesti

5.6.3 Soidinsuon vesienkäsittelysakan ja neutralointisakan vaaraominaisuuksien arviointi

Vesienkäsittelysakkojen ympäristövaarallisuuden arviointi kuningasvesiliukoisista kokonaispitoisuuksista on esitetty taulukossa 5-26.

Taulukko 5-26. Elementisin vesienkäsittelysakkojen ympäristövaarallisuuden arviointi Neuvoston asetuksen (EU) 2017/997 mukaisesti. Kokonaispitoisuudet määritetty kuningasvesiutolla. Pitoisuuksissa on huomioitu sakkojen kuiva-ainepitoisuus läjityksessä. Vesienkäsittelysakan kuiva-ainepitoisuus on 51 m-% ja neutralointisakan 36 m-%.

Alkuaine	Pitoisuusraja				Vesienkäsittelysakka 2023	Vesienkäsittelysakka 2024	Neutralointisakka 2023	Neutralointisakka 2024
	Aquatic Acute 1, H400	Cut-off	Aquatic Chronic 1, H410	Cut-off	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Sb			25 000	10 000	33	9,7	2	3,6
As	250 000	1 000	2 500	1 000	760	51	2	3,6
Cd								
(Cd(OH) ₂)	192 000	770	1 920	770	3	1,1	2	1,3
Hg	250 000	1 000	2 500	1 000		0,1		0,07
Cu								
(Cu(OH) ₂)	160 000	650	16 000	650	6	5,1	4	3,6
Pb	25 0000	1 000	25 000	1 000	5	2,6	1	1,8
Ni								
(Ni(OH) ₂)	160 000	630	1 600	630	2 600	440	510	330

Edellä olevan taulukon mukaisesti vesienkäsittelysakan nikkelpitoisuus tuorepainoksi muunnettuna ylittää pitkäaikaisia haittavaikutuksia aiheuttavan raja-arvon (H410) vuoden 2023 näytteessä, kun nikkelin oletetaan esiintyvän täysin nikkelihydroksidina ($\text{Ni}(\text{OH})_2$). Vuoden 2024 näytteessä mikään alkuaine ei ylitä raja- tai cut-off -arvoja. Vuosien 2023 ja 2024 näytteiden keskimääräinen nikkelpitoisuus 1520 mg/kg läjityskosteudessa alittaa raja-arvon, ja koska ainoastaan nikkelpitoisuus ylittää cut-off -arvon ei yhteenlaskuun tarvitse edetä. Vesienkäsittelysakalla ei näiden tietojen perusteella ole vaaraominaisuutta HP14.

Neutralointisakan nikkelpitoisuus tuorepainoksi muunnettuna ylittää pitkäaikaisia haittavaikutuksia aiheuttavan cut-off arvon 380 mg/kg kun nikkelin oletetaan esiintyvän täysin NiSO_4 :na. Koska minkään muun aineen pitoisuus tuorepainossa ei ylitä cut-off -arvoa, ei neutralointisakalla ole vaaraominaisuutta.

5.6.4 Uutelan vesienkäsittelysakkojen geokemialliset ominaisuudet

Uutelan kaivoksen vesienkäsittelyssä muodostuvan sakan haitta-aine pitoisuudet esitetään taulukossa 5-27. Taulukossa esitetään kuiva-ainepitoisuudet (kp), joita käytetään VNA 190/2013 (liite 1) mukaisessa kaivannaisjätteen luokittelussa (raja-arvoissa viitataan PIMA-asetukseen 214/2007). Taulukossa esitetään myös pitoisuudet tuorepainossa (tp), jotka on laskettu kokonaispitoisuuksista kuiva-ainepitoisuuden avulla (ks. kappale 5.6.6). Tuorepainoa kohden olevia pitoisuuksia käytetään Neuvoston asetuksen (EU) 2017/997 mukaisessa luokittelussa (Komission tiedonanto 2018/C 124/01). Näihin perustuva vaaraominaisuuksien arvio esitetään kappaleessa 5.6.6.

Vesienkäsittelysakan metalli- ja metalloidipitoisuudet on määritetty kuningasvesiuutolla SFS-EN ISO11885:09 -standardin mukaisesti (Eurofins 2018, 2019 ja SGS 2024). Kuningasvesiuutto on kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013) mukainen menetelmä. Kuningasvesiuutto on ns. osittainen hajotusmenetelmä, sillä osa mineraaleihin, kuten silikaatteihin, sitoutuneista metalleista ei liukene tällä menetelmällä täysin.

Taulukko 5-27. Uutelan kaivoksen vesienkäsittelysakan kuningasvesiliukoiset metalli- ja metalloidipitoisuudet (AFRY Finland Oy 2024d; SGS 2024) ja niiden kuiva-ainepitoisuuksien (kp) vertailu VNA 214/2007 mukaisiin kynnys- ja ohjearvoihin. Vuosina 2021-2022 tulos on kolmen näytteen keskiarvo (poikkeuksena sinkki (Zn, n=1)); vuonna 2023 n=4. Alle määritysrajan olleet pitoisuudet on merkitty kurssiivilla taulukkoon. Tulosten keskiarvolaskennassa alle määritysrajan tulokset on puolitettu. kp=kuivapaino, tp=tuorepaino.

Tunnus	Metallit (mg / kg)										
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	V	Zn
Kynnysarvo	5	1	20	100	100	0,5	50	60	2	100	200
Alempi ohjearvo	50	10	100	200	150	2	100	200	10	150	250
Ylempi ohjearvo	100	20	250	300	200	5	150	750	50	250	400
Sakkanäytteiden pitoisuudet esitettynä kuivapainossa											
2021 sakka (kp)	87	17	1000	3	17	<0,2	33 000	9	61	<10	11 000
2022 sakka (kp)	1 000	42	2 900	13	26	<0,2	85 000	17	63	<10	22 000
2023 sakka (kp)	1 500	120	2 600	18	42	<0,2	87 000	12	36	<10	42 000
Sakkanäytteet pitoisuudet esitettynä tuorepainossa (vesipitoisuus 93 %)											
2021 sakka (tp)	6	1,2	70	0,2	1,2	0,01	2 300	0,6	4	0,7	770
2022 sakka (tp)	72	2,9	200	0,9	1,8	0,01	6 000	1,2	4	0,7	1 600
2023 sakka (tp)	110	8,5	180	1,3	3,0	0,01	6 100	0,8	3	0,7	3 000

Uutelan sakoille ei ole tehty ABA-testausta vuosina 2021–2023, se ei ole vesienkäsittelysakkojen (toisin kuin kaivannaisjätteiden) jäteasetuksen (VNa 978/2021) mukainen analysointitapa. Vuosina 2018–2019 rikin kokonaispitoisuus oli 1,1–1,2 % sekä neutralointipotentiaalisuhde (NPR) 20–31. Sakan kuningasvesiliukoisen rikin pitoisuus ICP-AES analyysin mukaan vuosina 2021–2023 esitetään taulukossa 5-28.

Taulukko 5-28. Uutelan kaivoksen vesienkäsittelysakan keskimääräinen rikkipitoisuus 2021–2023 (kuningasvesiututto, ICP-AES analyysi).

	2021	2022	2023
Näytemäärä	3	3	4
S (mg / kg)	16 600	17 300	15 500

5.6.5 Uutelan vesienkäsittelysakkojen liukoisuusominaisuudet

Uutelan kaivoksen vesienkäsittelysakan liukoisia pitoisuuksia tutkittiin kaatopaikka-asetuksen (VNA 331/2013) mukaisesti ravistelutestillä (Taulukko 5-29). Useimmat vesienkäsittelysakan liukoiset pitoisuudet täyttävät pysyvän jätteen kaatopaikan

vaatimukset.

Nikkelin pitoisuus ylittää vuosina 2022 ja 2023 pysyvän jätteen kaatopaikan raja-arvon. Antimonin pitoisuus ylittää vuosien 2022–2023 (1-vaiheissa) ravistelutestissä vaarattoman jätteen kaatopaikan raja-arvon. Vuoden 2021 2-vaiheisessa testauksessa antimonin vaarallisen jätteen kaatopaikan raja-arvo ei ylittynyt. Sulfaattipitoisuus ylitti vuoden 2022 ja 2023 sakoissa vaarattoman jätteen kaatopaikalle asetun raja-arvon.

Taulukko 5-29. Uutelan kaivoksen vesienkäsittelysakan ravistelutestin tulokset, sekä kaatopaikkakelpoisuuden arvioinnissa käytettävät raja-arvot. Vuosina 2022–2023 testi oli 1-vaiheinen ravistelutesti (L/S 10, SGS 2024). Vuonna 2021 testi oli 2-vaiheinen (L/S 10; SGS 2024).

Alkuaineanalyysit				VNA 1030/2021 mukaiset kaatopaikka- kelpoisuusraja-arvot, L/S 10		
	Sakka 2021	Sakka 2022	Sakka 2023	Pysyvä	Vaaraton	Vaarallinen
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Näytemäärä	1	2*	4			
Arseeni	<0,1	0,16	0,11	0,5	2	25
Barium	<4,0	<2,5	<2,5	20	100	300
Kadmium	<0,01	<0,01	0,01	0,04	1	5
Koboltti	<0,1	0,18	0,21			
Kromi	<0,1	<0,10	<0,10	0,5	10	70
Kupari	<0,4	<0,40	<0,40	2	50	100
Elohopea	<0,002	<0,002	<0,002	0,01	0,2	2
Molybdeeni	<0,1	<0,10	-	0,5	10	30
Nikkeli	0,1	3,3	2,5	0,4	10	40
Lyijy	<0,1	<0,05	<0,05	0,5	10	50
Antimoni	0,29	2,15	0,63	0,06	0,7	5
Seleeni	<0,03	<0,03	0,055	0,1	0,5	7
Vanadiini	<0,4	<0,50	<0,50			
Sinkki	<0,8	<0,80	<0,80	4	50	200
Fluoridi				10	150	500
Kloridi				800	15 000	25 000
Sulfaatti	3 900	36 000	24 400	1000	20 000	50 000

* Vuoden 2022 tuloksista on jätetty pois yksi näyte, jonka testauksessa raekoko oli muita testejä suurempi

5.6.6 Uutelan vesienkäsittelysakkojen vaaraominaisuuksien arviointi

Vaaraominaisuustarkastelu metallipitoisuuksien perusteella

Uutelan kaivoksen vesienkäsittelysakan ympäristövaarallisuutta on arvioitu Neuvoston asetuksen (EU) 2017/997 mukaisesti (ks. kappale 0). Jätteen vaaraominaisuuksien arviointi ja luokittelu suoritetaan joko alun perin testattujen tai kuivapainoluvuista muunnettujen tuorepainojen perusteella (Komission tiedonanto 2018/C 124/01). Vesienkäsittelysakan pitoisuuksissa (Taulukko 5-30) huomioidaan siis kosteus. Vuosina 2021–2023 kuiva-ainepitoisuus vaihteli välillä 3,1–8,2 massa-% ja oli keskiarvona 6,6 %. Keskiarvosta on poistettu yksi vuoden 2021 mittaus (88,3 %) epärealistisena. Pitoisuudet tuorepainossa on laskettu käyttäen kuiva-ainepitoisuutena 7 %. Vuonna 2023 vesienkäsittelysakkaa alettiin sijoittaa geotuubeihin, mutta tällä ei ole ollut suurta vaikutusta kuiva-ainepitoisuuteen.

Vesienkäsittelysakan ominaisuuksia on tarkasteltu ympäristövaarallisen jätteen (HP 14) kriteerien mukaan kuten Ympäristöministeriön oppaassa ”Jätteen luokittelu vaaralliseksi jätteeksi – päivitetty opas 02/2019” (Ympäristöministeriö 2019) on esitetty (Kuva 5-7). Oppaan liitteessä 9 on annettu eri metalleille pitoisuusrajat ja yhteenlaskussa alin huomioitava pitoisuus (Cut-off-arvo). Pitoisuusrajat yhdisteille on taulukossa 5-30 muunnettu vastaamaan metallin pitoisuutta yhdisteessä.

Vuosien 2021–2023 tulosten perusteella vesienkäsittelysakalle voidaan antaa vaaraominaisuus ympäristövaarallinen (HP14), pitkäaikaisia haittavaikutuksia aiheuttava (H410), koska sekä nikkelisulfaattina esiintyväksi arvioidun nikkelin että sinkkisulfaattina esiintyvän sinkin pitoisuus ylittää pitkäaikaisille haitallisille vaikutuksille asetetun raja-arvon 950 mg/kg tp.

Uutelan vesienkäsittelysakan vaaraominaisuusluokittelu tullaan tarkentamaan toksisuustestillä, sillä liukoisuusominaisuuksien perusteella sakka voidaan läjittää vaarattoman jätteen kaatopaikalle.

Taulukko 5-30. Uutelan kaivoksen vesienkäsittelysakan ympäristövaarallisuuden arviointi Neuvoston asetuksen (EU) 2017/997 mukaisesti. Metallionille sovellettavat vaarallisen jätteen pitoisuusrajat on laskettu suhteessa metallionin osuuteen kyseisen yhdisteen koko moolimassasta. Näytemäärä oli 3-4/vuosi (SGS 2024). Vaaraominaisuuksien arviointi tehdään tuorepainossa (tp) oleville pitoisuuksille.

	Pitoisuusraja (mg/kg)				Sakka 2021 (tp)	Sakka 2022 (tp)	Sakka 2023 (tp)
Alkuaine	Aquatic Acute 1, H400	Cut- off	Aquatic Chronic, H410	Cut-off	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Sb			25000	10000	4	4	3
As	250000	1000	2500	1000	6	72	110
Cd	250000	1000	2500	1000	1	3	9
Co (CoO)	200000	790	2000	790			
Co (CoCl ₂)	110000	450	1100	450			
Co (CoSO ₄)	95000	380	9500	380	70	200	180
Cr(VI)	250000	1000	2500	1000	0	1	1
Hg	250000	1000	2500	1000	0	0	0
Cu (CuSO ₄)	100000	400	1000	400	1	2	3
Cu (CuCl ₂)	120000	470	12000	4700			
Pb	250000	1000	25000	1000	1	1	1
Ni (NiSO ₄)	95000	380	950	380	2 300	6 000	6 100
Ni (NiS)	150000	600	1500	600			
Zn (ZnCl ₂)	120000	470	1200	470			
Zn (ZnSO ₄)	100000	4000	1000	400	770	1 600	3 000
V (V ₂ O ₅)			14000	5600	1	1	1

Vaaraominaisuustarkastelu ekotoksisuustestin perusteella

Uutelan vesienkäsittelysakan vaaraominaisuusluokittelua tarkennettiin maaliskuussa 2025 toksisuustestillä. Jatkotutkimuksissa sakan ekotoksisuutta arvioitiin siten, kun Ympäristöministeriön oppaassa ”Jätteen luokittelu vaaralliseksi jätteeksi – päivitetty opas 02/2019” (Ympäristöministeriö 2019) on esitetty. Oppaan liitteessä 8 on esitetty ympäristövaaran arvioinnissa käytettävät ekotoksisuustestit ja testeille sovellettavat raja-arvot. Suomessa esitetään sovellettavaksi vain akuutteja vesieliömyrkyllisyystestejä.

Ekotoksisuustestien tuloksiin perustuvassa vaaraominaisuuksien arvioinnissa käytetään ensisijaisesti EC₅₀-pitoisuusrajoja. Oppaassa esitettyjen raja-arvojen mukaisesti jäte saa vaaraominaisuuden HP14, mikäli vesikirppu- tai valobakteeritestissä tai levän kasvun estymistä mittaavassa testissä EC₅₀ ≤ 10 %. Uutelan vesienkäsittelysakan ekotoksisuustestien EC₅₀-pitoisuudet on esitetty taulukossa 5-31. EC₅₀-pitoisuuksien perusteella Uutelan vesienkäsittelysakka ei saa vaaraominaisuutta HP14.

Taulukko 5-31. Uutelan vesienkäsittelysakan ekotoksisuustestien EC₅₀-pitoisuus (SGS 2025).

Ekotoksisuustesti	EC ₅₀ -pitoisuus
Vesikirppu	> 100 %
Valobakteeri	> 80 %
Levän kasvun estyminen	> 100 %

5.7 Kaivannaisjätteiden luokittelu

Sotkamon kaivoksella muodostuvien kaivannaisjätteiden luokittelun kooste on koottu taulukkoon 5-32. Luokittelu perustuu kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013, liite 1) ja jäteasetuksen (VNA 978/2021, 3§ ja liite 3) mukaiseen tarkasteluun. Lisäksi taulukossa on esitetty jätelajien muut keskeiset luokitukseen vaikuttaneet ominaisuudet.

Sotkamon kaivoksella ja Uutelan kaivoksella muodostuvien vesienkäsittelysakkojen luokittelu on puolestaan tehty jäteasetuksen (VNA 978/2021, 3§ ja liite 3) ja kaatopaikka-asetuksen (331/2013) mukaisesti taulukossa 5-33.

Tässä on esitetty luokittelusta vain kooste. Yksityiskohtaisemmat tiedot on esitetty kaivannaisjätteen jätehuoltosuunnitelmassa.

Taulukko 5-32. Elementisin Sotkamon kaivoksella muodostuvien kaivannaisjätteiden luokittelu kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013, liite 1) ja jäteasetuksen (VNA 978/2021) jäteluettelon (liite 3) sekä laskennallisten vaaraominaisuuksien (3§) mukaisesti. NPR=neutralointipotentiaalisuhde. Kaivannaisjätteiden vaaraominaisuus on arvioitu pintamaalle ja sivukiville jäteluettelon jätenimikeryhmän mukaisesti. Rikastushiekalle ja sivukivien vaaraominaisuutta on arvioitu myös laskennallisesti.

Kaivannais-jäte	Haponmuodostu spotentiaali, VNA 190/2013, liite 1 (ABA)	Sulfidisen rikin pitoisuus (%)	NPR	Alkuaineiden kok.pit. yli VNA 214/2007 kynnysarvon	Pysyvyys- / vaarallisuus luokittelu, VNA 190/2013; VNA 978/2021	Jäteluettel on jätenimiker yhmä
Sivukivi, kiilleliuske, tarvekivi	Mahdollisesti happoa tuottava	0,02–0,47	0,05–9,2	As, Ni, V, Sb	Ei-pysyvä, vaaraton	01 01 02
Sivukivi, mustaliuske	Mahdollisesti happoa tuottava	0,81–3,9	0,02–0,33	As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Sb, V, Zn	Ei-pysyvä, vaaraton	01 01 02
Sivukivi, epäpuhdas talkkimalmi	Mahdollisesti happoa tuottava	0,12–0,57	1,7–4,5	As, Cd, Co, Cr, Ni, Sb	Ei-pysyvä, vaaraton	01 01 02
Sivukivi, serpentiniittibre ksia	Ei happoa tuottava	0,2	5,8	As, Co, Cr, Ni, Sb	Ei-pysyvä, vaaraton	01 01 02

Kaivannais- jäte	Haponmuodostu spotentiaali, VNA 190/2013, liite 1 (ABA)	Sulfidisen rikin pitoisuus (%)	NPR	Alkuaineiden kok.pit. yli VNA 214/2007 kynnysarvon	Pysyvyys- / vaarallisuus luokittelu, VNA 190/2013; VNA 978/2021	Jäteluettel on jätanimiker yhmä
Porasoija	-	-	-	-	Ei-pysyvä, vaaraton	05 01 99
Rikastushiekka/ Magnesiittihiek ka	Mahdollisesti happoa tuottava	0,05–0,50	1,5–6,7	As, (Cd)*, Co, Cr, Ni, Sb	Ei-pysyvä, vaaraton	01 04 12
Pintamaa	Mahdollisesti happoa tuottava	0,11– 4,99**	<0,1– 0,55	As, Cd, Co, Cr, Ni, Sb, Zn***	Ei-pysyvä, vaaraton	01 01 02

* Kadmium kynnysarvo rikastushiekassa ei ole ylittynyt enää v. 2022 jälkeen

** Rikkipitoisuus on määritetty rikin kokonaispitoisuutena, ei sulfidisen rikin pitoisuutena

*** Laskettu 12 näytteelle keskiarvot eri alkuaineille. Näiden alkuaineiden keskiarvopitoisuus ylittää kynnysarvon

Taulukko 5-33 Elementisin Sotkamon ja Uutelan kaivoksella vesienkäsittelyssä muodostuvien sakkujen luokittelu kaatopaikka-asetuksen (331/2013) ja jäteluettelon (VNA 978/2021 liite 3) mukaisesti. Sotkamon kaivoksen sekä Uutelan kaivoksen vesienkäsittelysakat sijoitetaan Sotkamon kaivoksen Soidinsuon rikastushiekka-altaalle.

Jätejae	Kaatopaikkakelpoisuus (VNA 1030/2021)	Pysyvyys- / vaarallisuusluokittelu	Jäteluettelon jätanimikeryhmä
Sotkamon (Soidinsuo) vesienkäsittelysakka	vaarattoman jätteen kp (antimoni, sulfaatti)	vaaraton	19 08 14
Sotkamon neutraalointisakka	vaarattoman jätteen kp (fluoridi, sulfaatti)	vaaraton	19 08 14
Uutelan kaivoksen vesienkäsittelysakka	vaarattoman jätteen kp (nikkeli, antimoni, sulfaatti)	vaaraton	19 08 14

Taulukko 5-34. Elementisin Sotkamon ja Uutelan kaivoksella vesienkäsittelyssä muodostuvien sakkojen luokittelu kaivannaisjäteasetuksen mukaisesti. Tulokset esitetään vertailuna, vaikkei sakkaa luokitella kaivannaisjätteeksi.

Jätejäte	Haponmuodostuspotentiaali, VNA 190/2013, liite 1 (ABA)	Sulfidisen rikin pitoisuus (%)	NPR	Alkuaineiden kok.pit. yli VNA 214/2007 kynnysarvon
Sotkamon vesienkäsittelysakka	Mahdollisesti happoa tuottava	1,8	2,4	As, Cd, Co, Cr, Ni, Sb
Sotkamon neutralointisakka	Ei happoa tuottava	0,02	260	(As), Cd, Co, Ni, Sb, Zn
Uutelan kaivoksen vesienkäsittelysakka	-	1,2/1,6**	~25*	As, Cd, Co, Ni, Pb, Sb, Zn

* Neutralointipotentiaalisuhde ei ole vesienkäsittelysakkojen luokittelun virallinen peruste, eikä ABA-testausta tehdä velvoitetarkkailun puitteissa. Luvut ovat viitteellisiä. Uutelan sakalle luku on vuosien 2018 ja 2019 keskiarvo (AFRY Finland Oy 2024d).

** Kokonaisrikkipitoisuus vuonna 2018 ja 2019 oli 1,2 % (jolloin NPR määritettiin olevan 25), vuosien 2021-2023 kokonaisrikkipitoisuuden keskiarvo oli 1,6 % ja ABA testiä ei tehty.

6 Kaivannaisjätteiden jätealueet ja niiden pohjarakenteet sekä jätealueiden luokitukset

6.1 Kaivannaisjätteen jätealueen määritelmä ja jätealueiden luokitukset

Kaivannaisjäteasetuksen mukaan kaivannaisjätteen jätealueella tarkoitetaan tuotantopaikan yhteydessä olevaa aluetta, johon sijoitetaan siinä syntyvää kiinteää, lietemäistä tai nestemäistä kaivannaisjätettä. Suuronnettomuuden vaaraa aiheuttavalla kaivannaisjätteen jätealueella tarkoitetaan jätealuetta, josta voi virheellisen toiminnan tai rakenteellisen vakauden tai siihen sijoitetun vaarallisen jätteen määrän tai ympäristölle tai terveydelle vaarallisten kemikaalien vuoksi aiheutua merkittävää vaaraa ihmisten terveydelle, omaisuudelle tai ympäristölle. Kaivannaisjätteen luokittelusta suuronnettomuuden vaaraa aiheuttavaksi jätealueeksi säädetään kaivannaisjäteasetuksen 190/2013 liitteessä 2.

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

6.2 Pintamaan läjitysalue

Vuosina 2008–2023 Punasuon kaivokselta on poistettu yhteensä 2,4 milj. m³ maata. Poistetuista maamassoista 8 % on toimitettu Papinlammelle hyötykäyttöön. Pääosa maamassoista on toimitettu Lahnaslammen sivukivialueelle. Ne pintamaat, joita ei ole käytetty hyötykäyttöön on läjitetty pintamaiden läjitysalueelle Punasuon louhoksen länsipuolelle (Kuva 4-2).

Läjitysalue on kooltaan noin 12 ha. Maanpoistomaiden läjitysalueella ei ole tehty pohjatutkimuksia. Alueella ei ole pohjarakenteita. Alue sijaitsee osin turvepeitteisellä alueella, jossa pohjamaa on vastaavaa moreenia kuin avolouhoksen alueella yleensä. Läjitysalueen vedet valuvat luontaisen valuman mukaisesti Lahnaslammen avolouhokseen.

Pintamaiden varastoalueelle sijoitetut ainekset (turve, kivennäismaa, kiviaines) luokituvat ei-pysyväksi, vaarattomaksi kaivannaisjätteeksi. Pintamaiden varastoalueella ei voida arvioida olevan suuronnettomuuden vaaraa aiheuttavaa luonnetta. Pintamaiden varastoalue luokitellaan siten muuksi kaivannaisjätteen jätealueeksi.

6.3 Sivukivialue

Sivukiven läjitysalue sijaitsee kaivospiirin luoteiskulmalla (Kuva 4-2). Nykyisen sivukivialueen alle ei ole alun perin tehty pohjarakennetta, eikä sivukiven läjitysalueella ei ole tehty pohjatutkimuksia. Alue sijaitsee osin turvepeitteisellä alueella, jossa pohja muodostuu huonosti vettä läpäisevästä luonnonmoreenista.

Sivukiven läjitysalue luokituu ei-pysyväksi, vaarattomaksi kaivannaisjätteeksi sivukivien ominaisuuksien perusteella. Sivukivialue on rakennettu siten, ettei siitä aiheudu vaaraa alueen rakenteelliselle vakaudelle; ja sulkemisessa sivukivialue tullaan muotoilemaan ja peittämään siten, ettei alueesta aiheudu merkittävää vaaraa ympäristölle eikä ihmiselle (rakenteellinen vakaus, ympäristöturvallisuus). Sivukiven läjitysalueella ei arvioida olevan suuronnettomuuden vaaraa aiheuttavaa luonnetta, joten sivukivialue luokitellaan muuksi kaivannaisjätteen jätealueeksi kuin suuronnettomuuden vaaraa aiheuttavaksi.

6.4 Papinlammen rikastushiekka-allas

Papinlammen rikastushiekka-allas sijaitsee kaivospiirin kaakkoiskulmalla (Kuva 4-2). Papinlammen alue on pohjareenialuetta, jossa kumpareet ja mäet noudattavat kallion topografiaa ja moreenipeitteen paksuus on laajoilla alueilla alle metrin. Kallio on ehyttä ohuen moreenipeitteen alueilla ja rikkonaista pitkien ja kapeiden laaksoalueiden reunamilla Papinlammen pohjois- ja eteläpuolella. Alueen moreeni on keskitiivistä tai tiivistä hiekkamoreenia, jonka lajite vaihtelee soraisesta hiekkamoreenista silttiseen hiekkamoreeniin. Kallion syvänealueilla peitekerroksina esiintyy turvetta, liejuista savea ja silttiä paksuimmillaan n. 8 m. Reunapadot on perustettu moreenin tai kallion varaan ja



pehmeitä maakerroksia on poistettu patorunkojen alta enimmillään n. 7 m:n paksuudelta. Rikkonaista kalliota on tiivistetty työn aikana injektoimalla. (AFRY Finland Oy 2020b) Papinlammen alueella on tehty pohjatutkimuksia patolinjalla.

Papinlammen altaan pato on luokiteltu 2-luokan padoksi.

Papinlammen rikastushiekka-altaalle sijoitetaan magnesiittihiekkaa (rikastushiekkaa), joka on luokiteltu ei-pysyväksi, vaarattomaksi kaivannaisjätteeksi. Tällöin Papinlammen rikastushiekka-alue voidaan luokitella jätteen laadun perusteella muuksi kaivannaisjätteen jätealueeksi kuin suuronnettomuuden vaaraa aiheuttavaksi.

6.5 Soidinsuon allas

Soidinsuon altaalle läjitetään vesienkäsittelysakkoja, joihin sovelletaan jäteasetusta (978/2021). Koska Soidinsuonaltaalle on aiemmin läjitetty rikastushiekkaa ja sitä on valtaosa läjitetystä jätteestä, luokitellaan Soidinsuon allas muuksi kaivannaisjätteen jätealueeksi.

6.6 Lahnaslammen louhosjärvi

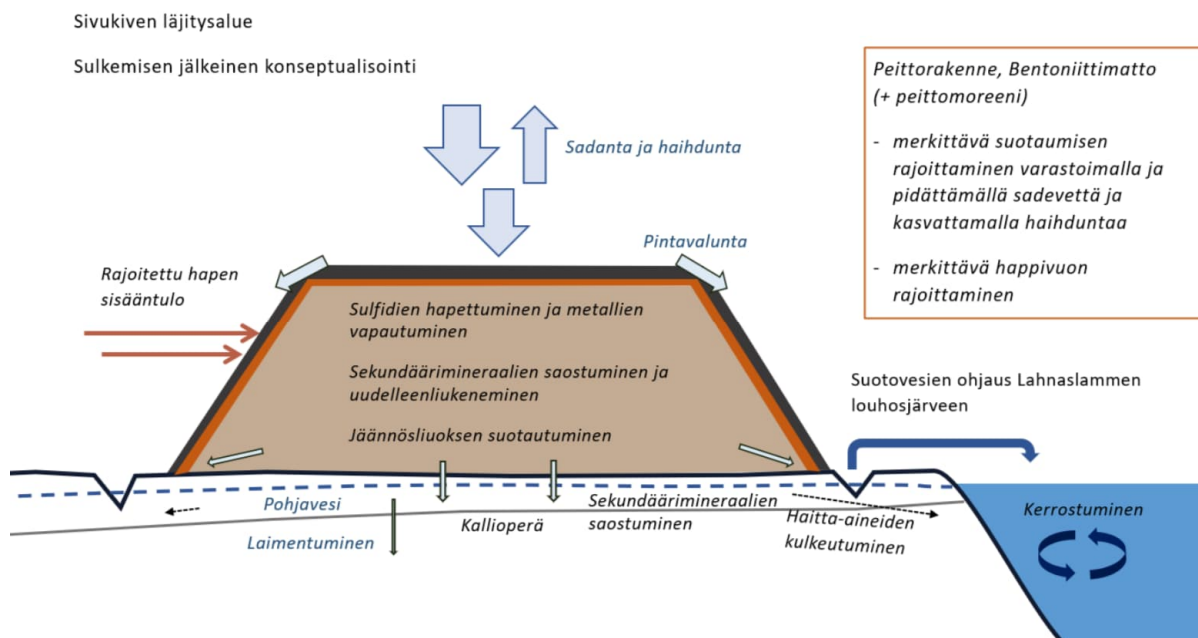
Kaivannaisjäteasetuksen 2 §:n 2 momentin mukaan kaivannaisjätteen jätealueena ei pidetä tyhjää louhosta, johon palautetaan toiminnassa syntynyttä kaivannaisjätettä kunnostamis- tai rakentamistarkoituksessa. Lahnaslammen louhosta ei näin ollen luokitella kaivannaisjätteen jätealueeksi. (Ramboll Finland Oy, 2015)

7 Sulkemisen jälkeisen tilan konseptualisointi

7.1 Konseptualisoinnin tarkoitus

Toiminta-alueen konseptuaalisella eli käsitteellisellä mallintamisella pyritään havainnollistamaan jälkihoidettavan kohteen sisäisiä prosesseja sekä suhdetta ympäristöönsä. Jälkimmäinen sisältää mahdollisten haitta-aineiden ja haittatekijöiden kulkeutumis- ja vaikutusreittien alustavan tunnistamisen. Konseptuaalisen mallin avulla tunnistetaan sijaintikohtaisesti kohteen sulkemisen jälkeiseen tilaan liittyvät potentiaaliset haittavaikutukset, jotka sulkemissuunnittelun keinoin on pyrittävä ehkäisemään. Konseptuaalinen malli on siis myös tavoiteasettelun työkalu. Lisäksi konseptuaalisten mallien avulla pyritään varmistamaan, että sulkemisen jälkeistä tilaa kuvaavissa malleissa ja sulkemissuunnittelussa huomioidaan tarvittavat syötteet ja tekijät. Varsinaisten vedenlaatumallien (kaivannaisjätealueiden suotovesien sekä louhosjärven vedenlaadun mallinnus) konseptuaaliset mallit esitetään erillisessä sulkemisen jälkeisen ajan vedenlaadun mallinnusraportissa (liite 3).

suotautuva vähäinen vesimäärä huuhtoo rapautumistuotteet ja ohjautuu joko suotovesiojista tai maaperästä suotautumalla suoraan Lahnasjokeen tai Lahnaslammen louhosjärven kautta Lahnasjokeen.



Kuva 7-2. Lahnaslammen sivukivialueen konseptuaalinen kuva.

7.4 Louhosjärven konseptuaalinen malli

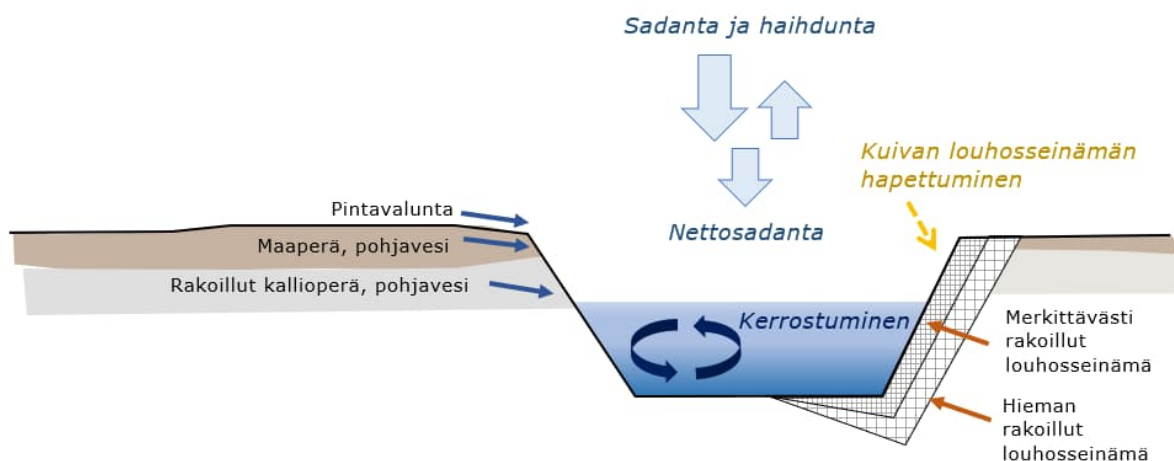
Louhosjärviin päätyy vettä sadannasta, pintavalunnasta ja pohjavesivalunnasta (Kuva 7-3). Kun louhos on osittain tyhjä, sadannasta osa osuu louhoksen seinämiin ja valuu tätä kautta järveen tai haihtuu. Pintavalunta voi päätyä järveen joko louhoksen seinämää pitkin valumalla tai suotautumalla louhosta ympäröivän kallion rikkonaisuusvyöhykkeen kautta. Pohjavesivalunta päätyy louhokseen maaperän ja kallion rikkonaisten vyöhykkeiden kautta valumalla rikkonaisuusvyöhykkeessä, louhoksen seinää pitkin tai purkautumalla järveen vedenpinnan tason alle. Pohjavesivalunnan määrä ja laatu vaihtelevat louhosjärven pinnankorkeuden mukaan. Läjitysalueiden läpi suotautuva vesi ohjataan usein louhosjärveen, jossa sen ajatellaan osittain puhdistuvan metalleista ja sulfaatista järvestä sopivissa olosuhteissa tapahtuvan sedimentaation ja pelkistymisreaktioiden seurauksena.

Louhosjärvistä poistuu vettä haihdunnan, pohjavesivalunnan, ulosvirtaaman ja ylivalunnan kautta. Järvestä poistuva pohjavesivalunta riippuu järven pinnantasosta, ja se alkaa yleensä vasta, kun järvi on lähes täyttynyt. Ulosvirtausta tapahtuu vasta, kun järvi on täyttynyt kynnystasolle asti ja ylivaluntaa, jos järvi on täyttynyt ääriään myöten. Ulosvirtaama ja ylivalunta tapahtuvat aina järven pintakerroksesta.

Louhosjärvissä tapahtuu sääolosuhteista johtuvaa vuosittaista lämpötilakerrostumista. Talvella louhosjärvet jäätyvät kuten luonnonvedetkin. Järveen voi pohjan kautta kulkeutua kalliosta ja kalliopohjavedestä lämpöä, joka voi joissain tilanteissa vaikuttaa veden kerrostuneisuuteen jonkin verran.

Louhosjärvissä voi tapahtua joidenkin tulovesien korkeasta suolapitoisuudesta tai itse louhosseinämän vaikutuksesta johtuen suolaisuuden kerrostumista, ts. järviin muodostuu veden tiheyserosta aiheutuva suolapitoisuuden kerrosraja, halokliini. Halokliini voi olla ajoittainen tai pysyvä. Pysyvä halokliini estää louhosjärven täyskierron (pystysuuntaisen sekoittumisen) keväällä ja syksyllä. Tällöin halokliinin alapuolella oleva vesi ei sekoitu pintaveden kanssa ja ajautuu yleensä ennen pitkää hapettomaan tilaan. Pysyvän halokliinin muodostuminen voi olla etenkin rikkipitoisia mineraaleja sisältävillä alueilla tavoiteltu tila, sillä halokliinin alapuolella vesi pysyy hapettomana, jolloin sopivissa olosuhteissa sulfaattien pelkistyminen sulfideiksi voi olla mahdollista, mikä poistaa näitä aineita louhosjärven vedestä.

Louhosjärven täyttyminen Sulkemisen jälkeinen konseptualisointi



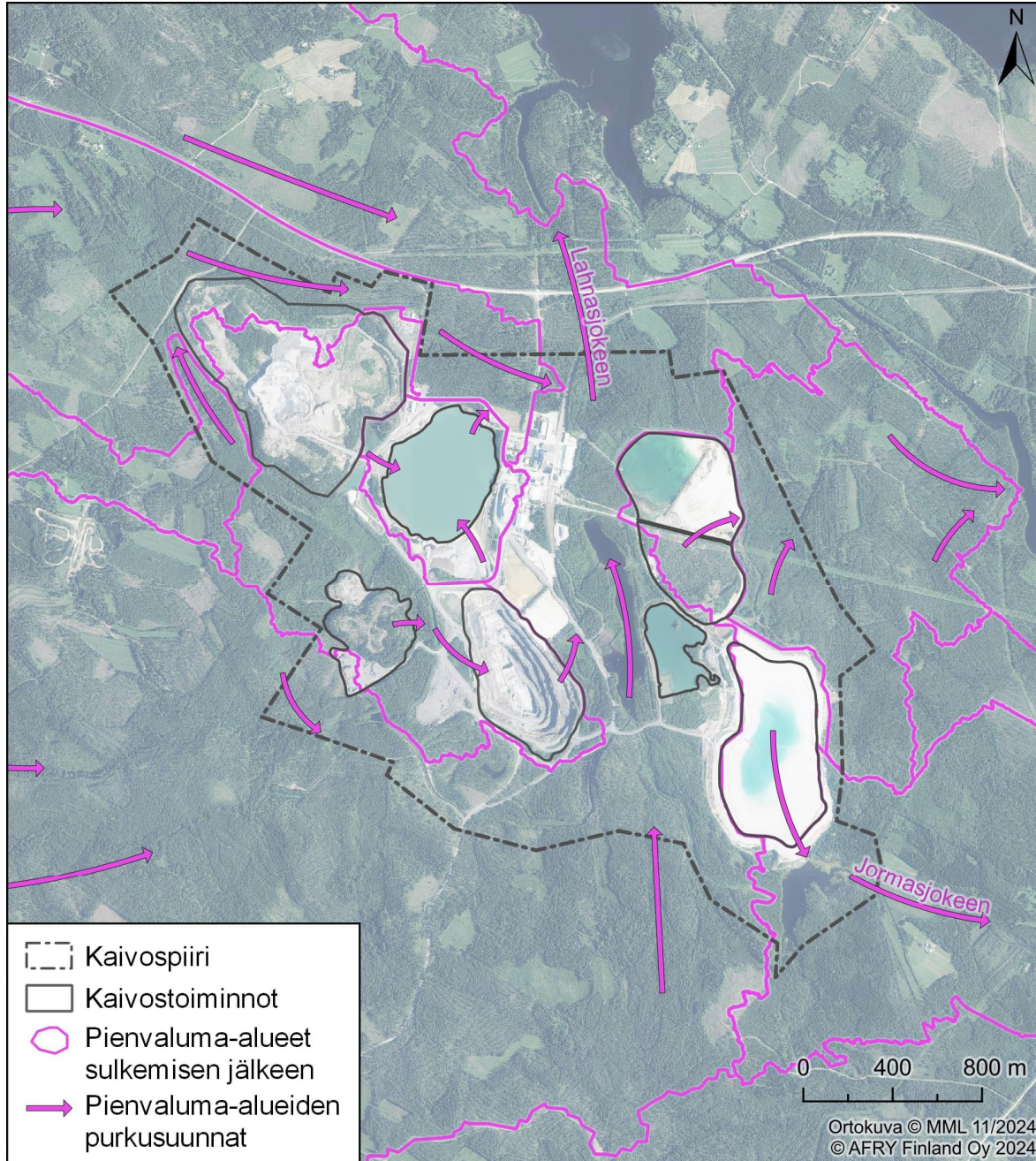
Kuva 7-3. Louhosjärven konseptuaalinen malli.

7.5 Hydrologinen käsitteellistäminen

Pintavesien virtaussuunnat kaivoksen sulkemisen jälkeen on esitetty kuvassa (Kuva 7-4).

Sulkemisen jälkeen Lahnaslammen avolouhokseen virtaa vesiä pieneltä alueelta louhoksen ympäristöstä sekä suuremmin sivukivialueelta. Punasuon avolouhokseen virtaa vesiä lännestä. Lahnaslammen ja Punasuon louhoksista vesi virtaa ylivuotona Lahnasjokeen ja edelleen Nuasjärven Jormaslahteen.

Luontaisessa tilanteessa Papinlammen eteläpuoliset vedet virtaavat itään Jormasjokea kohti, mutta toimintavaiheessa vesien virtaus on käännetty kohti länttä ja Lahnasjoen allasta. Sulkemisen jälkeen vesien virtaus palautetaan luontaiselle reitilleen, jolloin vedet virtaavat länteen Jormasjokeen ja edelleen Nuasjärven Jormaslahteen.



Kuva 7-4. Vesien virtaussuunnat kaivoksen sulkemisen jälkeen.

8 Riskien ja mahdollisuuksien tunnistaminen suunnittelun alkaessa

Sulkemissuunnittelun alkuvaiheessa tavoiteasettelun ja toimenpiteiden valinnan tueksi suoritettiin riskien ja mahdollisuuksien tunnistaminen, joka käsitellään tässä kappaleessa. Riskien tunnistamisen tukena käytettiin mm. perustilätietoja, tietoja jätteiden ominaisuuksista sekä sulkemisen jälkeisen tilan käsitteellistämistä ja aiempaa alustavaa sulkemissuunnitelmaa.

Riskien ja mahdollisuuksien tunnistamisen pohjalta (BAT-päätelmät huomioiden) laadittiin ehdotus sulkemistoimenpiteiksi, joita tarkasteltiin vielä vaikutusarvioinnin ja jäännösriskiarvioinnin keinoin. Valmiit suunnitelmat olivat mukana koko hankkeen ympäristöriskien numeerisessa arvioinnissa, missä käsiteltiin jäännösriskit (kappale 14).

Suunnittelun alkuvaiheessa keskeisinä riskeinä huomioitiin seuraavat asiat:

- Avolouhoksen jyrkät seinämät aiheuttavat turvallisuusriskin alueella liikkuville louhosjärven vedenpinnan ollessa vielä alhaalla (pian sulkemisen jälkeen) sekä louhoksen täytyttyä kokonaan vedellä.
 - o Hallinta: Avolouhos aidataan ja pääsy alueelle estetään varoituskyltein.
- Ympäristölupapäätöksessä (Dnro Psy-2003-y-175, Nro 9/08/2, 18.1.2008) oli määrätty peittorakenteelle vedenläpäisevyys enintään 10^{-8} ja tiivistyskerroksen paksuudeksi 0,5 m. Sotkamon kaivoksella on saatavilla moreenia, joka on vedenläpäisevyydeltään 10^{-6} – 10^{-7} , lisäksi käytännön rakentamistyössä on todettu, että kerroksen tiivistäminen 0,5 metrin vahvuiseksi on vaikeaa.
 - o Hallinta: Esitetty sellaisia uusia peittorakenteita, jotka pystytään käytännössä rakentamaan, ja joihin löytyy materiaalia kaivosalueelta. Rakenteet ovat silti ympäristöturvallisia.
- Sivukiven läjitysalueen suotovesien laatu ja määrä
 - o Hallinta: Sivukivialue peitetään bentoniitilla suotovesimäärän rajoittamiseksi.

Alustavasti on tunnistettu seuraavat mahdollisuudet:

- Kun louhinta Punasuolla on loppunut, alueella voi jatkua muiden lähialueilla sijaitsevien talkkiesiintymien rikastaminen tai muiden mineraaliesiintymien rikastaminen.
- Hyvät liikenneyhteydet ja varasto- ja tuotantotilat mahdollistavat myös muun teollisen toiminnan alueella.
- Maisemoidut läjitysalueet tarjoavat mahdollisuuden aurinkovoimalle.
- Alue palaa soveltuvilta osin ulkoilu- ja virkistys sekä metsätaloustyöhön.
 - o Kasvitetaan alue soveltuvilta osin ja varmistetaan alueturvallisuus siten, että liikkumisrajoitukset alueella voidaan sulkemisen jälkeen purkaa mahdollisimman suurelta osin.
- Alueen tiestöä ja varikoita pystytään hyödyntämään esim. metsätalouden tai muun toiminnan piirissä.

- o Tiestö jätetään paikoilleen ja sitä kunnossapidetään tarkkailutoiminnan vaatimusten osalta. Kunnossapito muilta osin ja tarkkailun jälkeen ratkaistaan yhteistyössä alueen sidosryhmien kanssa

9 Sulkemista koskevat vaatimukset

9.1 Kaivoksen sulkemista koskeva lainsäädäntö

Kaivoslain (621/2011) 15. luku käsittelee kaivostoiminnan lopettamista. Luvussa esitettyjen säännösten mukaan kaivosalue on toiminnan päättyessä viipymättä saatettava yleisen turvallisuuden vaatimaan kuntoon. Lisäksi on huolehdittava sen kunnostamisesta, siistimisestä ja maisemoinnista. Kaivostoiminnan päätyttyä kaivostoiminnan harjoittaja edelleen vastaa kaivosluvassa annettujen määräysten tai kaivostoiminnan lopettamispäätöksessä annettujen määräysten mukaisesti kaivosalueen ja kaivoksen apualueen seurannasta. Lisäksi kaivostoiminnan harjoittaja vastaa edelleen mahdollisista tarvittavista korjaavista toimenpiteistä ja niiden kustannuksista.

Kemikaaliturvallisuuslain (390/2005) 133 § määrää toiminnan lopettamisesta aiheutuvista velvoitteista. Tuotantolaitoksen käytöstä poistettavan osan rakenteet ja alueet on tarvittaessa puhdistettava. Vaarallisista kemikaaleista ja räjähteistä on myös huolehdittava siten, ettei niistä aiheudu henkilö-, ympäristö- eikä omaisuusvahinkoja.

Ympäristönsuojelulain (527/2014) 94 §:n mukaan luvanvaraisen toiminnan päätyttyä toiminnanharjoittaja vastaa edelleen tarvittavista toimista ympäristön pilaantumisen estämiseksi. Lisäksi toiminnanharjoittaja vastaa edelleen toiminnan vaikutusten selvittämisestä ja tarkkailusta lupamääräysten mukaisesti. Mikäli lupa ei sisällä riittäviä määräyksiä toiminnan lopettamiseksi, on lupaviranomaisen annettava tätä tarkoittavat määräykset.

Ympäristönsuojeluasetuksen (713/2014) 16 §:n mukaan voidaan kaatopaikkojen osalta esittää määräyksiä liittyen käytöstä poistamiseen ja sulkemiseen. Lisäksi voidaan esittää määräyksiä siitä, kuinka kauan toiminnanharjoittajan on vastattava kaatopaikan jälkihoidosta, kuitenkin vähintään 30 vuotta. Mikäli toiminnasta kuitenkin aiheutuu maaperän tai pohjaveden pilaantumista, on toiminnanharjoittaja velvollinen puhdistamaan maaperän ja pohjaveden ympäristönsuojelulain 14 luvun säännösten mukaisesti.

Valtioneuvoston asetus kaivannaisjätteistä (190/2013) edellyttää, että toiminnanharjoittaja vastaa jätealueen käytöstä poistamisen jälkeen tehtävistä jälkihoitotoimista sekä niihin liittyvästä seurannasta ja tarkkailusta. Toiminnanharjoittajan vastuu jatkuu niin kauan kuin on tarpeen, jotta saadaan varmistettua, ettei alueesta aiheudu ympäristön pilaantumista tai sen vaaraa. Lisäksi on pystyttävä varmistamaan, että alue on vakaa ja pysyvästi maisemoitu eikä alueesta aiheudu onnettomuuden vaaraa ja siitä aiheutuvaa ympäristökuormitusta. On myös pystyttävä varmistamaan, että

vaikutusalueen pinta- tai pohjavesien tilaa ei ole enää tarpeen tarkkailla. Tarvittavista toimista määrätään ympäristönsuojelulain nojalla annettavissa määräyksissä.

9.2 Hyviä käytäntöjä kaivoksen sulkemisessa

Lainsäädännön ja lupaehtojen ohessa sulkemissuunnittelussa huomioidaan hyvät käytännöt. Toisaalta tämä voidaan nähdä myös lainsäädännön asettamana vaatimuksena, sillä ympäristönsuojelulain (527/2014) mukaan luvanvaraisessa ja rekisteröitävässä toiminnassa tulee soveltaa parasta käyttökelpoista tekniikkaa. Parhaan käyttökelpoisen tekniikan arvioinnissa sovelletaan kaivannaisjätteen BREF dokumenttia "Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Management of Waste from Extractive Industries" (EC 2018) ja sen soveltamisesta laadittua ympäristöministeriön opasta "Opas kaivannaisjätteiden hallinnan MWEI BREF-vertailuasiakirjan parhaita käyttökelpoisia tekniikoita koskevien päätelmien soveltamiseen". BREF-dokumentin mukaiset menettelyt eivät ole sitovia ja toiminnassa voidaan käyttää muita soveltuvia rakenteita tai toimintatapoja, joilla saavutetaan vähintään vastaava ympäristönsuojelullinen tila. Hyvää sulkemissuunnitteluprosessia kuvaa erityisesti "Integrated Mine Closure – Good Practice Guide, 2nd Edition" (ICMM 2019).

9.3 Sijaintikohtaiset vaatimukset

Elementisin Sotkamon kaivoksen ja tehtaan sulkemista koskevat sijaintikohtaiset vaatimukset on koottu taulukkoon (Taulukko 9-1).

Taulukko 9-1. Sijaintikohtaiset vaatimukset kaivoksen sulkemiselle.

Vaikutuskohde	Keskeistä vaikutuskohteesta	Erityisesti huomioitava
Vastaanottava vesistö	Kaivoksen sulkemisen jälkeisessä vaiheessa suurin osa kaivosalueen vesistä kulkeutuu Lahnasjoen ja osa Jormasjoen kautta Nuasjärveen. Nuasjärven vedenlaadusta sekä järven virkistyskäyttö- ja kalastoarvoista on huolehdittava sulkemisen jälkeenkin. Erinomaisiksi tai hyviksi arvioitujen vesien tilaa ei saa heikentää. Kaivoksen sulkemisessa on pyrittävä siihen, että vesistöalueiden virkistyskäyttö- ja kalastoarvot eikä vedenlaatu vaarannu. Lähimmät luokitellut vesistöt ovat Jormasjoki ja Nuasjärvi, joiden hyvää ekologista tilaa ei saa heikentää yhdenkään luokittelutekijän osalta. Sulkemisen jälkeen ympäristölaatumormit eivät saa ylittyä vesistöissä.	x
Pohjavedet	Louhostoiminnan pohjavesivaikutukset liittyvät pääasiallisesti malminlouhinnan ja louhosalueiden	x

	kuivatuksen aiheuttamiin pinnankorkeuden muutoksiin sekä läjitysalueiden aiheuttamiin laadullisiin pohjavesivaikutuksiin. Tuotannon aikana pohjavesivirtauksia kohdistuu kuitenkin ympäröivältä alueelta louhoksiin, kun taas sulkemisen jälkeen pohjaveden pinnan tason palaututtua pohjavesivirtauksia kohdistuu louhoksesta ympäristöön ja ympäröiviin vesistöihin. Kaivoksen toiminta-aikana pohjaveden laatuun kohdistuvia vaikutuksia voi aiheutua lähinnä läjitysalueilta talteenottamatta jäävän suotovesiosan muodossa. Kaivos ei sijaitse luokitellulla pohjavesialueella	
Suojelu-alueet ja uhanalaiset lajit	Lähin kaivosaluetta sijaitseva Natura-alue, Losonvaara (FI1201009 SAC), sijaitsee noin 6,4 km etäisyydellä kaivosalueesta lounaaseen. Naturan suuntaan ei saa kohdistua merkittäviä vaikutuksia (esimerkiksi välilliset vaikutukset) sulkemisen jälkeen. Luontodirektiivin liitteen IVa lajeista kaivoksen ympäristössä on havaittu laaja saukon elinpiiri ja yksilöitä liikkuu myös lähellä kaivoksen nykyisiä toimintoja sijaitsevilla virtavesiuomissa. Kaivoksen lähialueella on havaintoja myös metsäpeurasta ja liito-oravasta.	(x) Natura-alue sijaitsee kaukana
Maisema	Kaivosalue ei sijoitu valtakunnallisesti tai maakunnallisesti tärkeille maisema- tai kulttuuriympäristöalueille. Louhoksella, sivukivialueella ja rikastushiekka-altaalla on pitkäaikainen maisemallinen alueellinen vaikutus, joka pienenee jälkihoitotoimenpiteillä.	
Yhteisö ja elinkeinot	Hankealueen lähiympäristö on pääosin metsätalousvaltaista aluetta, jossa on suoalueita, järviä ja maatalousmaata. Asuinrakennuksia on alle kilometrin etäisyydellä kaivospiiristä, erityisesti pohjoispuolella Jormasjoen varrella ja Telkkälässä. Kaivoksen läheisyydessä metsästetään. Alueen sulkemisen jälkeisen tilan ja tiestön osalta on syytä huomioida myös alueen yhteisöjen tarpeet.	

10 Sulkemisen tavoitteet

Kaivoksen sulkemisen tavoitteet muodostuvat lainsäädännön määräyksistä, tunnetuista hyvistä käytännöistä, paikallisen ympäristön erityisvaatimuksista sekä tunnistetuista riskeistä ja mahdollisuuksista.

Jälkihoidon yleiset tavoitteet ovat:

- Alue saatetaan fyysisesti ja kemiallisesti mahdollisimman stabiiliin tilaan.
- Alueesta ja siellä olevista rakenteista ei aiheudu haittaa tai vaaraa ympäristölle, eläimille tai ihmisille lyhyellä eikä pitkällä aikavälillä.
- Tarve suljetun alueen aktiiviseen ylläpitoon ja hoitoon pitkällä aikavälillä minimoidaan.
- Jälkihoito toteutetaan siten, että varsinainen implementointityö on tehtävissä alue- ja ympäristöturvallisuutta vaarantamatta ja hyvää työturvallisuutta noudattaen.
- Liikkuminen alueella ja sen ympäristössä on pitkällä aikavälillä mahdollisimman vähän rajoitettua.
- Alue palautetaan biologisesti monimuotoiseksi elinympäristöksi. Vaihtoehtoisesti alue ohjataan paikalliset tarpeet huomioivaan ja ympäristön kannalta kestäväan uuteen maankäyttöön.
- Alue sopeutuu maisemaan.
- Jälkihoito on kustannusten osalta realistista ja kohtuullista.

Tunnistetuista riskeistä ja mahdollisuuksista johdetut sulkemistavoitteet ovat:

- Avolouhoksen alueelle pääsyä on rajoitettu turvallisuuden kannalta riittävästi louhosjärven vedenpinnan ollessa vielä alhaalla.
- Louhosjärven veden pinnan yläpuolelle jäävät luiskat on muotoiltu siten, että alueella liikkuminen on turvallista. Poistumisreitti louhosjärveen päätyneille ihmisille tai eläimille on varmistettu. Vaihtoehtoisesti alueella liikkumista rajoitettu myös pitkällä aikavälillä.
- Louhosjärven pintaosien veden laadusta ei aiheudu haittaa ihmisille tai eläimille. Louhosjärven ja ympäristön vuorovaikutuksesta ei aiheudu haittaa ympäröivän alueen pohjavesille tai pintavesille.
- Läjitysalueiden luiskaukset ja patorakenteet ovat vakaat myös pitkällä aikavälillä ja muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa.
- Patojen stabiileetti ja patoturvallisuus on riittävä pitkällä aikavälillä ja padoille on turvattu säännöllinen tarkkailu.

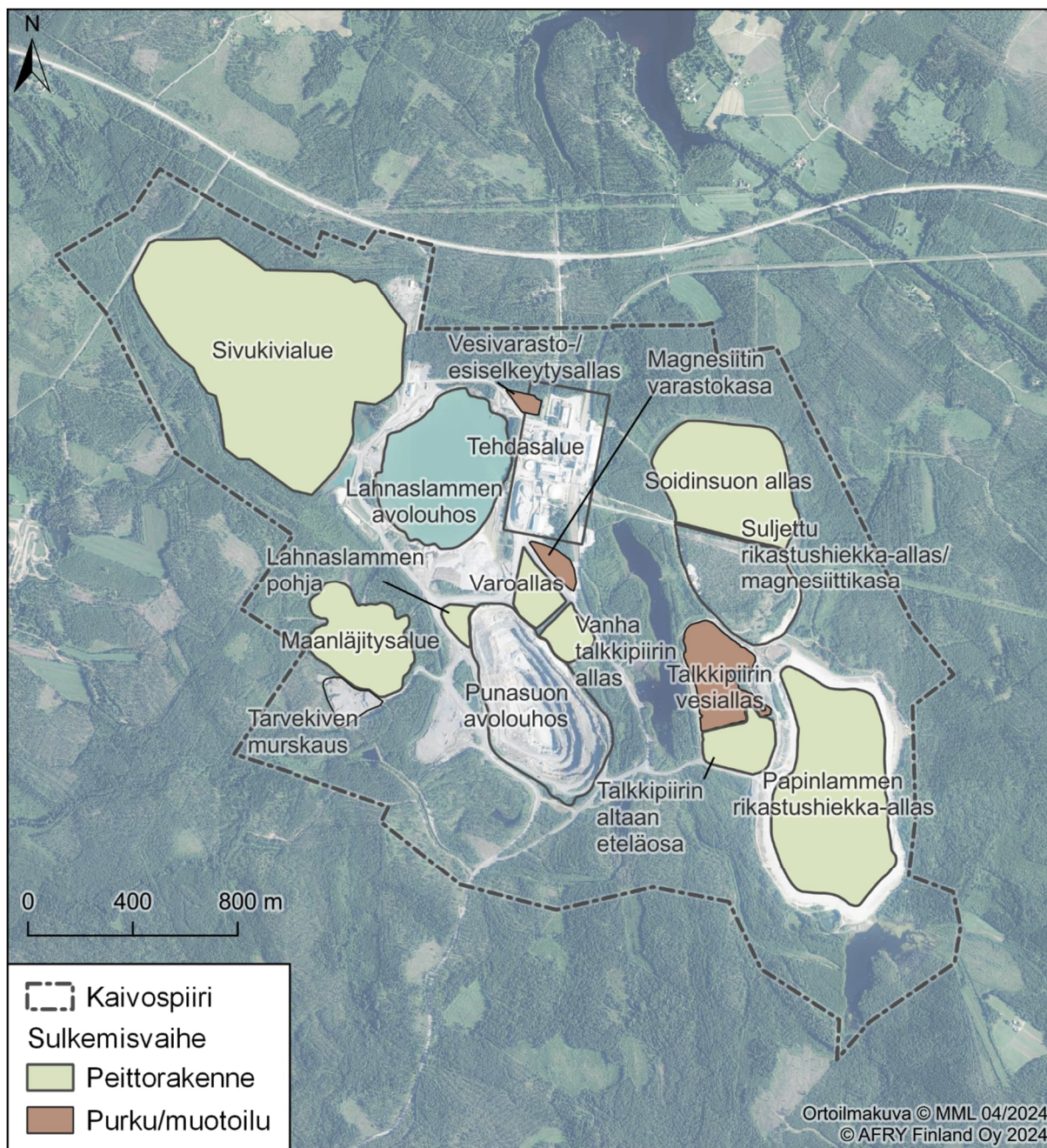


- Alue on ainakin osittain maastomuodoiltaan, turvallisuudeltaan (fysikaalinen ja kemiallinen turvallisuus) ja tiestöltään soveltuva metsätalous- sekä ulkoilu- ja virkistyskäyttöön.
- Vesistöön ei aiheudu kaivoksen sulkemisen jälkeen sellaista kuormitusta, joka vaarantaisi kalaston elinolosuhteet tai heikentäisi vesistöjen ekologista tilaa.

11 Sulkemistoimenpiteet

Sulkemistoimenpiteet on laadittu huomioiden tunnistetut riskit ja mahdollisuudet sekä asetetut tavoitteet. Tavoitteet pyritään täyttämään ja riskit minimoimaan huomioiden kaivannaisjätteen hallinnan sulkemiseen liittyvät BAT-päätelmät (EC 2018). Kun sulkemisen suunnitteluratkaisut ovat käytettävissä, esimerkiksi jätealueille on mahdollista tuottaa vedenlaatuarviot ja kuormitusarviot. Lisäksi valmiit suunnitelmat voidaan käsitellä jäännösriskien arvioinnissa. Tässä kappaleessa käsitellään toimenpideratkaisut perusteluineen. Vaikutus ja riskien arviointi käsitellään kappaleissa 13 ja 14.

Ympäristönsuojelulain mukaan suljettavat alueet on esitetty kuvassa (Kuva 11-1). Kuvassa on esitetty ne alueet, jotka suljetaan peittorakenteilla sekä ne alueet, joita ainakin osin puretaan ja muotoillaan. Tehdasalueen mahdollinen purkaminen kuuluu kaivoslain mukaisen vakuuden piiriin.



Kuva 11-1. Ympäristönsuojelulain mukaan suljettavat alueet. Kuvassa on esitetty ne alueet, jotka suljetaan peittorakenteilla sekä ne alueet, joita ainakin osin puretaan ja muotoillaan.

11.1 Maanlajitysalue

Huomioitavat vaatimukset:

- Kaivoslaki (621/2011), 15. luku, koskien alueen yleisen turvallisuuden vaatimaa kuntoa toiminnan lopettamisen yhteydessä.
- Ympäristönsuojelulaki (527/2014), 94 §, koskien ympäristön pilaantumisen estämistä.
- Valtioneuvoston asetus kaivannaisjätteistä (190/2013), koskien vastuuta jätealueista toiminnan jälkeen ja pilaantumisen tai sen vaaran ehkäisemistä.
- Kaivannaisjätteen hallinnan BREF-asiakirja koskien jäteaineksen fysikaalista ja kemiallista stabiiliteettia.

Maanlajitysalueen sulkemisen keskeisiä suunnitteluperusteita ovat:

- Pintamaita käytetään muiden alueiden sulkemiseen niin paljon kuin mahdollista.
- Pintamaa luokitellaan ei-pysyväksi, vaarattomaksi kaivannaisjätteeksi kaivannaisjäteasetuksen (190/2013, liite 1) perusteella.
- Tavoitteena on happivuon pienentäminen.

Vuosina 2008–2023 Punasuon kaivokselta on poistettu yhteensä 2,4 milj. m³ maata. Poistetuista maamassoista 8 % on toimitettu Papinlammelle hyötykäyttöön. Pääosa maamassoista on toimitettu Lahnaslammen sivukivialueelle maisemointiin.

Maanpoistomassoja on varastoitu sivukiven läjitysalueelle, Lahnaslammen kaivoksen eteläpäähän, sekä omalle läjitysalueelleen sivukiven läjitysalueen eteläpuolelle. Maa-aineksen läjitysalue on kooltaan noin 12 ha. Maa-ainesten läjitysalueelle on sijoitettu n. 930 000 m³ Lahnaslammen ja Punasuon alueilta poistettuja maamassoja.

11.1.1 Maanlajitysalueen sulkemistoimenpiteet

Osa läjitetyistä maamassoista hyödynnetään maarakentamisessa sekä maisemoinnissa. Pintamaita käytetään toiminnan loppuessa sivukivialueen ja rikastushiekka-altaan peittorakenteisiin.

Vuonna 2024 tehtiin tutkimuksia pintamaiden läjitysalueella. Tutkimusalueella maaperä koostui pääasiassa silttisestä tai hiekkaisesta moreenista, jonka seassa oli paikoin turvetta ja vaaleaa maa-ainesta, joka on mahdollisesti talkkia. Osa maa-aineksesta on myös geokemialliselta laadultaan sellaista, että sitä ei voida hyödyntää sulkemISRakenteiden pintaosissa. Tämän vuoksi on varauduttu siihen, että osa maanlajitysalueesta maisemoidaan paikalleen. Peittorakenteena käytetään samaa sulkemISRakennetta, mikä on suunniteltu Papinlammen rikastushiekka-altaalle (Kuva 11-4).



11.2 Lahnaslammen sivukivialue

Huomioitavat vaatimukset:

- Kaivoslaki (621/2011), 15. luku, koskien alueen yleisen turvallisuuden vaatimaa kuntoa toiminnan lopettamisen yhteydessä.
- Ympäristönsuojelulaki (527/2014), 94 §, koskien ympäristön pilaantumisen estämistä.
- Valtioneuvoston asetus kaivannaisjätteistä (190/2013), koskien vastuuta jätealueista toiminnan jälkeen ja pilaantumisen tai sen vaaran ehkäisemistä.
- Kaivannaisjätteen hallinnan BREF-asiakirja koskien jäteaineksen fysikaalista ja kemiallista stabiiliteettia.

Sivukivialueen sulkemisrakenteen keskeisiä suunnitteluperusteita ovat:

- Sivukivi luokitellaan ei-pysyväksi, vaarattomaksi kaivannaisjätteeksi kaivannaisjäteasetuksen (190/2013, liite 1) perusteella.
- Tavoitteena on läpivirtaaman ja happivuon pienentäminen.

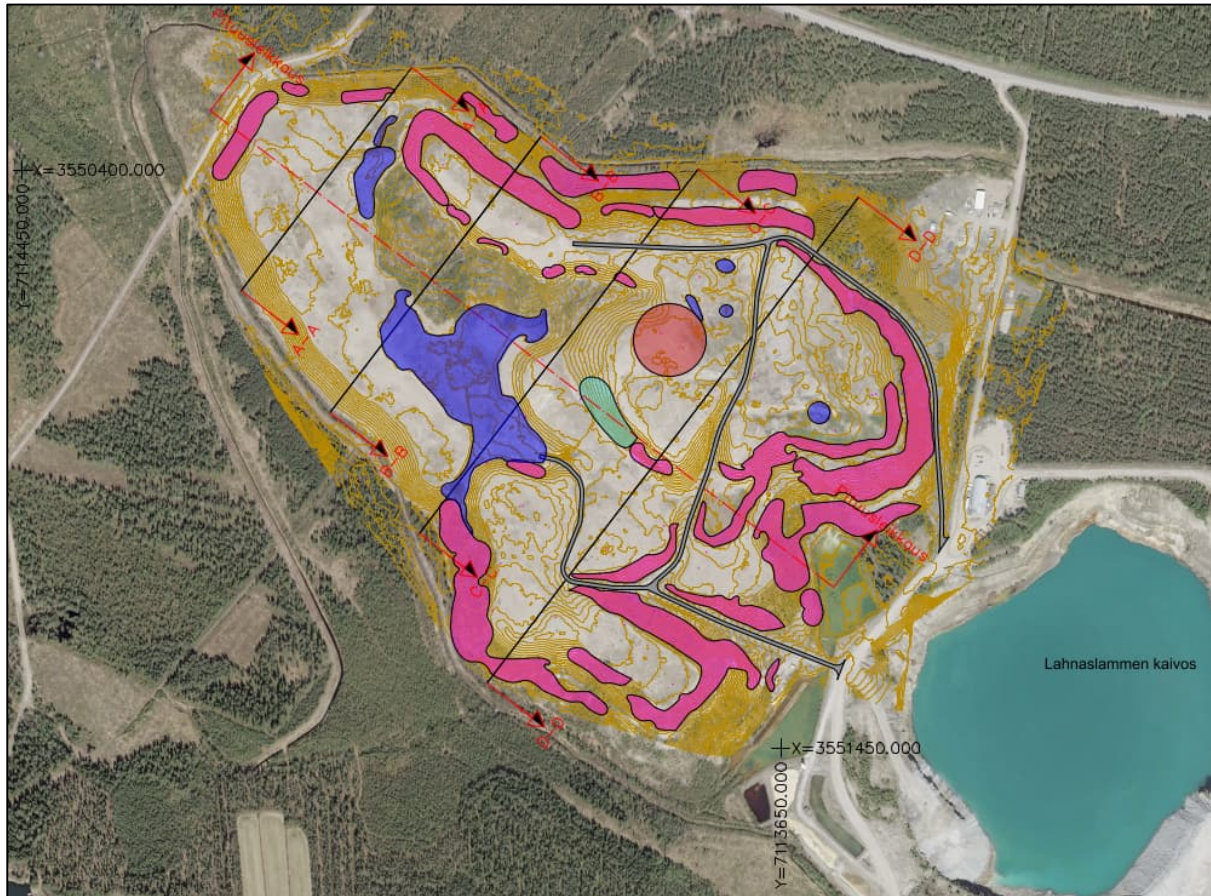
11.2.1 Maisemointi 2011

Sivukivialue on maisemoitu vuonna 2011. Alueelle on toteutettu peittorakenne yhtenä noin metrin paksuisena tasalaatuisena kerroksena. Sivukivialueen sulkemistyöstä on laadittu riippumaton laadunvalvontaraportti 23.9.2020 Infrasuunnittelu Oy:n toimesta

Peittorakenne ei kuitenkaan riitä täyttämään lupapäätöksessä Dnro PSY-2003-Y-175 rakenteelle asetettua vaatimusta.

- Kerrospaksuusvaatimus ei täyty kuvassa (Kuva 11-2) esitetyillä paikoilla.
- Sivukivialueen luiskakaltevuuksissa on myös havaittu poikkeamia. Kasan muotoa tarkasteltaessa alueella havaittiin painanteita, joissa vesi pääsee seisomaan. Luiskissa on myös havaittu eroosiosyöpymää, jolloin kulunut luiska ei täytä pintarakenteelle asetettuja vaatimuksia luiskakaltevuuden ja kerrospaksuuden osalta.
- Lisäksi pintarakenteena käytetty Punasuon moreeni ei täytä vedenläpäisevyydelle asetettua $< 1,0 \times 10^{-8}$ m/s vaatimusta.

Maisemoidun rakenteen päälle on jatkettu sivukiven läjitystä pienimuotoisesti silloin kun Lahnaslammen vedenpinta on ollut liian korkealla ja sivukiveä ei ole voitu läjittää Lahnaslampeen työturvallisuussyistä.



- Luiskakaltevuudet < 1:3
- Kerrospaksuus < 1000 mm
- Kasan laella vettä kerääviä painanteita
- Eroosiosyöpymä

Kuva 11-2. Sivukivialueen läjitysalueen sulkemissuunnitelman lupaehtojen täyttymisen tarkastelu (ote Infrasuunnittelu Oy:n 2020 raportin liitteestä 8, piirustusnumero T1-1.2)

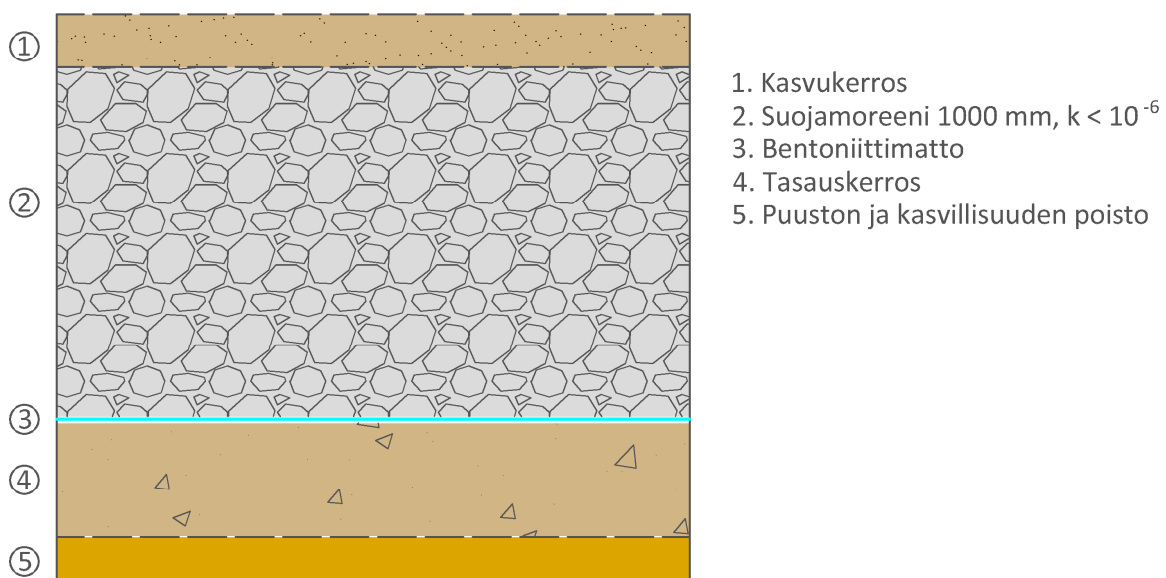
11.2.2 Uudet sulkemistoimenpiteet

Sulkemissuunnittelua aloitettaessa vuonna 2024 Lahnaslammen sivukivialue tunnistettiin riskikohteeksi alueelle läjitetyn sivukiven laadun ja vedenlaatutulosten perusteella. Lisäksi tunnistettiin, että kaivosalueelta on saatavilla moreenia, jonka vedenläpäisevyys vaihtelee välillä 10^{-6} - 10^{-7} . Alueelta valmiiksi löytyvää moreenia on järkevää hyödyntää sulkemirakenteissa. Sivukivialueen uudeksi peittorakenteeksi suunniteltiin seuraava rakenne alhaalta ylöspäin:

- Maisemoidulta alueelta poistetaan nykyinen puusto ja kasvillisuus
- Osa alueesta on louhepinnalla, louhe tasataan ja peitetään moreenikerroksella
- Sivukivialue tasataan
- Alueelle levitetään bentoniittimatto
- Bentonittimatto suojataan suojamoreenilla, jonka kerrospaksuus on 1000 mm ja vedenläpäisevyys $k < 10^{-6}$
- Päälle levitetään kasvukerros

Kyseisellä rakenteella vähennetään alueelta suotautuvaa vesimäärää. Kerrokset on esitetty kuvassa (Kuva 11-3).

Sivukivialueen sulkemisrakenne



Kuva 11-3. Sivukivialueen sulkemisrakenne.

Sivukivialueen peittorakenteeksi oletettiin nykyisen peiton päälle asennettu bentoniittimatto, jonka päällä on 1,0 m paksu suojamoreenikerros, joka ylläpitää bentoniittimaton kosteutta ja estää routimista.

Bentoniittimatto on tehokas estämään kaasunvaihtoa ja pidättämään vettä. Bentonittimaton korkean vedellä kyllästyneisyyden takia hapen pääsy kasaan pienenee, mikä rajoittaa kemiallisia reaktioita. Peittorakenteen pidättäessä vettä haihdunta lisääntyy, minkä seurauksena alueella muodostuva kokonaisvesimäärä pienenee. Erityisesti korkean vesimäärän tilanteissa (kuten rankkasateet ja lumien sulamiskausi) peittorakenne myös ohjaa vettä pois sivukivialueelta pintavaluntana. Bentonittimatto pienentää sivukivikasaan suotautuvan veden määrää noin 10 %:iin nykyisestä tilanteesta. Bentonittimaton läpi kasaan suotautuvan veden määrä laskettiin bentoniitin

vedenjohtavuudella $1 \cdot 10^{-9}$ m/s Kasaan suotautuvasta vesimäärästä arviolta noin 60 % on talteenotettavissa suotovesiojiin. (Liite 3)

Sivukivialueelta lähtevän suotoveden laatu sulkemisen jälkeen mallinnettiin ja mallinnuksen tulokset on esitetty liitteessä 3.

11.3 Rikastushiekka-allas

Huomioitavat vaatimukset:

- Kaivoslaki (621/2011), 15. luku, koskien alueen yleisen turvallisuuden vaatimaa kuntoa toiminnan lopettamisen yhteydessä.
- Ympäristönsuojelulaki (527/2014), 94 §, koskien ympäristön pilaantumisen estämistä.
- Valtioneuvoston asetus kaivannaisjätteistä (190/2013), koskien vastuuta jätealueista toiminnan jälkeen ja pilaantumisen tai sen vaaran ehkäisemistä.
- Kaivannaisjätteen hallinnan BREF-asiakirja koskien jäteaineksen fysikaalista ja kemiallista stabiiliteettia.

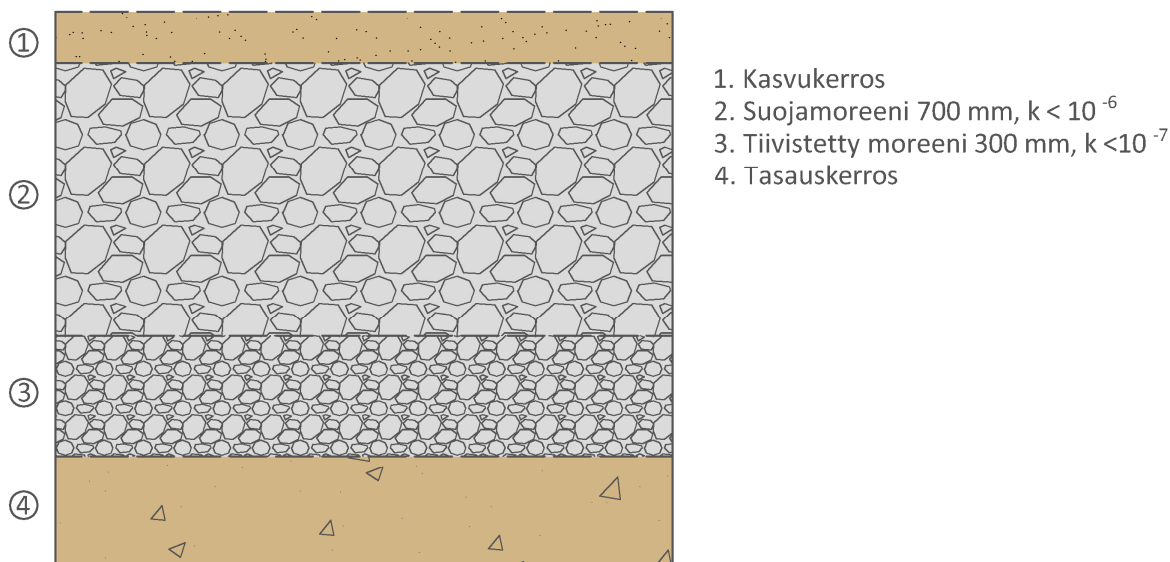
Rikastushiekka-altaan sulkemusrakenteen keskeisiä suunnitteluperusteita ovat:

- Rikastushiekka luokitellaan ei-pysyväksi, vaarattomaksi kaivannaisjätteeksi kaivannaisjäteasetuksen (190/2013, liite 1) perusteella.
- Tavoitteena on happivuon pienentyminen.

11.3.1 Papinlammen sulkemistoimenpiteet

Vuonna 2011 tehdyn maisemoinnin perusteella todettiin, ettei Punasuon moreeni täytä ympäristölupapäätöksessä (Dnro Psy-2003-y-175, annettu 18.1.2008) asetettua vaatimusta $k < 10^{-8}$ m/s vedenläpäisevyydelle. Lisäksi kuitenkin tunnistettiin, että kaivosalueelta on saatavilla moreenia, jonka vedenläpäisevyys vaihtelee välillä 10^{-6} - 10^{-7} , ja sitä on järkevää hyödyntää sulkemusrakenteissa. Näihin tietoihin ja rikastushiekan laatuun perustuen Papinlammen rikastushiekka-altaalle esitetään kuvan (Kuva 11-4) mukaista sulkemusrakennetta.

Papinlammen rikastushiekka-altaan sulkemisrakenne



Kuva 11-4. Papinlammen rikastushiekka-altaan sulkemisrakenne.

Rikastushiekassa ei ole happamoitumisen vaaraa ja metallien päästö on maltillinen, joten ei ole yhtä tärkeää vähentää läpisyötaumaa kuin on sivukivialueella (sivukivialueelle esitetty bentoniittia läpisyötauman vähentämiseksi). Happivuon pienentäminen siis riittää sulkemistoimena. Peiton paksuus määräytyy sen mukaan, että suojakerros pitää tiiviskerroskseen kosteana ja suojelee jäätymiseltä, siten happivuo pysyy matalana lähes samalla tavoin kuin bentoniittimaton ollessa mukana. Kosteus määritettiin Hydrus 1D-mallinnuksella (Liite 2). Rikastushiekka-altaalta lähtevän suotoveden laatu sulkemisen jälkeen mallinnettiin ja mallinnuksen tulokset on esitetty liitteessä 3.

11.3.2 Soidinsuon allas sekä vanhat rikastushiekkan läjitysalueet

Punasuon kaivoksen koillisreunalla päässä oleva allas (3 ha) on ollut tuotantokäytössä talkin rikastuspiirin ylitevesialtaana 1970- ja 1980- luvuilla (vanha talkkipiirin allas) (Kuva 4-2 ja Kuva 11-1). Altaaseen on läjitetty hienojakoista talkkisavea noin 200 000 tonnia. Pääosa kiintoaineesta on poistettu Lahnaslammen kaivoksen täyttööön Punasuon kaivoksen laajentumisen tieltä.

Kuivatun Lahnaslammen pohjaa on jäljellä Lahnaslammen ja Punasuon louhosten välissä noin 1 ha. Lammen pohjasedimentin päällä on noin metrin paksu magnesiittihiekkakerros. Lammen pohjan pohjoisin osa jää varoaltaaksi (3 ha), mutta muut osat poistetaan osin maarakennuksen ja laajenevan Punasuon louhoksen alta. Poistettavat massat sijoitetaan Lahnaslammen louhokseen.

Talkkipiirinaltaan eteläpää (noin 5,9 ha) on ollut käytössä 1980-luvulla talkin rikastuspiirin ylitevesille. Alue on maisemoitu moreenilla ja kasvukerroksella, mutta sulkemista ei ole hyväksytty. Alue on metsittynyt.

Soidinsuon altaan pohjoinen osa (19,1 ha) (Kuva 4-2 "Soidinsuon allas") on toiminut 1970-luvulla nikkeli- ja kupari-vesien ylitevesialtaana ja sen aikaisen magnesiittialtaan paisuntasäiliönä, johon on kulkeutunut vesien mukana rikastushiekkaa välittömästi eteläpuolella sijaitsevaa magnesiittiallasta korotettaessa. Rikastushiekkaa on lähinnä pohjoisosan itäisessä lohossa. Nykyään Soidinsuon allasta (pohjoisosan länsilohko) käytetään käsiteltyjen vesien selkeytysaltaana ennen juoksutusta vesistöön.

Kaikki vanhat läjitysalueet suljetaan vastaavalla rakenteella kuin Papinlammen rikastushiekka-allas. Sulkemisrakenne on esitetty kuvassa (Kuva 11-4).

Soidinsuon altaan eteläinen osa (14 ha) (Vanha magnesiittikasa) (Kuva 4-2 "suljettu rikastushiekka-allas") toimi rikastushiekka-altaana vuosina 1974–1990. Toiminnan viimeisinä vuosina altaiden pintaa nostettiin tekemällä altaan sisälle erillisiä altaita magnesiittihiekasta patoamalla vastaavalla tavalla kuin rikastushiekka-allasta korotetaan Papinlammen altaalta. Täyttymisen jälkeen Soidinsuon allas on maisemoitu vuosina 1991–1992 moreenilla, johon on muodostunut kasvukerrokset. Lopullinen täyttötaso on noin +165 m. Sulkemistoimenpiteet on hyväksytty ja alue on metsittynyt. (AFRY Finland Oy 2024)

Taulukko 11-1. Vanhat magnesiitin läjitysalueet (Kuva 11-1).

Vanha alue, suljettava	Pinta-ala (ha)
Vanha talkkipiirin allas	3
Lahnaslammen pohja	1
Varoallas	3
Talkkipiirin altaan eteläosa	5,9
Soidinsuonaltaan pohjoisosa	19,1
Vanha alue, suljettu	
Soidinsuonaltaan eteläinen osa / Magnesiittikasa (sulkeminen hyväksytty)	14

11.4 Punasuon avolouhos

Huomioitavat vaatimukset:

- Kaivoslaki (621/2011), 15. luku, koskien alueen yleisen turvallisuuden vaatimaa kuntoa toiminnan lopettamisen yhteydessä.
- Ympäristönsuojelulaki (527/2014), 94 §, koskien ympäristön pilaantumisen estämistä.
- Kaivosturvallisuusopas (Työturvallisuuskeskus 2015).

11.4.1 Punasuon avolouhoksen sulkemistoimenpiteet

Avolouhoksen keskeiset sulkemistoimenpiteet esitetään alla:

- Avolouhos aidataan
- Avolouhoksen annetaan täyttyä vedellä. Veden laatua valvotaan osana toiminnan jälkeistä valvontaa.
- Louhoksen täyttymisvaiheessa turvallisuutta hallitaan avolouhoksen aitaamisella, ulkopuolisten pääsyn estämiseksi, vähintään louhoksen täyttymiseen asti. Lisäksi alueelle pystytetään varoituskyltit.
- Kulkutie louhosalueelle säilytetään ja ylläpidetään tarkkailua varten.
- Louhosjärven reunojen lopullisessa muotoilussa huomioidaan näytteenoton tarpeet.
- Louhosjärven ylivuotovedelle toteutetaan matala oja.
- Louhoksen ylitevesiä voidaan tarvittaessa käsitellä erityisesti ns. huuhtoutumisvaiheen aikana.

11.4.2 Punasuon louhosjärven muodostuminen ja toiminta

Osana sulkemissuunnittelua laadittiin Punasuon louhosjärvimalli (liite 3). Työssä tarkasteltiin Elementis Sotkamon Punasuon avolouhoksen kehitystä kaivostoiminnan ja louhosta kuivattavan pumppauksen lopettamisen jälkeen. Tarkastelussa käytettiin tarkoitukseen soveltuvaa mallinnusohjelmaa sekä alueelta saatavilla ollutta meteorologista, hydrologista ja topografista aineistoa. Louhosjärven konseptuaalinen malli on esitetty kappaleessa 7.4.

Mallinnuksen mukaan avolouhos täyttyy sulkemisen jälkeen noin yhdeksässä vuodessa. Avolouhoksen täyttymisen jälkeenkin pinnankorkeudessa havaitaan jonkin verran vaihtelua, joka liittyy sadannan vaihteluun, vuodenaikaisvaihteluun ja keväisiin sulamisvesiin. Louhosjärveen muodostui mallinnuksessa havaittava kerrostuneisuus suolaisuuden suhteen. Louhosjärvestä ulos purkautuvan veden keskimääräinen suolaisuus oli noin 340 mg/l, ja pohjanläheisen vesikerroksen suolaisuus noin 950 mg/l. Suolaisuuskerrostuneisuus estää vuotuisen täyskierron, minkä seurauksena louhosjärven pohja pysyy vähähappisessa tai hapettomassa tilassa. Täyskierron estyminen esti myös lämpötilan vuotuisen sekoittumisen järvessä, ja siten kesäaikainen pintaveden lämpeneminen ei vaikuttanut syvemmälle järveen. Louhosjärvestä lähtevä vedenlaatu on esitetty liitteessä 3. Louhosjärvestä ylivuotavaa vettä voidaan tarvittaessa käsitellä sulkemisen jälkeen, mikäli pintaveden vedenlaatu sitä edellyttää.

11.5 Lahnaslammen avolouhos

Huomioitavat vaatimukset:

- Kaivoslaki (621/2011), 15. luku, koskien alueen yleisen turvallisuuden vaatimaa kuntoa toiminnan lopettamisen yhteydessä.
- Ympäristönsuojelulaki (527/2014), 94 §, koskien ympäristön pilaantumisen estämistä.
- Kaivosturvallisuusopas (Työturvallisuuskeskus 2015).

11.5.1 Lahnaslammen avolouhoksen sulkemistoimenpiteet

Louhinta Lahnaslammen avolouhoksella loppui 2010. Muodostuvan sivukiven ja rikastushiekan läjitystoiminta on lupaehtojen mukaan siirrettävä läjitysalueilta Lahnaslammen avolouhokseen sen jälkeen, kun malmin louhinta on loppunut. Louhokseen on läjitetty Punasuon louhoksen pintamaita, sivukiviä ja magnesiittihiekkaa. Sivukiven läjitys Lahnaslammen kaivokseen on käynnissä. Takaisintäytössä on pyrittävä pitämään louhoksen vedenpinta mahdollisimman korkeana, jolloin sekä läjitettävän materiaalin, että louhoksen seinämien haponmuodostus on mahdollisimman vähäistä. Lahnaslammen kaivokseen on läjitetty vuosina 2010–2023 yhteensä 3,3 milj. m³ (noin 9,6 milj. t) Punasuon sivukiveä. Lahnaslammen kaivoksen jäljellä oleva tilavuus on noin 12 milj. m³ (tilanne keväällä 2024).

Louhos aidataan toiminnan päättyessä.

11.5.2 Lahnaslammen louhosjärven muodostuminen ja toiminta

Louhinta Lahnaslammen avolouhoksella loppui 2010 ja avolouhoksen on annettu sen jälkeen täyttyä vedellä. Avolouhokseen johdetaan sivukivialueen suotovedet ja johdettiin Punasuon kaivosvedet syksyyn 2024 saakka. Lahnaslammen louhosjärvi on täyttynyt vuonna 2020, ja sen vedenpinta pidetään pumppaamalla tasolla +147 m mpy.

Taulukossa 11-2 on esitetty louhosjärven vedenlaatu elokuussa 2024 tiettyjen muuttujien osalta. Lahnaslammen vedenlaatuun vaikuttavat erityisesti sivukivialueelta johdettavat suotovedet ja sakat, Punasuon louhoksen vedet, sekä louhokseen läjitettävästä sivukivestä liukenevat aineet. Punasuon louhoksen kuivatusvedet on johdettu suoraan vesienkäsittelyyn syksystä 2024 lähtien. Sivukivialueen käsitellyt suotovedet johdetaan edelleen Lahnaslampeen, mutta vesienkäsittelyssä syntyvä sakka sijoitetaan muualle. Lahnaslammen louhosjärvi on kerrostunut jonkin verran, mutta koska louhosjärveen on johdettu paljon muita vesiä ja louhosjärveen läjitetään koko ajan sivukiveä, louhoksen vesi sekoittuu koko ajan. On oletettavaa, että kun Punasuon vesien johtaminen lopetettiin ja sivukiven läjitys louhokseen päättyy, eikä vesi sekoitu koko ajan, niin louhosjärven vedenlaatu tasoittuu ja kerrostuminen voimistuu.

Sivukivialueen sulkeminen aloitetaan, kun sulkemissuunnitelma on hyväksytty ja sulkemistoimenpiteiden arvioitu kesto on noin 5–10 vuotta. Tämän jälkeen suotovesimäärä sivukivialueelta on arviolta 10 % nykyiseen verrattuna (kpl 11.2.2), myös tällä tulee olemaan suuri vaikutus louhosjärven vedenlaatuun. Kun sadannan ja puhtaiden valumavesien osuus louhosjärven vesitaseesta kasvaa, louhosjärven pintaveden laatu oletettavasti paranee.

Louhosjärvestä lähtevä vedenlaatu on esitetty liitteessä 3. Louhosjärvestä ylivuotavaa vettä voidaan tarvittaessa käsitellä sulkemisen jälkeen, mikäli pintaveden vedenlaatu sitä edellyttää.

Taulukko 11-2. Lahnaslammen louhosjärven vedenlaatu 26.8.2024 tiettyjen muuttujien osalta.

Syvyys	Lämpötila	pH	Sähkönjohtavuus	Sulfaatti	Kok. N	NO ₃ -N	Kok. P	Antimoni	Arseeni
m	°C		mS/m	mg/l	µg/l		µg/l	µg/l	µg/l
1	16,2	7,5	302	1 800	1500	920	<5,0	14	7,2
20	7,3	6,6	419	3 000	970	5	<5,0	<1,0	0,9
40	7	6,6	428	3 000	950	<5,0	<5,0	<1,0	1
60	6,8	6,6	437	3 100	960	<5,0	<5,0	<1,0	1,2
80	7,3	6,6	444	3 000	950	<5,0	<5,0	<1,0	1,5
110	7,2	6,6	444	3 000	970	<5,0	<5,0	<1,0	2,3
Syvyys	Kadmium	Magnesium	Mangaani	Kromi	Kupari	Natrium	Nikkeli	Rauta	Sinkki
m	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
1	5,9	380 000	5 400	<1,0	1,2	10 000	2 800	190	870
20	0,8	600 000	11 000	<1,0	<1,0	12 000	4 400	8 600	830
40	0,9	620 000	12 000	<1,0	1	12 000	4 800	9 000	830
60	0,8	580 000	11 000	<1,0	<1,0	12 000	4 300	8 800	830
80	0,8	570 000	11 000	<1,0	<1,0	12 000	4 400	9 000	810
110	0,8	580 000	10 000	2,7	<1,0	12 000	4 300	9 500	810

11.6 Teollisuusalue ja infrastruktuuri

Huomioitavat vaatimukset:

- Kaivoslaki (621/2011), 15. luku, koskien alueen yleisen turvallisuuden vaatimaa kuntoa toiminnan lopettamisen yhteydessä.
- Kemikaaliturvallisuuslaki (390/2005), 133 §, koskien alueen puhdistamista vaarallisista kemikaaleista.
- Ympäristönsuojelulaki (527/2014), 94 §, koskien ympäristön pilaantumisen estämistä.

Teollisuusalueen sulkeminen kuuluu pääosin kaivoslain mukaisen vakuuden piiriin. Teollisuusalueiden ja infrastruktuurin osalta sulkemistoimenpiteiksi kaavaillaan seuraavaa:

- Toiminnan jälkeinen maaperän laatu tarkistetaan, keskittyen niihin osiin kaivostoimintojen alueilla, joissa pilaantumisen riski on suurin. Tarvittaessa suoritetaan maaperän kunnostustoimenpiteet ympäristöviranomaisen hyväksymällä tavalla.
- Tarpeettomat maanpäälliset rakennukset, rakenteet, putkistot, kaapelit ja tiet poistetaan.
- Mikäli alueille ei tule pintoja vaativaa jatkokäyttöä, asfaltti- ja mahdolliset betonipinnoitukset rikotaan, poistetaan ja toimitetaan mahdollisuuksien mukaan hyötykäyttöön tai loppusijoitetaan niille soveltuvaan paikkaan.
- Soratierakenteet jätetään paikalleen sulkemisen jälkeisten tarkkailu- ja mahdollisten hoitotoimintojen käyttöön.
- Maaperän kunto tarkistetaan kaivosalueella. Erityistä huomiota kiinnitetään kohonneen riskin kohteisiin, esimerkiksi paikkoja, joissa käsitellään esimerkiksi rikastetta, haitta-ainepitoisia jätteitä, polttoaineita tai öljyä. Tarvittaessa suoritetaan kunnostustoimia.
- Alueet kasvitetaan soveltuvilta osin. Vaihtelevia pinnamuotoja sovelletaan siellä missä mahdollista, biodiversiteettikehityksen tukemiseksi.

Ympäristönsuojelulain vakuuden alaiseksi toiminnaksi teollisuusalueelta on tunnistettu kaivospiirin pohjoisosassa sijaitseva vanha vesivarasto-/esiselkeytysaltaan sulkeminen.

11.7 Vesien johtamiseen ja käsittelyyn liittyvät rakenteet

Huomioitavat vaatimukset:

- Ympäristönsuojelulaki (527/2014), 94 §, koskien ympäristön pilaantumisen estämistä.
- Vesilaki (2011/587), koskien mahdollisia vaikutuksia pohjavedenpinnan tasoon ja veden käyttöön ympäristössä.

Aktiivisen sulkemisvaiheen aikana vesiä ohjataan edelleen tarvittavilta osin vesienkäsittelyyn. Kun vesienkäsittelylle ei ole enää tarvetta vesienkäsittelyrakenteet puretaan, jotta pintavedet päätyvät hallitusti ojastoihin.

Kun tuotanto päättyy rikastushiekka-altaalle ei pumpata enää rikastushiekkaa, mutta rikastushiekka-altaalta pumpataan vesiä vielä jonkin aikaa talkkipiirin altaalle ja siitä eteenpäin. Kun rikastushiekka-allas saadaan tarpeeksi kuivaksi talkkipiirin allasta ei enää tarvita vesien ohjaukseen. Tämän jälkeen talkkipiirin allas voidaan poistaa käytöstä. On ajateltu, että talkkipiirin altaan rakenteita puretaan sen verran että allas ei enää allasta, vaan muuttuu esim. kosteikoksi. Talkkipiirin altaan pohja tutkitaan ja alueelle tehdään tarvittaessa pima-kunnostukset.

Vesienjohtamisen ja käsittelyn rakenteita puretaan sitä mukaa kuin mahdollista. Yleensä ne ovat viimeisimpiä purettavia toimintoja. Louhosjärvistä ylivuotavaa vettä voidaan tarvittaessa käsitellä sulkemisen jälkeen, mikäli pintaveden vedenlaatu sitä edellyttää.

Sulkemisen jälkeiset vesien virtaus suunnat on esitetty kuvassa 7-4. Sulkemisen jälkeiset kuormitusarviot on esitetty liitteessä 3 sekä taulukossa (Taulukko 13-1).

12 Sulkemisaikataulu

Kaivoslain (621/2011) 143 § mukaan sulkemistyöt tulee saattaa päätökseen viimeistään kaksi vuotta tuotannon päättymisestä. Sinä aikana kaivos ja sen apualueet tulee saattaa yleisen turvallisuuden vaatimaan kuntoon sekä kunnostaa, siistiä ja maisemoida. Kahden vuoden rajaa ei voi kuitenkaan ulottaa rikastamon altaisiin, joiden peittäminen edellyttää kuivattamista tiettyyn tasoon ennen asennustöitä. Sulkemisaikataulun luonnos esitetään alla.

Ennen tuotannon päättymistä

- Sivukivialueen sulkeminen
- Vanhan talkkiipiirin altaan, Talkkiipiirin altaan eteläosan, varoaltaan ja vesivarasto-/esiselkeytysaltaan sulkeminen

Vuodet 1–3 toiminnan päättymisestä

- Infrastruktuurin purkaminen tarvittavilta osin
- Avolouhoksen luiskaus ja aitaus
- Rikastushiekka-altaan kuivatus peittorakenteiden asentamista varten

Vuodet 3–5 toiminnan päättymisestä

- Talkkiipiirin vesialtaan sulkeminen
- Rikastushiekka-altaan peittäminen
- Maanlajitusalueen ja Soidinsuonaltaan osien peitto
- Jäljellä olevan infrastruktuurin purkaminen

Vuodet 5–10 toiminnan päättymisestä

- Vesienkäsittelyrakenteiden ja sähkölinjan purkaminen tarvittaessa
- Maanlajitusalueen ja Soidinsuonaltaan loppuosien peitto

13 Sulkemisenaikaiset ja jälkeiset vaikutukset ympäristöön ja ihmisiin

13.1 Vaikutukset ilmanlaatuun

Sulkemisvaiheessa rakenteiden purkaminen, materiaalien lastaus ja purkaminen sekä sivukivi- ja rikastushiekka-alueiden peittäminen aiheuttavat jonkin verran pölyä. Pölyn leviäminen rajoittuneen kuitenkin kaivosalueelle ja sen välittömään läheisyyteen. Sääolosuhteet vaikuttavat pölyn leviämiseen. Sulkemistöiden päätyttyä alueen pintamaa/kasvukerrokset voivat kuivissa ja tuulisissa olosuhteissa pölytä ennen kuin kasvillisuuskehitys pääsee alkuun. Kun kasvipeite on muodostunut, alueen pölypäästöt vähenevät ja ilmanlaatu palautuu kaivostoimintoja edeltävälle tasolle.

Sulkemisvaiheessa ei tehdä räjäytyksiä tai ne ovat vain pieniä, louhosten seinämien loiventamiseksi tehtäviä. Jälkihoidon aikana pakokaasu- ja kasvihuonekaasupäästöjä muodostuu lähinnä jätealueiden luiskaus- ja peittämistöistä ja rikastamoalueen purkutöihin liittyvästä konetyöstä (olettaen, ettei rakennuksille ja rakenteille ole uutta käyttötarkoitusta). Sulkemisvaiheen loputtua pakokaasu- ja kasvihuonekaasupäästöt loppuvat, pois lukien normaalit maaperän päästöt. Pitkällä aikavälillä kasvitetuilla alueilla alkaa tapahtua myös hiilen sidontaa.

13.2 Kuvaus maaperään, pintaveteen ja pohjaveteen suuntautuvasta kuormituksesta

Kaivostoiminnan vesipäästöjen laatu sulkemisen jälkeen riippuu mm. louhitusta malmityypistä ja geologista ympäristöstä sivukivineen, kaivokseen tulevien pohjavesien laaduista, käytetyistä räjähteistä ja kemikaaleista sekä vesienkäsittelymenetelmistä.

Sulkemisen jälkeen kuormitus muodostuu

- tuotantovaiheessa muodostuneesta varastokuormasta (esimerkiksi jätealueille tuotantovaiheessa varastoituneet mineraalien rapautumistuotteet, jäljellä oleva prosessivesi) sekä
- jätealueilla edelleen tapahtuvasta rapautumisesta ja reaktioista

Kaivoksen alueella kuormitus kohdistuu pääsääntöisesti lähialueen maaperään, pohjavesiin sekä pintavesiin.

Louhosjärvi kommunikoi ympäristönsä kanssa pohjavesiteitse (moreeni ja rikkonainen yläkallio) ja osa vedestä ylivuotaa rakennettavaa ojaa pitkin louhosjärven pinnalta. Sulkemisen jälkeiset vesilaatuarviot on esitetty liitteessä 3.

13.3 Vaikutukset maaperään ja pohjaveteen

Kaivannaisjätteiden hallinnasta aiheutuu vaikutuksia maaperään ja pohjavesiin. Sivukivialue ja rikastushiekka-allas on rakennettu ilman pohjarakenteita, joten osa alueiden suotovesistä pääsee suotautumaan suoraan maaperään. Osa suotovesistä saadaan kerättyä suotovesiojien avulla.

Vuoden 2024 pohjavesimallilla (liite 1) on simuloitu vuoden 2024 tilannetta (luku 4.6.2) sekä vuoden 2035 tilannetta, jossa Papinlammen rikastushiekka-allasta on korotettu tasolle +190 m mpy ja Punasuon louhosta louhittu syvyydeltä +35 m mpy, ja se ulottuu noin 120 m syvyydelle maanpinnasta. Vuoden 2035 louhoksen simuloinnin tulosten perusteella pohjavettä suotautuu louhokseen noin 2560 m³/d, ja kuivatusvesimäärä on noin 2750 m³/d, kun sadannan mukana avolouhoksen kautta kaivokseen tuleva vesi lasketaan mukaan.

Vuoden 2024 mallinnustyössä (AFRY Finland Oy 2024b) vuoden 2024 tilanne toimii mallin lähtötilanteena. Louhintoja edeltävää aikaa ei ole mallinnettu, eikä vuoden 2024 Punasuon louhoksen kuivatuspumppauksen aiheuttaman pohjavedenpinnan alenemaa suhteessa louhintoja edeltävään aikaan siten ole laskettu. Vuoden 2035 mallissa Punasuon louhoksen kuivatuksen seurauksena pohjavesipinnan alenema louhoksen ympärillä kasvaa nykyisestä (Kuva 13-1). Vähintään 0,5 m pohjavesipinnan laskua nykytilaan verrattuna voi tapahtua enintään 200–900 m etäisyydellä avolouhoksen reunasta. Lähellä louhosta alenema on merkittävästi suurempi kuin kauempana. Papinlammen rikastushiekka-altaan korotuksen (taso +190 m mpy) seurauksena vesipinta altaan kohdalla nousee vuodesta 2024.

Sivukivialueelta ja Papinlammen rikastushiekka-altaalta lähtevien partikkulien kulkeutumisreittejä on simuloitu vuosina 2024 ja 2035 (Kuva 13-3). Osa sivukivialueen suotovesiä kerääntyy nykytilanteessa (2024) ja myös vuonna 2035 Lahnaslammen louhokseen ja osa kulkeutuu kohti pohjoista. Papinlammen rikastushiekka-altaan suotovesiä kulkeutuu todennäköisesti allasaluetta ympäröiviin ojiin ja niistä Lahnasjokeen, Jormasjokeen ja lopulta Jormaslahteen.

Vuoden 2035 mukaisen louhoksen sulkemisen jälkeistä tilannetta on myös mallinnettu. Sulkemisvaiheessa Punasuon louhoksen kuivatuspumppaus lopetetaan ja louhoksen annetaan täyttyä vedellä. Punasuon ja Lahnaslammen louhosten ylivuotovedet johdetaan purkuojiin. Alueella olevat vesialtaat puretaan, Soidinsuonallas ja Papinlammen rikastushiekka-allas peitetään peittomoreenilla ja sivukivialue peitetään bentoniitilla.

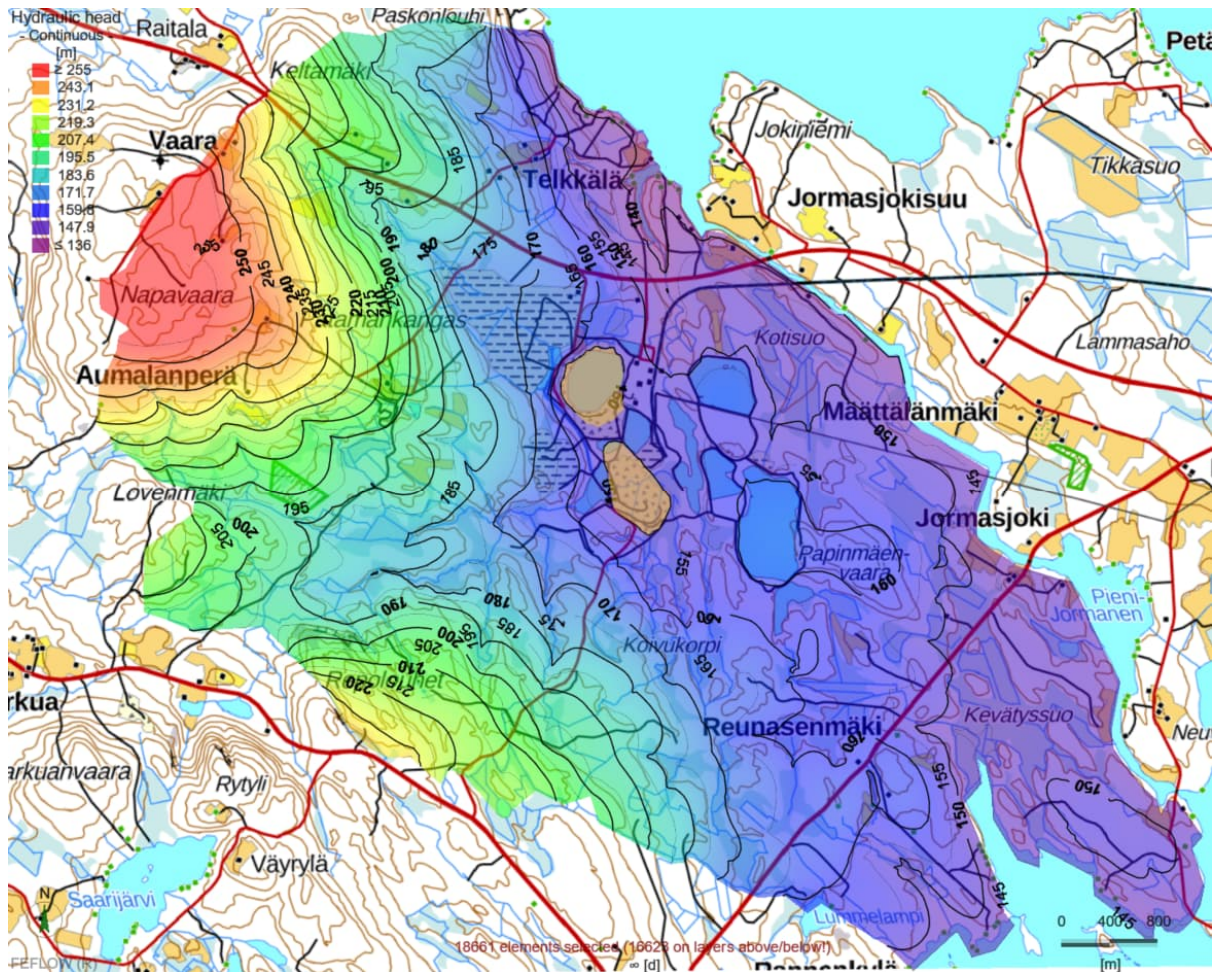
Mallin laskennan perusteella Punasuon louhoksen vedellä täyttyminen on nopeinta ensimmäisen 5–10 vuoden aikana. Vedenpinnan nousu hidastuu tämän jälkeen ja tasaantuu noin 15 vuoden kohdalla. Vesipinta nousee noin tasolle +150 m mpy eli purkuuoman tasoon. Täyttyneeseen louhokseen suotautuu pohjavettä noin 682 m³/d, ja suorasta sateesta tulee vettä 215 m³/d, kun haihdunnan oletetaan olevan 50 % vuosittaisesta sadannasta. Louhoksesta poistuu vettä lähinnä ylivuotona 898 m³/d.

Vastaavasti Punasuon louhoksen täyttymisen jälkeen viereiseen Lahnaslammen vedellä täyttyneeseen louhokseen suotautuu pohjavettä 900 m³/d, ja suorasta sateesta tulee vettä 220 m³/d, kun haihdunnan oletetaan olevan 50 % vuosittaisesta sadannasta. Louhoksesta poistuu vettä lähinnä ylivuotona 1120 m³/d, josta 1090 m³/d ylivuoto-ojaa pitkin ja loput pohjavetenä. Esitetyt vesimäärät eivät sisällä louhosjärviin pintavaluntana tulevia tai muualta alueelta johdettavia vesiä.

Pohjavesipinta sulkemisen jälkeisessä tasapainotilassa on esitetty kuvassa 13-2. Louhosjärven alueelta pohjaveden gradientti on lännestä ja lounaasta itään ja koilliseen kohti Nuasjärveä ja Jormasjokea. Sivukivialueelta ja Papinlammen rikastushiekka-altaalta lähtevien partikkeliä kulkeutumisreittejä on simuloitu myös sulkemisen jälkeisessä tilanteessa (Kuva 13-4). Kulkeutumisreitit ovat hyvin samankaltaisia kuin toiminnan aikana. Osa sivukivialueen suotovesiä kerääntyy Lahnaslammen louhokseen ja osa kulkeutuu kohti pohjoista ja Lahnasjokea. Papinlammen rikastushiekka-altaan suotovesiä kulkeutuu todennäköisesti allasaluetta ympäröiviin ojiin ja niistä Lahnasjokeen, Jormasjokeen ja lopulta Jormaslahteen. Kulkeutumisajat voivat olla hyvin pitkiä.

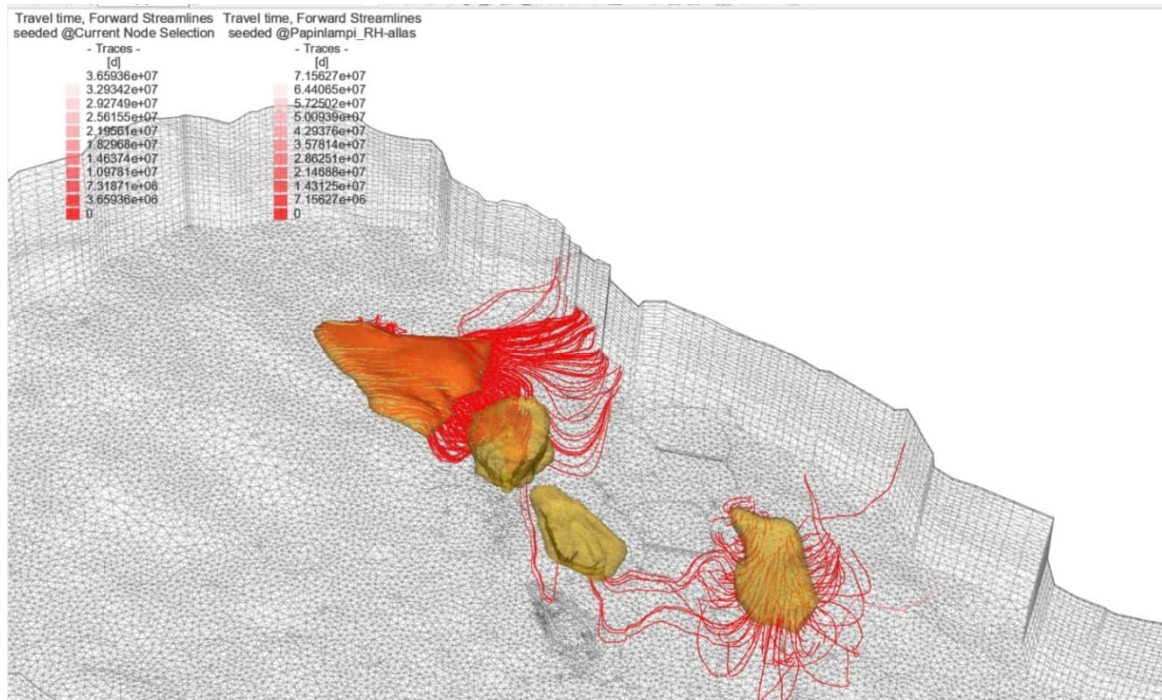


Kuva 13-1. Pohjavedenpinnan muutos vuonna 2035 verrattuna vuoden 2024 pohjavedenpintaan. Punasuon louhoksen ympärillä pohjavesipinta laskee ja Papinlammen rikastushiekka-altaan kohdalla vesipinta nousee. 0,5 m tasa-arvonkäyrä louhoksen ympärillä rajaa alueen, jonka ulkopuolella pohjavesipinnan muutos on pienempi kuin 0,5 m.

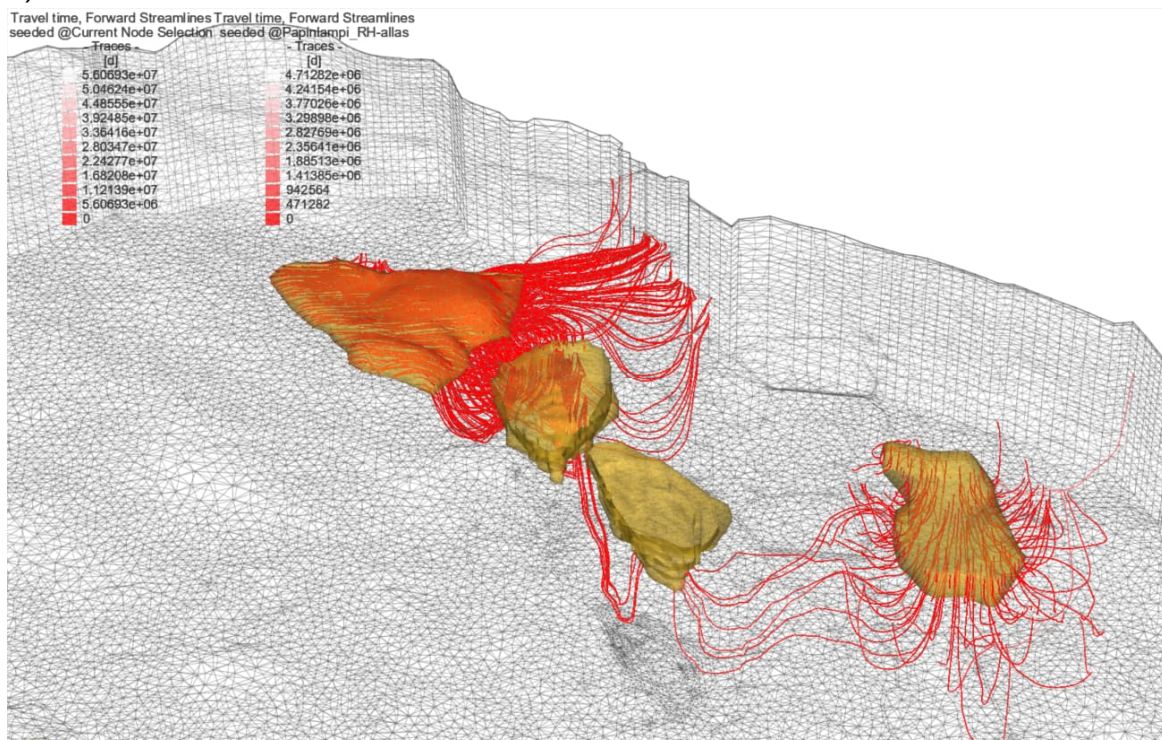


Kuva 13-2. Pohjavesipinnan korkeus sulkemisen jälkeisessä tilanteessa, kun Punasuon louhos on täytynyt vedellä. Punasuon ja Lahnaslammen louhosjärvet on korostettu keltaisella.

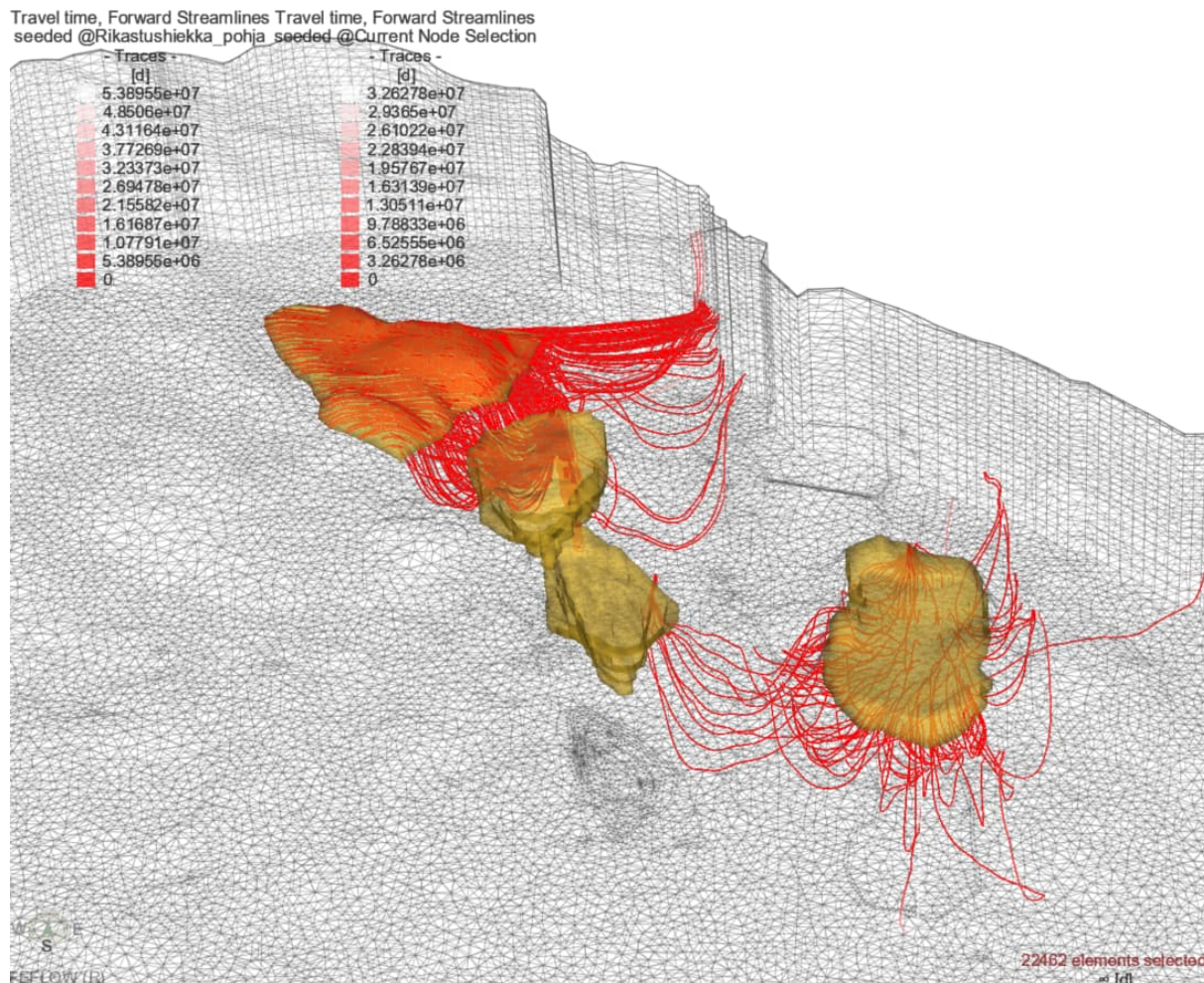
a)



b)



Kuva 13-3. Pohjavesimallin laskemia sivukivialueelta ja Papinlammen rikastushiekka-altaalta lähtevien partikkelien kulkeutumisreittejä a) vuoden 2024 tilanteessa ja b) vuoden 2035 tilanteessa.



Kuva 13-4. Mallin laskemia sivukivialueelta ja Papinlammen rikastushiekka-altaalta lähtevien partikkeliä kulkeutumisreittejä sulkemisen jälkeisessä tilanteessa.

13.4 Vesistövaikutukset

Sulkemisen jälkeen kaivosalueelta kulkeutuu vesiä kahteen suuntaan. Pintavesien virtaussuunnat kaivoksen sulkemisen jälkeen on esitetty kuvassa 7-4. Lahnaslammen ja Punasuon louhosjärivistä vedet virtaavat ylivuotona Lahnasjokeen ja edelleen Nuasjärven Jormaslahteen. Papinlammen eteläpuoliset vedet virtaavat sulkemisen jälkeen kohti Jormasjokea, joka laskee Nuasjärven Jormaslahteen.

13.4.1 Vedenlaadun tavoitteet

Kaivoksen sulkemisen jälkeisenä vesistöihin kohdistuvana tavoitteena on vedenlaadun heikentymisen estyminen. Sulkemistoimenpiteiden tavoitteeksi on asetettu, että alapuolisten vesistöjen ekologinen tila säilyy samana kuin ennen toiminnan aloittamista, ja että niiden kemiallinen tila ei merkittävästi muutu. Alapuolisissa vesistöissä aineiden

pitoisuudet pyritään pitämään tasolla, jossa vesipuitedirektiivissä (2000/60/EY) säädetyt ympäristölaatu-normit eivät ylitä. Niiden aineiden kohdalla, joita ei ole mainittu vesipuitedirektiivissä, sovelletaan muita kansainvälisiä vedenlaatukriteereitä.

13.4.2 Vesistön herkkyys

Pääosa kaivosalueen vesistä kulkeutuu sulkemisen jälkeen Lahnasjokeen, joka ei ole vesienhoidossa luokiteltu vesimuodostuma. Lahnasjoen valuma-alue ja veden virtaamat ovat melko pienet, mikä voimistaa Lahnasjoen herkkyyttä.

Kaivosaluetta lähimpänä sijaitsevat luokitellut vesimuodostumat ovat Nuasjärvi (Rehja-Nuasjärven vesimuodostuma) ja Jormasjoki. Nuasjärvi on pintavesityypiltään suuri humusjärvi (Sh) ja sen ekologinen tila on määritelty vesienhoidon kolmannella luokittelukaudella hyväksi. Biologisista luokittelumuuttujista kasviplanktonin, pohjaeläimistön ja kalaston tila on hyvä. Fysikaalis-kemiallisten muuttujien tila on sekä fosforin että typen osalta erinomainen. (SYKE 2024a) Nuasjärven valuma-alue on laaja ja järven tilavuus on suuri. Nuasjärvi on kalataloudellisesti merkittävä. Nuasjärven herkkyys voidaan arvioida kohtalaiseksi.

Jormasjoki on tyypitelty keskisuureksi turvemaiden joeksi (Kt) ja sen ekologinen tila on määritelty vesienhoidon kolmannella luokittelukaudella hyväksi. Jormasjoen päällyksilevästön tila on hyvä, pohjaeläinten erinomainen ja kalaston tyydyttävä. Fysikaalis-kemiallisten muuttujien tila on erinomainen. (SYKE 2024a) Jormasjoki on kalastollisesti arvokas, vaikka taimenkanta on tällä hetkellä istutusten varassa. Jormasjoella on tehty kalataloudellista kunnostusta vuonna 2024 (Dnro PSAVI/2262/2021). Vesistön virtaama on suuri laajan valuma-alueen ansiosta. Jormasjoen herkkyys arvioidaan kohtalaiseksi.

Lahnasjoessa, Jormasjoessa ja Nuasjärvessä ei sijaitse kaivoksen vaikutusalueella Natura 2000 -alueita eikä muita suojelualueita, jotka nostaisivat vesistöjen herkkyyttä.

13.4.3 Sulkemisen jälkeiset kuormitukset vesistöön

Kaivoksen sulkemisen jälkeen Lahnasjokeen ja Jormasjokeen kohdistuvat kuormitusarviot on esitetty taulukossa 13-1. Lahnasjoen osalta sulkemisen jälkeinen kuormitus sisältää sivukivialueen, Punasuon louhosjärven ja Lahnaslammen louhosjärven yhteenlasketun kuormituksen. Papinlammen rikastushiekka-altaan kuormitus puolestaan kulkeutuu Jormasjoen suuntaan. Tarkempi kuvaus sulkemisen jälkeen pintavesiin kohdistuvasta kuormituksesta on esitetty luvussa 13.2. Kuormitusarviot eivät pidä sisällään alueelta pintavesiin kohdistuvaa hajakuormitusta. Myöskään Soidinsuon altaalta sekä vanhoilta pienikokoisilta rikastushiekka-altailta lähtevä kuormitus ei sisälly kuormitusarvioihin.

Sulkemisen jälkeen kaivokselta vesistöihin päätyvä kuormitusarvio on laadittu tämänhetkisten käytössä olevien tietojen perusteella. Vedenlaatumallinnuksen tuloksena saatu koostumus tuottaa hyvin todennäköisesti runsaan yliarvion joidenkin aineiden osalta (mm. nikkeli), sillä mallinnuksen tekohetkellä lähtöaineistona toimivien

kosteuskammiokokeiden tuloksia oli käytettävissä vasta ensimmäisten 12 viikon ajalta. Kokeen alussa näytteistä vapautuu korkeita pitoisuuksia hyvin hienon aineksen reagoidessa ja huuhtoutuessa helposti. Lisäksi kosteuskammiokokeisissa oleva mustaliuskenäyte edustaa louhoksen korkeimpia nikkelpitoisuuksia, ja antaa näin vääristyneen kuvan mustaliuskeen käyttäytymisestä keskimäärin. Epävarmuuksia on avattu vedenlaatumallinnuksen (sulkemissuunnitelman liite 3) luvussa 7.2.3. Kuormitusarvio tulee mitä todennäköisimmin pieneneään oleellisesti, kun tietoa saadaan käyttöön lisää.

Taulukko 13-1. Lahnasjokeen ja Jormasjokeen kohdistuva kuormitus kaivoksen sulkemisen jälkeen.

Kuormitus Lahnasjokeen (kg/v)				Kuormitus Jormasjokeen (kg/v)			
Ag	7,0	Mo	0,2	Ag	1,1	Mo	0,4
Al	181	Na	2 920	Al	1,4	Na	710
As	0,003	Ni	897	As	5,6	Ni	18,0
B	15,2	P	0,5	B	7,2	P	2,4
Ba	6,2	Pb	0,0005	Ba	1,2	Pb	<0,0001
Be	0,1	Sb	2,5	Be	0,04	Sb	43,0
Ca	51 640	Se	0,3	Ca	7 800	Se	0,2
Cd	1,4	Si	880 505	Cd	0,002	Si	360
Cl	1 767	Sn	1,6	Cl	530	Sn	0,3
Co	17,4	Sr	89,4	Co	1,3	Sr	13,0
Cr *)	<0,4	Th	0,1	Cr *)	<0,0001	Th	0,1
Cu	0,03	Tl	0,6	Cu	0,0001	Tl	0,3
F	31,7	U	0,3	F	16,0	U	0,04
Fe	2 840	V	0,1	Fe	5,4	V	0,3
Hg *)	<0,01	W	0,01	Hg *)	<0,0001	W	0,1
K	3 042	Zn	183	K	1 100	Zn	0,2
Li	6,0	SO ₄	423 000	Li	1,4	SO ₄	86 000
Mg	85 800	NO ₃ -N	168	Mg	22 000	NO ₃ -N	68,0
Mn	1 762	NH ₄ -N	131	Mn	5,3	NH ₄ -N	13,0

*) Elohopean ja kromin osalta kuormituksen laskennassa on käytetty tasapainomallintamattomia pitoisuuksia. Punasuon louhosjärvessä tasapainomallintamaton kromin pitoisuus oli 1 µg/l ja elohopean 0,02 µg/l sekä Lahnaslammen louhosjärvessä kromin pitoisuus oli 0,25 µg/l ja elohopean pitoisuus 0,005 µg/l.

13.4.4 Alustava kuvaus vesistövaikutuksista

Taulukossa 13-2 on esitetty Lahnasjokeen ja Jormasjokeen sulkemisen jälkeen kohdistuvan kuormituksen aiheuttama laskennallinen pitoisuuslisä eri virtaamatilanteissa. Kuten edellä luvussa 13.4.3 todettiin, vedenlaatumallinnuksen tuloksena saatu koostumus tuottaa hyvin todennäköisesti runsaan yliarvion kuormituksesta joidenkin aineiden osalta.



Laskennallisiin pitoisuusnousuihin Lahnasjoessa ja Jormasjoessa liittyy siten voimakasta epävarmuutta, ja ne ovat joidenkin aineiden osalta mitä todennäköisimmin merkittävä yliarvio.

Pitoisuuslisät on laskettu laimennuslaskelmien avulla käyttäen Lahnasjoen osalta vesistön keskivirtaamana (MQ) $0,45 \text{ m}^3/\text{s}$. Lahnasjoen keskivirtaama on laskettu havaintopaikalla FM13 sijaitsevan jatkuvatoimisen virtaamamittarin vuosien 2015–2023 tulosten perusteella. On huomattava, että juoksutukset eivät olleet vuosina 2015–2019 käynnissä, mikä vaikuttaa virtaamaa pienentävästi. Jormasjoen osalta on käytetty vesistön keskivirtaamana (MQ) $4,28 \text{ m}^3/\text{s}$. Jormasjoen keskivirtaama on laskettu ympäristöhallinnon WSFS-Vemala-järjestelmän simuloimien vuosien 2010–2023 päiväkohtaisten virtaamien perusteella (Suomen ympäristökeskus 2024).

Lahnasjokeen kohdistuva kuormitus on sulkemistoimenpiteiden jälkeen nykyarvion mukaan voimakasta joidenkin aineiden osalta, ja pitoisuusnousut ovat laskennallisen tarkastelun perusteella suuret. Voimakkain vesistövaikutus on nikkeli-kuormituksella, jonka pitoisuusnousu on laskennallisesti suuri keskivirtaamatilanteessa. Nikkelille asetetun ympäristölaatunormin ylittyminen Lahnasjoessa on todennäköistä. Myös kadmiumin ja sulfaatin kuormitustason arvioidaan voivan aiheuttaa vesistössä niille asetettujen tai ehdotettujen ympäristölaatunormien ylityksiä. Muiden alkuaineiden osalta kuormitus on vähäisempää, eikä asetettujen tai ehdotettujen ympäristölaatunormien ylitys ole kaivosalueelta tulevan kuormituksen seurauksesta todennäköistä mm. lyijyn, elohopean tai kuparin osalta. Arseenin osalta kuormitustaso on vähäistä, ja laskennalliset pitoisuusnousut erittäin pienet. Fosforin sekä typen yhdisteiden, nitraattitypen ja ammoniumtypen, pitoisuusnousut jäävät niin ikään vähäisiksi.

Tämänhetkisen kuormitusarvion mukaiset vesistövaikutukset ovat sulkemisen jälkeen Lahnasjoessa voimakkaat, eikä sulkemisen jälkeiset vedenlaadun tavoitteet täyty ilman vesien aktiivista käsittelyä. Vesienkäsittelyä jatketaan niin kauan kuin se on tarpeen vesistövaikutusten vähentämiseksi Lahnasjoessa. Kaivosalueelta poistuvien vesien laadun parantuessa riittävästi, voidaan vesienkäsittelystä luopua. On huomattava, että vaikutusarvioon liittyy erityisesti Lahnaslammen louhosjärven osalta merkittäviä epävarmuuksia, joita on kuvattu tarkemmin kappaleessa 11.5.2. Myös geokemiallisen mallinnuksen lähtötietona käytettävät kosteuskammiookeet olivat sulkemissuunnitelman laatimishetkellä vasta alkuvaiheessa. Mallinuksissa käytettiin ensimmäisten 12 viikon tuloksia, kun tyypillisesti sulkemisen jälkeisen ajan kuvaamiseen laadittaviin malleihin käytetään koko testijakson loppuvaihetta, esim. viikkoja 25-40, jos testaus on kestänyt 40 viikkoa.

Jormasjoen suuntaan menevä kuormitus on sulkemistoimenpiteiden jälkeen pientä. Vesien määrä on vähäistä suhteessa Jormasjoen keskivirtaamaan, joten laimennusolosuhteet ovat erittäin hyvät. Kaivosalueelta sulkemisen jälkeen tuleva kuormitus ei aiheuta Jormasjoessa merkittävää pitoisuusnousua mm. sulfaatin, nikkelin, lyijyn, kadmiumin, elohopean tai sinkin osalta. Arseenin kuormitus on Jormasjoen suuntaan suurempaa kuin Lahnasjokeen, ja pitoisuusnousut ovat niin ikään

voimakkaammat. Pitoisuusnousu jää kuitenkin esimerkiksi Euroopan kemikaaliviraston arvioimaan suurimpaan haitattomaan arseenin pitoisuuteen (ns. PNEC-arvo, 5,6 µg/l) nähdessä vähäiseksi. Fosforin sekä typen yhdisteiden, nitraattitypen ja ammoniumtypen, pitoisuusnousut jäävät vähäisiksi.

Sulkemisen jälkeisellä kuormituksella ei arvioida olevan vaikutusta Jormasjoen ekologiseen tilaan. Sulkemisen jälkeinen kuormitus ei vaaranna pohjaeläimistön, planktonlevästön tai kalaston mahdollisuutta hyvään ekologiseen tilaan. Kuormituksen ei arvioida haittaavan kalastusta tai muuta virkistyskäyttöä Jormasjoessa. Kuormitus ei myöskään estä hyvän kemiallisen tilan saavuttamista, sillä pitoisuusnousut ovat laskennallisesti niin pieniä, ettei laatu normien ylitykseen arvioida olevan riskiä.

Taulukko 13-2. Sulkemisen jälkeen kaivosalueelta tulevan kuormituksen aiheuttama laskennallinen pitoisuuslisä Lahnasjoessa ja Jormasjoessa keskivirtaamatilanteessa (MQ).

Parametri	Yksikkö	Lahnasjoki pitoisuuslisä, MQ	Jormasjoki pitoisuuslisä, MQ
Ag	µg/l	0,5	0,008
Al	µg/l	13	0,010
As	µg/l	<0,001	0,041
Ca	mg / l	4	0,06
Cd	µg/l	0,10	<0,001
Cl	mg / l	0,12	0,004
Co	µg/l	1,2	0,010
Cr	µg/l	0,03	<0,001
Cu	µg/l	0,002	<0,001
F	µg/l	2,2	0,12
Fe	µg/l	199	0,040
Hg	µg/l	0,001	<0,001
K	mg / l	0,21	0,008
Li	µg/l	0,4	0,010
Mg	mg / l	6	0,16
Mn	µg/l	124	0,039
Na	mg / l	0,20	0,005
Ni	µg/l	63	0,13
P	µg/l	0,03	0,018
Pb	µg/l	<0,001	<0,001
Sb	µg/l	0,18	0,32
Si	mg / l	62	0,003
Sn	µg/l	0,11	0,002
U	µg/l	0,018	<0,001

Parametri	Yksikkö	Lahnasjoki pitoisuuslisä, MQ	Jormasjoki pitoisuuslisä, MQ
Zn	µg/l	13	0,001
SO ₄	mg / l	30	0,6
NO ₃ -N	µg/l	12	0,5
NH ₄ -N	µg/l	9	0,10

13.5 Vaikutukset kasvillisuuteen, eläimistöön ja suojelualueisiin

Pohjavedenkorkeus alenee kaivostoiminnan seurauksena, jolloin lähiympäristö voi kuivua. Kuivatuksen vaikutus kasvillisuuteen loppuu vähitellen sulkemisen jälkeen. Tällöin palautuu joiltakin osin edellytyksiä toimintaa edeltävälle kasvillisuudelle. Myös vaikutukset (mm. melu ja pöly) linnustoon ja eläimistöön vähenevät asteittain aktiivisen sulkemisvaiheen päätyttyä.

Sulkemisen jälkeen maaston muotoilulla voidaan luoda vaihtelevia ja monipuolisia elinympäristöjä alueen biodiversiteetin lisäämiseksi, huomioiden erityisesti lähialueen lajistot. Sulkemissuunnittelun edetessä voidaan arvioida lajikohtaisten elinympäristöjen luomista tarpeen mukaan. Louhos täyttyy vedellä toiminnan päättymisen jälkeen, mikä osaltaan voi lisätä alueelle uusia luontotyyppisiä ja elinympäristöjä.

Pöly- ja ilmapäästöt poistuvat aktiivisen sulkemisvaiheen päätyttyä. Aktiivisen sulkemisvaiheen aikana alueella tehdään vielä konetyötä ja räjäytyksetkin ovat mahdollisia esimerkiksi louhosseinämien loiventamisessa. Meluhaitat poistuvat vasta aktiivisen sulkemisvaiheen päätyttyä.

13.6 Vaikutukset maisemaan

Vaikutuksia maisemaan ja kulttuuriympäristöön sulkemisvaiheessa aiheutuu lähinnä avolouhoksista sekä sivukiven ja rikastushiekan läjitysalueesta. Kaivoksen maisemavaikutukset vähenevät sulkemisen myötä, sitä mukaa kun alueita kasvittuu ja rakennuksia puretaan.

13.7 Melu- ja värinävaikutukset

Sulkemisvaiheen melu- ja värinävaikutukset aiheutuvat liikenteestä ja ne rajautuvat teiden läheisyyteen. Melu- ja värinävaikutukset vähenevät asteittain sulkemisvaiheessa ja päättyvät täysin siinä vaiheessa, kun sulkemistyöt on saatu päätökseen. Melun ja värinän osalta alue palautuu sulkemisen jälkeen ennen kaivostoimintaa vallinneeseen tilaan eikä toiminnasta jää pysyviä vaikutuksia tai vahinkoja.

13.8 Liikennevaikutukset

Toiminnan päätyttyä kaivosliikenne, raskaiden ajoneuvojen kuljetukset sekä työntekijöiden työmatkaliikenne päättyvät, joten liikenteestä johtuvia vaikutuksia ei arvioida syntyvän enää kaivostoiminnan päättymisen jälkeen. Parannukset hankealueelle johtavilla teillä ja silloilla palvelevat tienkäyttäjiä kaivoksen sulkemisen jälkeenkin.

13.9 Vaikutukset ihmisiin ja yhteiskuntaan

Kaivoksen sulkemisen jälkeen osia kaivosalueesta voidaan palauttaa virkistyskäyttöön ja esim. metsästysalueiksi. Kaivos- ja tehdasalue palautuvat hitaasti takaisin metsätalousalueiksi, ellei tehdasalue siirry muuhun teolliseen käyttöön.

14 Jäännösriskien arviointi hallintatoimenpiteiden valinnan jälkeen

Pääpiirteissään sulkemiselle asetettavat tavoitteet täyttyvät. Sulkemissuunnitelmaan liittyen tunnistettiin kuitenkin seuraavia riskejä, ja riskien hallintakeinoja (Taulukko 14-1).

Taulukko 14-1. Jäännösriskit ja hallintakeinot.

Riski	Hallintakeino
Oletettua suurempi suotoveden määrä ja haitta-aineiden kulkeutuminen sivukivialueelta, suotovesiä ei saada ohjattua louhosjärveen suunnitellusti.	Varovaisuusperiaatteen noudattaminen suunnittelussa ja arvioinnissa, rakentamisen ja sulkemisen aikainen valvonta, tarkkailu, valunta louhosjärven kautta.
Oletettua suurempi suotoveden määrä ja haitta-aineiden kulkeutuminen rikastushiekka-alueelta.	Varovaisuusperiaatteen noudattaminen suunnittelussa ja arvioinnissa, rakentamisen ja sulkemisen aikainen valvonta, tarkkailu.
Peiton eroosio ja/tai vaurioituminen jätealueilla: Läpivirtaama lisääntyy suhteessa arvioituun tai läpivirtaaman vaihtelu läjityksessä lisääntyy. Tällöin myös haitta-aineiden mobilisoituminen voi lisääntyä. Sulfidisessa materiaalissa myös sulfidien hapettuminen voi lisääntyä peittovaurion myötä.	Varovaisuusperiaate suunnittelussa ja arvioinnissa, rakenteen eheyden tarkkailu alkuvuosina sulkemisen jälkeen.
Padon ja rikastushiekan sortuminen: vesi- ja rikastushiekkapäästö ympäristöön. Seurauksena voi olla maaperän, pohjaveden ja pintaveden pilaantuminen. Veden määrä rikastushiekka-altaalla vähenee sulkemisen myötä, joten leviäminen ympäristöön olisi tuotantovaihetta lievempää.	Toimenpiteet rakentamis- ja tuotantovaiheessa: patoturvallisuuden mukaiset tarkastukset, suunnittelun ja rakentamisen laadunvalvonta ja dokumentointi sekä valvonta.

Pilaantuneen maa-aineksen jääminen tehdasalueelle sulkemisen jälkeen: sulkemisen jälkeinen vaikutus maaperään ja pohjaveteen sekä lähialueen vesistöihin voi muodostua arvioitua suuremmaksi.	Tuotannon aikaiset käytännöt öljy- ja polttoainevuotojen osalta. Sulkemisvaiheessa tehtävä alueiden tarkastaminen, erityishuomio alueille, joilla on käsitelty haitta-ainepitoisia materiaaleja.
Louhosjärvien kuormitukseen liittyvät epävarmuudet. Lahnaslammen louhokseen liittyviä epävarmuuksia on esitetty enemmän taulukon jälkeisessä tekstissä.	Vedenlaatuarvion tarkentaminen sen jälkeen, kun pitkäaikaistestauksesta on saatavilla pidemmän aikavälin tulokset. Punasuon louhoksen valuma-aluetta voidaan rajata uudelleen sen jälkeen, kun louhos on täyttynyt, louhoksesta lähtevän virtaaman pienentämiseksi. Louhokseen virtaavan pohjavesimäärän tarkentaminen.

Keskeiseksi epävarmuudeksi jäi Lahnaslammen louhosjärven purkuveden laatu, jota ei tässä yhteydessä mallinnettu. Ainoastaan sadannan ja louhosseinämien vaikutus louhosjärven vedenlaatuun ja kerrostumiseen olisi pystytty mallintamaan ilman suurempi epävarmuuksia, kun taas seuraavat tekijät olisivat aiheuttaneet malliin epävarmuuksia:

- Sivukivialueen suotovedet on johdettu louhosjärveen vesienkäsittelysakkoineen. Suotovesien laskeutusaltaita on muutettu syksyllä 2024, niin että sakka ei enää kulkeudu louhosjärveen, eikä liukene veteen uudelleen. Sakkojen huomioiminen mallissa vaikeaa.
- Mikäli sivukivialue suljetaan nopealla aikataululla, louhosjärven vedenlaatu alkaa todennäköisesti parantua louhosjärven pintaveden osalta jo toiminnan aikana, sivukivialueelta tulevien vesimäärien pienentyessä huomattavasti.
- Punasuon louhoksen vedet on johdettu Lahnaslammen louhokseen syksyyn 2024 asti, mikä on vaikuttanut Lahnaslammen louhosjärven vedenlaatuun. Kun Punasuon vesien pumppaus Lahnaslammen louhokseen päättyy, vedenlaatu alkaa muuttua pikkuhiljaa. Tämän huomioiminen mallissa vaikeaa.
- Sivukiveä läjitetään louhokseen, jolloin louhosjärvi ei saa asettua rauhassa, vaan vesimassa sekoittuu. Tämän huomioiminen mallissa vaikeaa. Kun sivukiven läjitys louhokseen päättyy, louhosjärvi voi asettua rauhassa, ja todennäköisesti kerrostuu.
- Kosteuskammiokeet olivat olleet käynnissä vasta 12 viikkoa mallinnusten käynnistyessä. Kun kosteuskammiokeet ovat edenneet pidemmälle, niin louhokseen läjitetyn sivukiven vaikutusta on helpompi arvioida.

15 Arvio BAT-päätelmien huomioimisesta

Vuonna 2018 on julkaistu kaivannaisjätteen hallinnasta päivitetty BREF-asiakirja, jossa huomioitiin voimassa oleva kaivannaisjätedirektiivi.

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

- antaa kaivannaisteollisuudelle, viranomaisille ja muille asiaankuuluville osapuolille ajantasaisia tietoja kaivannaisjätteen hallinnasta sekä
- tukea päätöksentekijöitä esittämällä luettelo BAT-teknologioista, joilla estetään tai mahdollisuuksien mukaan rajoitetaan kaivannaisjätteiden hallinnan haitallisia vaikutuksia ympäristölle ja terveydelle. Huomioiden kuitenkin, että BAT-päätelmiin sisällytetyt tekniikat eivät ole pakollisia eikä asiakirja sisällä kaikkea mahdollista hyvin toimivaa. Voidaan siis käyttää myös muita tekniikoita, jotka tarjoavat vähintään samantasoisien suojan ympäristölle.

BAT-päätelmät (BREF-asiakirjan luku 5) jaetaan kahteen ryhmään:

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

BAT-päätelmien soveltaminen kaivoksella on esitetty liitteessä 5, kyseessä sama dokumentti joka on esitetty myös kaivannaisjätteen jätehuoltosuunnitelman liitteenä.

16 Tarkkailu

16.1 Päästö- ja ympäristötarkkailu

Sulkemisen aikaista ja jälkeistä päästöjen, vesistön ja pohjavesien tarkkailua suoritetaan siten, että ne muodostavat vertailukelpoisen jatkumon toiminnan aikaiselle tarkkailulle. Keskeiset vesistö- ja pohjavesitarkkailupisteet valitaan tuotannon aikana tarkkailtavien pisteiden joukosta. Tarkkailuväli on kuitenkin toiminnan aikaista tarkkailua harvempi.

Aktiivisen sulkemisen aikana näytteenotto poikkeaa vain vähän tuotannon aikaisesta tarkkailutoiminnasta. Näytteet otetaan käsitelystä, ympäristöön johdettavasta vedestä sekä vesistövesistä. Näytteenottoväli harvenee aktiivisen sulkemisvaiheen päätyttyä ja jatkossa sitä voidaan muuttaa edelleen tarkkailutulosten perusteella ELY-keskuksen päätöksellä. Myös alueen sisäisiä päästöjä tarkkaillaan (läjitysten suotovedet ja louhokseen muodostuva veden laatu) soveltuvilta osin.



Ympäristötarkkailu koostuu kaivosalueen alapuolisten vesistöjen pintaveden tarkkailusta, pohjaveden laadun tarkkailusta, sekä kaivosalueen ja sen lähistön biodiversiteetin tarkkailusta. Myös kalastoa ja muita vesieliöitä tarkkaillaan sulkemisen jälkeisen tarkkailuohjelman mukaisesti.

Pohjavettä tarkkaillaan alueilla, joihin kaivannaisjätealueet ovat mahdollisesti vaikuttaneet tai voivat sulkemisen jälkeen vaikuttaa. Pohjaveden tarkkailua toteutetaan samoista pisteistä kuin tuotantovaiheessa, ei kuitenkaan kaikista toimintavaiheen tarkkailuputkista eikä välttämättä samalla näytteenottovälillä.

Keskeisenä osana sulkemisen jälkeistä tarkkailua on louhosjärven tarkkailu. Tähän sisältyy myös määräaikainen koko syvyysprofiilin näytteenotto, joka suoritetaan joko kesällä veneestä tai keskitalvella jäältä, välttämättä kuitenkin esimerkiksi keväistä lämpökerrosten sekoittumiskautta.

Kasvillisuuden ja eläimistön palautumista havainnoidaan sulkemisen jälkeen yleisluontoisella tasolla, yksittäiskäyntien puitteissa.

Sulkemistöiden aikana muodostuvaa ja kulkeutuvaa pölyä valvotaan lähinnä käyttötarkkailun puitteissa (visuaalinen havainnointi ja tarvittaessa töiden keskeytys erityisissä sääolosuhteissa). Varsinaisia pölymittauksia suoritetaan tarvittaessa.

Kasvillisuuden ennallistamista valvotaan näköhavaintojen ja kesäisin otettavien valokuvien perusteella.

16.2 Geotekninen tarkkailu

Geotekniseen tarkkailuun sulkemisen aikana sisältyy jätealueiden luiskien ja penkereiden vakauden tarkkailu ja sulkemisrakenteiden laaduntarkastus. Veden keräys- ja käsittelyjärjestelmien toimintaa tarkkaillaan. Geotekninen tarkkailu suoritetaan pääasiassa näköhavaintojen perusteella, mutta myös esim. vakausmittauksia tehdään tarvittaessa.

17 Sulkemiskustannusten ja vakuuksien arviointi

Kaivannaisjäteasetus (190/2013) edellyttää vakuuslaskelman esittämistä. Koko toiminnan sulkemisen vakuus on 29 065 424 € (sis. alv 25,5 %). Vakuuslaskelma erittelyineen on esitetty liitteessä 6.

18 Väliaikainen ja ennenaikainen sulkeminen

18.1 Väliaikainen sulkeminen

Väliaikaisella sulkemisella tarkoitetaan kaivostoiminnan lakkaamista tilapäisesti, esimerkiksi taloudellisista syistä. Kaivos siirretään ns. "care & maintenance" -tilaan, jossa



suoritetaan keskeiset ylläpitotoimet, kuten kaivoskuivatuksen jatkaminen (kokonaan tai tarvittavaan tasoon). Tällöin voidaan olettaa, että pohjavesivirtaukset kaivosalueella ovat edelleen louhokseen suuntautuvia. Myös esimerkiksi rikastamon huoltotyöt, ja vesienkäsittely jatkuvat. Kaivosalue pidetään tilassa, joka mahdollistaa suhteellisen nopean tuotantoon palaamisen.

Väliaikaisessa sulkemisessa varmistetaan, että kontakti- ja ei-kontaktivesien erillään pito jatkuu ja kontaktivedet käsitellään ennen johtamista kaivosalueelta pois.

Turvallisuus taataan ensisijaisesti rajoittamalla liikkumista alueella, lähinnä aitaamisen keinoin.

18.2 Ennenaikainen sulkeminen

Mikäli kaivos suljetaan suunnitteluvaiheessa kaavailtua aikaisemmin, sulkeminen suoritetaan pääpiirteissään samalla tavalla kuin tässä sulkemissuunnitelmadokumentissa esitetään. Rikastushiekkamäärä voi jäädä vähäisemmäksi ja louhos pienemmäksi.

Pääsääntöisesti valitun sulkemiskonseptin voidaan olettaa toimivan myös ennenaikaisessa sulkemisessa, mutta päästö- ja vaikutusennusteiden epävarmuudet kasvavat jonkin verran.

19 Sulkemissuunnitelman tarkentaminen ja päivittäminen

Sulkemissuunnitelma tullaan tarkistamaan vähintään 5 vuoden välein tai toiminnan oleellisesti muuttuessa. Kussakin suunnitteluvaiheessa esitetään myös suositukset seuraavaa suunnitteluvaihetta varten, tunnistettujen riskien, epävarmuuksien ja vaikutusten pohjalta.

Sulkemissuunnittelun seuraavassa vaiheessa sulkemisen jälkeistä kuormitusarviota tarkennetaan. Kuormitukseen vaikuttavat vesimäärät ja -laadut. Sulkemisen jälkeisten vesijakeiden laatuarviota tarkennetaan, kun kaivannaisjätteiden pitkäaikaistestauksista (kosteuskammiokoeket) saadaan pidempiaikaisia tuloksia. Vesimääriä tarkennetaan etenkin louhoksiin purkautuvan pohjavesimäärän osalta. Pohjavesimallin luotettavuutta pyritään parantamaan.

Tarvittaessa sulkemisratkaisuja arvioidaan uudelleen.



20 Lähdeluettelo

AFRY Finland Oy 2020a. Elementis Minerals B.V. Branch Finland. Sotkamon kaivoksen ja tehtaan tarkkailu 2019.

AFRY Finland Oy 2020b. Elementis Minerals B.V. Branch Finland. Papinlammen rikastushiekka-allas. Korotussuunnitelma. 17.1.2020.

AFRY Finland Oy 2023. Elementis Minerals B.V. Branch Finland. Sotkamon kaivoksen ja tehtaan tarkkailu 2022.

AFRY Finland Oy 2024a. Elementis Minerals B.V. Branch Finland Kaivannaisjätteiden ja vesienhallinnan YVA-ohjelma 6.5.2024. Projektinnumero: 101023788.

AFRY Finland Oy 2024b. Elementis Minerals B.V. Branch Finland. Sotkamon kaivoksen ja tehtaan kaivannaisjätteen jätehuoltosuunnitelma

AFRY Finland Oy 2024c. Elementis Minerals B.V. Branch Finland Sotkamon kaivos, vanha maanlajitysalue, maaperän geokemiallinen selvitys 2024. 101023791-001

AFRY Finland Oy 2024d. Elementis Minerals B.V. Branch Finland. Uutelan kaivoksen kaivannaisjätteen jätehuoltosuunnitelma. 101026138-001

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

Elementis Minerals B.V. Branch Finland 2020. Lahnaslammen kaivostoiminnan sulkemissuunnitelma vuosille 2020-2023.

Elementis Oy 2024. Sähköpostitiedonanto 20.11.2024, A. Mursula.

Eurofins 2018. Testausseloste 19.9.2018. Raporttinumero: 083010. Tilaus: O-18-01736. Tilauksen kuvaus: Sakka-analyysi. Eurofins Ahma Oy, Rovaniemi.

Eurofins 2019. Testausseloste 12.8.2019. Raporttinumero: 058252. Tilaus: S19-17122. Asiakkaan viite: Uutelan sakkanäyte. Eurofins Labtium Oy, Kuopio.

Eurofins Ahma Oy 2022b. Terrafame Oy pohjaeläintarkkailu vuonna 2021

GTK 2005. Lahnaslammen kaivoksen ja uuden Punasuon kaivoksen sivukivien ympäristökelpoisuus, Dnro K43/41/02. 15.9.2005. Viittaus julkaisussa Ramboll Finland Oy 2015. Mondo Minerals B.V. Branch Finland, Sotkamon kaivos ja tehdas. Kaivannaisjätteen jätehuoltosuunnitelma 5.10.2015.

ICMM 2019. Integrated Mine Closure – Good Practice Guide, 2nd Edition.

Kainuun ELY-keskus 2022. Velvoitetarkkailuja sekä syvännepohjaeläinmenetelmiä vertaileva hanke (Vepove). Raportteja 28/2022



Lahermo 1996. Suomen geokemian atlas – osa 3: ympäristögeokemia: purovedet ja – sedimentit. Geologian tutkimuskeskus 1996. 149 s.

Lehtinen, M., Nurmi, P. & Rämö, T. (toim.) 1998. Suomen kallioperä: 3000 vuosisiljoonaa. Helsinki, Suomen Geologinen Seura ry., 375 s.

Petrolab 2024. GCL0182 Modal Mineralogy & EPMA Analysis. Geochemic Ltd. Mineralogical Report AM8102b 26/07/2024.

PSAVI 2023. Lupapääätös Nro 103/2023. Lahnaslammen kaivoksen toiminnan olennainen muuttaminen koskien Papinlammen rikastushiekka-altaan korottamista, Sotkamo

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

Saarelainen, J. & Räisänen, M-L. 2001. Lahnaslammen kaivospiirialueen maaperä- ja hydrogeologinen nykytilaselvitys. Geologian tutkimuskeskus, Väli-Suomen aluetoimisto.

SGS 2024. SGS-laboratorion online tietokannasta haettu uutelan vesienkäsittelysakkojen tulokset. 26.11.2024.

Suomen ympäristökeskus 2024. SYKE-WSFS-Vemala hydrologinen ja kuormitusmalli, 4.4.2024. [<https://vmalli.ymparisto.fi/vuok/html/main.shtml>]

Suomen ympäristökeskus 2024b. Ympäristöhallinnon avoimet ympäristötietojärjestelmät. Virtavesilohikalakannat. [https://paikkatiedot.ymparisto.fi/geoserver/syke_virtavesienlohi-kalakannat/wms]

SYKE (Suomen ympäristökeskus) 2024. Ympäristöhallinnon avoimet ympäristötietojärjestelmät.

- a) Vesienhoidon 3. suunnittelukauden tietojärjestelmä
- b) Pohjaeläinrekisteri

Säteilyturvakeskus (STUK) 2021. Ohjeita työntekijän altistuksen arviointiin. Ympäristön säteilyvalvonta. #2047300. 7.10.2021

TAPIR 2024. Maaperän taustapitoisuudet. Taustapitoisuusrekisteri. Geologian tutkimuskeskus. <https://gtkdata.gtk.fi/tapir/> (tiedot on haettu 19.8.2024, raja-alue 10 km kaivosalueen keskeltä, n=74)

Vastuullisen kaivostoiminnan verkosto 2017. Kaivosvastuu. <https://www.kaivosvastuu.fi/>

Pohjavesimallinnusraportti on esitetty YVA-selostuksen liitteenä 6.

Elementis Minerals B.V. Branch Finland

Rikastushiekka-altaan peittokerroksen mallinnus

3.12.2024

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	2
2	Laskentamenetelmä	2
3	Mallin lähtötiedot ja parametrit	2
3.1	Hydrauliset parametrit.....	2
3.2	Säähavainnot	3
3.3	Mallin reunaehdot	4
3.4	Mallinnettu ajanjakso	4
3.5	Peitekerrokset	4
4	Tulokset.....	5
4.1	Rikastushiekka-allas peittorakenne	5
5	Johtopäätökset ja epävarmuudet	9
6	Lähdeluettelo.....	11

AFRY Finland Oy,
Kaivosympäristö
Jaakonkatu 3
01620 Vantaa

Copyright © AFRY Finland Oy

All rights reserved. This document or any part of it may not be copied or used in any form without a written permission from AFRY Finland Oy.

1 Johdanto

Tässä raportissa on tarkasteltu Elementis Minerals B.V. Branch Finland:in kaivosalueen Papinlammen rikastushiekka-altaaseen sadannasta aiheutuvan suotauman määrää sulkemisen jälkeisessä tilanteessa. Allas on suunniteltu peitettäväksi moreenikerroksilla. Altaan vesitasetta, lähinnä läpi suotautuvan veden määrän osalta, on tässä työssä arvioitu mallintamalla allasalueen vertikaalista pylväsprofiilia HYDRUS 1D-mallilla (Hydrus-1D). Työn tarkoituksena on selvittää suunnitellun peittorakenteen toimivuutta.

2 Laskentamenetelmä

Laskennassa käytettiin HYDRUS 1D-mallinnusohjelmaa, joka laskee veden kulkeutumista 1- dimensioissa vertikaalisuuntaisessa maapylväässä (Rassam et al. 2018). Mallin yläreunalle syötetään mitattu sadanta, minkä lisäksi malliin syötetään mitattu säätila ja asetetaan maalajikerrokset ja niiden hydrauliset johtavuudet. Tämän jälkeen malli laskee pintakerrokselle satavan veden määrän, veden haihdunnan pintakerroksesta ja veden imeytymisen maaperään, sekä talvitilanteessa lumen sadannan ja sulannan.

3 Mallin lähtötiedot ja parametrit

3.1 Hydrauliset parametrit

Papinlammen rikastushiekan ja peitemateriaalien hydrauliset ominaisuudet mallinnettiin Hydrus-1D ohjelmalla käyttäen Van Genuchtenin epäsaturoituneen hydraulisen johtavuuden mallia. Käytetyt parametrit on esitetty taulukossa (Taulukko 3-1).

Rikastushiekan hydraulisen johtavuuden arvona käytettiin 26,78 cm/d eli $3,1 \cdot 10^{-6}$ m/s (mitattu Mitta Oy 17.4.2020). Rikastushiekka-altaan peittorakenteen mallissa käytettiin peittomoreenille hydraulisen johtavuuden arvoa 8,44 cm/d eli $1,0 \cdot 10^{-6}$ m/s, peittokerroksen tiivismoreenille 1,68 cm/d eli $1,9 \cdot 10^{-7}$ m/s ja sivukivialueen pohjalla olevalle moreenimaalle 50,23 cm/d eli $5,8 \cdot 10^{-6}$ m/s. Punasuon ja Lahnaslammen louhosalueella on tehty vuonna 2012 (Pöyry Finland Oy 2012) maaperän vedenjohtavuuden määrittämiseksi slug-testejä maaperän pohjavesiputkissa. Mittauksissa maaperän vedenjohtavuus vaihteli välillä $3,40 \cdot 10^{-5} - 1,20 \cdot 10^{-6}$. Lahnaslammen kaivoksen vieressä olevan sivukivialueen maisemointi on toteutettu metrin paksuisena tasalaatuisena pintakerroksena. Pintakerroksen materiaalin vedenläpäisevyyttä on selvitetty vedenläpäisevyyskokein (Mitta Oy 2020). Vedenläpäisevyys (K-arvo) vaihteli testeissä välillä $1,4 \cdot 10^{-8}$ m/s – $1,1 \cdot 10^{-6}$ m/s. Havaintojen geometrinen keskiarvo on $1,97 \cdot 10^{-7}$ m/s.

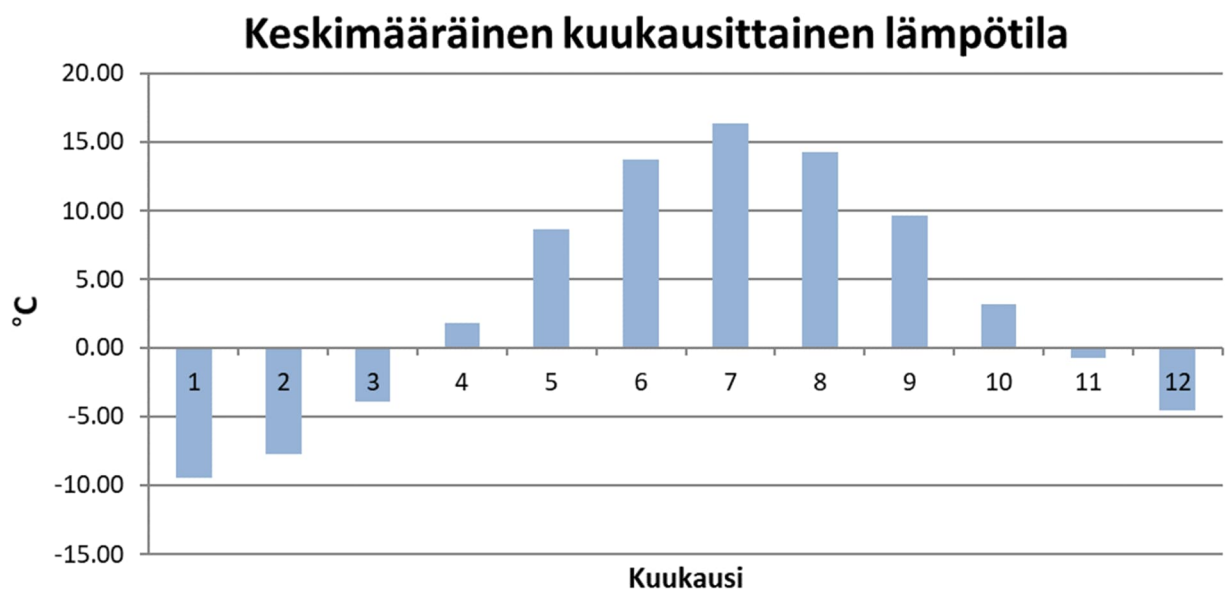
Taulukko 3-1: Mallinnuksessa käytetyt parametrit nykyisen suunnitelman mukaiselle rikastushiekka-altaan peittorakenteelle.

Materiaali	θ_r	θ_s	Alpha	n	Ksat (cm / d)	Ks (m / s)
Rikastushiekka	0,078	0,43	0,036	1,56	26,78	$3,1 \cdot 10^{-6}$
Peittomoreeni	0,0585	0,3764	0,0109	1,478	8,44	$1,0 \cdot 10^{-6}$
Tiivismoreeni	0,089	0,43	0,01	1,23	1,68	$1,9 \cdot 10^{-7}$
Pohjamoreeni	0,0437	0,3987	0,0114	1,5127	50,23	$5,8 \cdot 10^{-6}$

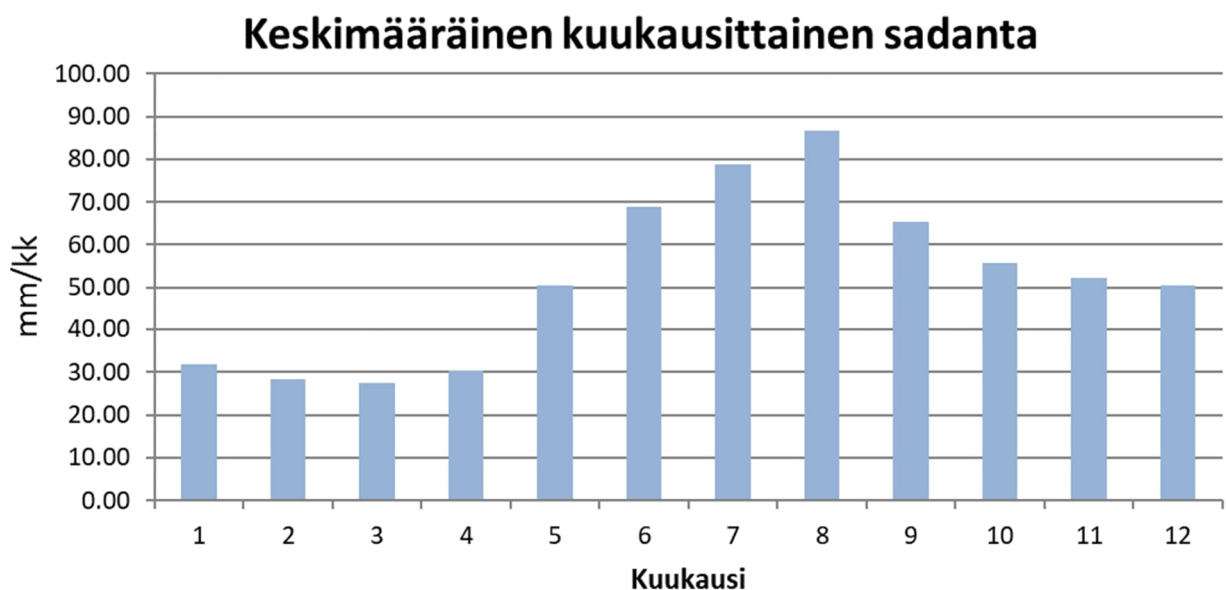
3.2 Säähavainnot

Säähavainnot haettiin julkisista tietokannoista (Ilmatieteenlaitos (FMI 2021) ja ERA-Interim reanalysis (ECMWF)). Säätiiedot (sadanta, lämpötila, tuuli, ilmankosteus) haettiin sääasemalta Sotkamo/Kuolaniemi ja säteily lähimmästä sääpisteestä (lat 64, lon 29) ECMWF ERA-Interim data.

Kuvissa (Kuva 3-1, Kuva 3-2 ja Kuva 3-3) esitetään keskimääräinen kuukausittainen lämpötila, keskimääräinen kuukausittainen sadanta (talvikuukausien aikana sade tulee lumena) ja vuosittainen sadanta. Tiedot on koostettu käyttäen dataa vuosilta 2011–2020. Keskimääräinen sadanta tälle ajanjaksolle on 628 mm/a ja keskilämpötila 3,5 °C. Haihdunta lasketaan mallissa vuorokauden minimi- ja maksimilämpötilojen perusteella.



Kuva 3-1: Keskimääräiset kuukausittaiset lämpötilat 2011–2020, Sotkamo Kuolaniemi.



Kuva 3-2: Keskimääräinen kuukausittainen sadanta 2011–2020, Sotkamo Kuolaniemi.



Kuva 3-3: Mitattu vuosittainen sadanta 2011–2020 Sotkamo Kuolaniemi.

3.3 Mallin reunaehdot

Rikastushiekka-allas mallinnettiin Hydrus-1d -ohjelmalla yksittäisinä 1D-maakerrosprofiilipylväinä. Malliin syötettiin säätietoina sadanta, lämpötila, säteily, kosteus ja tuuli. Profiilin pohjalle asetettiin reunaehto, jossa rikastushiekka-altaassa pohjaveden pinnan oletetaan olevan 3,5 m korkeudella pohjalta. Rikastushiekka-altaassa pohjaveden pinnan korkeus sulkemisen jälkeisessä tilanteessa ei ole tiedossa Arvo perustuu pohjavesimallin sulkemisen jälkeisen tilanteen simulointiin. Profiilin pintaosan lämpötila asetettiin ilman lämpötilaksi. Profiilin pohjan lämpötila asetettiin vakioksi 3 °C. Rikastushiekka-altaan profiilin alkulämpötilaksi asetettiin 10 °C ja vesipitoisuudeksi 0,3.

3.4 Mallinnettu ajanjakso

Mallinnus tehtiin käyttämällä säähavaintodataa vuosilta 2011–2020 (10 vuotta). Kaksi ensimmäistä vuotta käytettiin mallin alustukseen, joten tulokset esitetään vuosille 2013–2020 (8 vuotta).

3.5 Peitekerrokset

Rikastushiekka-allasta kuvaamaan tehtiin yksi 31,5 m korkea mallinnuspylväsprofiili kuvaamaan alueen maksimikorkeutta.

Rikastushiekka-altaalle mallinnettiin peittorakenne, jossa rikastushiekan päälle tulee ensin tiivismoreeni (30 cm) ja sen päälle peittomoreeni (70 cm). 30 m paksun rikastushiekkakerroksen alla on 50 cm pohjamoreenikerros.

4 Tulokset

Maakerrosprofiililla mallinnettiin peitekerrospaksuuksien ja peitemateriaalien vaikutusta läpisyötaumaan ja peitemoreenikerrosten kosteuteen.

Profiilille esitetään seuraavat laskennalliset tulokset kahdeksan vuoden mallinnusajanjaksolta aikasarjaesityksenä:

- Vesipitoisuus kuudessa pisteessä (peittomoreenikerroksen ylä- ja alaosa, tiivismoreenikerros, rikastushiekan ylä- ja alaosa, pohjamoreeni)
- Suotauma pohjaveteen
- Pintavesibalanssi, esim. imeytyminen ja haihdunta

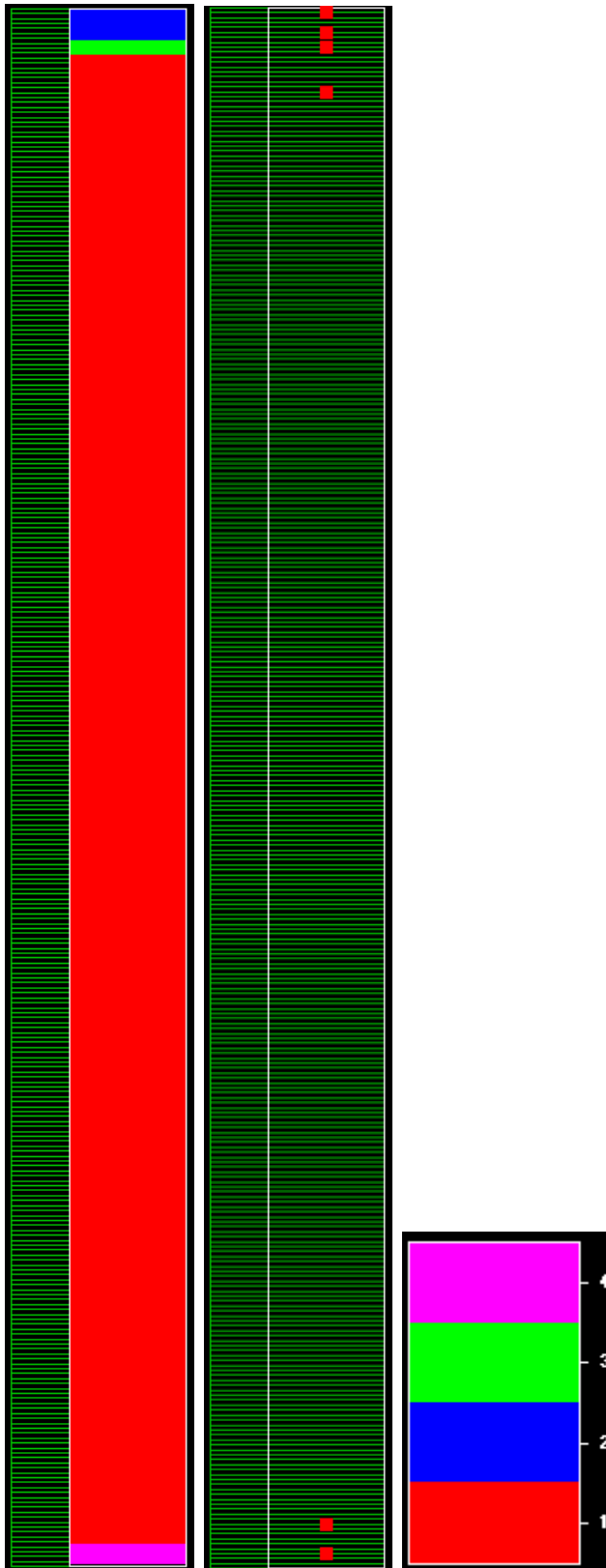
Lumipeitteeseen ja kasaan ennen ja jälkeen laskennan varastoitunut vesi selittää pienet erot lasketuissa vesimäärissä (esim. Taulukko 4-2) suhteessa sadantaan (Kuva 3-3).

4.1 Rikastushiekka-allas peittorakenne

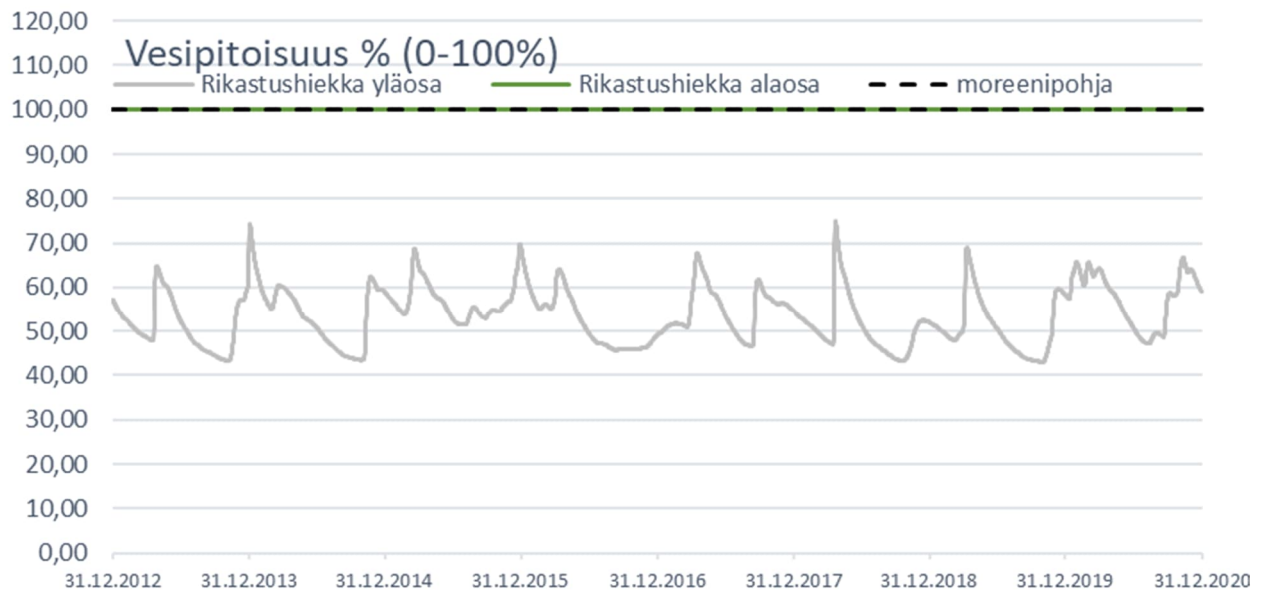
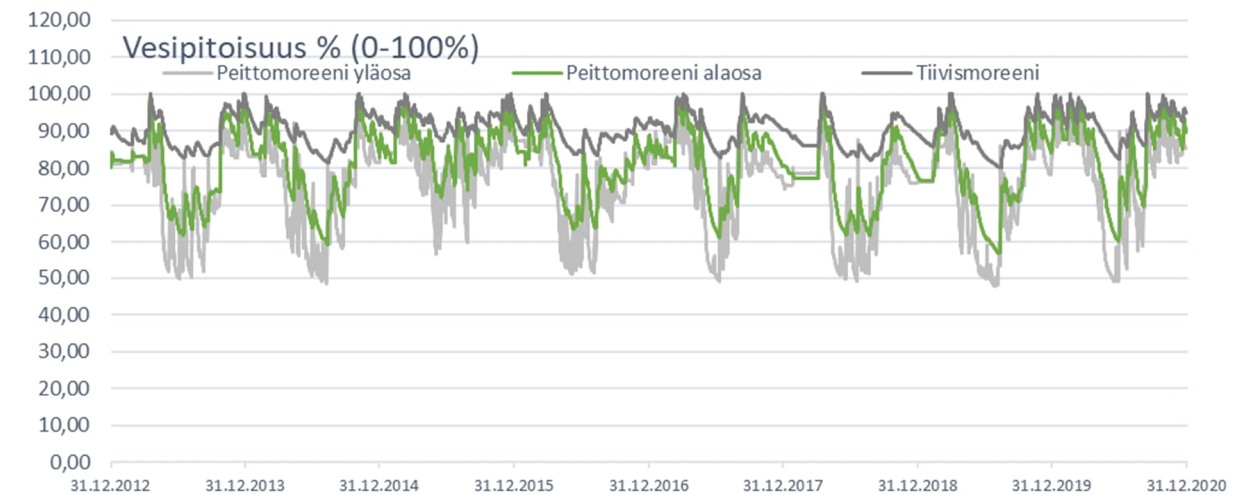
Rikastushiekka-altaan 31,5 m korkea profiili edustaa altaan korkeinta kohtaa. Mallin hilakoppien korkeudeksi asetettiin 10 cm. Mallinnetussa maakerrosprofiilissa on pohjalla 50 cm pohjamoreenikerros, sen päällä 30 m paksu rikastushiekkakerros, 30 cm paksu tiivismoreeni ja 70 cm peittomoreeni. Vesipitoisuus ja maaperän lämpötila valituissa pisteissä on esitetty aikasarjana kuvissa (Kuva 4-2 ja Kuva 4-3) ja vastaavat keskimääräiset, minimi ja maksimiarvot taulukossa (Taulukko 4-1). Vesipitoisuus on esitetty suhteellisena vesipitoisuutena, jonka laskennassa on käytetty vesipitoisuuden minimi- ja maksimiarvoja (Taulukko 3-1, θ_r ja θ_s). Pisteet sijoitettiin profiiliin seuraaville syvyyksille profiilin yläpinnasta alaspäin laskettuna:

- 0,10 m, peittomoreenikerros
- 0,60 m, peittomoreenikerros
- 0,90 m, tiivismoreenikerros
- 1,80 m, rikastushiekkakerroksen yläosa
- 30,70 m, rikastushiekkakerroksen alaosa
- 31,30 m, pohjamoreeni

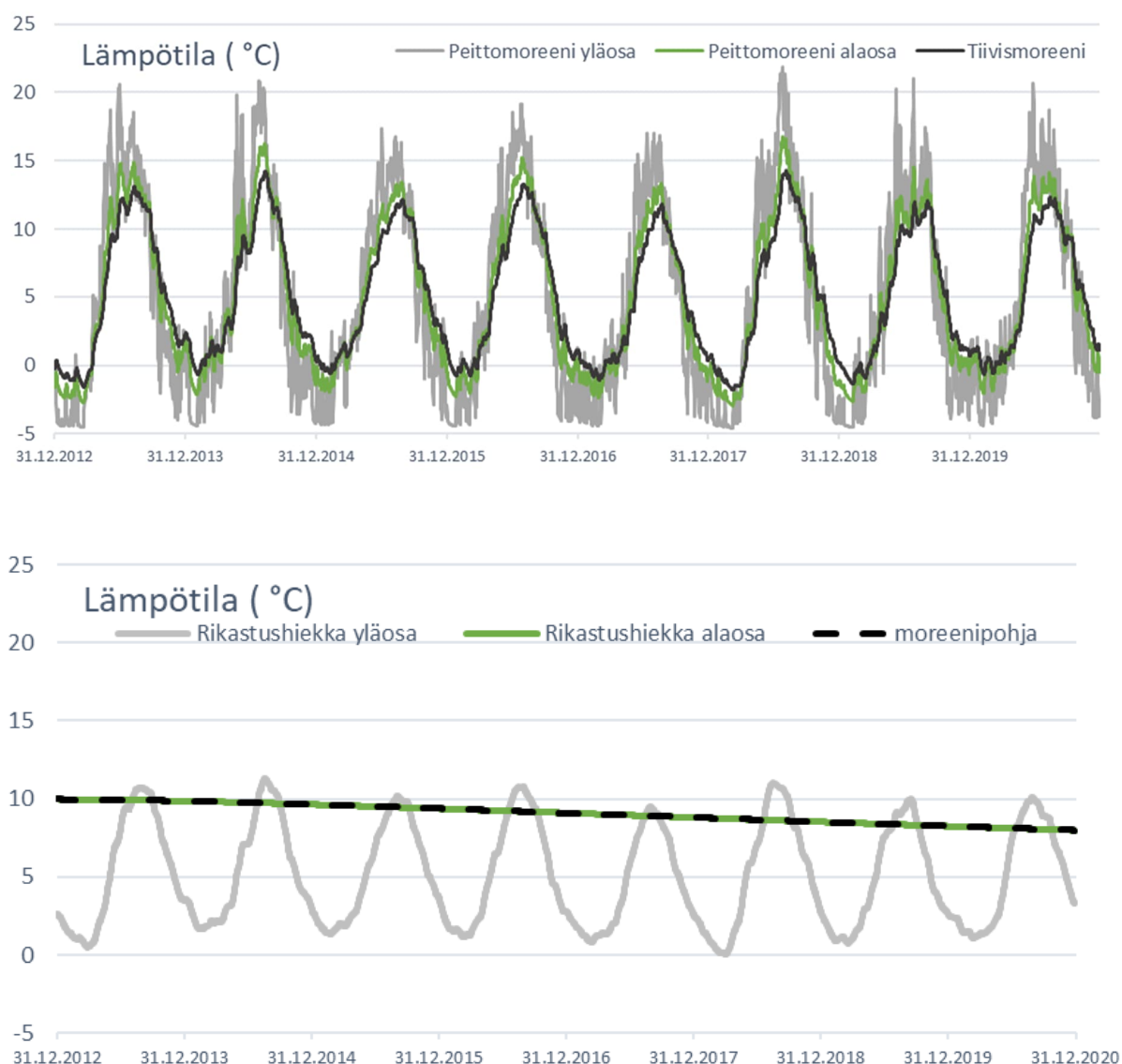
Pintavesitase ja suotauma pohjaveteen on esitetty kuvissa (Kuva 4-4 ja Kuva 4-5). Vastaava vuosikeskiarvo sekä minimi ja maksimi kahdeksan vuoden laskentaperiodilta on esitetty taulukossa (Taulukko 4-2).



Kuva 4-1: Mallinnettu 31,5 m maakerrospylväs, 1=rikastushiekka, 2=peittomoreeni, 3=tiivismoreeni, 4=pohjamoreeni. Pisteet, joista tulokset on esitetty, on merkitty punaisilla neliöillä.



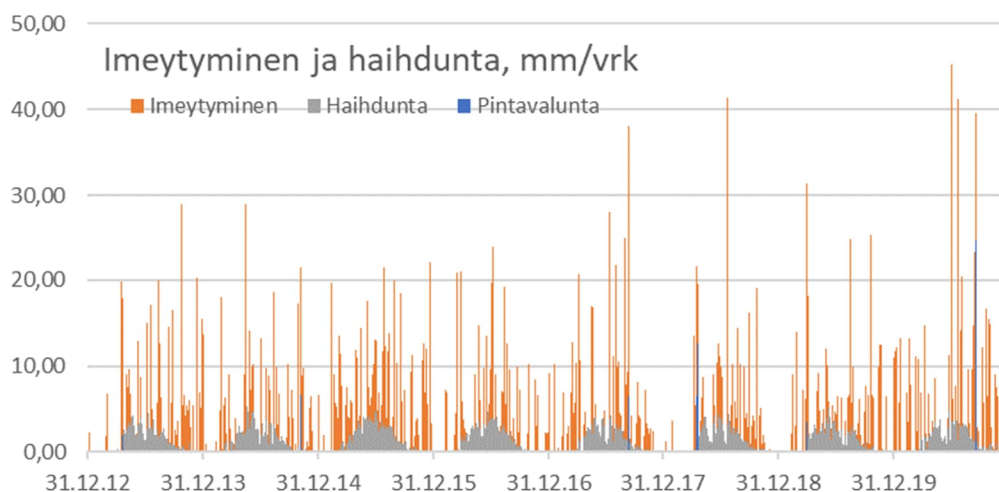
Kuva 4-2: Rikastushiekka-allas, 31,5 m profiili suhteellinen vesipitoisuus aikasarjana.



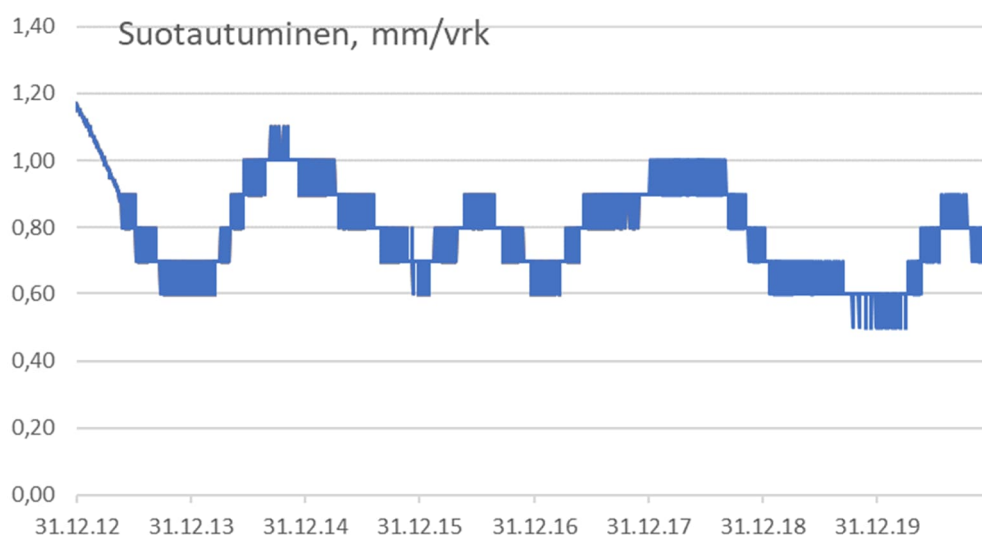
Kuva 4-3: Rikastushiekka-allas, 31,5 m profiili, lämpötila aikasarjana.

Taulukko 4-1: Rikastushiekka-allas, 31,5 m profiili, suhteellisen vesipitoisuuden ja lämpötilan keskiarvot, minimi ja maksimit.

Laskentapiste	Suhteellinen vesipitoisuus %			Lämpötila °C		
Syvyys maanpinnasta, m	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
Peittomoreeni yläosa 0,1 m	75,57	47,78	97,45	4,90	-4,58	21,86
Peittomoreeni alaosa 0,6 m	81,31	56,94	100,00	5,04	-2,94	16,76
Tiivismoreeni 0,9 m	90,59	71,17	100,03	5,16	-1,82	14,46
Rikastushiekka yläosa 1,8 m	53,88	43,07	74,86	5,41	0,07	11,87
Rikastushiekka alaosa 30,7 m	99,54	62,67	100,00	0,43	0,30	0,43
Pohjamoreeni 31,3 m	99,94	77,80	100,00	9,25	7,99	10,00



Kuva 4-4: Rikastushiekka-allas, 31,5 m profiili, imeytyminen ja haihdunta.



Kuva 4-5: Rikastushiekka-allas, 31,5 m profiili, veden suotautuminen profiilin läpi.

Taulukko 4-2: Rikastushiekka-allas, 31,5 m profiili, läpisuotautumisen, imeytymisen, haihdunnan ja pintavalunnan vuosikeskiarvot, minimi ja maksimit.

	Läpisuotautuminen	Imeytyminen	Haihdunta	Pintavalunta
Vuosikeskiarvo	290 mm/v	611 mm/v	338 mm/v	10 mm/v
Päivittäinen minimi	0.5 mm/vrk	0.00 mm/vrk	-0.10 mm/vrk	0,00 mm/vrk
Päivittäinen maksimi	1.17 mm/vrk	45.30 mm/vrk	5.31 mm/vrk	24,67 mm/vrk

5 Johtopäätökset ja epävarmuudet

Papinlammen rikastushiekka-altaan sulkemisen jälkeisiä hydrologisia ominaisuuksia mallinnettiin pylväsprofiilimallilla.

Rikastushiekka-altaassa mallinnetuilla 70 cm peitemoreeni ja 30 cm tiivismoreeni kerrospaksuuksilla saavutetaan tiivismoreenin kerroksessa 0,33–0,43 ja peittomoreenin kerroksessa 0,24–0,38 absoluuttinen kosteus, kun käytetään hydraulisena johtavuutena tiivismoreenille $1,9 \cdot 10^{-7}$ m/s ja peittomoreenille $1,0 \cdot 10^{-6}$ m/s. Tämä vastaa tiivismoreenikerroksessa noin 71–100 % (keskimäärin 90,6 %) suhteellista kosteutta.

Mallinnuksessa epävarmuutta aiheuttavat a) käytetyt vedenjohtavuusparametrit, b) pohjavedenpinnan korkeus altaassa sulkemisen jälkeen ja c) roudan vaikutus suotautumiseen. Ei ole varmuutta, mille korkeudelle pohjavedenpinta tulee sulkemisen jälkeen altaassa asettumaan. Rikastushiekka-altaassa tehtiin herkkyystarkastelua tämän parametrin suhteen, eikä sillä ollut merkittävää vaikutusta peittorakenteen suhteelliseen vesipitoisuuteen. Routaan liittyvä epävarmuus todennäköisesti aliarvioi lumen sulannan aikaisen pintavalunnan ja siten yliarvioi suotauman pohjaveteen. Laskettu suotauma pohjaveteen on siten todennäköisesti ennemminkin liian suuri kuin liian pieni.

Mahdollisia ilmastonmuutoksen vaikutuksia ei ole otettu huomioon malleissa.

6 Lähdeluettelo

ERA-Interim reanalysisin (ECMWF).

FMI, 2021, Finnish Meteorological Institute, open data weather observations,
<https://en.ilmatieteenlaitos.fi/open-data>

Mitta Oy. 2020. Lahnaslammen kaivoksen sivukivialueen sulkutyöt, vedenläpäisykokeet.

Pöyry Finland Oy. 2012. Lahnaslammen louhoksen virtausmallinnus. 67 s.

Rassam, D., Šimůnek, J., Mallants, D. Th. van Genuchten, M. 2018. The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in

Elementis Minerals B.V. Branch Finland

Sotkamon kaivoksen kaivannaisjätteiden läjitysalueiden sekä louhosjärven sulkemisen jälkeisten vedenlaatujen geokemiallinen mallinnus

16.12.2024

Elementis Minerals B.V. Branch Finland

Projektinnumero/Dokumenttinumero: 101023791



Sisällys

1	Johdanto	5
1.1	Työn sisältö.....	5
1.2	Arviointimenetelmien kuvaus.....	6
1.2.1	Kosteuskammiokeet.....	6
1.2.2	Peittorakenteen happivuo.....	7
2	Rikastushiekka-allas	8
2.1	Rikastushiekan karakterisointi	8
2.1.1	Rikastushiekan mineralogia	8
2.1.2	Rikastushiekan geokemialliset ominaisuudet.....	9
2.1.3	Rikastushiekan kosteuskammiokeiden tulokset	11
2.2	Huokosveden koostumus	13
2.3	Alueen tekniset tiedot, lämpötila ja sadanta.....	14
2.4	Rikastushiekka-altaan konseptualisointi	16
2.5	Rikastushiekka-altaan suotoveden koostumus.....	17
3	Sivukiven läjitysalue	21
3.1	Sivukiven karakterisointi	21
3.1.1	Sivukiven mineralogia	21
3.1.2	Sivukivien geokemialliset ominaisuudet	22
3.2	Sivukivien kosteuskammiokeet.....	26
3.3	Konseptualisointi.....	26
3.4	Sivukivialueen suotoveden koostumus	27
4	Punasuon louhosjärvi.....	30
4.1	Seinämien karakterisointi	30
4.2	Pohjaveden laatu	31
4.3	Sivukivien kosteuskammiokeet (louhosseinämät)	33
4.4	Konseptualisointi.....	35
4.5	Punasuon louhosjärven vedenlaatu.....	37
5	Lahnaslammen louhosjärvi	38
5.1	Konseptualisointi.....	38
5.2	Lahnaslammen louhosjärven vedenlaatu	39
6	Kuormitus ympäristöön läjitysalueilta ja louhosjärvestä	40
7	Herkkydet ja epävarmuudet	44
7.1	Herkkydet	44



7.2	Epävarmuudet	44
7.2.1	Rikastushiekka-altaan suotoveden laatuun liittyvät epävarmuudet	44
7.2.2	Sivukiven läjitysalueen suotoveden laatuun liittyvät epävarmuudet	46
7.2.3	Punasuon louhosjärven vedenlaatuun liittyvät epävarmuudet	46
7.2.4	Lahnaslammen louhosjärven vedenlaatuun liittyvät epävarmuudet	48
7.3	Ilmastonmuutos.....	48
8	Syötetiedot ja oletukset	48
8.1	Rikastushiekka-altaan syötetiedot ja oletukset	48
8.2	Sivukiven läjitysalueiden syötetiedot ja oletukset.....	50
8.3	Louhosjärven syötetiedot ja oletukset	50
8.4	Geokemiallinen tasapainomallinnus	52
9	Viitteet	52



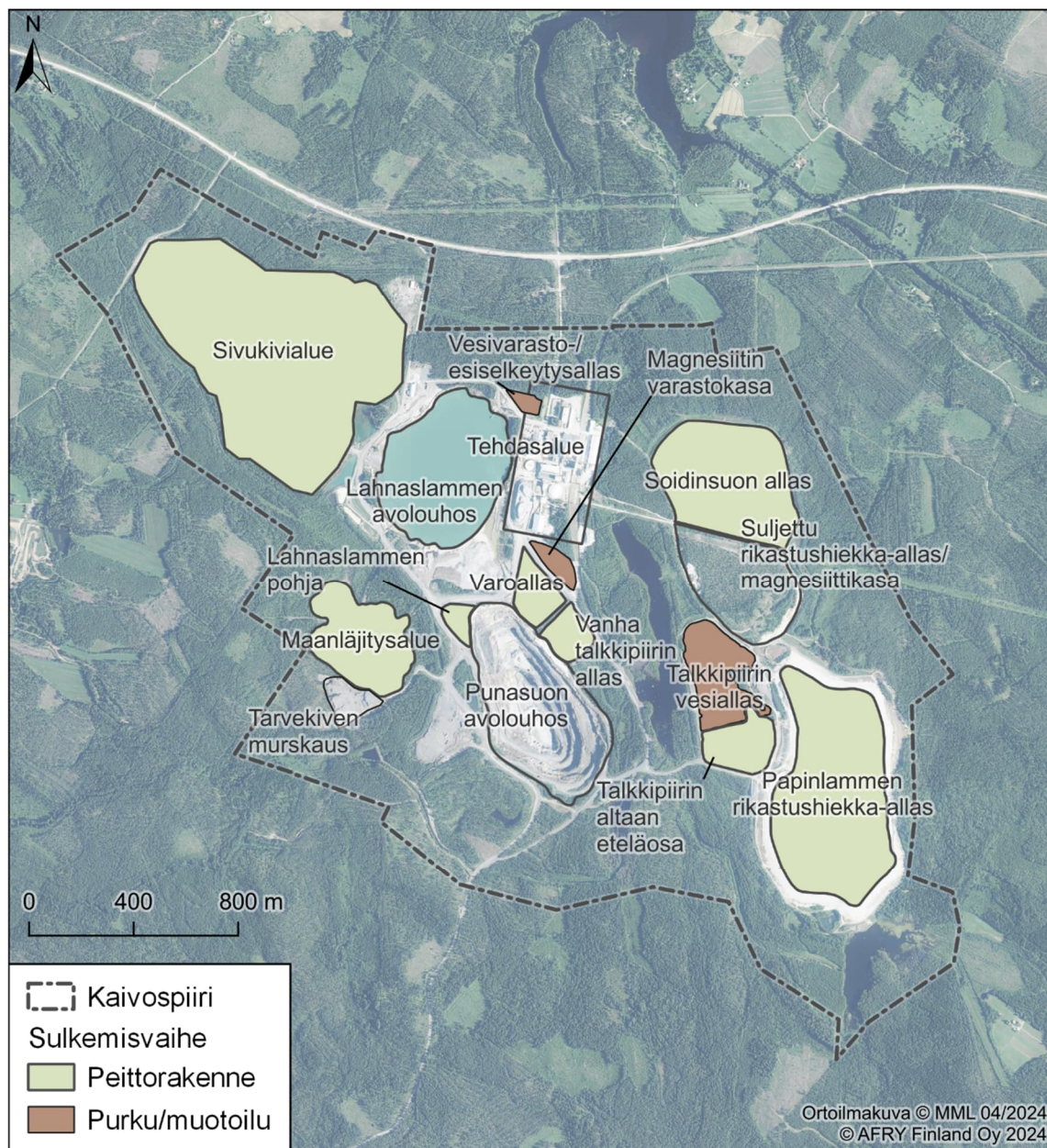
TERMI	SELITE
ABA-testi	<i>acid base accounting test</i> - hapon ja emäksen tasapainon laskentamenetelmä, jossa hapontuottopotentialiaali lasketaan kokonais- ja sulfidirikistä ja neutralointipotentialiaali määritetään kokeellisesti titraamalla
AP	Hapontuottopotentialiaali, <i>Acid Potential</i>
C	Hiili, <i>Carbon</i>
C _{kok}	Hiilen kokonaismäärä
C _{epäorg}	Epäorgaaniseen ainekseen sitoutunut hiili, usein karbonaattista hiiltä (CO ₃ ²⁻)
konseptualisointi	käsitteellistäminen, vuorovaikutusten, reaktioiden tai virtausten kuvaaminen -ei-numeerisesti
Kosteuskammio	<i>Humidity cell test</i> , eräs kineettinen koetyyppi, jolla selvitetään kaivannaisjätteen tai kiviaineksen pitkäaikaiskäyttämistä. Kokeessa näyte on peräkkäin kuvissa ja kosteissa olosuhteissa, syklien välillä näytekammio huuhdotaan tislattulla vedellä.
NP	Neutralointipotentialiaali
NPR	Neutralointi- ja hapontuottopotentialisuhde, $NPR = NP/AP$
skaalauskerroin	kerroin, jonka avulla muunnetaan laboratorioanalyysien tuloksia vastaamaan kenttäolosuhteita (esimerkiksi raekoon tai lämpötilan suhteen)
staattinen testaus	analyysi, joka voidaan tehdä suhteellisen nopeasti (esim. alkuaineanalyysi, ABA-koe, NAG-testi, ravistelutesti)
sulfidinen rikki (S _{sulf})	rikin osuus, joka esiintyy osana sulfidimineraaleja
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 sivukivialueella ja rikastushiekka-altaalla muodostuvien suotovesien sekä Punasuon ja Lahnaslammen louhosjärvien veden koostumusta kaivoksen sulkemisen jälkeen.

Vedenlaadun arvioinnissa läjitysalueita ja louhosta on tarkasteltu niiden täydessä mittakaavassa (kuva 1-1). Sivukiven läjitysalueen pinta-ala on nykyisellään noin 60 hehtaaria eikä se tule enää laajenemaan nykyisen ympäristöluvan puitteissa. Papinlammen rikastushiekka-altaan pinta-ala täydessä mittakaavassa on noin 40 hehtaaria. Punasuon avolouhokseen muodostuvan louhosjärven lopullinen pinta-ala on noin 26 hehtaaria. Lahnaslammen louhosjärvi säilyy nykyisellään.



Kuva 1-1. Elementisin Sotkamon kaivosalueelle sulkemisen jälkeen jäävät toiminnot sekä ainakin osittain purettavat ja muotoiltavat alueet.

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 pitkäaikaikäyttyymistä läjitysalueella. Jotta laboratorio-olosuhteissa tehtyjen kokeiden tuloksia voitaisiin soveltaa kenttäolosuhteisiin, on laboratoriotulokset muunnettava kenttäolosuhteita vastaaviksi. Tärkeimpiä huomioonotettavia tekijöitä ovat mm. lämpötilan vaikutus reaktionopeuteen, raekoko (Sanchidrian ja Singh 2012) sekä veden kanavoituminen (MEND 1997).

Louhinnassa käytetyistä räjähteistä kulkeutuu myös tyyppijäänteitä kaivannaisjätteisiin, jotka on otettu huomioon tyyppisänä (Sjölund 1997), koska kosteuskammiokokeissa tutkittavat sivukivinäytteet ovat kairasydännäytteitä.

1.2.1 Kosteuskammiokokeet

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

Kosteuskammiokoe (ASTM D5744) on pitkäaikainen kineettinen koe, jonka kesto vaihtelee tarpeen mukaan muutamasta kuukaudesta useisiin vuosiin. Kosteuskammiokokeessa näytettä altistetaan viikoittain sekä hapettumiselle että vesihuuhtelulle. Ensimmäinen huuhtelu tehdään kokeen alkaessa. Läpivirrannut huuhteluvesi tutkitaan ja tuloksia tarkastellaan aikasarjana.

Viikkoliuosten pitoisuuksia voidaan käyttää syötetietona suotoveden laadun arvioinnissa, kuten tässä työssä on tehty. Koko testin aikasarjasta valitaan tiedon käyttökohteen kannalta olennainen jakso. Esimerkiksi tuotannon ajalle lasketaan alkupäästä joidenkin kymmenien viikkojen keskiarvo, kun taas sulkemiselle myöhemmästä vaiheesta useiden kymmenien viikkojen keskiarvo. Myös näytteen reagointinopeus vaikuttaa aikasarjan valintaan. Näytteissä havaitaan usein samoja prosesseja samassa järjestyksessä, mutta nopeasti reagoivissa materiaaleissa prosessit tapahtuvat nopeutetusti.

On muistettava, että kosteuskammiokokeen tulos on suotoveden laadunarvioinnin syötetieto, mutta ei koskaan suoraan suotoveden laatu. Todellisella kaivannaisjätealueella vesi ja kiintoaine kohtaavat eri määrasuhteissa ja eri lämpötilassa kuin laboratoriossa. Sivukivellä myös raekoko poikkeaa kosteuskammiokokeen raekoosta. Kaivannaisjätealueen ja laboratoriokokeen välillä voi olla myös muita olosuhde-eroja.

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

Näytteet kosteuskammiokokeissa

Kosteuskammiokokeisiin on valittu näytteet jokaisesta muodostuvasta pääkivilajiryhmästä sekä yksi näyte rikastushiekasta. Näytevalinnassa hyödynnettiin kaivoksen kairasydäntietokannan analyysitulosaainestoa, jonka perusteella tehtiin kivilajikohtainen tilastollinen analyysi eri

alkuaineiden pitoisuuksista. Punasuon ja Lahnaslammen louhosten seinämien kivilajijakauman sekä Punasuolta louhittavan sivukiven kivilajijakauman perusteella valittiin staattisiin testeihin näytteistettävät kivilajit sekä näytteiden lukumäärä per kivilaji siten, että seuraavan vaiheen analyysituloksia voidaan luotettavasti käyttää edustamaan kutakin kivilajia. Staattisten testien tulosten perusteella valittiin edelleen näytteet kosteuskammiokokeisiin.

Sotkamon kaivosalueella muodostuvat sivukivilajit ovat kiilleliuske (MS), mustaliuske (BS), talkkimagnesiitti (TM), epäpuhdas talkkimagnesiitti (ITM) ja serpentiniittibreksia (SpB). Kosteuskammiokokeisiin valittiin kiilleliuskeesta ja talkkimagnesiitista kummastakin kaksi näytettä niin, että toinen edusti korkearikkisempää kiveä ja toinen matalarikkisempää kiveä. Mustaliuskeesta valittiin yksi näyte. Epäpuhtaasta talkkimagnesiitista ja serpentiniittibreksiasta ei valittu erillisiä näytteitä kosteuskammiokokeisiin niiden pienen määrän takia. Vedenlaatumallinnuksessa talkkimagnesiitin matalarikkisemmän näytteen katsottiin edustavan näitä kivilajeja. Näytevalinnan ja mallinnustulosten välisiä epävarmuuksia on kuvattu kappaleessa 7.2.

1.2.2 Peittorakenteen happivuo

Sulkemisen jälkeisenä aikana sivukivialueen ja rikastushiekka-altaan päälle asennettava peittorakenne rajoittaa happivuota läjitykseen ja siten rajoittaa hapettumisreaktioita. Sivukivialue on tällä hetkellä peitetty n. metrin paksuisella kerroksella tasalaatuista moreenia, jonka vedenjohtavuus vaihteli mittauksissa välillä $7,6 \times 10^{-8} \dots 1,1 \times 10^{-6}$. Peittorakennetta tullaan parantamaan ja tämä on huomioitu sulkemisen aikaisia vaikutuksia arvioitaessa.

Sivukivialueen peittorakenteeksi oletettiin nykyisen peiton päälle asennettu bentoniittimatto, jonka päällä on 1,0 m paksu suojamoreenikerros, joka ylläpitää bentoniittimaton kosteutta ja estää routimista. Vedenjohtavuutena käytettiin bentoniitin laskennallista vedenjohtavuutta 1×10^{-9} m/s sekä tavoitteellista happivuota $3 \text{ mol/m}^2/\text{a}$, jota voidaan kokemuseräisesti pitää varovaisena minimisuorituskykyyn perustuvana arviona tämäntyypiselle rakenteelle.

Papinlammen rikastushiekka-altaan peittomoreenin paksuus on 0,7 m ja alapuolisen tiivismoreenin paksuus on 0,3 m. Vedenjohtavuudeksi peittomoreenille arvioitiin $1,0 \times 10^{-6} \text{ m}^*/\text{s}$ ja tiivismoreenille $1,9 \times 10^{-7} \text{ m/s}$. Luvut on määritetty konservatiivisen realistisiksi alueen moreenitutkimuksiin perustuen. Peittorakenteen maaperä-ilmasto-kasvillisuus mallinnuksen (AFRY Finland Oy 2024a) perusteella rikastushiekka-altaan peittorakenteen tiiviskerroksen keskimääräinen kosteus on 91 %. Happivuo laskettiin olettaen peittorakenteen kosteuden olevan mallinnustulosten 10 persentiili eli 85 % ja tästä laskettiin happivuoksi $3 \text{ mol/m}^2/\text{vuosi}$ alla olevan kaavan avulla.

Happivuo laskettiin kummallekin peittorakenteelle 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 ($1.78 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$)
S_w	=	vesipitoisuus
α	=	kokeellinen kerroin (3.26 ± 0.4)
D_w	=	veden diffuusiokerroin ($2.1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$)
K_h	=	Henryn vakio hapelle (25 kun $t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$)

(vakiot α ja τ lähteestä Reardon ja Moddle 1985)

2 Rikastushiekka-allas

2.1 Rikastushiekan karakterisointi

Rikastushiekanäytteet kerättiin suoraan rikastushiekka-altaalle johdettavista kahdesta lietevirrasta syksyllä 2023. Tutkittava kokoomanäyte yhdistettiin siten, että se vastaa rikastushiekka-altaan kokonaiskoostumusta, 20 % virrasta A ja 80 % virrasta B.

2.1.1 Rikastushiekan mineralogia

Rikastushiekan mineralogialla on tutkittu vuonna 2023 otetusta rikastushiekan kokoomanäytteestä (Geochemic Ltd 2024a, Petrolab 2024). Rikastushiekka koostuu pääosin magnesiittikarbonaatista, minkä takia sitä kutsutaankin magnesiittihiekaksi. Muita merkittävässä määrin esiintyviä mineraaleja on talkki, kloriitti, dolomiitti ja sulfidimineraalit.

Taulukossa 2-1 on esitetty rikastushiekan kokoomanäytteen mineralogia perustuen XRD-menetelmään (Geochemic Ltd 2024a), sekä SEM-EDX -menetelmään (Petrolab 2024). SEM-EDX-menetelmä perustuu pieneen määrään näytettä ja siksi on edustavuudeltaan heikohko, vaikka menetelmän herkkyys (havaitsemisraja) on yleisesti XRD-menetelmää parempi. SEM-EDX-analyysilla saatu korkea pentlandiittipitoisuus on peräisin yhdestä suuresta pentlandiittirakeesta eikä edusta koko näytettä. Kokoomanäytteen matalan nikkelpitoisuuden (0,1 %) perusteella voidaan todeta, että pentlandiitin ((Fe,Ni)₉S₈) määrä voi olla korkeintaan 0,2 % luokkaa.

Taulukko 2-1. Rikastushiekan v. 2023 kokoomanäytteen mineralogia SEM-EDX-menetelmällä (Petrolab 2024) ja XRD-menetelmällä (Geochemic Ltd 2024a) analysoituna. Rh = rikastushiekka.

Kivilaji	Rh kokooma (SEM-EDX)	Rh kokooma (XRD)
Mineraali	m - %	m - %
Magnesiitti	54	55
Talkkiryhmä	23	34
Kloriitti	13	10
Pyrroitiitti	2,6	
Pentlandiitti	5,1	
Dolomiitti	0,6	0,7
Aksessoriset	0,4	
Pyriitti	0,3	
Kromi-magnetiitti	0,1	
Sideriitti	0,2	
Kvartsi	0,1	0,2
Maasälvät	0,002	
Kalsiitti	0,004	

2.1.2 Rikastushiekan geokemialliset ominaisuudet

Taulukossa 2-2 näytetään rikastushiekan kuningasvesiliukoiset metalli- ja metalloidipitoisuudet (kuiva-aineessa) vuosina 2021–2023, sekä vertailu PIMA-asetuksen mukaisiin kynnysarvoihin. Arseenin, kromin ja nikkelin pitoisuudet ovat säännöllisesti yli kynnysarvon. Kromin ja nikkelin pitoisuudet ovat selkeästi yli myös ylemmän ohjearvon. Rikastushiekan kuningasvesiliukoiset pitoisuudet eivät kuitenkaan anna selkeää käsitystä metallien sitoutumisesta eri mineraalien välillä tai vapautumisesta hapettumisen edetessä, siksi kosteuskammiokokeita käytetään mallinnuksen pääsääntöisenä lähtötietona. Kosteuskammiokokeessa olleen rikastushiekan kokoomanäytteen koostumus edustaa taulukon 2-2 arvoja hyvin (esim. As 130 mg/kg ja Ni 1050 mg/kg).

Taulukko 2-2. Vuosien 2021–2023 rikastushiekanäytteiden kuningasvesiliukoiset metalli- ja metalloidipitoisuudet ja vertailu VNA 214/2007 mukaisiin kynnys- ja ohjearvoihin. Näytteet on otettu kaksi kertaa vuodessa. Taulukossa on lisäksi esitetty vuoden 2023 kokoomanäytteen nelihappouuton tulokset. Huom. nelihappouuton tulosten vertailu PIMA-asetuksen mukaisiin kynnys- ja ohjearvoihin ei ole kaivannaisjäteasetuksen 190/2013 liitteen 1 mukainen menettely.

Tunnus	Metallit										
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Taustapitoisuus	-	-	7	27	22	-	18	-	-	29	28
Kynnysarvo	5	1	20	100	100	0,5	50	60	2	100	200
Alempi ohjearvo	50	10	100	200	150	2	100	200	10	150	250
Ylempi ohjearvo	100	20	250	300	200	5	150	750	50	250	400
Rh 2021 alkuvuosi	73	1,7	31	990	<10	<0,2	550	<5	13	12	11
Rh 2021 loppuvuosi	140	3,2	39	780	<10	<0,2	790	<5	<10	13	<10
Rh 2022 alkuvuosi	120	2,5	32	870	<10	<0,2	530	<5	<10	12	15
Rh 2022 loppuvuosi	91	1,3	31	830	<10	<0,2	590	<5	<10	16	15
Rh 2023 alkuvuosi	83	0,6	35	860	<10	<0,2	640	<5	12	14	17
Rh 2023 loppuvuosi	110	0,7	36	850	<10	<0,2	710	<5	15	15	18

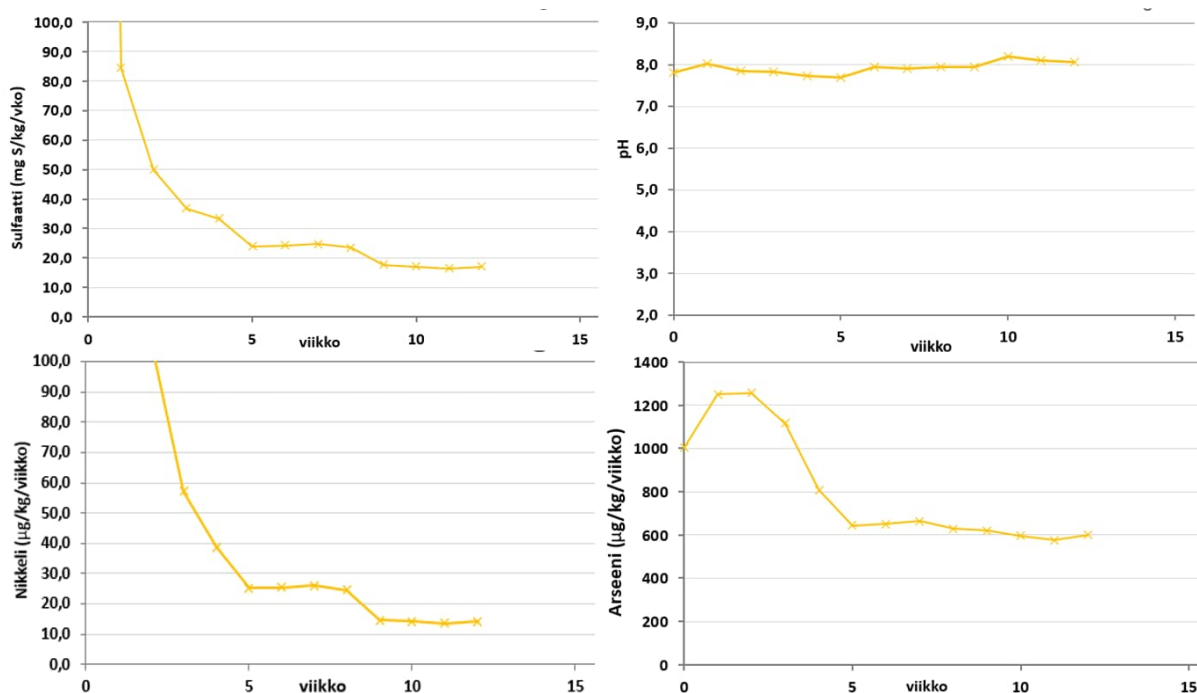
Taulukossa 2-3 annetaan rikastushiekan tarkkailun ABA-testin tulokset vuosina 2021-2023. Rikastushiekassa on matala rikkipitoisuus (0,45 % S_{tot} , keskiarvo taulukossa 2-3), josta noin 74 % on sulfidisessa muodossa ja korkea hiilen pitoisuus (8,0 % C_{tot}), josta >90 % on epäorgaanista hiiltä. Siten rikastushiekalla on hyvä puskurointikyky happamuutta vastaan. Tätä mittaava parametri on neutralointipotentiaalin (NP) ja hapontuottopotentialin (AP) suhde eli neutralointipotentiaalisuhde (NPR luku). Kosteuskammiokoeksessa olleen näytteen rikkipitoisuus oli 0,58 % S_{tot} ja hiilen kokonaismäärä 7,5 %.

Taulukko 2-3. Rikastushiekanäytteiden ABA-testin tulokset v. 2021–2023.

	S kok.	S sulf.	S_{sulf}/S_{kok}	C kok.	C epäorg.	AP	NP	NPR
	%	%		%	%	kg $CaCO_3/t$	kg $CaCO_3/t$	
Rh 2021 alkuvuosi	0,29	0,24	0,83	7,9	7,7	7,5	35	4,7
Rh 2021 loppuvuosi	0,74	0,50	0,68	7,7	7,7	16	34	2,2
Rh 2022 alkuvuosi	0,46	0,39	0,86	8,0	2,6	12	82	6,7
Rh 2022 loppuvuosi	0,37	0,33	0,89	7,8	5,2	10	62	6,0
Rh 2023 alkuvuosi	0,42	0,32	0,77	8,4	2,6	10	16	1,6
Rh 2023 loppuvuosi	0,44	0,30	0,68	8,4	3,9	9,4	14	1,5

2.1.3 Rikastushiekan kosteuskammiokokeen tulokset

Kosteuskammiokokeen tuloksia oli saatavilla vain kokeen alkupäästä viikolle 12 asti. Kuvassa 2-1 näytetään tulokset pH:n, sekä sulfaatin, nikkelin ja arseenin pitoisuuksien osalta. Tulosten perusteella kontaktiveden pH pysyy lähellä kahdeksaa. Rikastushiekka-allas on ollut toiminnassa jo kauan (rakentaminen vuonna 1991) ja suotovesien pH on ollut kautta historian ja on edelleen neutraali. Sulfaatin vapautuminen seuraa samanlaista kehitystä nikkelin kanssa. Alkuhuuhtoutumisen (viikot 0-5) jälkeen vapautuminen tasoittuu, ja käyttäytymistä alkaa dominoida sulfidimineraalien hapettuminen. Tämä näkyy kosteuskammiokokeissa siten, että sulfideihin sitoutuneiden aineiden vapautuminen korreloi sulfaatin kanssa niiden aineiden osalta, jotka eivät pidäyt testinäytteeseen (kuten esimerkiksi rauta tyypillisesti). Arseeni käyttäytyy poikkeavasti. Sen pitoisuus on viikolla 10 noin 40 kertainen verrattuna esimerkiksi nikkelin pitoisuuteen. On tärkeä huomioida, että kosteuskammiokokeen tulosta ei voida tulkita suotovesilaatuna ilman mallinnusta.



Kuva 2-1. Kosteuskammiokokeen tulokset viikoilta 0-12 rikastushiekalle.

Kosteuskammiotuloksiin perustuen laadittiin syöte rikastushiekan hapettuvalla osalle viikkojen 9-12 tulosten keskiarvona. Kosteuskammiotuloksissa on selkeästi havaittavissa laskeva trendi eli on todennäköistä, että haitta-aineiden vapautuminen tulee hidastumaan myöhemmillä testiviikoilla. Tämän johdosta mallinnuksen tuloksiin tulee kosteuskammiotestistä saatavasta lähtötiedosta konservatiivisuutta. Suuruusluokan arvioimiseksi laskettiin hapettumisen seurauksena vapautuvan osan määrä myös NAG-testin loppuliuksen perusteella käyttäen hapettuvan aineen kerrointa (0,0025; Barnes et al., 2015). Taulukossa 2-4 näytetään kosteuskammiotulosten perusteella laskettu viikkoliuos ja NAG-testin loppuliuksen koostumuksesta määritetty viikkoliuos. NAG-tulos on oletusarvoisesti konservatiivinen (eli aineiden vapautuminen suurempaa) verrattuna oikein valittuun kosteuskammiotestistä tuloksesta valittuun lähtötietosyötteeseen. Tässä oikein valitulla tarkoitetaan, että sopivin mahdollinen viikkojakso testistä olisi käytettävissä.

Monien aineiden osalta arviot ovat hyvinkin yhteensopivia (taulukon 2-4 mukaan), esimerkiksi kalsiumin, magnesiumin ja sulfaatin osalta syöte olisi epävarmuudet huomioiden hyvinkin sama. Metalleista mm. kromia, kuparia, lyijyä ja sinkkiä vapautuu NAG-testissä selkeästi kosteuskammiokoetta enemmän. Tämä voi johtua siitä, että metallit sijaitsevat sulfidimineraaleissa, joiden hapettumisen käynnistyminen kestää hieman pidempään eli hapettuminen ei ole vielä ehtinyt

alkaa kosteuskammiokeissa. Hopean, kadmiumin ja tinan pitoisuudet ovat samanlaisia kummankin arviointimenetelmän perusteella. Arseenin, koboltin, nikkelin ja antimonin pitoisuudet ovat selkeästi suurempia käyttäen kosteuskammiokeksen tuloksesta rakennettua syötettä. On siis oletettavaa, että näiden aineiden pitoisuudet todennäköisesti tulevat olemaan todellisuudessa mallinnuksella saatua arviota pienemmät. Kosteuskammiokeksessa pienempinä pitoisuuksina oleville metalleille (mm. Cu, Cr, Cu, Pb ja Zn) mallinnuksella saatu arvio voi vastaavasti olla todellista pienempi. Näiden metallien käyttäytymiselle neutraalilla pH alueella (tässä relevantti), sorptiolla on merkittävä vaikutus, jonka vaikutusta kosteuskammioke mallintaa NAG-testiä totuudenmukaisemmin.

Taulukko 2-4. Mallinnuksessa lähtötietona käytettävän kosteuskammiokeksen viikkojen 9-12 tuloksiin perustuvan syötteen vertailu NAG-uutteen loppulioksen koostumukseen perustuvaan arvioon. Alkuaineet, jotka saavat suuremman viikkolioksen pitoisuuden kosteuskammiokeksessa kuin NAG-testissä, luultavasti saavat mallinnustulosten perusteella todellisuutta suuremman pitoisuuden. Arseenille käytettiin NAG-uutteesen perustuvaa arviota lähtötietona.

para- metri	yksikkö	Kosteus- kammioke	NAG	para- metri	yksikkö	Kosteus- kammioke	NAG
Ag	mg/kg/vko	0,0000038	0,0000025	Mg	mg/kg/vko	7,7	6,7
Al	mg/kg/vko	0,00019	0,00043	Mn	mg/kg/vko	0,0016	0,00032
As	mg/kg/vko	0,60	0,021	Mo	mg/kg/vko	0,00000096	-
B	mg/kg/vko	0,0019	0,051	Na	mg/kg/vko	0,00047	0,00026
Ba	mg/kg/vko	0,00041	0,00035	Ni	mg/kg/vko	0,014	0,00025
Be	mg/kg/vko	0,000019	0,000005	P	mg/kg/vko	0,0096	0,013
Ca	mg/kg/vko	1,2	1,1	Pb	mg/kg/vko	0,000019	0,00020
Cd	mg/kg/vko	0,0000019	0,0000013	Sb	mg/kg/vko	0,023	0,0023
Cl	mg/kg/vko	0,096	-	Se	mg/kg/vko	0,000096	0,00053
Co	mg/kg/vko	0,00086	0,000025	Si	mg/kg/vko	0,25	2,4
Cr	mg/kg/vko	0,000096	0,042	Sn	mg/kg/vko	0,000038	0,000028
Cu	mg/kg/vko	0,000077	0,00042	Sr	mg/kg/vko	0,0018	0,0013
F	mg/kg/vko	0,012	-	Th	mg/kg/vko	0,000038	0,000025
Fe	mg/kg/vko	5,0	7,3	Ti	mg/kg/vko	0,000058	0,000075
HCO ₃	mg/kg/vko	17	-	U	mg/kg/vko	0,0000038	0,0000025
Hg	mg/kg/vko	0,00000096	-	V	mg/kg/vko	0,00019	0,0011
K	mg/kg/vko	0,50	0,06	W	mg/kg/vko	0,000038	0,00012
Li	mg/kg/vko	0,00038	0,00025	Zn	mg/kg/vko	0,00038	0,0022
				SO ₄	mg/kg/vko	17	25

Kosteuskammiokeksessa vapautuvan arseenin pitoisuus oli huomattavan suuri (0,60 mg/kg/vko). Prosessiveteen ja alkuhuuhteluun tyypillisesti liittyvän vaikutuksen oletetaan pääsääntöisesti poistuneen viikkoon 9 mennessä eli korkea arseenipitoisuus johtunee jostain muusta syystä. Laboratorion analyysituloksista ei löydetty poikkeamaa, mutta rikastushiekka näytteen matalan kokonaisarseenipitoisuuden (130 mg/kg) perusteella on todennäköistä, että vapautuminen on taulukossa 2-5 osoitettua pienempää. Vertailuksi tarkastellaan nikkeliä. Nikkelin kokonaispitoisuus on selkeästi suurempi (1050 mg/kg), mutta nikkeliä vapautuu vain 0,014 mg/kg/vko eli arseenia vapautuu noin 40 kertaa enemmän kuin nikkeliä. Rikastushiekka-altaan suotovedessä (B- ja C-padot) nikkelin pitoisuus on noin 0,15-1,2 mg/l, kun taas arseenin pitoisuus on noin 10-100 kertaa pienempi (0,004-0,023 mg/l). Suotovesien pitoisuuksien tarkastelussa on huomioitava myös nikkelin ja arseenin erilainen pidättyminen sorption kautta rikastushiekka-altaalla.

Arseenin kumulatiivinen poistuma kosteuskammiokeksen viikkojen 0-12 aikana 10,4 mg/kg eli tämän mukaan noin 8 % kaikesta arseenista on jo poistunut näytteestä. Nikkelille vastaava luku on 0,3 %. On mahdollista, että arseeni ja nikkeli ovat eri lailla rikastushiekassa sitoutuneina ja siksi käyttäytyvät hyvin eri lailla. Tyypillisesti metallien vapautuminen kuitenkin korreloi kohtuudella sulfaatin vapautumisen kanssa (oli syynä sitten sekundääriset sulfaattiyhdisteet tai sulfidien hapettuminen). Tuloksista voidaan käänteisesti päätellä, että arseenista poistuu huomattava osa jo

pian läjityksen jälkeen toiminnan aikana eli sulkemisen jälkeen arseenia olisi enää vähäisiä määriä vapautumatta. Näihin havaintoihin perustuen arseenin vapautumisen realistiseen (mutta konservatiiviseen) arviointiin käytettiin NAG-uutteeseen perustuvaa arviota (0,021 mg/kg/vko). Muiden alkuaineiden vapautumisen arvio perustuu kosteuskammiosyötteeseen.

Vapautuvan raudan määrä on arvioitu sulfaatin määrästä kosteuskammiotuloksesta olettaen kaiken sulfaatin olevan peräisin pyriitin hapettumisesta (konservatiivinen oletus, koska pyriitissä on vähemmän rautaa kuin pyrroitiitissa ja rauta edesauttaa metallien pidättymistä rikastushiekka-altaalla). Kaikesta vapautuvasta raudasta oletetaan toiminnan aikana 10 % olevan "vapaata rautaa" eli sellaista rautaa, josta muodostuu sorptiokykyisiä oksihydroksideja, jotka ovat kontaktissa haitta-ainekatioineihin. Sulkemisen aikana kiintoaineessa olevaa rautaa poistuu vähemmän veden mukana eli suurempi osuus on kontaktissa vapautuvien haitta-aineiden kanssa. Vapaan raudan osuudeksi arvioitiin sulkemisen aikana 33 %. Sulfideista suurin osa on rautasulfideja sekä mineralogian että kokonaispitoisuuksien perusteella.

2.2 Huokosveden koostumus

Taulukossa 2-5 esitetään rikastushiekkaan liittyvien vesien koostumuksia. "Prosessivesi" on 19.5.2023 tehdyn prosessivesianalyysin mukainen tulos, jossa määritettiin aineiden liukoiset pitoisuudet. Tuloksen oikeellisuus varmistettiin kaivoksen prosessiveden tarkkailutuloksiin (2023–2024) vertaamalla. Kaivoksen viikoittaisten mittausten keskiarvot olivat: pH 8,16, arseenipitoisuus 0,53 mg/l, nikkelpitoisuus 0,57 mg/l ja rautapitoisuus 0,33 mg/l. Kuukausittain mitattavan sulfaatin keskiarvopitoisuus oli 1640 mg/l. Kaivoksen viikkoanalyysissä määritetään kokonaispitoisuus, joka selittää korkeamman rautapitoisuuden, liukoinen pitoisuus kuvastaa prosessiveden todellista rautapitoisuutta paremmin.

Taulukossa 2-5 esitetään myös rikastushiekka-altaan purkuvedestä 27.8.2024 tehdyn analyysin tulokset. Kummastakin vedestä mitattujen parametrien osalta koostumukset ovat samankaltaisia, poikkeuksena sulfaatin pitoisuus, joka on purkuvedessä prosessivettä matalampi. Mallinnuksessa käytettävä huokosveteen jäävä prosessiveden koostumus määritettiin siten, että prosessiveden koostumus täydennettiin puuttuvien parametrien osalta purkuveden tuloksien avulla. Taulukossa 2-5 punaisella merkityt lukuarvot osoittavat pitoisuuksia, jotka olivat alle määrittäysrajan ja niille on määritetty pitoisuudeksi määrittäysrajan puolikas.

Huokosveden koostumus määritettiin seuraavan periaatteen mukaan: toiminnan aikana muodostuu huokosvettä, jossa sadeveden ja prosessiveden suhde määräytyy alueelle satavan veden ja läjitettävän rikastushiekka-lietteen määrän (noin 0,31 Mm³/vuosi, josta vettä noin 80 %) mukaan. Sulkemisen alussa prosessivettä on suotovedessä mukana. Tämän jälkeen prosessivesi korvautuu rikastushiekan kanssa reagoineella sadevedellä sulkemista seuraavien joidenkin kymmenien vuosien aikana. Huokosveden täydellinen vaihtuminen altaalla kestää suoran sadevedellä korvautumisen periaatteen mukaan noin 30 vuotta eli huokosveden pinta "laskee" noin 1 m/vuosi.

Arseenin pitoisuus prosessivedessä on korkea (0,60 mg/l), mutta se on vielä korkeampi rikastushiekka-altaan purkuvedessä (0,85 mg/l). Vesitaseen mukaan altaalle tuleva prosessivesi laimenee alueelle satavan veden vaikutuksesta. Toisaalta huuhtoutuva ja/tai hapettuva rikastushiekka lisää pitoisuuksia. Onkin mahdollista, että rikastushiekasta vapautuu läjityksen alkuaikoina hapettumisen seurauksena huomattava määrä arseenia altaan veteen, joka poistuu purkuveden mukana. Tämä havainto tukee kosteuskammiokoosteessa ilmenneen anomaalisen korkean arseenipitoisuuden totuudenmukaisuutta. Sulkemisen jälkeisessä suotovedessä taas arseenia ei pitäisi olla merkittäviä määriä, mikäli se poistuu jo läjityksen alkuaikoina. Suotoveden nykyinen koostumus tukee tätä havaintoa.

Taulukko 2-5. Mallinnuksessa käytettävän huokosveden koostumuksen lähtötietoina toimineet analyysit. Punaisella olevat tulokset ovat määritysrajan puolikkaita, koska pitoisuus oli alle määritysrajan.

para- metri	yksikkö	Prosessi- vesi	RH-altaan purkuvesi	Para- metri	yksikkö	Prosessi- vesi	RH-altaan purkuvesi
pH	mg/l	8,1	8,3				
Ag	mg/l		0,025	Mo	mg/l		0,0096
Al	mg/l	0*	0,025	Na	mg/l		16
As	mg/l	0,60	0,85	Ni	mg/l	0,488	0,46
B	mg/l		0,1	P	mg/l		0,0085
Ba	mg/l		0,013	Pb	mg/l		0,00005
Be	mg/l		0,00025	Sb	mg/l		0,24
Ca	mg/l	136	130	Se	mg/l		0,0005
Cd	mg/l		0,00005	Si	mg/l		
Cl	mg/l		8,8	Sn	mg/l		0,01
Co	mg/l	0,013	0,0034	Sr	mg/l		0,24
Cr	mg/l	0,0020	0,0005	Th	mg/l		0,0005
Cu	mg/l		0,0005	Ti	mg/l		0,005
F	mg/l		0,0005	U	mg/l		0,0007
Fe	mg/l	0,0020	0,069	V	mg/l		0,00025
HCO ₃	mg/l		3,538	W	mg/l		
Hg	mg/l		0,000065	Zn	mg/l		0,011
K	mg/l		8,3	SO ₄	mg/l	1400	680
Li	mg/l		0,02	NO ₃ -N	mg/l		1,5
Mg	mg/l	335	350	NH ₄ -N	mg/l		0,22
Mn	mg/l	0,088	0,067				

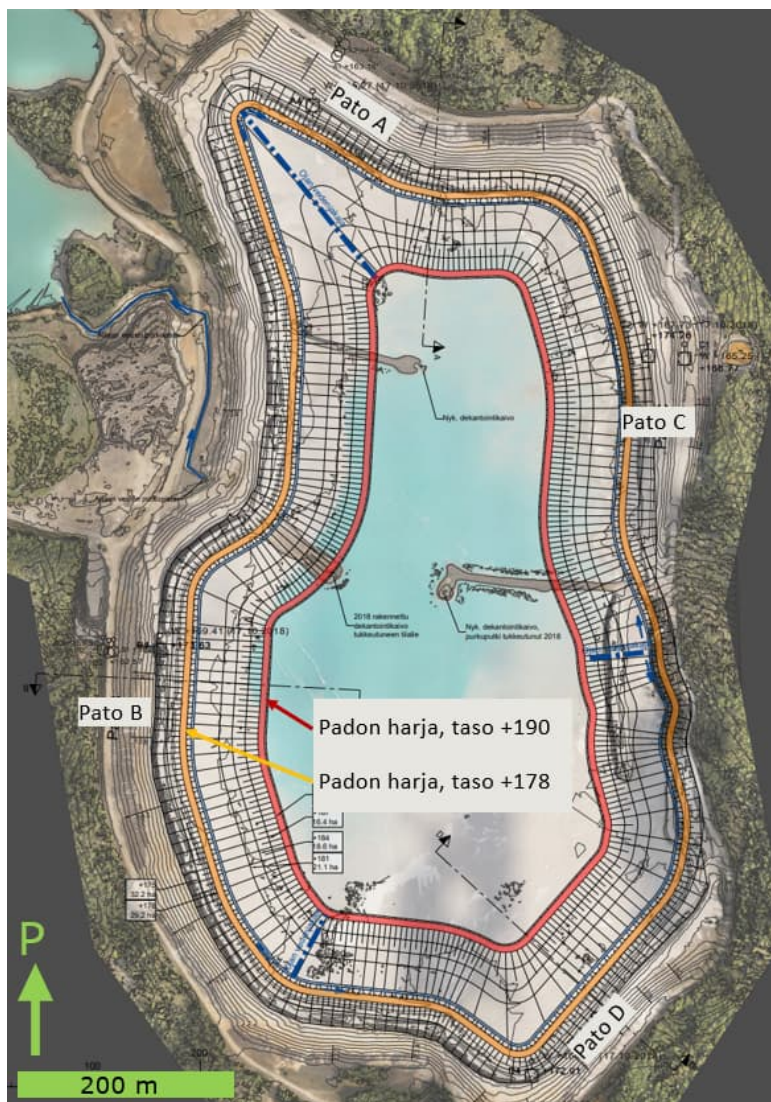
* Alumiinin pitoisuus oli prosessiveden mittauksen perusteella nolla, määritysrajaa ei ilmoitettu.

2.3 Alueen tekniset tiedot, lämpötila ja sadanta

Kuvassa 2-2 näytetään Papinlammen rikastushiekka-alueen sulkemisen aikainen rakenne nykyisen ilmakuvaan päälle piirrettynä. Sisempi punainen viiva rajaa harjan tason sulkemisen aikana. Rikastushiekka-allas on ollut käytössä vuodesta 1991 ja sen kokonaispinta-ala kartalla on noin 40 ha. Alun perin allas on rajautunut luontaisiin mäkiin sekä näiden väliin rakennettuihin moreenipatoihin. Alkujaan moreenipatojen harjan taso oli +162,5 ja HW-taso +160,5. Padon harjan taso on ollut vuoden 2017 ja 2019 korotusten jälkeen +174 m. Sulkemisen aikaisessa vesilaatutallassa oletetaan harjan tasoksi +190 m. Tällöin laen pinta-ala on 11,8 ha. Luiskien pinta-ala kartalla on 28,2 ha ja ottaen huomioon rinteiden kaltevuus, kokonaispinta-ala on 32,7 ha. Rikastushiekka-altaan kokonaistilavuus täyttötasolla +190 m on noin 9,9 Mm³.

Rikastushiekkan korkean neutralointikapasiteetin ja maltillisten metallien vapautumiseen liittyvien ominaisuuksien takia rikastushiekka-alue peitetään kaksikerrosmoreenipeitolla. Suojamoreenikerros (0,7 m) pitää tiivismoreenikerroksen (0,3 m) kosteana ja suojelee jäätymiseltä, täten saavutetaan riittävän alhainen happivuoto. Happivuodon väheneminen on riittävä sulkemistoimi, eikä läpisyotauman merkittävä rajoittaminen (esim. bentoniittimatolla) ole tarkoituksenmukaista tavoitteenasettelun näkökulmasta. Peittorakenteen fyysisiin ominaisuuksiin ja rikastushiekkan ominaisuuksiin perustuen peiton vaikutus rikastushiekkan hapelle altistumiseen ja vuotaiseen veden vaihtumisen määrään mallinnettiin maaperä-ilmasto-kasvillisuus (Hydrus) mallinnuksella (AFRY Finland Oy 2024a). Malli on 1D-mallinnus eikä siten huomioi rinteiden kaltevuuden vaikutusta pintavaluntaan. Peittorakenteen mallinnuksesta saatiin päivittäinen kosteus peiton alimmassa kerroksessa eli tiivismoreenissa kymmenen vuoden aikana käyttäen todellista ilmastotietoa. Tulosaistien 10 persentiili on 85 % ja tämä kosteus oletetaan peiton keskimääräiseksi kosteudeksi. Tämän perusteella laskettiin peiton keskimääräiseksi vuotaiseksi hapenläpäisevyydeksi 3 mol/m²/vuosi. Hapenläpäisyn kokonaismäärää

dominoivat kuivat jaksot (INAP, 2017), mutta toisaalta talvikuukausina peiton ollessa jäässä hapenläpäisy on olematonta. Kymmenen vuoden minimikosteuden hetkenä (kosteus 71 %) hapenläpäisy peitossa on noin 28 mol/m²/vuosi. Lakialueella pintavalunta on vähäisempää kuin luiskilla. Parempi veden pidättyvyys (lakialueet) pienentää kosteuden vaihtelua, joka puolestaan pienentää happivuota. Toisaalta vedenläpäisy peiton läpi on suurempi lakialueilla kuin luiskilla. Luiskien yläosissa hapenläpäisy on hieman suurempaa (tuulen vaikutus, moreenin kuivuminen), mutta vedenläpäisy on kaltevuuden takia pienempää. Patojen alaosissa kosteusvaihtelut ovat tyypillisesti pieniä, koska rikastushiekka-altaalta suotautuva vesi pitää yllä kosteutta kuivakin aikoina.



Kuva 2-2. Papinlammen rikastushiekka-altaan ilmakuva, suotovesien virtaussuunnat, sekä sulkemisen aikaisen lakialueen raja (sisin punainen viiva)

Säätiötojen perusteella keskimääräinen vuotuinen lämpötila on 4,6 °C. Laboratoriossa tehtyjen kosteuskammiokoekesien tulokset täytyy skaalata mallissa vastaamaan paikallisia olosuhteita (MEND 2006 ja 2009). Laboratoriokokeet tehdään paikallisia oloja korkeammassa lämpötilassa (25±2°C), jossa reaktiot ovat nopeampia. Nicholson et al. (1988) kokeet osoittivat, että rikkikiisun hapettuminen karbonaatin puskuroimisissa liuoksissa seuraa Arrheniuksen yhtälöä:

$$\ln(k_1/k_2) = E_a (T_1 - T_2) / (RT_1 T_2) \text{ jossa:}$$

k_1 ja k_2 ovat reaktionopeudet lämpötiloissa T_1 ja T_2 (Kelvin-asteina)

E_a on reaktion aktivoitumisenergia, ja

R on kaasuvakio

E_a riippuu sulfidimineralogiasta. Se on 50-60 KJ/mol magneettikiisulle (Nicholson ja Sacharer, 1998) ja 47-85 KJ/mol pyriitille (Kamei ja Ohmoto, 1999). Lämpötilan vaikutusta on tutkittu myös jättemateriaalikohtaisesti siirtämällä kosteuskammiokeeseen testilaite kylmään (esim. 4 °C) reaktionopeuksien tasaannuttua ja siten todennettu laskemalla saatuja arvioita.

Mallinnuksessa käytetään kerrointa 0,25, joka osuu tyypillisesti käytettyjen lämpötilakertoimien väliin kaivoksille, joiden keskilämpötila on noin 4°C (MEND 2009). Pienillä lämpötilan tai mineralogian muutoksilla ei ole vaikutusta tähän tekijään.

2.4 Rikastushiekka-altaan konseptualisointi

Rikastushiekka-altaan tekninen konseptualisointi näytetään kuvissa 2-3, 2-4 Huokosveden koostumuksen konseptualisointi peittorakenteen valmistumisen jälkeen

ja 2-5. Rinteille ja lakialueelle määritetään parametrit erikseen (määrät näytetään kuvassa 2-3). Lakialueella 10 % altaalle tulevasta nettosadannasta oletetaan poistuvan alueelta pintavaluntana eikä siten imeydy peiton läpi. Suurin osa pintavalunnasta muodostuu keväällä lumensulannan aikaan, jolloin maapeite on vielä jäässä. Pysyvän lumipeitteen jakso on keskimäärin 4,5 kk vuodessa (AFRY Finland Oy 2024a). Rinteillä pintavalunnan osuus nettosadannasta on mallissa 30 %. Rikastushiekan hapettumisen vaikutus suotoveden koostumukseen määritetään peittorakenteen ominaisuuksien perusteella olettaen, että kaikki peiton läpi pääsevä happi reagoi rikastushiekan kanssa. Tässä vapautuvan sulfaatin määrän perusteella arvioidaan muiden aineiden vapautuminen olettaen aineiden suhteiden olevan samat kuin kosteuskammiokeessa. Vedellä kyllästynyt rikastushiekka oletetaan reagoimattomaksi. Juuri läjitettävässä rikastushiekka-lietteessä kosteus on noin 80 % eli kuiva-ainepitoisuus on noin 20 %. Kosteuden oletettiin pienenevän sedimentoitumisen edetessä ja rikastushiekan tiivistyessä, ollen sulkemisen jälkeisessä tilanteessa noin 30 % eli kuiva-ainepitoisuus oli sulkemisen jälkeisessä mallissa 70 %. Rikastushiekan kuiva-aineen tiheydeksi oletettiin 2,8 t/m³.

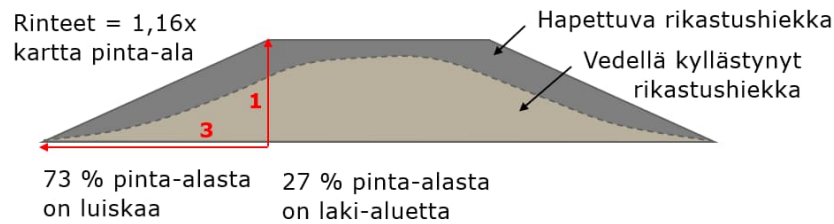
Vesipinta laskee nykyisestä kuivatuksen ja painumisen seurauksena, mutta peiton valmistumisen jälkeen tällä ei enää ole merkittävää vaikutusta rikastushiekan hapettumiseen, koska peittorakenne määrää hapen määrän ja siten hapettumisen määrän. Ennen peiton rakentamista rikastushiekka-altaan annetaan kuivua, jotta peiton tiivistäminen on mahdollista. Peiton rakentamisen jälkeen vesipinta asettuu luontaiselle tasolle vedenjohtavuuden, nettosadannan, hydraulisen gradientin ja muiden tekijöiden määrittämänä. Ylhäältä altaalle tulee lisää vettä sadannan mukana peiton vedenläpäisevyyden määrittämänä. Sadevesi huuhtoo sulkemisen jälkeisinä vuosikymmeninä huokosveden prosessiveden jäänteistä suotoveden poistuessa altaan pohjalta (

Kuva 2-4 Huokosveden koostumuksen konseptualisointi peittorakenteen valmistumisen jälkeen

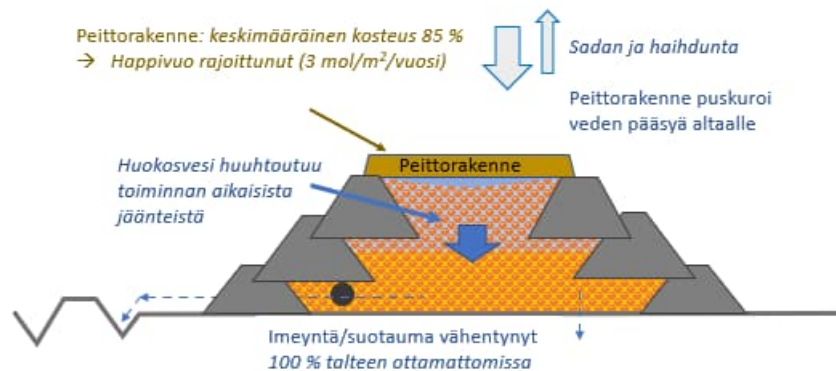
). Yksinkertaisen korvaantumislaskun perusteella ja olettaen huokosveden määräksi 30 tilavuus-%, prosessiveden poistuminen huokosvedestä kestää 32 vuotta (alenema noin 1 m/vuosi). Suotovedenlaatu ja kuormitus laskettiin heti sulkemisen jälkeisessä tilanteessa (lyhyt aika) ja prosessivesijäänteiden poistuttua huokosvedestä (pitkä aika).

Kuvassa 2-5 näytetään prosessit rikastushiekka-altaan padon poikkileikkauksessa. Papinlammen rikastushiekka-alueen suotovesi valuu sulkemisen jälkeen luontaisten mikrovaluma-alueiden mukaan kohti Jormasjokea. Arviolta noin 60 % kuormasta kerääntyy suotovesiojiin ja päättyy pintavaluntana Jormasjokeen. Loput (40 %) poistuu suotamana rikastushiekka-altaan pohjan kautta. Myös suotaman kuorma kulkeutuu pohjavesiteitse pääsääntöisesti kohti Jormasjokea, mutta kulkeutumisreitit varrella oletetaan tapahtuvan sekä laimentumista että pidättymistä maaperään. Suotoveden määrän oletetaan pienenevän sulkemisen jälkeisessä tilanteessa verrattuna nykyiseen tilanteeseen, koska hydraulinen paine pienenee vesipinnan laskiessa altaan asetuttua tasapainoon.

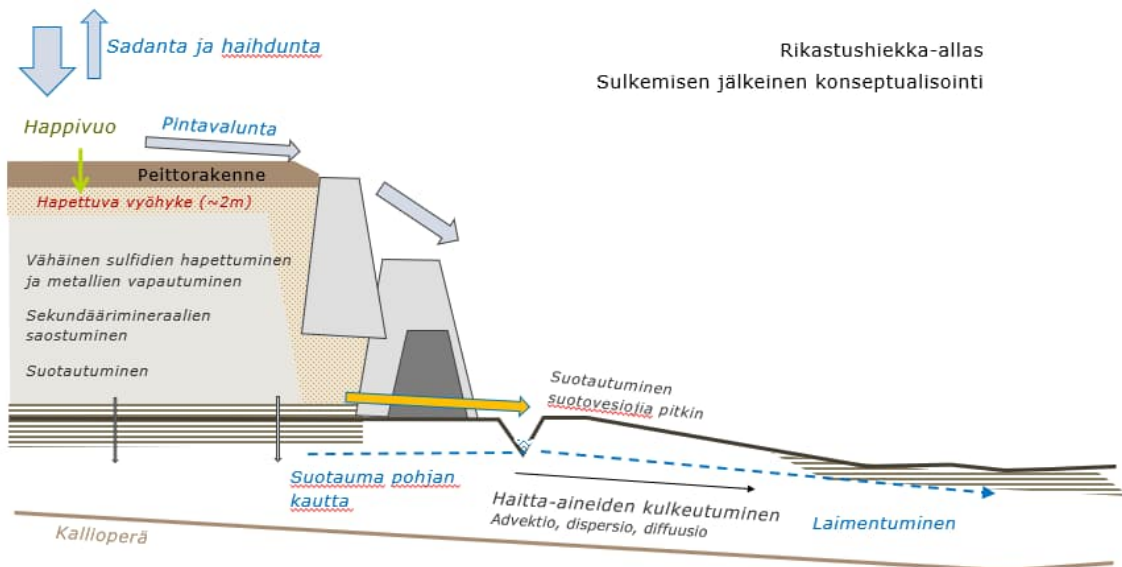
Tasapainossa vedenvaihdunnan oletetaan olevan vuotuinen altaalle peiton läpi pääsevä veden määrä eli altaalle tulee vuodessa sama määrä vettä sateen mukana kuin sieltä suotovedenä poistuu.



Kuva 2-3. Papinlammen rikastushiekka-alueen konseptualisointi reaktiivisen massan ja pinta-alojen suhteen.



Kuva 2-4 Huokosveden koostumuksen konseptualisointi peittorakenteen valmistumisen jälkeen



Kuva 2-5. Rikastushiekka-altaan konseptualisointi padonläpi olevassa poikkileikkauksessa. Geokemian malli antaa pitoisuudet ja kuormat oranssin nuolen päässä eli juuri altaalta poistuneessa suotovedessä.

2.5 Rikastushiekka-altaan suotoveden koostumus

Suotoveden koostumus Papinlammen rikastushiekka-altaassa mallinnettiin sulkemisvaiheen lisäksi toiminnan ajalle, jotta malli voitiin verifioida käyttäen toiminnan aikana mitattuja alkuaineiden pitoisuuksia patojen B ja C suotovesissä. Tulokset esitetään taulukossa 2-6. Kriittisten haitta-aineiden, kuten arseenin ja nikkelin, osalta mallin antama suotovesilaadun arvio on lähellä

analysoituja pitoisuuksia. Arseenin pitoisuus toiminnan aikaisessa mallissa on 0,021 mg/l ja suotovedessä keskiarvo on 0,013 mg/l. B-padolla matalampi pH voi olla syynä matalampaan arseenipitoisuuteen. Mallinnetun suotoveden pH on hieman korkeampi kuin on suotovedestä mitattu, joka voi johtua hiilidioksidin mallintamiseen liittyvistä tekijöistä tai latentista happamoitumisesta (suotovedessä oleva Fe^{3+} reagoi muodostaen oksihydroksideja). Kosteuskammiokeksessa pH pysyy noin kahdeksassa. Rikastushiekka-altaan purkuvedestä mitattu pH on 8,3. Rikastushiekan 2-vaiheisessa ravistelutestissä uutteen pH on 8,1 (L/S = 2) ja 8,8 (L/S = 8). On siis todennäköistä, että rikastushiekka-altaan huokosveden pH on >8 ja pH laskee altaalta poistumisen jälkeen asettuen lähelle seitsemää ja siitä laimenemisen seurauksena kohti ympäröivän pintaveden pH:ta. Mallissa toiminnan aikaisen suotoveden nikkelpitoisuudeksi muodostuu 0,55 mg/l, patojen suotovesien keskiarvo on 0,67 mg/l.

Sulkemisen aikaisessa suotovedessä on mallinnustuloksen mukaan hieman toiminnan aikaista korkeampi pH. Arseenipitoisuus suotovedessä on selkeästi pienempi sulkemisen jälkeen kuin toiminnan aikana, tämä johtuu arseenin tehokkaammasta sorboitumisesta sulkemisen jälkeen. Myös toiminnan aikana arseeni sorboittuu tehokkaasti (98 %). Arseenin sorption suhteen tehtiin herkkyystarkastelu vapaan raudan (sorboiva $\text{Fe}(\text{OH})_3$) määrän, pH:n ja Eh:n muutoksille. Vapaan (eli sorptio-aktiivisen) raudan määrä ja Eh vaikuttivat selkeästi arseenin sorptioon, pH:n muutoksella pH 7:ään asti ei ollut suurta vaikutusta sorptioon. Vapaan raudan määrän puoliintumisella perusskenaariosta (jossa oletettiin 33 % vapaata rautaa eli 22 mg/l) ei ollut merkittävää vaikutusta tuloksiin (sorption edelleen ~99 %). Vapaan raudan määrän ollessa 10 % kaikesta hapettumisen kautta vapautuvasta raudasta (6,6 mg/l) arseenin sorptio laski 81 %:iin. Eh:n laskemisella -100 mV tasolle ei ollut vielä merkittävää vaikutusta arseenin sorptioon, mutta tämän alapuolella vaikutus alkoi olla merkittävä. Vapaan raudan määrään ja sulkemisen jälkeiseen Eh:n kehitykseen liittyvien epävarmuuksien takia, arseenin sorptioksi oletettiin 90 % sulkemisen jälkeisissä skenaarioissa. Taulukossa 2-6 alkuperäisen mallinnuksen tulokset esitetään suluissa ja epävarmuudet huomioivia pitoisuuksia käytetään kuormien laskemiseen (Taulukko 2-7).

Myös nikkelin sorptio lisääntyy toiminnan aikaisesta vaiheesta sulkemisen jälkeiseen. Toiminnan aikana 44 % nikkelistä sorboittuu, heti sulkemisen jälkeen (lyhyt aika) 58 % ja prosessiveden huuhtoutumisen jälkeen (pitkä aika) 81 %. Myös nikkelin vapautuminen hapettumisen kautta on selkeästi vähäisempää sulkemisen jälkeen peittorakenteen vaikutuksesta. Nikkelin sorptioon ei vapaan raudan määrällä tai Eh:lla oli yhtä merkittävää vaikutusta kuin arseenipitoisuuteen.

Merkittävin ero sulkemisen jälkeisen lyhyen aikavälin ja pitkän aikavälin pitoisuusarvioissa aiheutuu prosessivesijäänteiden poistumisesta huokosvedestä. Kääntäen voidaan nähdä, että alkuaineet, joiden pitoisuuksissa on pieni ero näiden kahden skenaarion välillä vapautuvat pääsääntöisesti rikastushiekasta hapettumisen seurauksena.

Taulukko 2-6. Papinlammen rikastushiekka-altaan suotovesilaadun mallinnuksen tulokset. Arseenipitoisuudelle sulkemisen aikana käytetään konservatiivista arviota (0,054/0,028 mg/l) mallinnustuloksen sijaan, koska sorption määrittymiseen liittyy merkittäviä epävarmuuksia.

		Mallinnustulokset			Mitattuja suotovesilaatuja	
	yksikkö	Toiminta	Sulkeminen lyhyt aika	Sulkeminen pitkä aika	B-pato	C-pato
pH	mg/l	8,6	8,7		6,7	7,4
Ag	mg/l	0,011	0,010	0,000046	-	0,025
Al	mg/l	0,021	0,013	0,0026	0,005	0,015
As	mg/l	0,021	0,054 (0,0002)	0,028 (0,0001)	0,0038	0,023
B	mg/l	0,15	0,068	0,026	-	0,10
Ba	mg/l	0,028	0,011	0,0055	-	0,018
Be	mg/l	0,0012	0,00036	0,00026	-	0,00025
Ca	mg/l	120	74	16	110	200
Cd	mg/l	0,000077	0,000021	0,0000047	0,000012	0,000031
Cl	mg/l	9,0	5,0	1,3	-	6,4
Co	mg/l	0,041	0,012	0,0057	0,046	0,04
Cr	mg/l	0*	0*	0*	0,0005	0,0043
Cu	mg/l	$4,4 \times 10^{-6}$	$9,9 \times 10^{-7}$	0,00000031	0,0005	0,00073
F	mg/l	0,63	0,15	0,15	-	0,0005
Fe	mg/l	27***	22***	22	5,7**	2,2**
HCO ₃	mg/l	200	230	230	-	3,2
Hg*	mg/l	0*	0*	0*	0,00001	$3,8 \times 10^{-5}$
K	mg/l	31	10	6,7	12	11
Li	mg/l	0,03	0,014	0,0051	-	0,02
Mg	mg/l	350	210	87	300	390
Mn	mg/l	0,12	0,051	0,013	16	0,84
Mo	mg/l	0,0041	0,0041	0,000013	-	0,0005
Na	mg/l	6,8	6,8	0,0063	25	12
Ni	mg/l	0,55	0,17	0,035	0,15	1,19
P	mg/l	0,39	0,03	0,013	0,01	0,00415
Pb	mg/l	$2,2 \times 10^{-7}$	$2,8 \times 10^{-8}$	0*	0,000075	$6,3 \times 10^{-5}$
Sb	mg/l	1,4	0,41	0,3	0,0005	0,0011
Se	mg/l	0,0055	0,0015	0,0013	-	0,0005
Si***	mg/l	14	3,4	3,4	-	4400***
Sn	mg/l	0,0035	0,0039	0,00051	-	0,01
Sr	mg/l	0,2	0,13	0,024	-	0,361
Th	mg/l	0,0023	0,00073	0,00051	-	0,0005
Ti	mg/l	0,0053	0,0029	0,00077	-	0,005
U	mg/l	0,00051	0,00035	0,0000029	-	0,0006
V	mg/l	0,011	0,0027	0,0026	-	0,00025
W	mg/l	0,0021	0,00051	0,00051	-	-
Zn	mg/l	0,007	0,0018	0,00029	0,0093	0,013
SO ₄	mg/l	1500	820	230	1400	1600
NO ₃ -N	mg/l	0,69	0,65	0,013	0,023	0,043
NH ₄ -N	mg/l	0,2	0,12	0,026		0,39

* Metallit sorboituu lähes täysin ja pitoisuus oletetaan vähäpätöisen pieneksi



*** Pitoisuusmäärityksissä oli joukossa kokonaispitoisuuksia ja liukoisia pitoisuuksia, mutta aina ei ollut selvää kumpi oli kyseessä. Todennäköisesti liukoisen raudan pitoisuus tulee olemaan suotovedessä vähäinen johtuen korkeasta pH:sta ja rautahydroksidien muodostumisesta. Piin korkea pitoisuus C-padon suotovedessä johtunee samasta seikasta.*

**** 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 2-7 on laskettu 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 kaksikerros moreenipeitolla. Vuotuseksi läpisuotaumaksi oletetaan laskennassa 105 080 m³.

Taulukko 2-7. Papinlammen rikastushiekka-altaalta sulkemisen jälkeisissä tilanteissa suotoveden mukana poistuvien haitta-aineiden määrät. Lyhyt aika tarkoittaa heti sulkemisen jälkeistä tilannetta ja pitkä aika tilannetta prosessiveden huuhtouduttua pois huokosvedestä.

	yksikkö	Sulkeminen lyhyt aika	Sulkeminen pitkä aika		yksikkö	Sulkeminen lyhyt aika	Sulkeminen pitkä aika
Ag	kg/v	1,1	0,0048	Mo	kg/v	0,43	0,0013
Al	kg/v	1,4	0,27	Na	kg/v	710	0,66
As	kg/v	5,6	3	Ni	kg/v	18	3,70
B	kg/v	7,2	2,7	P	kg/v	2,4	1,4
Ba	kg/v	1,2	0,58	Pb	kg/v	<0,001	<0,001
Be	kg/v	0,038	0,027	Sb	kg/v	43	32
Ca	kg/v	7 800	1 700	Se	kg/v	0,16	0,13
Cd	kg/v	0,0022	<0,001	Si	kg/v	360	360
Cl	kg/v	530	130	Sn	kg/v	0,31	0,054
Co	kg/v	1,3	0,6	Sr	kg/v	13	2,5
Cr	kg/v	0*	0*	Th	kg/v	0,076	0,054
Cu	kg/v	<0,001	<0,001	Ti	kg/v	0,3	0,081
F	kg/v	16	16	U	kg/v	0,037	0,0003
Fe**	kg/v	5,4	5,4	V	kg/v	0,28	0,27
HCO ₃	kg/v	25 000	24 000	W	kg/v	0,054	0,054
Hg	kg/v	0*	0*	Zn	kg/v	0,17	0,03
K	kg/v	1 100	700	SO ₄	kg/v	86 000	24 000
Li	kg/v	1,4	0,54	NO ₃ -N	kg/v	68	1,3
Mg	kg/v	22 000	9 100	NH ₄ -N	kg/v	13	2,7
Mn	kg/v	5,4	1,4				

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

*** Arvio perustuu kosteuskammiokoeksessa viikkoliuoksessa oleviin pitoisuuksiin eli laskussa ei huomioida taulukon 2-6 pitoisuutta, joka perustuu arvioon sorptiokykyisen raudan pitoisuudesta.*

3 Sivukiven läjitysalue

3.1 Sivukiven karakterisointi

Sivukiven läjitysalueelle on läjitetty sekä Lahnaslammen että Punasuon louhoksen sivukiviä. Louhokset sijaitsevat hyvin lähellä toisiaan ja niiden sivukivet ovat samankaltaisia. Tässä kappaleessa on esitetty Punasuon louhoksen sivukivinäytteiden ominaisuudet.

3.1.1 Sivukiven mineralogia

Punasuon louhoksen sivukivien mineralogian on tutkittu vuonna 2023 otetuista sivukivinäytteistä XRD- ja SEM-EDX -menetelmillä (taulukot 3-1 ja 3-2, Geochemic 2024a ja Petrolab 2024). SEM-EDX -menetelmä perustuu pieneen määrään näytettä ja siksi on edustavuudeltaan heikohko, vaikka menetelmän herkkyys (havaitsemisraja) on yleisesti XRD -menetelmää parempi. Menetelmien välillä on eroja eri mineraalien prosentuaalisissa osuuksissa, mutta mineraalijakaumat ovat pääsääntöisesti yhtenevät kaikille näytteille.

Talkkimagnesiitissa ja epäpuhtaassa talkkimagnesiitissa on runsaasti neutralointikykyisiä karbonaattimineraaleja. Epäpuhtaassa talkkimagnesiitissa (näyte ITM) päämineraaleina esiintyy magnesiittia, talkkimineraaleja sekä kloriittia. Talkkimagnesiittinäytteissä (TM1 ja TM2) päämineraalit vaihtelevat. Molemmista näytteistä päämineraaleina esiintyy talkkiryhmän mineraaleja ja kloriittia. Näytteessä TM1 on lisäksi päämineraalina magnesiitti. Näytteessä TM2 on puolestaan päämineraalina dolomiittia. Molemmista talkkimagnesiitteista on myös pyrritiittiä ja pyriittiä. Näyte TM2 ei edusta talkkimagnesiitin keskimääräistä laatua, vaan näyte on valittu edustamaan korkean rikkipitoisuuden talkkimagnesiittia kaivannaisjätteiden pitkäaikaistestauksessa.

Kiilleliuskenäytteissä päämineraaleina esiintyy kvartsia, maasälpää ja kiilteitä. Toisessa kiilleliuskenäytteessä (MS2) päämineraaleihin lukeutuu lisäksi kloriitti ja toiseen pyrritiitti. Näytteessä MS1 on myös XRD-menetelmä havaittu grafiittia. Mustaliuskeessa on runsaasti sulfidimineraaleja. Sulfidimineraalien lisäksi se koostuu pääasiassa kvartsista, kloriitista ja alumiinisilikaateista (maasälpä, kiilteet). Mustaliuskeessa karbonaattimineraaleja on alle 1 %.

Taulukko 3-1 Punasuon sivukivien mineralogia XRD-menetelmällä (Geochemic 2024). ITM = epäpuhtas talkkimagnesiitti, TM = talkkimagnesiitti, MS = kiilleliuske ja BS = mustaliuske. Tulokset ovat näytekohtaisia.

Kivilaji	ITM	TM 1	TM 2	MS1	MS 2	BS 1	BS 2
Mineraali	m - %	m - %	m - %	m - %	m - %	m - %	m - %
Kiille	-	-	-	24	14	-	46
Kloriitti	7	13	9	3	TR	10	7
Kvartsi	TR	TR	1	38	40	45	-
K-maasälpä	-	-	-	-	8	7	-
Plagioklaasi	-	-	-	27	32	20	-
Talkki	31	59	37	TR	-	TR	2
Turmaliini	-	-	-	-	-	-	2
Kalsiitti	TR	TR	-	-	1	0	-
Dolomiitti	4	6	42	-	-	-	-
Sideriitti	-	-	2	-	-	-	-
Magnesiitti	57	18	2	-	-	-	-
Apatiitti	-	-	-	-	-	-	1
Pyriitti	-	-	4	-	-	3	7
Pyrritiitti	2	4	5	-	6	15	13

Grafiitti	-	-	-	7	-	-	21
-----------	---	---	---	---	---	---	----

Taulukko 3-2. Punasuon sivukivien mineralogia SEM-EDX-menetelmällä (Petrolab 2024). ITM = epäpuhdas talkkimagnesiitti, TM = talkkimagnesiitti, MS = kiilleliuske ja BS = mustaliuske. Tulokset ovat näytekohtaisia.

Kivilaji	ITM	TM 1	TM 2	MS 1	MS 2	BS 1	BS 2
Mineraali	m - %	m - %	m - %	m - %	m - %	m - %	m - %
Talkkiryhmä	37	54	33	0,1	0,1	1,3	0,4
Kvartsi	0,02	0,03	0,1	32	35	30	0,2
Maasälvät	0,03	-	-	36	38	21	0,3
Kiilleryhmä	0,01	0,004	0,2	23	16	9,3	36
Magnesiitti	52	19	1,1	0,01	-	0,01	0,05
Pyrroitiitti	1,3	1,7	5,5	1,5	6,1	23	30
Kloriitti	8,8	14	5,8	6,1	1,7	9,7	13
Dolomiitti	0,2	8	28	0,004	0,007	0,2	0,33
Pyriitti	0,2	0,1	11,7	0,1	1,1	2,4	8,1
Aksessoriset	0,1	2,8	9,8	0,4	0,6	1,3	6
Sideriitti	0,05	0,04	3,4	0,06	0,1	0,19	0,48
Sfaleriitti	-	-	-	-	0,01	0,5	2,7
Pentlandiitti	0,3	0,1	1	-	0,01	0,003	1,3
Rutiili	0,01	0,01	0,005	0,2	0,8	0,5	0,7
Kromi-magnetiitti	0,2	0,05	0,1	-	-	-	0,003
Kalsiitti	-	0,03	0,1	0,01	0,02	0,01	0,05

GTK selvitti vuonna 2005 sivukivien ympäristökelpoisuutta (GTK 2005, Ramboll Finland Oy 2015). Verrattaessa vuoden 2023 tutkimuksen tuloksia vuonna 2005 esitettyihin lukuihin, muutoksia voidaan havaita mustaliuskeesta mitatusta sulfidimineraalien määrässä, joka on vuoden 2023 tuloksissa 4–7 -kertainen verrattuna vuoden 2005 tulokseen (noin 6 %). Samoin kiilleliuskeen sulfidipitoisuus on suurempi vuoden 2023 näytteissä kuin vuoden 2005 (alle 0,2 %). Epäpuhtaan vuolukiven osalta sulfidimineraalien osuus (noin 7 %) on vähentynyt.

Serpentiniittibreksian mineralogiaa ei tutkittu uudelleen. Serpentiniittibreksiassa on vuoden 2005 mineralogiatutkimusten perusteella runsaasti neutralointikykyisiä karbonaattimineraaleja (36 %). Muita päämineraaleja ovat talkki (41 %), antigoriitti (15 %) ja kloriitti (6 %). Serpentiniittibreksiassa sulfidimineraaleja on n. 2 %.

Edellä mainitut erot eri vuosien mittaustuloksissa voivat johtua mm. kivilajien sisäisesti koostumuksen vaihtelusta, näytteenotosta tai mittaustavasta.

3.1.2 Sivukivien geokemialliset ominaisuudet

Taulukossa 3-2 on esitetty Punasuon sivukivien kairasydännäytteiden kuningasvesiliukoiset pitoisuudet sekä vuoden 2015 näytteiden kokonaispitoisuudet (ISO 11885, ICP-AES). Vuoden 2015 kokonaispitoisuuksien uuttomenetelmä ei ole tiedossa. Taulukossa on esitetty myös PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) mukaiset kynnysarvot sekä alemmat ja ylemmät ohjearvot. Nelihiippouutto on kuningasvesiuttoa voimakkaampi uuttomenetelmä, joka hajottaa myös silikaattimineraaleja ja siten kuvaa koko kiven alkuainejakaumaa kuningasvesiuttoa paremmin. PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) kynnys- ja ohjearvoja verrataan kuningasvesiliukoisiin pitoisuuksiin.



Taulukko 3-3. Punasuon sivukiven kairasydännäytteiden kuningasvesiliukoiset pitoisuudet verrattuna PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) kynnys- ja ohjearvoihin. Taulukossa on lisäksi esitetty vuonna 2023 määritetyt sivukivinäytteiden nelihappouuton tulokset (Geochemic Ltd 2024a) sekä vuonna 2015 määritetyt kokonaispitoisuudet (Ramboll Finland Oy 2015, SGS 2015). MS = kiilleliuske (mica schist), BS = mustaliuske (black schist), ITM = epäpuhdas talkkimagnesiitti, SPB = serpentiiniitibreksia ja TM = talkkimagnesiitti

Tunnus	Metallit										
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	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	mg/kg
Taustapitoisuus	-	-	7	27	22	-	18	-	-	29	28
Kynnysarvo	5	1	20	100	100	0,5	50	60	2	100	200
Alempi ohjearvo	50	10	100	200	150	2	100	200	10	150	250
Ylempi ohjearvo	100	20	250	300	200	5	150	750	50	250	400
Kuningasvesiuuttotulokset											
TM (n=314)											
ka.	280	0,58	77	710	19	-	1600	3,6	8,4	14	51
med.	230	0,5	77	580	7,1	-	1600	2,5	10	9,6	16
min.	2	0,01	30	94	0,5	-	470	0,25	0,66	1	8,6
maks.	1000	41	170	1700	550	-	2600	71	25	270	4700
BS (n=60)											
ka.	40	16	62	210	450	-	880	45	10	360	2200
med.	12	13	35	130	370	-	520	34	10	370	1600
min.	2,5	0,55	9,1	44	41	-	120	2,5	0,66	110	140
maks.	260	62	270	2200	2800	-	3100	180	81	700	7500
MS (n=48)											
ka.	28	0,65	21	100	61	-	86	15	1,7	130	170
med.	16	0,11	18	99	43	-	57	15	0,25	110	89
min.	0,5	0,05	13	67	23	-	43	2,5	0,025	73	67
maks.	160	14	86	260	670	-	1000	55	10	440	2900
SPB (n=10)											
ka.	150	0,026	87	1500	5,5	-	1900	1,3	3,3	24	44
med.	180	0,02	88	1500	5,2	-	1900	1,3	3	25	39
min.	2,3	0,01	74	1000	2,5	-	1600	0,5	0,67	15	25
maks.	360	0,07	100	2100	11	-	2200	2,9	7,6	31	74
Vuoden 2015 kokonaispitoisuudet*											
2015 MS	17	<0,4	17	72	27	<0,2	37	<10	<10	66	55
2015 BS	140	9	24	75	220	<0,3	290	19	<10	390	770
2015 ITM	250	5	45	710	<10	<0,4	880	<10	<10	<10	13
2015 SPB	5	<0,4	47	930	<10	<0,5	930	<10	<10	11	13

*Vuoden 2015 kokonaispitoisuuksien uuttomenetelmä ei ole tiedossa. Oletus on, että uuttomenetelmänä on ollut kuningasvesiuutto.

Sivukiven kairasydännäytteissä talkkimagnesiitissa (n=314 kpl) arseenin, kromin ja nikkelin mediaanipitoisuus ylittää PIMA-asetuksen ylemmän ohjearvon. Alempi ohjearvo ylittyy antimonin osalta ja kynnysarvo koboltin osalta. Mustaliuskeessa (n=60 kpl) mediaanipitoisuudet ylittävät ylemmän ohjearvon kuparin, nikkelin, vanadiinin ja sinkin osalta sekä alemman ohjearvon kadmiumin ja antimonin osalta. Kynnysarvo ylittyy arseenin, koboltin ja kromin osalta. Kiilleliuskeessa (n=48 kpl) pitoisuudet ovat huomattavasti pienempiä. Ohjearvojen ylityksiä ei ole ja

kynnysarvo ylittyy vain vähän arseenin, nikkelin ja vanadiinin osalta. Serpentiinitbreksiassa (n=10 kpl) mediaanipitoisuudet ylittävät ylemmän ohjearvon arseenin, kromin ja nikkelin osalta. Kynnysarvo ylittyy koboltin ja antimonin osalta.

Vuoden 2015 näytteiden kokonaispitoisuuksien uuttomenetelmästä ei ole tietoa, mutta kokonaispitoisuuksia on v. 2015 jätehuoltosuunnitelmassa verrattu PIMA-asetuksen kynnys- ja ohjearvoihin. Punasuon louhoksen kiilleliuskeessa (MS) haitta-aineiden pitoisuudet olivat alhaisia, ainoastaan arseenin pitoisuus (17 mg/kg) ylitti tutkitussa näytteessä PIMA-asetuksen (VNA 214/2007) arseenin kynnysarvon (5 mg/kg). Mustaliuskeessa (BS) arseenin, kuparin, nikkelin, vanadiinin ja sinkin pitoisuudet ylittivät tutkitussa näytteessä ylemmät ohjearvot sekä kadmiumin ja koboltin pitoisuudet ylittivät kynnysarvot. Epäpuhtaassa talkkimalmassa arseenin, kromin ja nikkelin pitoisuudet ylittivät ylemmät ohjearvot ja kadmiumin sekä koboltin pitoisuudet kynnysarvot. Serpentiinitbreksiassa kromin ja nikkelin pitoisuudet ylittivät ylemmät ohjearvot sekä arseenin ja koboltin pitoisuudet ylittivät kynnysarvot. Kaikissa Punasuon louhoksen tutkituissa näytteissä antimonin pitoisuudet olivat alle määritysmenetelmän määritysrajan 10 mg/kg. Antimonin kynnysarvo on 2 mg/kg. (Ramboll Finland Oy 2015) Määritysrajan ollessa suurempi kuin kynnysarvon, ei voida luotettavasti todeta onko antimonipitoisuus yli tai alle kynnysarvon.

Vuoden 2023 näytteistä määritettiin metalli- ja metalloidipitoisuudet nelihappouutolla (Taulukko 3-4). Tämän takia pitoisuudet ovat suurempia verrattuna kuningasvesiuuton tuloksiin.

Taulukko 3-4. Vuoden 2023 sivukivinäytteiden nelihappouuton tulokset (Geochemic Ltd 2023). MS = kiilleliuske (mica schist), BS = mustaliuske (black schist) ja TM = talkkimagnesiitti

Tunnus	Metallit										
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	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	mg/kg
2023 MS 1	25	0,05	18	120	43	0,01	68	15	0,1	170	89
2023 MS 2	6	0,6	17	110	59	0,02	66	14	0,9	130	120
2023 BS 1	13	12	17	110	290	0,09	390	33	3,8	510	1600
2023 BS 2	31	44	210	150	570	0,51	3400	100	13	610	9000
2023 TM 1	770	0,04	92	2200	26	0,008	1900	1	2,5	35	88
2023 TM 2	55	0,1	140	2000	130	0,04	2500	7	0,4	19	85

Alkuaineiden pitoisuudet vaihtelevat luontaisesti saman kivilajin sisällä. Esimerkiksi kiilleliuskenäytteissä (MS 1 ja MS 2) arseenin pitoisuusero on noin viisinkertainen ja kadmiumin noin kymmenkertainen. Muiden alkuaineiden osalta kiilleliuskenäytteiden välinen pitoisuusero on tätä vähäisempi. Mustaliuskeessa vaihtelu vaikuttaa näiden tulosten perusteella suuremmalta kuin kiilleliuskeessa. Esimerkiksi kahden mustaliuskenäytteen (BS 1 ja BS 2) nikkelpitoisuuden vaihteluväli on 390–3400 mg/kg.

Vuoden 2024 selvityksessä (Petrolab 2024) nikkelin todettiin esiintyvän sulfidimineraaleja sisältävissä näytteissä lähes yksinomaan pentlandiitissa. Näytteissä, joissa pentlandiittia oli vain vähän, nikkeli esiintyy enimmäkseen kloriitissa (silikaattimineraali) ja vähäisemmässä määrin pyrroitiitissa ja pentlandiitissa. Kupari esiintyy kaikissa Punasuon sivukivinäytteissä ensisijaisesti kalkopyriitissa eli kuparikiisussa, arseeni esiintyy suurimassa osassa näytteistä lähes kokonaan pyrroitiitissa. Muutamassa näytteessä arseeni esiintyy vain pentlandiitissa. Pyrroitiitti, pentlandiitti ja kalkopyriitti ovat sulfidimineraaleja eli ns. kiisumineraaleja.

Edellä esitetyn selvityksen havainnot ovat samansuuntaisia vuonna 2005 tehdyn selvityksen havaintojen kanssa. Tuolloin todettiin, että nikkeli esiintyy sivukivissä pääasiassa nikkelpitoisissa sulfideissa (happoliukoinen) ja vähäisessä määrin magnesiumisilikaateissa (talkki). Nikkeli voi vapautua esim. rautasulfidien hapettuessa ilman hapen ja veden myötävaikutuksesta. Arseeni

esiintyy epäpuhtaan vuolukiven sulfidimineraaleissa, joista se voi vapautua em. rautasulfidihapettumisen seurauksena. Kromi esiintyy oksidimineraaleissa ja magnesiusilikaateissa. Kromioksidit ovat niukkaliukoisia happamissa oloissa. Silikaateista kromi ja nikkeli voivat vapautua vain hyvin happamissa oloissa (pH < 2) silikaattien kiderakenteen hajotessa. (GTK 2005, Ramboll Finland Oy 2015)

Sivukiven hapontuottopotentiaali

Sivukivien hapontuotto-ominaisuuksia on tutkittu vuosina 2015 ja 2023 otetuista näytteistä. Tulokset on esitetty taulukossa 3-5. Sivukivinäytteiden ABA-testin tulokset. Näytteet on otettu vuosina 2015 ja 2023. (Ramboll Finland Oy 2015, Geochemic Ltd 2024a). 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 = serpentiinitibrekia ja TM = talkkimagnesiitti.

Mustaliuske (BS) on kivilajeista ainoa, joka kaikkien näytteiden perusteella on mahdollisesti happoa tuottavaa. Kiilleliuskeen v. 2015 näyte ja toinen v. 2023 näytteistä (MS1) ovat ei-happoa tuottavia alhaisen sulfidisen rikin pitoisuuden takia. Toinen (MS2) vuoden 2023 näytteistä on mahdollisesta happoa tuottava, sillä sulfidisen rikin pitoisuus on 0,5 % ja NPR vain 0,05. Talkkimagnesiittinäytteistä kaksi on ei-happoa muodostavia ja kaksi mahdollisesti happoa muodostavia.

Taulukko 3-5. Sivukivinäytteiden ABA-testin tulokset. Näytteet on otettu vuosina 2015 ja 2023. (Ramboll Finland Oy 2015, Geochemic Ltd 2024a). 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 = serpentiinitibrekia ja TM = talkkimagnesiitti.

	S kok	S sulf.	$S_{\text{sulf}} / S_{\text{kok}}$	C kok	AP	NP	NPR
	%	%		%	kg CaCO ₃ / t	kg CaCO ₃ / t	
2015 ITM	0,58	0,57	0,98	5,5	18	30	1,7
2015 MS	0,07	0,02	0,3	0,03	0,62	5,7	9,2
2015 BS	0,95	0,81	0,86	0,75	25	8,4	0,33
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	0,08	0,07	13	1,6	0,13
2023 MS 2	2,6	0,47	0,18	0,87	82	3,8	0,05
2023 BS 1	6,9	1,5	0,22	6,8	220	14	0,07
2023 BS 2	13	3,9	0,29	9,3	410	9,5	0,02

Punasuon vuoden 2023 sivukivinäytteiden hapontuotto-ominaisuuksia on tutkittu lisäksi NAG-testillä (Taulukko 3-6). NAG-testissä talkkimagnesiittinäytteiden pH pysyi neutraalina näytteen kuumennuksen jälkeen (pH 7,7–7,8). Tämä tarkoittaa, ettei näytteillä ole NAG-testin tulosten perusteella haponmuodostuspotentiaalia. Kumpikin mustaliuskenäyte ja yksi kiilleliuskenäyte ovat NAG-testin perusteella mahdollisesti happoa muodostavia. Näiden näytteiden pH oli ennen ja jälkeen kuumennuksen hapan (pH 2,3–3,0) ja pH:n nosto vaati merkittävän lisäyksen natriumhydroksidia. Myös toinen kiilleliuskenäytteistä on mahdollisesti happoa tuottava, joskin NAG-testin perusteella hapontuottopotentiaali on alhainen.

Taulukko 3-6. Punasuon sivukivinäytteiden NAG-testin tulokset. Näytteet ovat vuodelta 2023. Taulukossa käytetyt lyhenteet ovat: ITM = epäpuhdas talkkimagnesiitti, TM = talkkimagnesiitti, MS = kiilleliuske ja BS = mustaliuske.

Näyte	pH	pH	pH 4,5 NAG	pH 7,0 NAG	NAG (kok)
	ennen kuumennusta	kuumennuksen jälkeen			
			kg H ₂ SO ₄ eq/t		
ITM	7,8	8,8	0	0	0
TM 1	8	8,8	0	0	0
TM 2	7,8	7,7	0	0	0
MS 1	4,4	4,9	0	1,9	1,9
MS 2	2,5	2,3	36	17,4	53,4
BS 1	2,7	2,8	33,3	61,9	95,3
BS 2	2,9	3	11,5	137	148,8

Kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013) liitteen 1 kohdan 2. b) mukaan kaivannaisjäte luokitellaan pysyväksi jätteeksi, mikäli kaivannaisjätteen sulfidisen rikin pitoisuus on enintään 0,1 % tai sulfidisen rikin pitoisuus on välillä 0,1–1 % ja neutralointipotentiaalisuhde (NPR) on suurempi kuin kolme. Vuoden 2015 näytetuloksen perusteella serpentiniittibreksia voidaan hapontuotto-ominaisuuksiltaan luokitella pysyväksi kaivannaisjätteeksi (Taulukko 3-5. Sivukivinäytteiden ABA-testin tulokset. Näytteet on otettu vuosina 2015 ja 2023. (Ramboll Finland Oy 2015, Geochemic Ltd 2024a). 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.

). Vuosien 2015 ja 2023 näytetulosten perusteella muut sivukivilajit mustaliuske, kiilleliuske, puhdas ja epäpuhdas talkkimagnesiitti luokitellaan hapontuotto-ominaisuuksiltaan ei-pysyväksi kaivannaisjätteeksi.

Lisäksi kaivannaisjäteasetuksen (VNA 190/2013) liitteen 1 kohdan 2. d) mukaan kaivannaisjäte luokitellaan pysyväksi jätteeksi, mikäli kaivannaisjätteen haitallisten aineiden pitoisuudet eivät ylitä PIMA-asetuksen (214/2007) kynnsarvoja tai maaperän taustapitoisuuksia. Haitta-aineiden pitoisuuksien osalta kaikki Punasuon sivukivet luokitellaan ei-pysyväksi kaivannaisjätteeksi.

3.2 Sivukivien kosteuskammiokeet

Sivukivialueen mallinnus toteutettiin kalibroimalla nykyinen, mitattu suotovedenlaatu. Mallinnuksessa kosteuskammiokeiden tuloksia hyödynnettiin ainoastaan raudan ja sulfaatinmuodostumisen suhteen määrittämiseen (kappale 7.2.2). Sivukivien kosteuskammiokeiden tulokset toimivat suorana lähtöaineistona ainoastaan louhosjärven vedenlaadun mallinnuksessa, ja tulokset on siksi esitetty louhosjärven kappaleessa 4.3.

3.3 Konseptualisointi

Sivukivialueen oletettiin olevan maksimilaajuudessaan eli 60 hehtaarin kokoinen. Sivukivialueen kuormitus muodostuu alueelle satavan veden ja sivukiven pinta- ja rapautumisreaktioiden yhteisvaikutuksesta sekä sekundäärimineraalien muodostumis- ja liukenemisreaktioista.

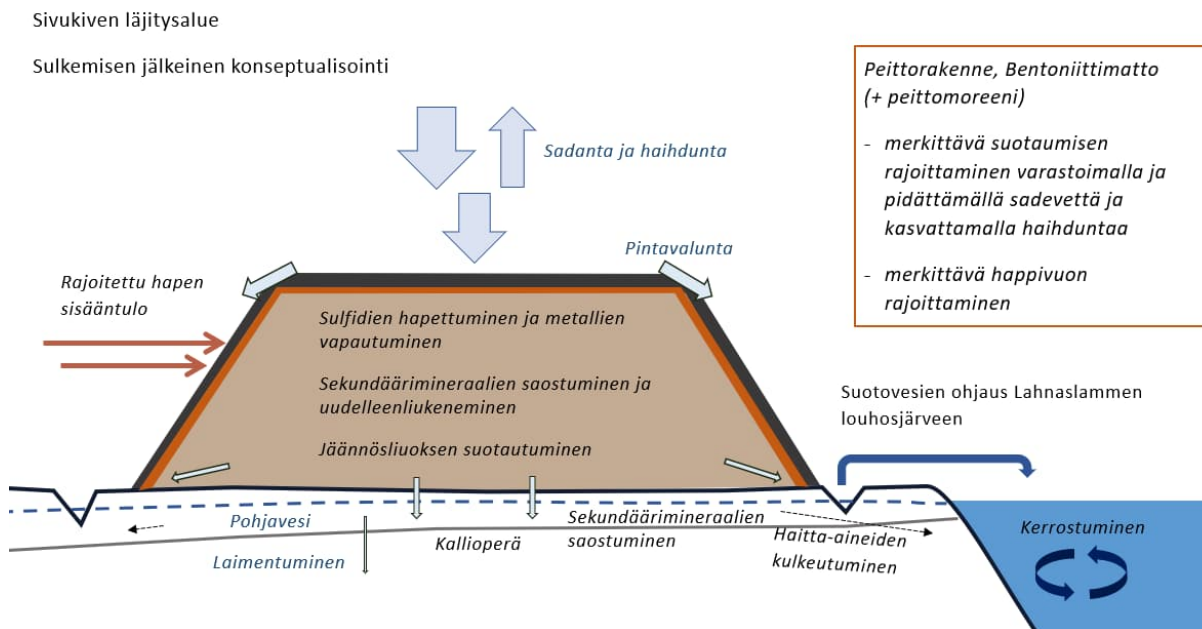
Sivukivialueen sulkemisrakenteena toimii bentoniittimatto, jonka päälle tulee suojamoreeni. Bentoniittimatto on tehokas estämään kaasunvaihtoa ja pidättämään vettä. Bentoniittimaton korkean vedellä kyllästyneisyyden takia hapen pääsy kasaan pienenee, mikä rajoittaa kemiallisia reaktioita. Peittorakenteen pidättäessä vettä haihdunta lisääntyy, minkä seurauksena alueella

muodostuva kokonaisvesimäärä pienenee. Bentoniittimatto pienentää sivukivikasaan suotautuvan veden määrää noin 10 %:iin nykyisestä tilanteesta. Bentoniittimaton läpi kasaan suotautuvan veden määrä laskettiin bentoniitin vedenjohtavuudella $1 \cdot 10^{-9}$ m/s. Kasaan suotautuvasta vesimäärästä noin 60 % on talteenotettavissa suotovesiojiin, joista vedet ohjataan Lahnaslammen louhosjärveen. Loput kasaan suotautuvasta vedestä suotautuu pohjan kautta maaperään ja pohjaveteen.

Sivukivialue on ollut maksimilaajuudessaan jo useamman vuoden ajan ja muodostuvan suotoveden koostumus nykyisellään tiedetään. Suotoveden laadun arvioinnissa hyödynnettiin suotoveden mitattua koostumusta vuodelta 2024.

Sulkemisen jälkeisessä tilanteessa räjähdäaineista peräisin olevan typen oletetaan jo huuhtoutuneen. Sivukivialueen nykyisessä suotovedenlaadussa ei ole nähtävissä enää räjähdäaineperäistä typpeä, mikä onkin oletettavaa, kun sivukivi on ollut läjitysalueella jo pitkään. Mitatussa suotovedenlaadussa on todennäköisesti nähtävissä enää vain kivistä liukeneva typpi.

Sulkemisen jälkeisen tilan konseptuaalinen malli on esitetty kuvassa 3-1.



Kuva 3-1. Sivukivialueen sulkemisen jälkeinen konseptualisointi.

3.4 Sivukivialueen suotoveden koostumus

Mallinnuksen tuloksena tuotettu sulkemisen jälkeinen suotovedenlaatu on esitetty taulukossa 3-7. Taulukossa on lisäksi esitetty vertailuksi pohjaveden ympäristölaatuunormin (341/2009) pitoisuusrajat. On tärkeä huomata, että raja-arvot on määritetty kuvaamaan pohjaveden laatua, eivätkä siten ole suoraan sovellettavissa sivukivialueen suotovesiin. Pitoisuus suotovedessä ei ole pitoisuus pohjavedessä. Tässä yhteydessä arvoja käytetään vain suuruusluokan hahmottamisen tukena.

Suotoveden laadun arvioinnissa hyödynnettiin suotoveden mitattua koostumusta vuodelta 2024. Sulfaatin ja muiden aineiden pitoisuuksia pienennettiin hapen pääsyn estyessä korjauskertomella, joka on laskettu sivukivialueen nykyisen sulfaatinmuodostumisen ja peittorakenteen asentamisen jälkeisen teoreettisen maksimisulfaatinmuodostumisen suhteena.

Tasapainomallinnuksessa pääasiallisena sorptiopintana käytetään raudan saostumistuotteita. Mitatussa suotovedessä rautaa on liukoisena hyvin vähän verrattuna sulfaattiin. Jotta sorptio voitiin laskea mallinnetulle suotovedelle, tasapainomallinnuksessa sorptiopintana käytettävän raudan

oksihydroksidin määrä laskettiin sulfaattipitoisuudesta olettaen, että kaikki sulfaatti on peräisin magneettikiisusta.

Taulukko 3-7. Sivukivialueen mallinnettu suotoveden laatu sulkemisen jälkeen. Taulukossa on esitetty lisäksi suotoveden mitattu koostumus v. 2024, joka edustaa nykyistä, toiminnanaikaista suotoveden laatua. Suuruusluokan hahmottamisen tueksi esitetään pohjaveden ympäristölaatuunormin (VNA 341/2009) pitoisuuksia, vaikka nämä eivät olekaan suoraan sovellettavissa suotovesille.

		Suotoveden koostumus sulkemisen jälkeen (mallinnettu)	Suotoveden koostumus toiminnanaikana (tarkkailutulot v. 2024)	VNA 341/ 2009
pH		5,2	3,8	
Ag	ug/l	2,6	25	
Al	ug/l	7900	74 000	
As	ug/l	0,053	8,4	5
B	ug/l	11	100	
Ba	ug/l	1,4	13	
Be	ug/l	0,54	5,1	
Ca	ug/l	34 000	320 000	
Cd	ug/l	7	68	0,4
Cl	ug/l	380	3 600	25 000
Co	ug/l	65	610	2
Cr	ug/l	0,21	4	10
Cu	ug/l	1,5	130	20
F	ug/l	200	2000	
Fe	ug/l	440	4 100	
HCO ₃ ⁻	ug/l	65	10	
Hg	ug/l	0,0035	0,065	
K	ug/l	2 200	21 000	
Li	ug/l	19	180	
Mg	ug/l	150 000	1 400 000	
Mn	ug/l	1 700	16 000	
Mo	ug/l	0,016	0,5	
Na	ug/l	1 000	9 800	
Ni	ug/l	2 000	19 000	10
P	ug/l	0,017	15	
Pb	ug/l	0,00023	0,8	5
Sb	ug/l	0,14	1,4	2,5
Se	ug/l	0,16	1,6	
Si	ug/l	790	7 400	
Sn	ug/l	0,53	10	
Sr	ug/l	72	680	
Th	ug/l	0,14	1,3	
Tl	ug/l	0,027	0,25	
U	ug/l	0,01	49	
V	ug/l	0,027	0,25	
Zn	ug/l	2 100	21 000	60
SO ₄	ug/l	670 000	6 500 000	150 000
NO ₃ -N	ug/l	120	1 100	50 000
NH ₄ -N	ug/l	8,9	84	200

* Tasapainomallinnuksen mukaan kaikki kromi, elohopea ja seleeni pidättyy suotovedessä. Varovaisuus-periaatteen puitteissa ko. aineiden pitoisuuden ylärajana on esitetty puolet tasapainomallintamattomasta pitoisuudesta.

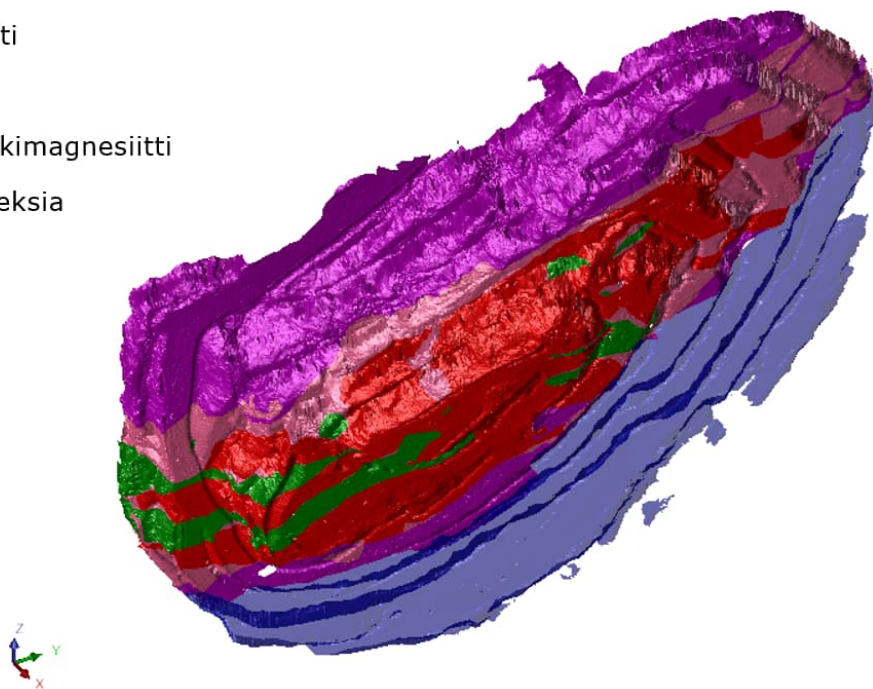
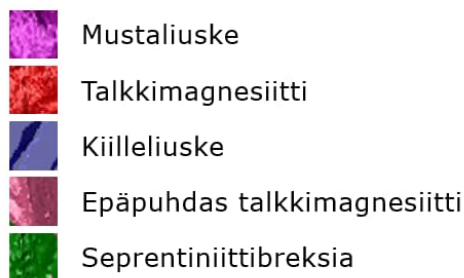
Sulkemisen jälkeen peittorakenne (bentoniittimatto) rajoittaa happivuota läjitykseen ja siten rajoittaa hapettumisreaktioita, minkä vuoksi hapettumistuotteiden määrä jää pienemmäksi kuin toiminnanaikana. Bentoniittimaton asentamisen jälkeen kasan sisällä on vielä runsaasti happea käytettävissä ja peiton vaikutus alkaa näkyä vasta jonkin ajan kuluttua. Mallinnettu suotoveden koostumus kuvaa tilannetta, jossa peittorakenteen asentamista edeltävä happi on kulutettu ja kasaan tulee vain sen verran happea, mitä peittorakenne päästää läpi.

Mallinnetussa tilanteessa suotoveden pH nousee toiminnanaikaisesta happamasta (pH 3,8) lievästi happamaksi (pH 5,2). Olosuhteiden muutos vaikuttaa erityisesti kromin, kuparin, arseenin, fosforin, elohopean, molybdeenin, lyijyn, seleenin ja uraanin pidättymiseen. Tasapainomallinnuksen mukaan näistä kromi, elohopea ja seleeni pidättyvät suotovedessä kokonaan. Varovaisuusperiaatteen puitteissa ko. aineiden pitoisuutena on esitetty puolet tasapainomallintamattomasta pitoisuudesta.

4 Punasuon louhosjärvi

4.1 Seinämien karakterisointi

Avolouhoksen seinämien oletetaan vastaavan ominaisuuksiltaan kaivostoiminnassa muodostuvia sivukivityyppejä. Sivukivien karakterisointitiedot on esitetty kappaleessa 3.1. Kivilajien esiintyminen seinämissä perustuu avolouhoksen 3D-malliin (Kuva 4-1). Kivilajien pinta-alat ja osuus kokonaisalasta on esitetty taulukossa 4-1.



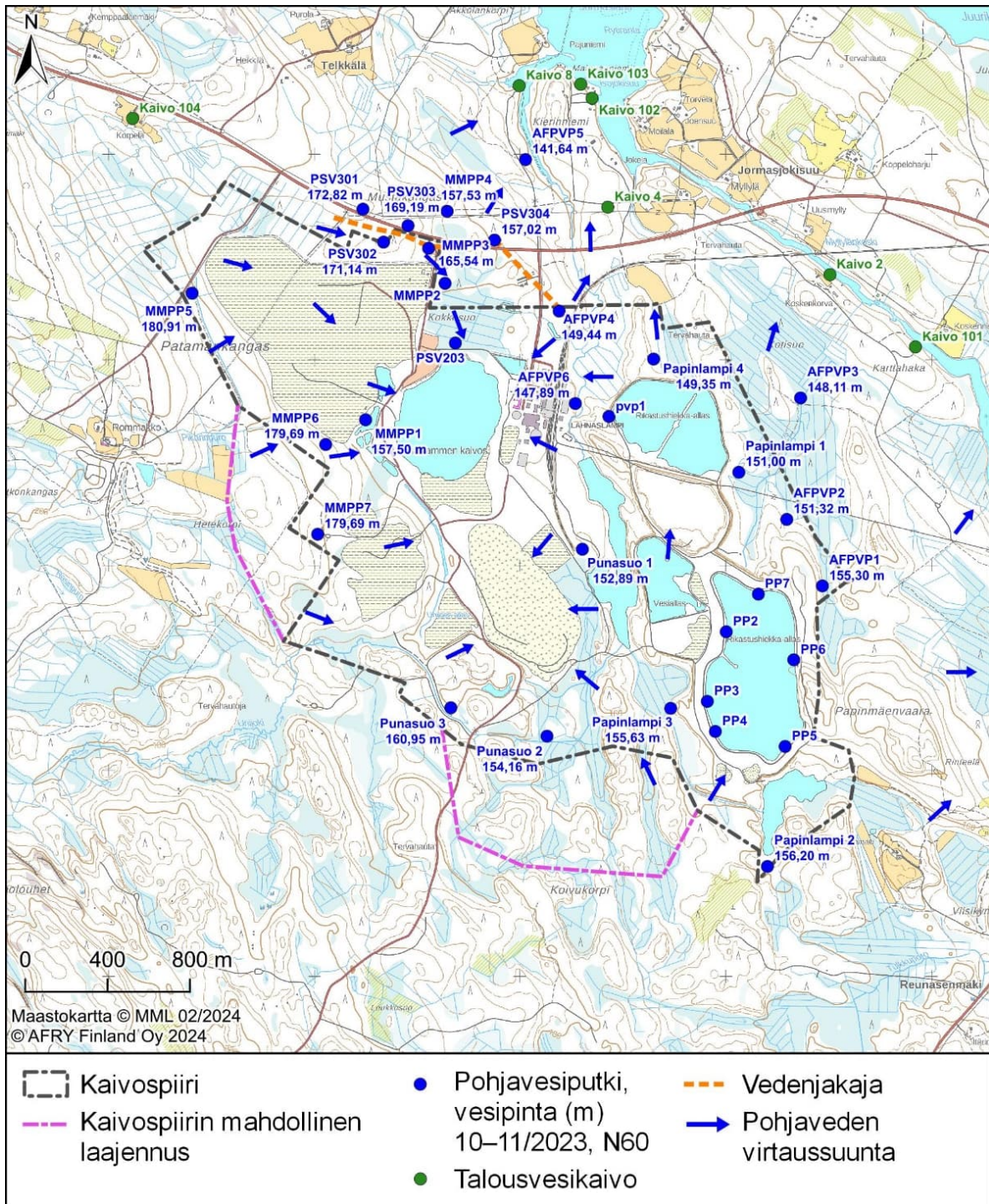
Kuva 4-1. Punasuon avolouhoksen seinämien kivilajit louhoksen maksimilaajuudessa.

Taulukko 4-1. Avolouhoksen seinämien kivilajien pinta-alajakauma louhoksen ollessa tyhjä.

Kivilaji	Pinta-ala	Osuus kokonaisalasta
Kiilleliuske	92 000 m ²	37 %
Mustaliuske	66 000 m ²	27 %
Talkkimagnesiitti	52 000 m ²	21 %
Serpentiniittibreksia	17 000 m ²	7,1 %
Epäpuhdas talkkimagnesiitti	14 000 m ²	5,7 %
Karsi	5 300 m ²	2,1 %
Grafiittipitoinen kiilleliuske	37 m ²	0,015 %
Yhteensä	250 000 m ²	100 %

4.2 Pohjaveden laatu

Louhosjärven vedenlaadun mallinnuksessa on käytetty syötteenä maaperäpohjaveden sekä kalliopohjaveden koostumusta. Maaperäpohjaveden koostumuksena on käytetty vuonna 2024 tehdyn näytteenoton tuloksia pohjavesiputkista Punasuo 1 ja Punasuo 3, jotka sijaitsevat Punasuon louhoksen ympärillä. Pohjavesiputkien sijainti on esitetty kuvassa 4-2. Alueella ei ole tutkittu erikseen syvän kalliopohjaveden laatua. Kalliopohjaveden koostumuksena käytettiin Punasuon louhoksen vuonna 2024 otetun kuivatusvesinäytteen koostumusta.



Kuva 4-2. Sotkamon kaivosalueen ja lähiympäristön pohjavesiputket ja talusvesikaivot sekä pohjaveden nykytilan virtauskuva. Pohjavesiputket Punasuo 1, Punasuo 2 ja Punasuo 3 sijaitsevat Punasuon louhoksen ympärillä. Huom. Pohjaveden virtaussuunta kuvaa nykytilaa, ei sulkemisen jälkeistä tilannetta.

Taulukko 4-2. Louhosjärven vedenlaadun mallinnuksessa käytetyt pohjavesisyötteen.

Kalliopohjavesi		Maaperän pohjavesi		Kalliopohjavesi		Maaperän pohjavesi	
	µg/l		µg/l		µg/l		µg/l
Ag	25			Mo	0,5		
Al	130	110		Na	5 300	5 800	
As	3,9	0,6		Ni	780	5,2	
B	100			P	15	2,5	
Ba	25			Pb	0,25	0,075	
Be	0,25			Rb			
Ca	110 000	42 000		Sb	0,5	0,075	
Cd	0,2	0,11		Se	0,5		
Cl	3500	600		Si	4 300		
Co	19	19		Sn	10		
Cr	1	0,23		Sr	160		
Cu	1,5	8,8		Th	0,5		
F	100	150		Ti	5		
Fe	1 200			U	0,25		
Alk. as HCO ₃ ⁻	53 000	160 000		V	0,25		
Hg	0,065	0,01		W			
K	6 100	5 100		Zn	89	98	
Li	20			SO ₄	800 000	140 000	
Mg	150 000	21 000		NO ₃ -N	2,5	41	
Mn	2 200	5 500		NH ₄ -N	21	250	

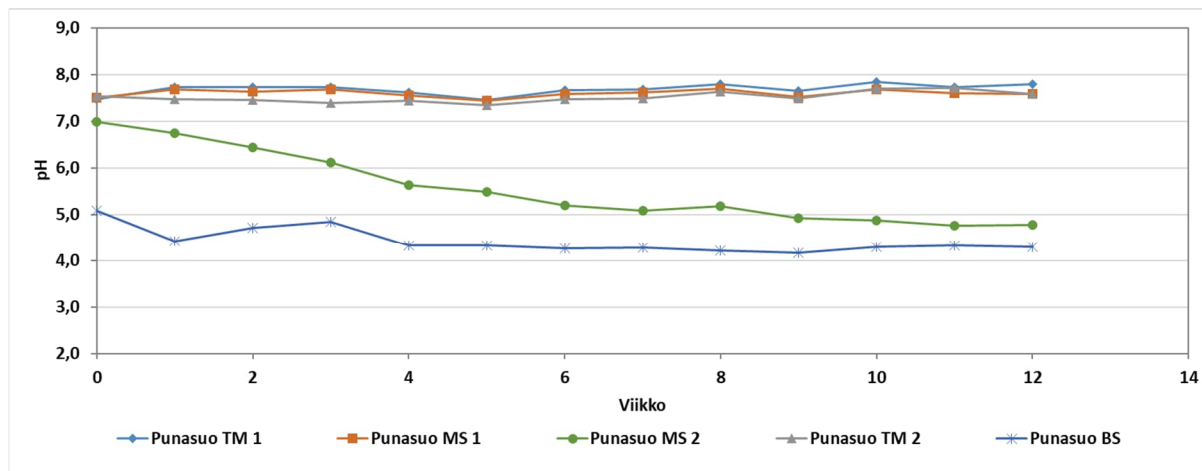
4.3 Sivukivien kosteuskammiokeet (louhosseinämät)

Sivukivien pitkäaikaiskäyttötymistä tutkitaan kosteuskammiokeilla (Geochemic Ltd 2024b). Kosteuskammiokeet on aloitettu kesällä 2024. Näytevalinta perustui kairasydänaineistoon. Näytteet valittiin siten, että analyysituloksia voidaan luotettavasti käyttää edustamaan kutakin kivilajia. Kosteuskammiokeissa mustaliusketta edustaa vain yksi näyte, sillä mustaliuskenäytteet vastasivat laadultaan toisiaan. Kiilleliuske- ja talkkimagnesiittinäytteissä havaittiin kivilajien sisäistä koostumusvaihtelua, ja niistä valittiin kaksi erillistä näytettä per kivilaji. Tulosten tulkinnassa on huomioitavaa, että näytteet ovat peräisin vanhoista kairasydännäytteistä, ja näin ollen ne ovat valmiiksi hapettuneita.

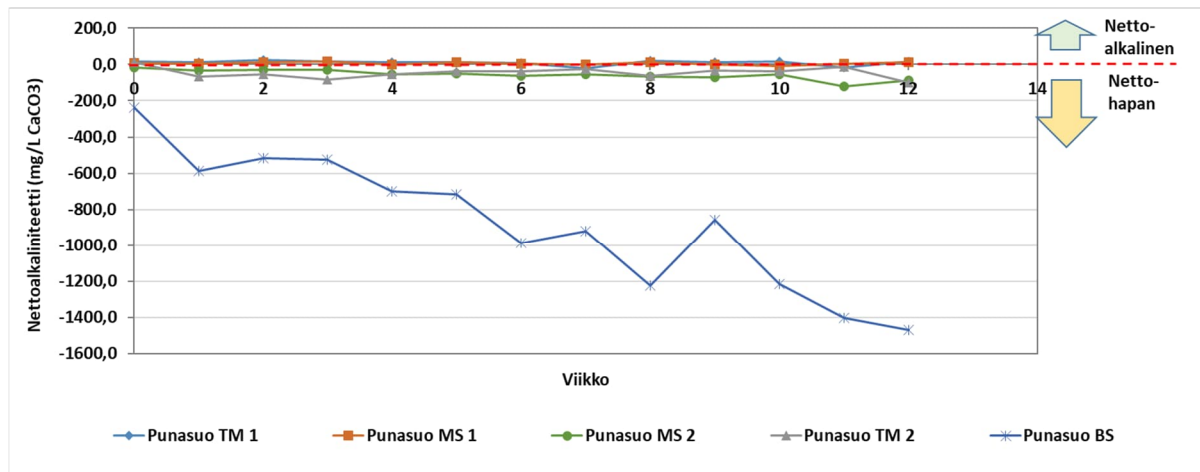
Mallinnusten aikaan kosteuskammiokeiden tuloksia oli käytettävissä ensimmäisen 12 viikon ajalta. Kuvissa 4-3...4-6 on esitetty tulokset pH:n kehityksen, jäljellä olevan nettoalkaliniteetin sekä sulfaatin ja nikkelin liukenemisen osalta. Mustaliuskeen ja toisen kiilleliuskenäytteen (MS 2) loppuliuksen pH alenee heti ensimmäisten viikkojen aikana, joskin mustaliuskeen pH on jo alkuun matala. Muiden näytteiden pH pysyttelee neutraalina koko alkujakson ajan (Kuva 4-3). Mustaliuskeessa nettoalkaliteetti on viikolla 12 hyvin alhainen (-1 600 mg/l CaCO₃). Myös yksi kiilleliuskenäyte (MS 2) ja talkkimagnesiittinäyte (TM 2) ovat viikolla 12 nettohappaman puolella (Kuva 4-4). Negatiivinen nettoalkaliteetti tarkoittaa, ettei näytteessä ole happamoitumista puskuroivia aineita.

Sulfaatin muodostuminen sivukivinäytteissä 12 viikon jaksolla on ollut mustaliuskenäytettä lukuun ottamatta maltillista (Kuva 4-5). Talkkimagnesiitista (TM 2) liukeni sulfaattia alkuhuuhtelussa, mikä on todennäköisesti seurausta kokeita edeltävästä hapettumisesta. Toistaiseksi vain mustaliuskeessa on havaittavissa sulfidimineraalien hapettumista. Mineralogian perusteella (kpl 3.1.1) sulfidimineraaleja esiintyy kuitenkin myös muissa sivukivissä.

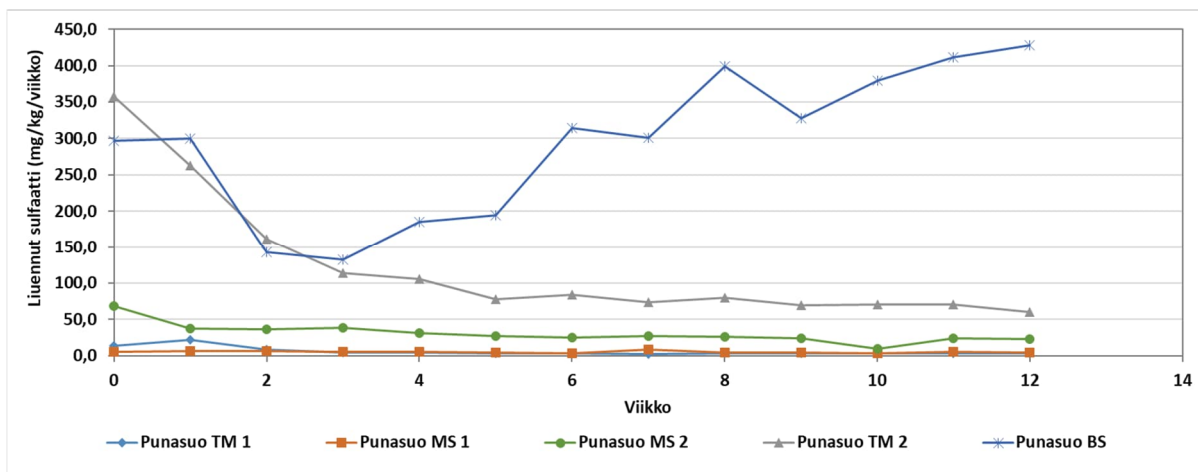
Nikkeliä liukenee erityisesti mustaliuskeesta (Kuva 4-6), minkä lisäksi liukeneminen on suhteellisen suurta myös toisesta talkkimagnesiitinäytteestä (TM 2) ja toisesta kiilleliuskenäytteestä (MS 2). Kokeen 12. viikolla mustaliuskeen loppuliuksen nikkelpitoisuus on 25 mg/l. Vastaavasti talkkimagnesiitin loppuliuksen nikkelpitoisuus on 0,45 mg/l ja kiilleliuskeen 0,073 mg/l.



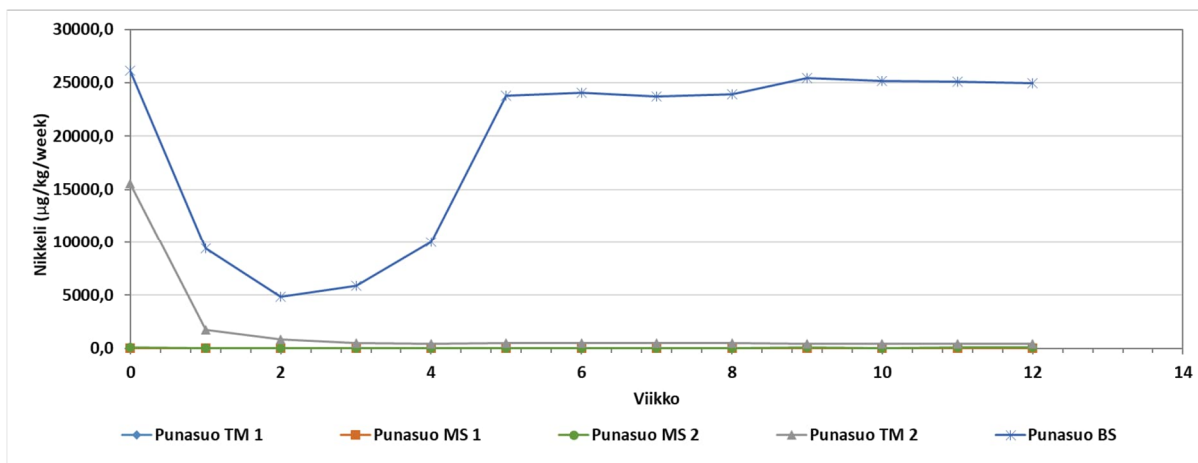
Kuva 4-3. Kosteuskammiokokeen tulokset pH-kehityksen osalta. Mustaliuskeen happamuus (pH) on lähtötilanteessa jo alhainen. Kiilleliuskenäytteen (TM 1) pH laskee tutkimusviikkojen aikana. Muiden sivukivinäytteiden pH-arvo pysyttelee 7–8 välillä 12 viikon tutkimusjaksolla. Kuvaajassa käytetyt Punasuon sivukivinäytteiden lyhenteet ovat TM = talkkimagnesiitti, MS = kiilleliuske ja BS = mustaliuske.



Kuva 4-4. Kosteuskammiokokeen tulokset jäljellä olevan nettoalkaliteetin osalta. Kuvaajassa käytetyt Punasuon sivukivinäytteiden lyhenteet ovat TM = talkkimagnesiitti, MS = kiilleliuske ja BS = mustaliuske.



Kuva 4-5. Kosteuskammiokokoon tulokset liuenneen sulfaatin osalta. Kuvaajassa käytetyt Punasuon sivukivinäytteiden lyhenteet ovat TM = talkkimagnesiitti, MS = kiilleliuske ja BS = mustaliuske



Kuva 4-6. Kosteuskammiokokoon tulokset nikkelin liuenemisen osalta. Kuvaajassa käytetyt Punasuon sivukivinäytteiden lyhenteet ovat TM = talkkimagnesiitti, MS = kiilleliuske ja BS = mustaliuske

4.4 Konseptualisointi

Mallinnetussa skenaariossa avolouhos on laajimmillaan. Louhoksen dimensiot on esitetty kappaleessa 8.3.

Avolouhokseen muodostuvan louhosjärven vedenlaatu muodostuu pohjaveden ja sadeveden ominaisuuksien perusteella. Vedenlaatuun vaikuttaa lisäksi kontakti louhosseinämien rakoilleen ja osin hienoainespitoisen kivimateriaalin kanssa. Seinämille oletetaan kaksi vyöhykettä; räjäytystyön seurauksena voimakkaasti rakoillut, osin hienoainespitoinen vyöhyke sekä ulompi vähemmän rakoillut vyöhyke. Nämä vyöhykkeet huomioidaan louhokseen tulevan veden kanssa reagoivana. Voimakkaasti rakoilleen vyöhykkeen paksuus mallinnuksessa on 0,9 m. Tästä vyöhykkeestä 23 % oletettiin olevan reaktiivista hienoainesta ja 75 % huuhtoutuvan. Syvemmälle kallioon päin ulottuvan vähemmän rakoilleen vyöhykkeen paksuudeksi oletettiin 2,9 metriä. Vähemmän rakoilleesta vyöhykkeestä 5 % oletettiin olevan reaktiivista hienoainesta, josta puolet huuhtoutuu raossa valuvan veden mukana louhosjärveen.

Mustaliuske on muihin kivilajeihin verrattaessa helpommin rapautuvaa ja muodostaa tavallista enemmän murentunutta hienoainesta penkereille räjäytysten seurauksena. Tästä syystä mustaliuskeen reaktiivista massaa nostettiin 5 %.

Avolouhokseen valuvan pohjaveden pitoisuudet huomioitiin siinä suhteessa, jossa kallio- ja maaperäpohjavettä tulee louhokseen. Louhoksen alkaessa täyttyä, kalliopohjaveden osuudeksi arvioitiin 95 % pohjaveden kokonaismäärästä ja maaperän osuudeksi 5 % kokonaismäärästä. Louhosjärven täyttyessä syvän pohjaveden liike hidastuu ja virtaus suunnat palautuvat alueen luonnolliseen, kuivatusta edeltävään tilaan. Täyttyneeseen louhosjärven arvioitiin tulevan pohjavesiä samassa suhteessa eli 50/50. Numeerisen pohjavesimallinnuksen perusteella kaivannaisjätteen läjitysalueilta ei kulkeudu pohjavesiä louhokseen (AFRY Finland Oy 2024b). Läjitysalueiden suotovesiä ei myöskään ohjata ojituksilla Punasuon louhosjärveen.

Avolouhoksen kiviaines (seinämät, hienoaines) hapettuu ja rapautuu. Osa rapautumistuotteista jää muodostuvaan veteen liukoisine ja osa saostuu sekundäärimineraaleina ja/tai pidättyy louhoksessa sorption kautta. Pidättyneitä aineita myös uudelleenliukenee. Kuvassa 4-7 on esitetty louhosjärven konseptualisointi.

Louhosjärven täyttyminen Sulkemisen jälkeinen konseptualisointi



Kuva 4-7. Louhosjärven muodostumisen yksinkertaistettu konseptualisointi.

Jotta louhosjärven kerrostuminen pystyttiin ottamaan huomioon, louhosjärven vedenlaatumallinnus toteutettiin kolmessa eri vaiheessa.

Mallin ensimmäinen vaihe kuvastaa tilannetta, jossa louhoksen kuivatusveden pumppaus on lopetettu ja louhoksen annetaan alkaa täyttyä. Pohjaveden virtaus louhokseen on pohjavesimallin mukaan noin 2 600 m³/d (AFRY Finland Oy 2024a). Louhosseinistä tuleva syöte laskettiin kosteuskammiotulosten perusteella seinien pinta-alan kivilajisuhteiden mukaan. Kosteuskammiokokeen syöte laskettiin vähäisen lähtöaineiston takia poikkeuksellisesti viikkojen 9–12 tulosten keskiarvona. Tähän liittyviä epävarmuuksia on käsitelty luvussa 7.2.3.

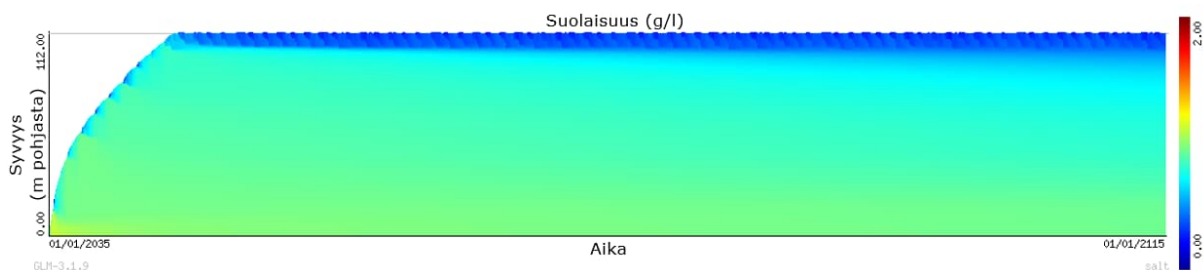
Mallin toinen vaihe edustaa tilannetta, jossa louhos on täyttynyt noin puoleen väliin eli tasolle + 91 m mpy. Paljastuneena oleva osa louhosseinämästä käsiteltiin samoin kuin ensimmäisessä vaiheessa, paitsi nyt reaktiivinen massa on vähentynyt noin kolmasosan. Seinämien pinta-alan kivilajisuhteet määritettiin louhoksen 3D-mallista silmämääräisesti tason +91 m mpy yläpuolelta (Kuva 4-1).

Louhoksen täyttyessä pohjaveden virtaus louhokseen vähenee hiljalleen. Puolessa välissä louhokseen tulee kuitenkin vielä paljon pohjavettä, jota syvä pohjavesi dominoi. Pohjaveden virtaus louhokseen on pohjavesimallin mukaan noin 2 200 m³/d. Mallissa käytettiin samoja suhteita kalliopohjavedelle ja maaperän pohjavedelle kuin ensimmäisessä vaiheessa (95 % kalliopohjavettä, 5 % maaperän pohjavettä).

Mallin viimeisessä vaiheessa louhos on täyttynyt vedellä pohjaveden luontaiselle tasolle asti eli louhoksesta alkaa virrata vettä pois poistouomaa pitkin. Louhosjärvimallin mukaan (AFRY Finland Oy 2024b) täyttyminen kestää noin 9 vuotta. Pohjavesimallin mukaan pohjaveden virtaus on vähentynyt huomattavasti ja louhokseen virtaa täydessä vaiheessa enää noin 680 m³/d. Sadeveden osuus louhokseen tulevasta vedestä on suuri ja sen laimentava vaikutus kohdistuu erityisesti pintaveteen.

Louhosjärven ylivuoto-oja tulee noin tasolle +150 m mpy. Louhoksen ylin yhtenäinen kallioseinä on noin tasolla +147 m mpy, eli louhosjärven vedenpinta asettuu maaperän tasolle. Vedenlaadunmallinnuksessa täyttyneelle louhokselle oletettiin kuitenkin noin 2 metrin korkuinen kuiva kallioseinä. Kosteuskammiokoetuloksista täyttyneelle louhokselle käytettiin viikkojen 9–12 tulosten keskiarvoa. Kokeen alkuosa jätettiin huomioimatta, sillä seinämät ovat rapautuneet jo useamman vuoden ennen toiminnan päättymistä ja louhoksen täyttymistä vedellä.

Lopullisessa pintavedenlaadussa otettiin huomioon kerrostuminen (Kuva 4-8). Louhosjärven suolaisuuskerrostuminen mallinnettiin louhosjärvimallilla, ja saatujen tulosten perusteella eri kerrosten vedenlaatu määritettiin tilanteessa, jossa järvi on stabiloitunut.



Kuva 4-8. Punasuon louhoksen täyttyminen ja kerrostuminen (AFRY Finland Oy 2024c).

4.5 Punasuon louhosjärven vedenlaatu

Mallinnuksen tuloksena tuotettu louhosjärven pintaveden laatu on esitetty taulukossa 4-3. Taulukossa on lisäksi esitetty vertailuksi pohjaveden ympäristölaatunormin (341/2009) pitoisuusrajat. On tärkeä huomata, että raja-arvot on määritetty kuvaamaan pohjaveden laatua, eivätkä siten ole suoraan sovellettavissa louhosjärven vedenlaatuun. Pitoisuus louhosjärven vedenlaatuun ei ole pitoisuus pohjavedessä. Tässä yhteydessä arvoja käytetään vain suuruusluokan hahmottamisen tukena.

Louhosjärven pintavesi on lievästi emäksistä. Pintaveden pH todennäköisesti laskee, mikäli vesi on kosketuksessa ympäröivään maaperään sekä ilman hiilidioksidin vaikutuksesta.

Kohonneina pitoisuuksina esiintyy erityisesti nikkeliä, mutta myös kadmiumia ja kobolttia. Pitoisuudet eivät muiden aineiden osalta ole korkeita, jos verrataan pohjaveden ympäristölaatunormin mukaisiin pitoisuuksiin. Verrattaessa mitattuun maaperän pohjaveden koostumukseen (Taulukko 4-2), nikkelin ja kadmiumin lisäksi antimonin pitoisuus on koholla. Sulfaattipitoisuus läheisissä pohjavesipisteissä on v. 2024 ollut keskimäärin 140 mg/l. Louhosjärven mallinnettu sulfaattipitoisuus on 320 mg/l.

Mallinnuksen tuloksena saatu vedenlaatu tuottaa hyvin todennäköisesti runsaan yliarvion joidenkin aineiden osalta (mm. nikkeli), sillä mallinnuksen tekohetkellä lähtöaineistona toimivien kosteuskammiokoetuloksia oli käytettävissä vasta 12 viikon ajalta. Kokeen alussa näytteistä vapautuu korkeita pitoisuuksia hyvin hienon aineksen reagoidessa ja huuhtoutuessa ärhäkästi. Lisäksi kosteuskammiokoeteissa oleva mustaliuskenäyte edustaa louhoksen korkeimpia nikkelipitoisuuksia, ja antaa näin vääristyneen kuvan mustaliuskeen käyttäytymisestä keskimäärin. Epävarmuuksia on avattu luvussa 7.2.3.

Taulukko 4-3. Täyttyneen Punasuon louhosjärven pintaveden koostumus. Suuruusluokan hahmottamisen tueksi esitetään pohjaveden ympäristölaatuonormin (VNA 341/2009) pitoisuuksia, vaikka nämä eivät olekaan suoraan sovellettavissa louhosjärven vedenlaadulle.

		Louhosjärven pintaveden koostumus	VNA 341 / 2009			Louhosjärven pintaveden koostumus	VNA 341 / 2009
pH		8,0		Mn	ug/l	2 400	
Ag	ug/l	7,9		Mo	ug/l	0,17	
Al	ug/l	81		Na	ug/l	3 500	
As	ug/l	0,0023	5	Ni	ug/l	1200	10
B	ug/l	43		P	ug/l	1,1	
Ba	ug/l	8,2		Pb	ug/l	0,00053	5
Be	ug/l	0,19		Sb	ug/l	0,37	2,5
Ca	ug/l	50 000		Se	ug/l	0,73	
Cd	ug/l	0,93	0,4	Si	ug/l	1 500	
Cl	ug/l	1400	25 000	Sn	ug/l	0,77	
Co	ug/l	12	2	Sr	ug/l	54	
Cr	ug/l	<1 *	10	Th	ug/l	0,18	
Cu	ug/l	0,0077	20	Tl	ug/l	1,6	
F	ug/l	82		U	ug/l	0,34	
Fe	ug/l	8 300		V	ug/l	0,21	
HCO ₃ ⁻	ug/l	66 000		W	ug/l	0,026	
Hg	ug/l	<0,02 *		Zn	ug/l	71	60
K	ug/l	3 900		SO ₄	ug/l	320 000	150 000
Li	ug/l	6,5		NO ₃ -N	ug/l	16	50 000
Mg	ug/l	56 000		NH ₄ -N	ug/l	93	200

* Tasapainomallinnuksen perusteella kaikki kromi ja elohopea pidättyy. Varovaisuusperiaatteen puitteissa ko. aineiden pitoisuutena on esitetty "pienempi kuin" kokonaispitoisuus.

5 Lahnaslammen louhosjärvi

5.1 Konseptualisointi

Lahnaslammen louhoksen louhinta päättyi vuonna 2010 ja louhos on sittemmin täyttynyt vedellä. 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. Lahnaslammen louhosjärveen on johdettu Punasuon kuivatusvedet syksyyn 2024 saakka, ja louhokseen johdetaan edelleen sivukiven läjitysalueelta tulevat käsitellyt suotovedet (vesienkäsittelylaitos toiminnassa osan aikaa), Pikarinpuron vedet sekä tarvittaessa prosessivettä. Louhosjärven vedenlaatua tarkkaillaan vuosittain.

Toiminnanaikana Punasuon louhoksen kuivatuksen seurauksena Lahnaslammen louhosjärvestä suotautuu vettä Punasuon louhokseen. Sulkemisen jälkeen Punasuon louhoksen kuivatus loppuu ja louhoksen annetaan täyttyä vedellä. Sulkemisen jälkeen louhokseen tulevat vesijakeet ovat pohjavesi, suora sadanta, sivukivialueen suotovedet (vain kontaktivedet) sekä louhosjärven valuma-alueen vedet.

Tällä hetkellä sivukivialueen suotovesi puhdistetaan vesienkäsittelylaitoksella ennen veden johtamista Lahnaslammen louhosjärveen. Puhdistamolla vedestä poistuu merkittävä määrä nikkeliä, mutta sulfaattipitoisuuteen puhdistamolla ei ole suurta vaikutusta. Sivukivialueelta Lahnaslampeen

tuleva vesimäärä on merkittävä (yli kolmikertainen) verrattuna luontaisiin vedenlähteisiin (sadanta, pohjavesi ja valuma-alueen pintavalunta). Lisäksi sivukivialueen suotoveden sulfaattipitoisuus on noin 2–3 kertainen verrattuna louhosjärven pintaveteen. Tämän massataseen mukaan louhosjärveen jää suuri osa sulfaattista. Tällä hetkellä Lahnaslampeen tapahtuva sivukiven läjitys sekoittaa louhosjärven vettä, silti sulfaattipitoisuus kasvaa hieman kohti louhosjärven pohjaa. Punasuon sulkemisen jälkeisen louhosjärvimallin mukaan louhosjärvi suolakerrostuu siten, että pohjalla veden kokonaissuolaisuus on noin kolminkertainen verrattuna pintaveteen. Näiden havaintojen ja tulosten perusteella on oletettavaa, että Lahnaslammen louhosjärveen muodostuu suolakerrostunut vesipatja sulkemisen jälkeen tilanteessa, jossa nykyisten louhosjärven johdettavien vesien aiheuttama kuormitus on loppunut ja sivukiven läjitys louhokseen on lopetettu.

Sivukivialue peitetään bentoniittimatolla ja sitä suojaavalla moreenikerroksella useita vuosia ennen kaivoksen sulkemista, joten kaivoksen sulkemisen hetkellä sivukivialueelta tuleva vesimäärä ja haitta-ainekuorma ovat tasoittuneet nykyistä tilannetta selkeästi matalammalle tasolle. Vesimäärä on noin 10 % verrattuna nykyiseen tilanteeseen, jossa moreenipeitto hidastaa kivien hapettumista mutta ei merkittävästi vähennä muodostuvan suotoveden määrää. Tällä muutoksella on merkittävä vaikutus Lahnaslammen louhosjärven koostumukseen, joka pystytään havainnoimaan ennen sulkemistoimien alkamista ja siten vesienkäsittelyn jatkamisen tarve sulkemisen jälkeen arvioimaan. Lisäksi sivukiven peittäminen vähentää louhosjärven johdettavien vesien määrää merkittävästi, jolla on kertautuva vaikutus kuormien pienenemiseen poisvirtaaman pienenemisen kautta.

5.2 Lahnaslammen louhosjärven vedenlaatu

Lahnaslammen louhosjärven sulkemisen jälkeinen pintaveden laatu ja ympäristöön johdettava kuormitus on laskettu hieman eri tavoin kuin Punasuon louhoksen, koska Lahnaslammen louhosjärvi on ollut täyttyneenä jo pidemmän aikaa ja louhosjärven vedenlaadusta on mittaustuloksia. Lahnaslammen louhosjärvestä poistuvan veden laatu ja kuorma laskettiin Lahnaslammen nykyisestä pintaveden laadusta olettaen louhosjärven kerrostuvan samassa suhteessa kuin Punasuon louhosjärvi.

Mallinnuksen tuloksena tuotettu louhosjärven pintaveden laatu on esitetty taulukossa 5-1. Taulukossa on lisäksi esitetty vertailuksi pohjaveden ympäristölaatuunormin (341/2009) pitoisuusrajat. On tärkeä huomata, että raja-arvot on määritetty kuvaamaan pohjaveden laatua, eivätkä siten ole suoraan sovellettavissa louhosjärven vedenlaatuun. Pitoisuus louhosjärvestä ei ole pitoisuus pohjavedessä. Tässä yhteydessä arvoja käytetään vain suuruusluokan hahmottamisen tukena.

Louhosjärven pintavesi on emäksistä. Kohonneina pitoisuuksina esiintyy erityisesti nikkeliä, mutta myös kadmiumia, kobolttia, sinkkiä ja sulfaattia. Pitoisuudet eivät muiden aineiden osalta ole korkeita, jos verrataan pohjaveden ympäristölaatuunormin mukaisiin pitoisuuksiin. Verrattaessa mitattuun maaperän pohjaveden koostumukseen (Taulukko 4-2), myös antimonin, magnesiumin ja typen pitoisuus on koholla.

Taulukko 5-1. Lahnaslammen louhosjärven pintaveden koostumus sulkemisen jälkeen. Suuruusluokan hahmottamisen tueksi esitetään pohjaveden ympäristölaatuunormin (VNA 341/2009) pitoisuuksia, vaikka nämä eivät olekaan suoraan sovellettavissa louhosjärven vedenlaadulle.

Lahnaslammen pintaveden koostumus		VNA 341 / 2009		Lahnaslammen pintaveden koostumus		VNA 341 / 2009	
pH		8,2		Mn	ug/l	2 700	
Ag	ug/l	12		Mo	ug/l	0,5	
Al	ug/l	13		Na	ug/l	5 000	
As	ug/l	0,0036	5	Ni	ug/l	1 300	10
Ba	ug/l	10		P	ug/l	0,29	

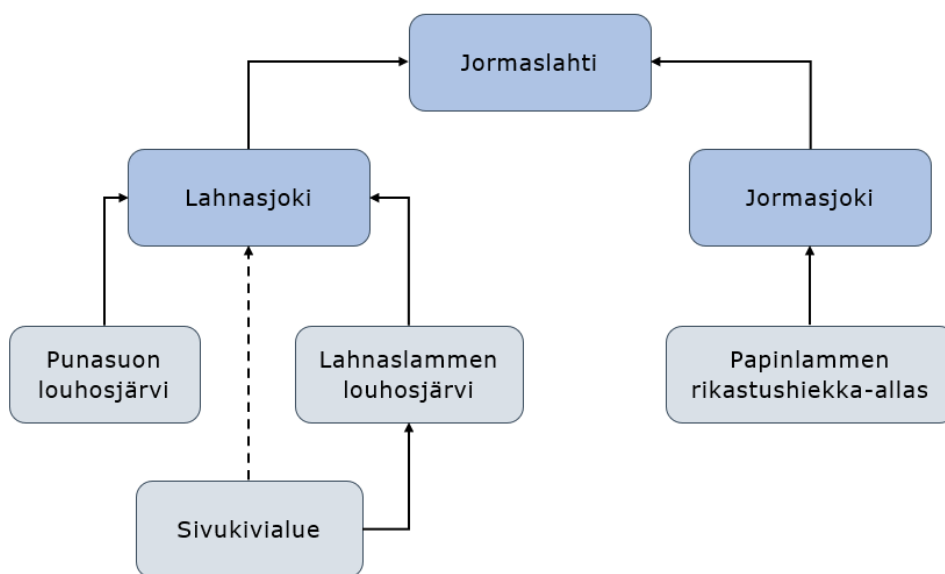


Be	ug/l	0,13		Pb	ug/l	0,00086	5
Ca	ug/l	100 000		Sb	ug/l	7	
Cd	ug/l	2,9	0,4	Se	ug/l	0,25	
Cl	ug/l	3 800	25 000	Si	ug/l	2 600 000	
Co	ug/l	37	2	Sn	ug/l	3,7	
Cr	ug/l	<0,25*	10	Sr	ug/l	210	
Cu	ug/l	0,0066	20	Th	ug/l	0,25	
F	ug/l	-		Tl	ug/l	0,13	
Fe	ug/l	95		U	ug/l	0,45	
HCO ₃ -	ug/l	22 000		V	ug/l	0,13	
Hg	ug/l	<0,005*		Zn	ug/l	360	60
K	ug/l	5 000		SO ₄	ug/l	900 000	150 000
Li	ug/l	10		NO ₃ (N)	ug/l	460	50 000
Mg	ug/l	190 000		NH ₄ (N)	ug/l	310	200

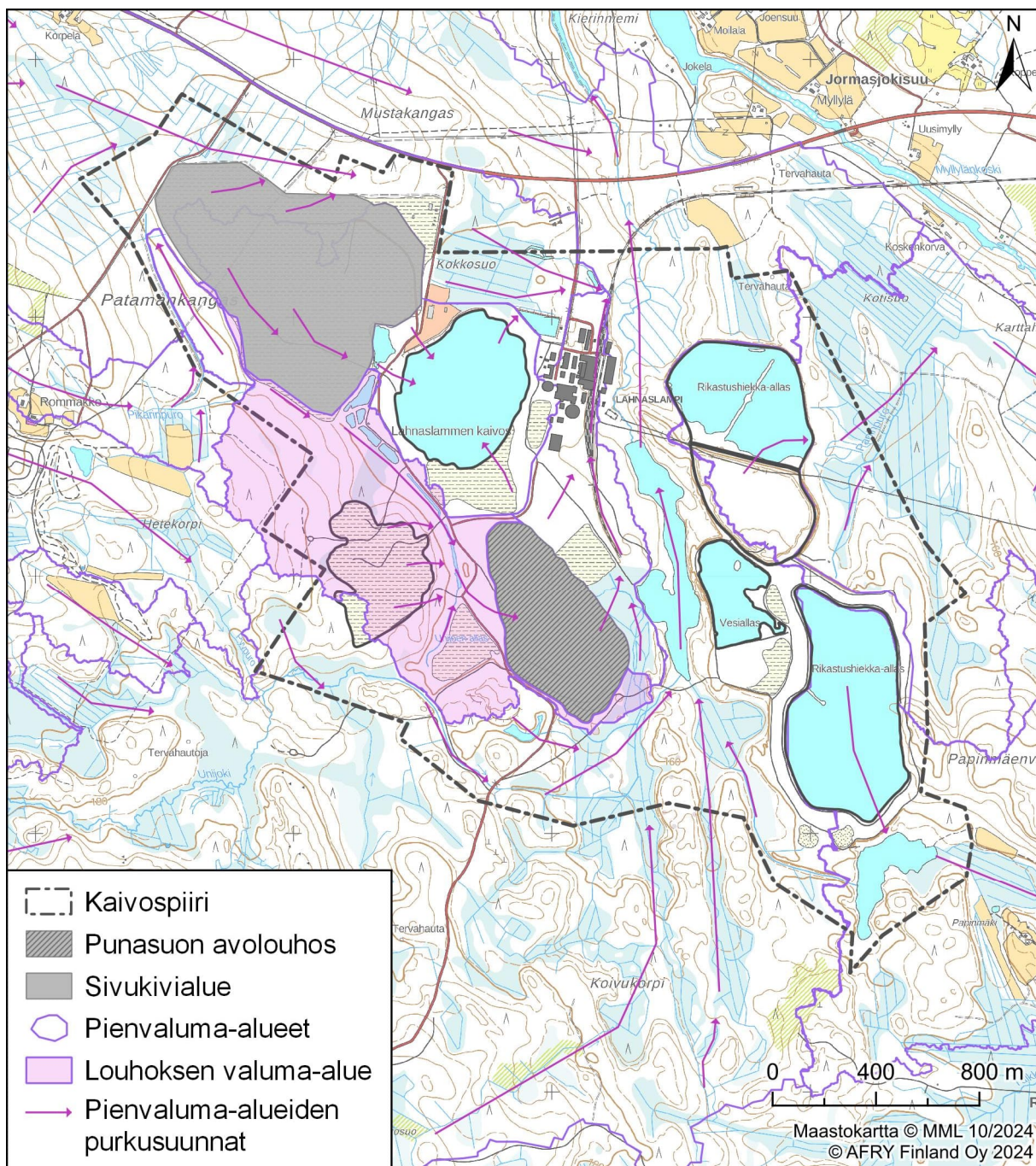
* Tasapainomallinnuksen perusteella kaikki kromi ja elohopea pidättyy. Varovaisuusperiaatteen puitteissa ko. aineiden pitoisuutena on esitetty "pienempi kuin" kokonaispitoisuus.

6 Kuormitus ympäristöön läjitysalueilta ja louhosjärvestä

Kaivostoiminnan päättyessä Punasuon louhoksen kuivattaminen lopetetaan ja louhoksen annetaan täyttyä vedellä. Täyttyneen Punasuon louhosjärven sekä Lahnaslammen louhosjärven ylivuotovedet ohjataan ylivuoto-ojan kautta Lahnasjokeen, josta vedet kulkeutuvat Jormaslahteen. Sivukivialueen suotovedet ohjataan Lahnaslammen louhosjärveen. Papinlammen rikastushiekka-altaan suotovedet ohjataan kohti Jormasjokea, josta nekin kulkeutuvat lopulta Jormaslahteen. Sulkemisen jälkeinen vesien johtaminen on esitetty kuvassa 6-1. Sulkemisen jälkeinen mikroaluma-aluejako ja niiden purkusuunnat kuvassa 6-2.



Kuva 6-1. Sulkemisen jälkeinen vesien johtaminen Elementisin Sotkamon kaivoksella. Katkoviiva kuvaa kuormituslaskennassa esitettyä sivukivialueen kuormitusta. Sivukivialueen vedet kulkevat todellisuudessa Lahnaslammen louhosjärven kautta Lahnasjokeen, mutta kuormitus on esitetty suoraan Lahnasjokeen kohdistuvana kuormituksena vedenlaatumallinnuksen ja kuormituslaskennan helpottamiseksi.



Kuva 6-2. Sotkamon kaivosalueen mikrovaluma-alueet ja niiden purkusuunnat sulkemisen jälkeen.

Sivukiven läjitysalueelta, Lahnaslammen ja Punasuon louhosjärivistä sekä Papinlammen rikastushiekka-altaalta sulkemisen jälkeen ympäristöön kohdistuva arvioitu kuormitus on esitetty taulukossa 6-1.

Taulukko 6-1. Sulkemisen jälkeen vastaanottavaan vesistöön johdettavat kuormat Lahnaslammen ja Punasuon louhosjärivistä, sivukivialueelta sekä Papinlammen rikastushiekka-altaalta.

Kuormituslähde		Lahnaslampi	Punasuo	Sivukivialue	Rikastus- hiekk-allas (lyhyt aika)	Rikastus- hiekk-allas (pitkä aika)
Kuormituksen kohde (välitön / välillinen)		Lahnasjoki / Jormaslahti	Lahnasjoki / Jormaslahti	Lahnaslampi / Jormaslahti	Jormasjoki / Jormaslahti	Jormasjoki / Jormaslahti
pH		8,2	7,9	5,2	8,9	8,7
Ag	kg/a	4,2	2,7	0,03	0,66	0,0029
Al	kg/a	4,2	27	90	0,84	0,16
As	kg/a	0,0012	0,0008	0,0006	3,4	1,8
B	kg/a	0	15	0,12	4,3	1,6
Ba	kg/a	3,4	2,8	0,016	0,72	0,35
Be	kg/a	0,042	0,065	0,006	0,022	0,016
Ca	kg/a	34 000	17 000	380	4680	1020
Cd	kg/a	0,96	0,32	0,078	0,0013	0,0003
Cl	kg/a	1300	460	4,3	318	78
Co	kg/a	12	4,2	0,72	0,78	0,36
Cr	kg/a	<0,084	<0,32	0,0024	0	0
Cu	kg/a	0,0022	0,0026	0,017	<0,0006	<0,0006
F	kg/a	0	28	2,2	9,6	9,6
Fe	kg/a	32	2 800	4,9	3,2	3,2
Alk. as HCO ₃ ⁻	kg/a	7 500	22 000	0,72	15000	14400
Hg	kg/a	<0,0017	<0,0082	0,000039	0*	0*
K	kg/a	1 700	1 300	25	660	420
Li	kg/a	3,4	2,2	0,21	0,84	0,324
Mg	kg/a	64 000	19 000	1700	13200	5460
Mn	kg/a	910	820	19	3,2	0,84
Mo	kg/a	0,17	0,057	0,00019	0,26	0,00078
Na	kg/a	1 700	1 200	12	426	0,340
Ni	kg/a	450	410	22	10,8	2,2
P	kg/a	0,096	0,39	0,00019	1,44	0,84
Pb	kg/a	0,00029	0,00018	0,0000026	<0,0006	<0,0006
Sb	kg/a	2,4	0,13	0,0016	25,8	19,2
Se	kg/a	0,084	0,25	0,0019	0,096	0,078
Si	kg/a	880 000	490	9	216	216
Sn	kg/a	1,3	0,26	0,006	0,186	0,0324
Sr	kg/a	70	18	0,84	7,8	1,5
Th	kg/a	0,084	0,063	0,0016	0,046	0,032
Tl	kg/a	0,042	0,54	0,0003	0,18	0,049
U	kg/a	0,15	0,11	0,00012	0,022	0,00018
V	kg/a	0,042	0,07	0,0003	0,17	0,16
W	kg/a	0	0,0087		0,032	0,032
Zn	kg/a	120	24	23	0,10	0,018
SO ₄	kg/a	300 000	110 000	7800	51600	14400
NO ₃ -N	kg/a	160	5,5	1,3	41	0,78
NH ₄ -N	kg/a	100	31	0,1	7,8	1,6

Taulukko 6-2. Sulkemisen jälkeen kaivannaisjätteiden läjitysalueilta maaperään suotautuva, pohjavedessä kohti Jormaslahtea suuntaava kuorma sivukivialueelta ja Papinlammen rikastushiekka-altaalta.

Kuormituksen lähde		Sivukivialue	Rikastushiekka-allas (lyhyt aika)	Rikastushiekka-allas (pitkä aika)
Kuormituksen suunta		Lahnaslampi / Jormaslahti	Jormasjoki / Jormaslahti	Jormasjoki / Jormaslahti
Ag	kg/a	0,02	0,44	0,0019
Al	kg/a	60	0,56	0,11
As	kg/a	0,0004	2,2	1,2
B	kg/a	0,08	2,9	1,1
Ba	kg/a	0,01	0,48	0,23
Be	kg/a	0,004	0,015	0,011
Ca	kg/a	260	3120	680
Cd	kg/a	0,052	0,0009	0,0002
Cl	kg/a	2,9	212	52
Co	kg/a	0,48	0,5	0,2
Cr	kg/a	0,0016	0*	0*
Cu	kg/a	0,012	<0,0004	<0,0004
F	kg/a	1,5	6,4	6,4
Fe	kg/a	3,3	2,2	2,2
Alk. as HCO ₃ ⁻	kg/a	0,48	10000	9600
Hg	kg/a	0,000026	0*	0*
K	kg/a	17	440	280
Li	kg/a	0,14	0,6	0,2
Mg	kg/a	1100	8800	3640
Mn	kg/a	13	2,1	0,6
Mo	kg/a	0,00012	0,2	0,0005
Na	kg/a	8	284	0,26
Ni	kg/a	15	7,2	1,5
P	kg/a	0,00013	1,0	0,6
Pb	kg/a	0,0000017	<0,0004	<0,0004
Sb	kg/a	0,0011	17,2	12,8
Se	kg/a	0,0012	0,1	0,1
Si	kg/a	6	144,0	144,0
Sn	kg/a	0,004	0,12	0,02
Sr	kg/a	0,56	5,20	1,00
Th	kg/a	0,001	0,03	0,02
Tl	kg/a	0,0002	0,12	0,03
U	kg/a	0,00008	0,015	0,0001
V	kg/a	0,0002	0,11	0,11
W	kg/a	0	0,02	0,02
Zn	kg/a	16	0,07	0,01
SO ₄	kg/a	5200	34400	9600
NO ₃ -N	kg/a	0,88	27	0,5
NH ₄ -N	kg/a	0,068	5,2	1,1

7 Herkkyudet ja epävarmuudet

7.1 Herkkyudet

Käytetty mallinnustapa on pitkälle yksinkertaistettu ja käsittelee mallinnettavat skenaariot tasapainotiloina, joissa hapettumistuotteita muodostuu ja poistuu läjityksestä yhtä paljon.

Jotta tasapainomallinnusta voidaan hyödyntää, on ensin tunnistettava mallinnettavan kohteen pääasialliset saostumisreaktiot. Kaivannaisjätteille käytetään tyypillisesti raudan saostumistuotteita. Tasapainomallinnuksessa sorptio on määritelty yksinkertaistetusti käyttäen läjitysalueella saostuvaa ferrihydraattia pääasiallisena pintareaktioalustana, ja sekundäärisinä sorboivina pintoina götiittiä ja hematiittia. 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.

7.2 Epävarmuudet

Mallin on tarkoitus luoda tietoja, joilla voidaan ohjata suuntaa antavasti tulevaisuuden toimintaa. Epävarmuutta malliin tulee monesta lähteestä. 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.

7.2.1 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 neutraalissa tai lievästi emäksisessä vedessä suhteellisen hyvin liukoisina. Papinlammen rikastushiekka-altaan tapauksessa 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 itsessään tuo malliin epävarmuutta. Kosteuskammiokokeen alkupään tulosten käyttö (SO_4 määrä) vapautuvan raudan määrän lähtötietona todennäköisesti johtaa pitoisuuden yliarvioon. Mallissa käytetty oletus raudan olevan vapautunut pyriitin hapettumisesta on sen sijaan konservatiivinen oletus.

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 suljetumpi 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 kuorma 10 kg luokkaa). Nykyisen suotoveden koostumuksen perusteella tämä olisi yliarvio. Lisäksi on oletettavaa, että sulkemISRakenne tasapainottaa rikastushiekka-altaan olosuhteita ja siten pidentää viipymää ja vähentää haitta-aineiden pitoisuuksia suotovedessä.

Sulkemisen aikaisessa tilanteessa peittorakenne estää hapen pääsyä rikastushiekka-altaalle ja siten 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.

Kosteuskammiokoe 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 ja tällä voidaan arvioida mallinnustulosten suuntaa (Taulukko 2-4). Nikkelin kohdalla kosteuskammiokoe tuloksen 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 kosteuskammiokoe tuloksen käyttö. Arseenin pitoisuuden määrittämisessä sorption vaikutus on selkeästi merkittävin tekijä (toisin kuin nikkelille) ja siten kosteuskammiokokeen mukaan tehtävä syöte vähemmän merkityksellinen. Toisaalta pitää huomioda, 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. Kemialliset reaktiot ovat hitaampia mitä alhaisempi lämpötila on. Vuoden keskilämpötilaksi on määritetty $4,6^\circ\text{C}$, jonka perusteella lämpötilakertoimeksi määritettiin 0,25. Tällä on suora vaikutus kosteuskammiokokeista tulevaan syötteeseen, mutta tähän liittyvä epävarmuus on verrattain pieni. Lämpötilan dramaattisella muutoksella (-5°C) kerroin voisi kasvaa noin 40 % käyttäen oletettua konseptia.

Veden määrien arvioiden 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 kertoiimiin 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 liittyy epävarmuuksia, koska nesteiden sekoittumista ja laimenemiskäyttäytymistä ei mallissa huomioida.

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

Hapettumisen kautta vapautumiseen liittyvien ominaisuuksien lisäksi, pidätyvien alkuaineiden (kuten raskasmetallit) osalta tärkeimmät epävarmuudet liittyvät sorptioon kuten edellä esitetään. Pidätyttömien, mahdollisesti ympäristölle haitallisten aineiden, kuten sulfaatin, karbonaatin ja tyyppi-yhdisteiden määrien epävarmuudet liittyvät laadullisesti eri prosesseihin ja oletuksiin. Tärkeimpinä prosessiveden koostumus sekä poistumiseen liittyvät oletukset.

7.2.2 Sivukiven läjitysalueen suotoveden laatuun liittyvät epävarmuudet

Mallinnuksen lähtöaineistona toimii poikkeuksellisesti sivukivialueen nykyisen suotoveden koostumus. Näin tehtiin siksi, että kosteuskammiokeet ovat jatkuneet vasta vähän aikaa eikä niillä pystytä vielä kuvaamaan olosuhteita pitkän ajan kuluessa. Toisekseen mitatun suotoveden koostumuksen katsottiin olevan helpommin kalibroituissa sulkemisen jälkeiseen tilanteeseen kuin kosteuskammiokeiden tulokset. Tähän liittyy kuitenkin epävarmuuksia, sillä nykyinen mittaustiedot edustaa vain tiettyä ajankohtaa ja sivukivialueella voi olla käynnissä reaktioita, jotka eivät ole vielä saavuttaneet tasapainoa.

Erilaisten peittorakenteiden 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 happivuo arvo on kuitenkin todennäköisesti yliarvio, sillä bentoniittimatton toimiessa optimaalisesti se estää kaasunvaihdon erittäin tehokkaasti.

7.2.3 Punasuon louhosjärven vedenlaatuun liittyvät epävarmuudet

Louhosjärven vedenlaatumallinnuksen tarkkuuteen vaikuttavat useat tekijät. Näistä mainittakoon mm. lähtötiedot (esim. näytteiden valinta ja valittujen menetelmien optimaalisuus), mallinnukseen liittyvät yksinkertaistukset sekä tulevaisuuden ennustamiseen liittyvät puutteet.

Edustavien näytteiden valintaan ja niistä koostettuihin syötteisiin liittyy subjektiivista epävarmuutta. Mallinnuksen lähtöaineistona toimii kiven pitkäaikaiskäyttäytymistä mittaavan kosteuskammiokeiden tulokset. Kairasydämistä saadut kivilähteet edustavat sekä muodostuvaa sivukiveä että louhosseinämiin jäävää kiveä. Kosteuskammiokeissa on ollut näyte kustakin merkittävässä määrin muodostuvasta kivilajista. Kiilleliuskeesta ja talkkimagnesiitista on ollut kaksi näytettä kummastakin, jotta kivilajien sisäiset koostumuserot tulisi huomioitua. Mallinnuksessa lähtöaineiston koostamisessa on pystytty huomioimaan muodostuvien pääkivilajiryhmien määräsuhteet, mutta talkkimagnesiitin ja kiilleliuskeen sisäisten koostumukseltaan erilaisten tyyppien määräsuhteita ei tiedetä (esim. rikkipitoinen kiilleliuske versus ei niin rikkipitoinen kiilleliuske). Toisaalta kosteuskammiokeissa näytteen massa on minimaalinen verrattuna

sivukivialueelle läjitettävän kivilajin kokonaismassaan, eikä niin pieni näytemäärä ole muutenkaan koskaan täydellisesti kyseistä kivilajia edustava.

Kosteuskammiokokeissa mustaliusketta edustaa vain yksi näyte, jonka nikkelpitoisuus on 3400 ppm. Kuningasvesiuutolla mitattu Punasuon louhoksen kairanäytteiden nikkelin kokonaispitoisuus on mustaliuskeessa keskimäärin 800 ppm ja maksimipitoisuus 3100 ppm (näytemäärä = 60 kpl). Kosteuskammiokokeisissa oleva näyte edustaa siis merkittävästi keskimääräistä korkeampia nikkelpitoisuuksia ja todennäköisesti jopa korkeimpia louhoksessa esiintyviä nikkelpitoisuuksia. Mallinnuksen tuloksena saadun Punasuon louhosjärven nikkelpitoisuuden voidaan näin ollen katsoa olevan runsas yliarvio.

Kosteuskammiokokeisiin liittyy myös muita epävarmuuksia. Yleensä louhosjärven vedenlaatumallinnuksessa käytetään tyhjälle ja puolitäydelle vaiheelle kosteuskammiokokeen koko aikajakson tulosten keskiarvoa, jolla pyritään ottamaan huomioon sekä louhoksen pidempään rapautunut yläosa että vasta louhittu pohja, jossa rapautuminen on vasta lähtenyt käyntiin. Tällöin olisi olennaista, että kosteuskammiokokeet olisivat jatkuneet niin pitkään, että kaikki ennustettavissa olevat reaktiot ovat käynnistyneet ja tasaantuneet. Vähimmäiskesto on 20 viikkoa, mutta kokeita jatketaan yleensä ainakin viikolle 40 asti. Mallinnuksen tekohetkellä tuloksia oli kuitenkin käytettävissä vasta 12 viikon ajalta, joista noin viikon 9 kohdalla voidaan havaita sulfidien alkavan hapettua. Kokeen alkuosan (viikot 0–8) tulokset päätettiin jättää huomiotta, jotta sulfidien hapettumisen vähemmän reaktiivinen vaihe ei korostuisi liikaa, ja toisaalta jotta ensimmäisten viikkojen alkuhuuhtelu eli ”first flush” ei korostuisi liikaa. Alkuhuuhtelulla tarkoitetaan kokeen ihan ensimmäisiä viikkoja (viikot 0–2), jolloin kiviläpäytteen pinnassa olevat rapautumistuotteet huuhtoutuvat. Kosteuskammiokokeen alussa on myös tyypillistä, että näytteistä vapautuu korkeita pitoisuuksia hyvin hienon aineksen reagoidessa ja huuhtoutuessa ähräkästi. Alun piikkien jälkeen rapautuminen tyypillisesti laantuu ja asettuu vakiintuneemmalle tasolle, kunnes varsinaiset hapettumisreaktiot käynnistyvät. Mustaliuskeessa erityisesti nikkelin pitoisuudet ensimmäisten 12 viikon aikana ovat hyvin korkeita (n. 20 mg/kg/viikko) ja mallinnuksen tuloksena saatu vedenlaatu tuottaa tälläkin perusteella runsaan yliarvion nikkelin pitoisuudesta louhosjärven pintavedessä.

Näytteiden valinnan lisäksi mallinnuksen tuloksiin vaikuttaa erityisesti reaktiivinen massa. Reaktiivinen massa muodostuu räjäytysten seurauksena rakoilleesta kallioperästä sekä hienoaineksen määrästä (mm. raoissa ja louhoksen penkereillä) ja huuhtoutuvasta osuudesta. Louhosseinämään syntyvän rikkonaisuusvyöhykkeen laajuus ja muodostuvan hienoaineksen määrä riippuu pääosin räjäytys suunnitelmasta (mm. porattujen räjäytysreikien geometria, räjähdysaine ja sen määrä) ja kiven ominaisuuksista (Gazdek et al. 2017). Huuhtoutuvan aineksen määrään puolestaan vaikuttaa louhoksen seinämien kaltevuus, rakoilun geometria ja louhoksen ympäristön hydrogeologiset olosuhteet. Reaktiivisen massan määrittämiseen käytettiin kertoimia, jotka on verifioitu toteutuneissa kohteissa ja joita pyrittiin hienosäätämään kohdealueeseen sopivaksi, mutta mainittujen massa vaikuttavien tekijöiden määrä huomioon ottaen kertoimien valintaan liittyy väistämättä epävarmuuksia.

Mallinnuksessa pyritään aina huomioimaan myös louhokseen tulevan pohjaveden koostumus. Syvän kalliopohjaveden koostumusta ei ole tutkittu alueella. Mallinnuksessa kalliopohjaveden koostumuksena käytettiin louhoksen nykyistä kuivatusveden laatua, koska louhokseen tulee nykyiselläänkin kalliopohjavettä. Toisaalta kuivatusvedessä näkyy myös louhosseinämien rapautumistuotteet, joita mallinnuksessa pitäisi edustaa vain kosteuskammiokokeiden tulos. Näin ollen ko. aineet huomioidaan virheellisesti kahteen kertaan ja mallinnuksen tuloksena saadussa vedenlaadussa ko. aineiden pitoisuudet ovat todennäköisesti yliarvioita. Toisaalta kosteuskammiokokeet ovat jatkuneet vasta vähän aikaa, eikä rapautuminen niissä ole vielä lähtenyt kunnolla käyntiin.

Louhosjärvimallinnus on toteutettu erillisenä geokemian mallina ja louhosjärven kerrostumismallina. Ensin mainitussa tuotettuja syötteitä on muunnettu suolaisuudeksi ja louhosjärven

kerrostumismallista suolaisuudet on muunnettu takaisinpäin pitoisuuksiksi. Tällainen lähestymistapa tuottaa luonnollisesti suuruusluokkatarkastelun mieluummin kuin yksityiskohtaista veden laatuarviota. Louhosjärvimalli eli kerrostumismalli on raportoitu erikseen (AFRY Finland Oy 2024b).

7.2.4 Lahnaslammen louhosjärven vedenlaatuun liittyvät epävarmuudet

Lahnaslammen louhosjärven pintaveden koostumus laskettiin Lahnaslammen nykyisestä pintaveden koostumuksesta olettaen louhosjärven kerrostuvan samassa suhteessa kuin Punasuon louhosjärvi. Mallinnuksessa ei otettu huomioon sulkemisen jälkeen merkittävästi pienenevää kuormitusta sivukivialueelta. Tällä muutoksella on merkittävä vaikutus Lahnaslammen louhosjärven koostumukseen. Sivukivialueen sulkeminen aloitetaan jo varhaisessa vaiheessa ennen koko toiminnan päättymistä, joten sivukivialueelta louhosjärveen johdettavan kuormituksen pienemisen vaikutus nähdään ennen sulkemistoimien alkamista ja siten vesienkäsittelyn jatkamisen tarve sulkemisen jälkeen pystytään arvioimaan.

7.3 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.

8 Syötetiedot ja oletukset

8.1 Rikastushiekka-altaan syötetiedot ja oletukset

Rikastushiekka-altaan suotovedenlaadun mallinnuksessa käytetyt tärkeimmät oletukset ja lähtötiedot esitetään taulukossa 8-1. Tarkemmin lähtötietoja esitetään kappaleessa 0 ja niihin liittyviä epävarmuuksia kappaleessa 7.2.1.

Taulukko 8-1. Rikastushiekka-altaan suotoveden mallinnuksessa käytetyt syötetiedot ja oletukset.

Parametri	Syötetieto tai oletus	Yksikkö
Säätietojen vuosikeskiarvot		
Lämpötila	4,6	°C
Sadanta	626	mm/a
Nettoadanta	313	mm/a
Skaalauskerroimet		
Lämpötilakerroin	0,25	Arrheniuksen yhtälön mukaan
Papinlammen rikastushiekka-alueen peittorakenne		
Tiiviskerroksen keskimäärinen kosteus	85	% (mallinnus)
Hapenläpäisy (lakialue ja rinteet)	3	mol/m ² /vuosi (mallinnus)
Pintavaluntaa (lakialue/rinteet)	10/30	%
Papinlammen rikastushiekka-alueen tekniset tiedot		
Pinta-ala (suurin laajuus)	40	ha
Pinta-ala (laki sulkemisvaiheessa)	11,8	ha
Rikastushiekan tilavuus (sulkeminen)	9,9	Mm ³
Läjityksen määrä	310 000	m ³ /vuosi
Läjityksen kuiva-ainepitoisuus	70	%
Rikastushiekan tiedot		
Haitta-aineiden vapautuminen	viikkojen 9-12 keskiarvo	mg/kg/vko
Arseenin vapautuminen	NAG liuoksesta laskettu	mg/kg/vko
houkosveden koostumus (prosessiveden ja sadeveden sekoitus)	noin 47:53	prosessivesi/sadevesi

8.2 Sivukiven läjitysalueiden syötetiedot ja oletukset

Sivukiven läjitysalueiden mallinnuksessa käytetyt syötetiedot ja oletukset on esitetty taulukossa 8-2. Lämpötila- ja sadantatietoina on käytetty havaintoaseman Kuolaniemi keskimääräisiä arvoja vuosina 2010–2023 (Ilmatieteenlaitos 2024). Haihdunnan on oletettu olevan 50 % sadannasta.

Taulukko 8-2. Sivukiven läjitysalueiden suotoveden mallinnuksessa käytetyt syötetiedot ja oletukset.

Parametri	Syötetieto tai oletus	Yksikkö
Säätietojen vuosikeskiarvot		
Lämpötila	4,6	°C
Sadanta	626	mm/a
Skaalauskerroimet		
Lämpötilakerroin	0,25	Arrheniuksen yhtälön mukaan
Raekokokerroin	0,2	
Huuhtoutumiskerroin	0,2	
Sivukivialue		
Pinta-ala	60	ha
Suotautuminen (bentoniittimatto)	18 870	m ³ /a
Sivukiven kokonaismassa	29 000 000	t
Kokonaismassa, Mustaliuskeet	17 000 000	t
Kokonaismassa, Kiilleliuskeet	6 000 000	t
Kokonaismassa, Serpentiinibreksia	95 000	t
Kokonaismassa, Talkkimagnesiitti	4 600 000	t
Kokonaismassa, Karsikivet	1 400 000	t
Peittokerroksen happivuo	3	mol/m ² /a

8.3 Louhosjärven syötetiedot ja oletukset

Louhosjärven vedenlaadun mallinnuksessa käytetyt syötetiedot ja oletukset on esitetty taulukossa 8-3.

Taulukko 8-3. Punasuon louhosjärven vedenlaadun mallinnuksessa käytetyt syötetiedot ja oletukset.

Parametri	Syötetieto tai oletus	Yksikkö
Säättietojen vuosikeskiarvot		
Lämpötila	4,6	°C
Sadanta	626	mm/a
Skaalauskerroimet		
Lämpötilakerroin	0,25	Arrheniuksen yhtälön mukaan
Erittäin rakoillut vyöhyke	0,9	
Raekokokeroin	0,2	
Huuttoutumiskerooin	0,75	
Rakoillut vyöhyke	2,9	
Raekokokeroin	0,05	
Huuttoutumiskerooin	0,5	
Mustaliuksen hienoaineslisä	+5 %	
Louhosjärvi (täyttynyt vedellä)		
Pinta-ala	26	ha
Syvyys kallionpinnasta	120	m
Paljasta kalliopintaa	1	m
Kuivan louhosseinämän 3D pinta-ala	7 200	m ²
Poistouoman kautta poistuva vesi	1 900	m ³ /vrk
Seinämän kivilajien reaktiivinen massa (louhosjärvi täyttynyt vedellä)		
Kiilleliuske	2 100	t
Mustaliuske	1 600	t
Talkkimagnesiitti	80	t
Serpentiinibreksia	160	t

8.4 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 olettamuksia:

- 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.

9 Viitteet

AFRY Finland Oy 2024a. Elementis Minerals B.V. Branch Finland. Rikastushiekka-altaan peittokerroksen mallinnus. 12.11.2024

AFRY Finland Oy 2024b. Elementis Minerals Oy. Punasuon louhoksen numeerinen pohjavesimallinnus 2024.

AFRY Finland Oy 2024b. Punasuon avolouhoksen kehitys louhosjärveksi kaivostoiminnan lopettamisen jälkeen – louhosjärvimallinnus 25.11.2024

Barnes, A., Bowell, R., Warrender, R., Sapsford, D., Sexsmith, K., Charles, J., Declercq, J., Santonastaso, M. ja Dey, B. 2015. Comparison between long-term humidity cell testing and static Net Acid Generation (NAG) tests: Potential for NAG use in preliminary mine site water quality predictions. CARD-IMWA 2015.

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 2024a. Compiled Static Testing. Elementis Minerals B.V. Branch Finland. 5.8.2024

Geochemic Ltd 2024b. ASTM D 5744-18 Humidity Cell Testing – Issue 2. Elementis Minerals B.V. Branch Finland. 7.10.2024

Ilmatieteenlaitos 2024. Havaintojen lataus. Tiedot ladattu 10/2024.
<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>

Kamei, G. ja Ohmoto, H. 1999. Mechanism of pyrite oxidation revealed from in-situ measurements of DO, Eh, and pH of solutions in a closed system. Proceedings of 9th annual V.M. Goldschmidt Conference, Cambridge, MA, August 22-27, 1999.

MEND 1997. Short course for prediction models for acid rock drainage. 4th International conference on acid rock drainage. Vancouver 1997.

MEND 2006. Update on Cold Temperature Effects on Geochemical Weathering. Report prepared by SRK Consulting. MEND Report 1.61.6

MEND, 2009. Prediction manual for drainage chemistry from sulphidic geologic material. Report 1.20.1. December 2009

Nicholson, R.V., Gillham, R.W. ja Reardon, E.J., 1988. Pyrite oxidation in carbonate-buffered solution: 1. Experimental kinetics. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 52, 1077-1085.

Nicholson, R.V. ja Scharer, J.M. 1998. Laboratory studies of pyrrhotite oxidation. MEND report 1.21.2.

Nordstrom D. K. 2008. Acid rock drainage and climate change. *Journal of Geochemical Exploration* 100, 97-104.

Petrolab 2024. Report AMC 8102c. Mineral abundance. 19.8.2024

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.

Punasuon avolouhoksen kehitys louhosjärveksi kaivostoiminnan lopettamisen jälkeen – louhosjärvimallinnus

Elementis Minerals B.V. Branch Finland

Projektinumero: 101023791

Päivitetty 14.5.2025

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	2
1 Johdanto	3
2 Konseptuaalinen malli	4
3 Laskentamalli	6
4 Lähtötiedot	7
4.1 Säättiedot	7
4.2 Topografia, hydrologia ja louhosgeometriatiedot	7
5 Punasuon louhosjärven laskentaskenaariot	8
5.1 Tulo- ja lähtövirtaamat.....	9
5.2 Valuma-alue	14
6 Laskennan tulokset	15
Louhosjärven täyttyminen	15
6.1 Oletus skenaario (yläpuolista valuma-aluetta ei rajoitettu)	15
6.2 Vaihtoehtoinen skenaario (rajoitettu yläpuolinen valuma-alue).....	19
7 Johtopäätökset	24
Lähdeluettelo.....	25



Tiivistelmä

Työssä tarkasteltiin Elementis Sotkamon Punasuon avolouhoksen kehitystä kaivostoiminnan ja louhosta kuivattavan pumppauksen lopettamisen jälkeen. Tarkastelussa käytettiin tarkoitukseen soveltuvaa mallinnusohjelmaa sekä alueelta saatavilla ollutta meteorologista, hydrologista ja topografista aineistoa.

Mallinnuksen mukaan avolouhos täyttyy sulkemisen jälkeen noin yhdeksässä vuodessa. Avolouhoksen täyttymisen jälkeenkin pinnankorkeudessa havaitaan jonkin verran vaihtelua, joka liittyy sadannan vaihteluun, vuodenaikaisvaihteluun ja keväisiin sulamisvesiin. Louhosjärveen muodostui mallinnuksessa havaittava kerrostuneisuus suolaisuuden suhteen. Suolaisuuskerrostuneisuus estää vuotuisen täyskierron, minkä seurauksena louhosjärven pohja pysyy vähähappisessa tai hapettomassa tilassa. Täyskierron estyminen esti myös lämpötilan vuotuisen sekoittumisen järvessä, ja siten kesäaikainen pintaveden lämpeneminen ei vaikuttanut syvemmälle järveen.

1 Johdanto

Tässä raportissa on arvioitu Elementisin Punasuon avolouhoksen täyttymistä (louhosjärven muodostumista) ja mahdollisen suolaisuuskerrostumisen muodostumista järveen. Arviointi on tehty 1D-mallin avulla. Lähtötietoina mallinnuksessa on käytetty louhoksen geometriatietoja sekä alueen topografisia, hydrologisia ja meteorologisia tietoja. Mallinnuksen perusteella on arvioitu louhosjärven täyttymisnopeutta sekä veden lämpötila- ja suolaisuuskerrostumista.

Kerrostumisen perusteella voidaan arvioida, muodostuuko louhosjärven pohjalle hapeton tila, mikä on olennaista sulfidimineraalien muodostumiseksi louhosjärven vedestä. Samalla voidaan arvioida järven täyttymisen jälkeen järvestä ulos virtaavan veden laatua. Saatavilla olevien lähtötietojen tarkkuustason vuoksi arviointi on alustava, mutta sitä on mahdollista tarkentaa lähtötietojen tarkentuessa.

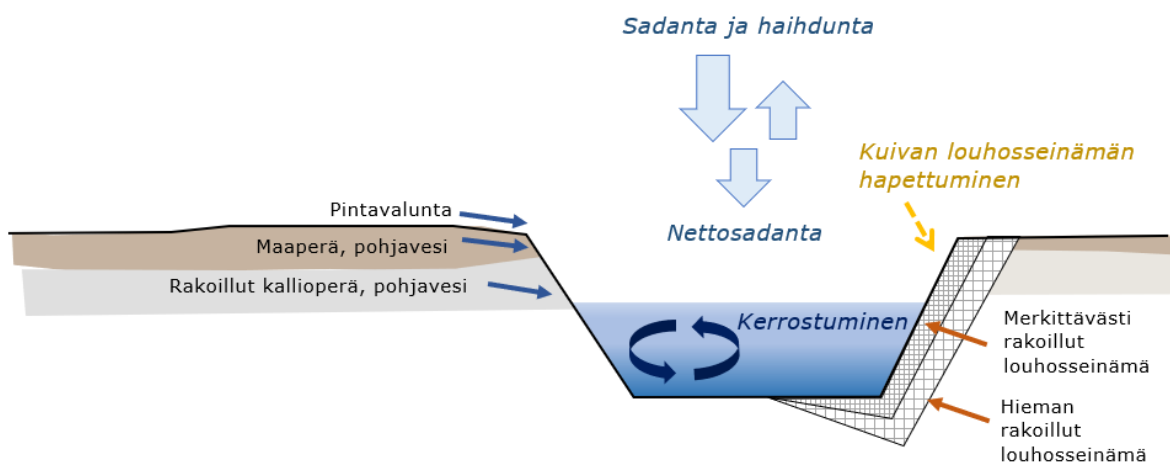
Olennaiset louhosjärvien tilaan vaikuttavat tiedot liittyvät louhosjärveen valuvan pinta- ja pohjaveden määrään ja laatuun sekä muualta kaivosalueelta esimerkiksi läjitysalueiden kautta järviin tulevan veden laatuun ja määrään. Tulovesien määrä ja laatu on nyt arvioitu säätietojen ja geokemiallisten ja hydrologisten mallinnusten avulla. Kun kaivoksella tehdään louhinnan edistyessä mittauksia, on näiden tulosten perusteella jatkossa mahdollista tarkentaa koko mallinnusketjua.

Tämän raportin alussa esitellään lyhyesti louhosjärviin ja niiden mallinnukseen yleisesti liittyviä ilmiöitä ja mallinnukseen käytettyä ohjelmistoa. Punasuon louhosjärven mallinnuksen vaiheet ja tulokset esitellään edempänä kappaleissa 4–7.

2 Konseptuaalinen malli

Louhosjärvien vesitasetta voidaan kuvata yleisellä, konseptuaalisella mallilla. Tällaisella mallilla järveen tulevat ja siitä lähtevät vedet on helppo tunnistaa. Punasuon louhoksen sulkemisen jälkeinen konseptuaalinen malli on esitetty kuvassa 2-1.

Louhosjärven täyttyminen
Sulkemisen jälkeinen konseptualisointi



Kuva 2-1. Louhosjärven konseptuaalinen malli.

Louhosjärviin päätyy vettä sadannasta, pintavalunnasta ja pohjavesivalunnasta. Kun louhos on osittain tyhjä, sadannasta osa osuu louhoksen seinämiin ja valuu tätä kautta järveen tai haihtuu. Pintavalunta voi päätyä järveen joko louhoksen seinämää pitkin valumalla tai suotautumalla louhosta ympäröivän kallion rikkonaisuusvyöhykkeen kautta. Pohjavesivalunta päätyy louhokseen maaperän ja kallion rikkonaisten vyöhykkeiden kautta valumalla rikkonaisuusvyöhykkeessä, louhoksen seinää pitkin tai purkautumalla järveen vedenpinnan tason alle. Pohjavesivalunnan määrä ja laatu vaihtelevat louhosjärven pinnankorkeuden mukaan. Läjitysalueiden läpi suotautuva vesi ohjataan usein louhosjärveen, jossa sen ajatellaan osittain puhdistuvan metalleista ja sulfaatista järvessä sopivissa olosuhteissa tapahtuvan sedimentaation ja pelkistymisreaktioiden seurauksena.

Louhosjärvistä poistuu vettä haihdunnan, pohjavesivalunnan, ulosvirtaaman ja ylivalunnan kautta. Järvestä poistuva pohjavesivalunta riippuu järven pinnantasosta, ja se alkaa yleensä vasta, kun järvi on lähes täyttynyt. Ulosvirtausta tapahtuu vasta, kun järvi on täyttynyt kynnystasolle asti ja ylivaluntaa, jos järvi on täyttynyt ääriään myöten. Ulosvirtaama ja ylivalunta tapahtuvat aina järven pintakerroksesta.

Louhosjärvissä tapahtuu sääolosuhteista johtuvaa vuosittaista lämpötilakerrostumista. Talvella louhosjärvet jäätyvät kuten luonnonvedetkin. Järveen voi pohjan kautta kulkeutua



kalliosta ja kalliopohjavedestä lämpöä, joka voi joissain tilanteissa vaikuttaa veden kerrostuneisuuteen jonkin verran.

Louhosjärvissä voi tapahtua joidenkin tulovesien korkeasta suolapitoisuudesta tai itse louhosseinämän vaikutuksesta johtuen suolaisuuden kerrostumista, ts. järviin muodostuu veden tiheyserosta aiheutuva suolapitoisuuden kerrosraja, halokliini. Halokliini voi olla ajoittainen tai pysyvä. Pysyvä halokliini estää louhosjärven täyskierron (pystysuuntaisen sekoittumisen) keväällä ja syksyllä. Tällöin halokliinin alapuolella oleva vesi ei sekoitu pintaveden kanssa ja ajautuu yleensä ennen pitkää hapettomaan tilaan. Pysyvän halokliinin muodostuminen voi olla etenkin rikkipitoisia mineraaleja sisältävillä alueilla tavoiteltu tila, sillä halokliinin alapuolella vesi pysyy hapettomana, jolloin sopivissa olosuhteissa sulfaattien pelkistyminen sulfideiksi voi olla mahdollista, mikä poistaa näitä aineita louhosjärven vedestä.

3 Laskentamalli

Louhosjärven kerrostumista arvioitiin käyttäen vapaasti saatavilla olevaa GLM-järvimallia (General Lake Model, versio 3.1.9). GLM on UWassa (University of Western Australia) kehitetty ja ylläpidetty avoimen lähdekoodin mallinnusohjelma (GLM 2024, Hipsey ym. 2019).

GLM-malli on yksidimensioinen, jolloin mallissa vaakasuunta oletetaan homogeeniseksi pitoisuuksien ja lämpötilan suhteen, mutta korkeussuunnassa lämpötila ja pitoisuudet voivat vaihdella. Pienille ja syville järville, jollaisia louhosjärvet usein ovat, tämäntyyppinen laskentamalli soveltuu hyvin. Malli sisältää myös veden pinnankorkeuden sekä jään ja lumen laskennan, minkä ansiosta se soveltuu täyttyvän louhosjärven laskentaan hyvin myös Suomen ilmasto-olosuhteissa.

Lähtötietoina malliin tarvitaan säätiedot (sadanta, lämpötila, säteily, tuuli, pilvisyys ja ilmankosteus), tulevien vesien lämpötila- ja pitoisuustiedot sekä vesimäärät, poistuvan pohjaveden ja pois pumpatun veden määrät ja mallinnettavan järven pohjageometria (syvyys- ja pinta-alatiedot). Lähtötietojen avulla malli laskee järven vesitaseen sekä lämpötila- ja suolaisuuskerrostumisen. Tulokset 1D-malleista esitetään yleensä aikariippuvaisena profiilidatana, eli esim. järven lämpötila esitetään pystyakselilla värin avulla, ja aika etenee vaakasuunnassa vaaka-akselilla. Myös lähtevän virtaaman sekä järven eri syvyystasojen lämpötila- ja pitoisuustietoja voidaan tulostaa aikasarjakuvin.

4 Lähtötiedot

4.1 Säätiiedot

Säätietoina pyritään käyttämään mahdollisimman läheltä mallinnettavaa kohdetta olevaa mittausaineistoa. Mallin säätiiedot ja lyhytaaltainen säteilydata poimittiin ECMWF:n ERA-interim reanalysis -datasta (Berrisford ym. 2011) koordinaattipisteestä P 64°, I 28°. ERA-Interim datan lämpötila- ja tuulitiedot vastaavat aikaisemman kokemuksen mukaan hyvällä tarkkuudella paikallisten sääasemien mittaamia tietoja. Sadanta haettiin Ilmatieteen laitoksen Sotkamon Kuolaniemen havaintoasemalta (Ilmatieteen laitos 2024). Mallissa käytettiin säätiietoja 14 vuoden ajanjaksolta (2010–2023). Pidemmälle mallinnusjaksolle laskettaessa säätiiedot on toistettu siten, että vuoden 2024 tietoina on käytetty vuoden 2010 tietoja ja niin edelleen.

4.2 Topografia, hydrologia ja louhosgeometriatiedot

Työssä käytettiin alun perin tanskalaisen Aarhusin ja yhdysvaltalaisen Duken yliopistotutkijoiden kehittämää kaupallista SCALGO Live -ohjelmaa louhosjärven ympäristön pienvaluma-alueiden määrittämiseksi. Pienvaluma-aluemallinnuksessa luotiin ensin mallinnettu uomaverkosto korkeusmallin ja laskettujen virtaussuuntien avulla. Uomaverkoston ja maastonmuotojen perusteella laskettiin määritellylle purkupisteelle valuma-alue. (SCALGO Live 2024)

SCALGO Liven pienvaluma-alueiden mallinnus Suomessa perustuu pääosin Maanmittauslaitoksen (MML) 2 m korkeusmalliin (KM2), jonka ruutukoko on 2 m x 2 m. Poikkeuksena Helsingin ja Lahden alueilla käytetään kaupunkien tarjoamaa tarkempaa 1 m korkeusmallia. Niiltä osin Suomea, jota KM2 ei kata, käytetään MML:n 10 m korkeusmallia (KM10). KM2:n aineisto on tuotettu laserkeilausaineistosta, jonka pistetiheys on vähintään 0,5 pistettä neliömetrille. Korkeusmallin lähtötietojen laserkeilausaineiston koostaminen aloitettiin vuonna 2008 ja korkeusmallia päivitetään edelleen tarvittaessa (jos äskettäin koostetussa laserkeilausaineistossa havaitaan aiempaan aineistoon verrattuna merkittäviä muutoksia maanpinnan korkeudessa). Aineisto on ETRS89-TM35 FIN -koordinaatistossa. (SCALGO Live 2024, Maanmittauslaitos 2024)

SCALGO Liven avulla tehdyn valuma-aluejaon jälkeen virtaussuuntia verrattiin maasto- ja ortokarttatietoihin, ja tuloksia korjattiin tarpeen mukaan käsin. Tyypillisesti tierummut sekä puroja ja jokia ylittävät sillat, jotka eivät näy korkeusmallissa, joudutaan korjaamaan laskentaan manuaalisesti. Myös olemassa olevat matalat ja pienet ojastot saattavat jäädä 2 m resoluutiossa havaitsematta, jolloin virtaussuuntia korjataan käsin.

Louhosgeometria määritettiin louhossuunnittelun CAD-aineistoista. Louhosgeometrialla on vaikutusta järven täyttymisnopeuden lisäksi myös veden laatuun, koska geometriset tekijät vaikuttavat siihen, kuinka nopeasti vedenpinta järvessä nousee ja käänteisesti, kuinka kauan louhosseinämät ovat alttiina hapettumiselle.

5 Punasuon louhosjärven laskentaskenaariot

Tarkasteltavalla alueella on kaksi louhosjärveä, joista ensimmäinen (Lahnaslampi) on nykyisellään jo täyttynyt ulosvirtaustasoon saakka. Tässä työssä tarkasteltiin alueen toista louhosjärveä Punasuota, joka kehittyy suunnitellun avolouhokseen toiminnan ja kuivatusvesien pumppauksen lopetuksen jälkeen. Louhosjärvimalli laadittiin vuoden 2035 tilanteeseen. Kyseinen mallinnusskenaario valittiin, koska Papinlammen rikastushiekka-allas on vuonna 2035 oletettavasti maksimikorossa +190 m mpy, minkä jälkeen toiminta alueella päättyy, ellei kaivosyhtiö saa lupaa rikastushiekan läjitystilavuuden kasvattamiseksi. Punasuolla on malmia myös vuoden 2035 jälkeen.

Punasuon louhosjärven keskeiset dimensiot on esitetty taulukossa 5-1. Louhosjärven sijoittuminen kaivospiirin alueelle on esitetty kuvassa 5-1.

Taulukko 5-1. Punasuon avolouhoksen mitat louhosjärven muodostuttua, vedenpinnan maksimitasolla.

Parametri, yksikkö	Arvo
Tilavuus, m ³	11 800 000
Pinta-ala, m ²	217 000
Pituus, m	834
Leveys, m	455
Syvyys, m	112
Pohja, m mpy	35
Reuna, m mpy	147



Kuva 5-1. Punasuon avolouhoksen eli sulkemisen jälkeen muodostuvan louhosjärven ja sivukivialueen sijainti Elementisin kaivosalueella Sotkamossa.

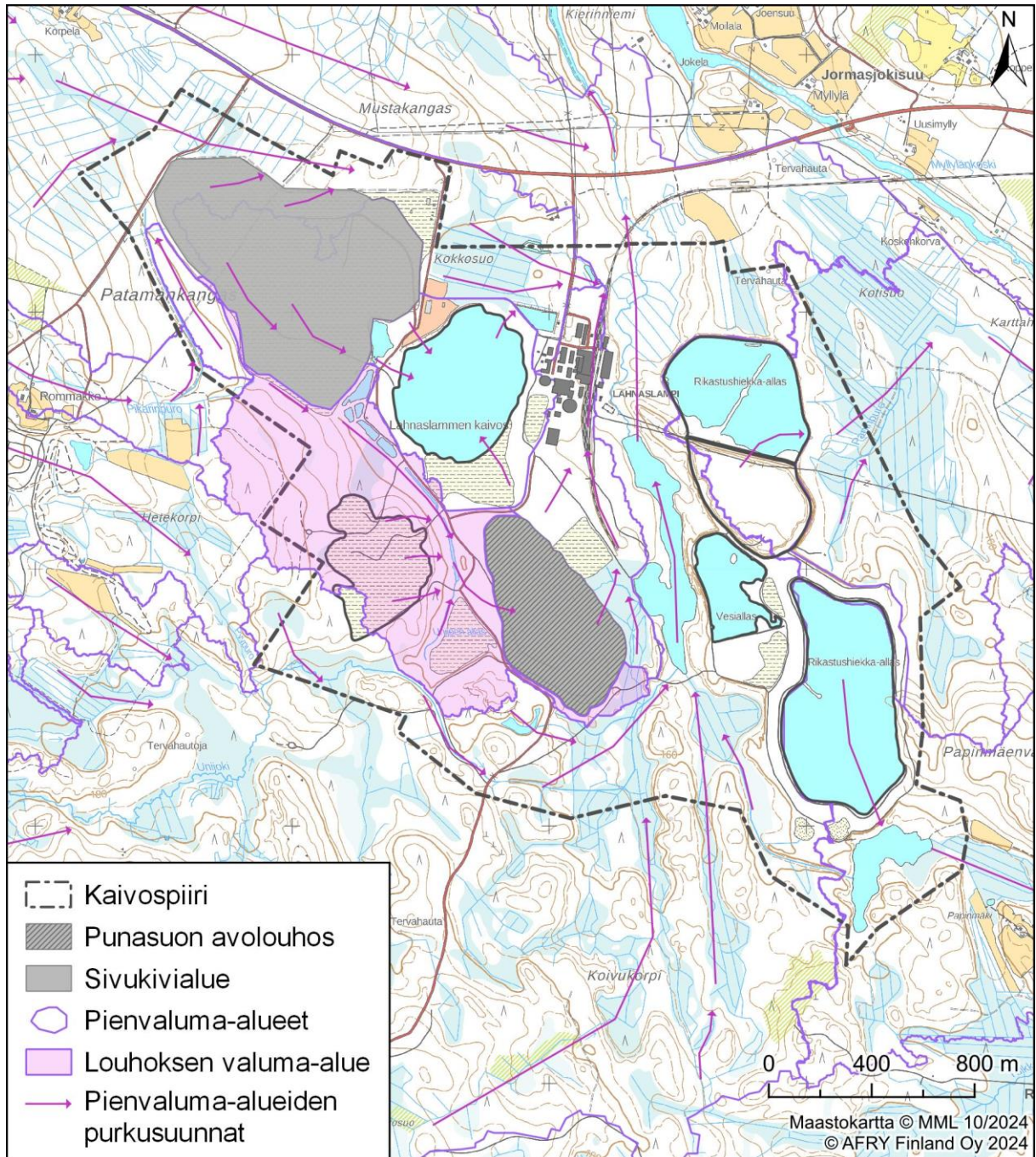
5.1 Tulo- ja lähtövirtaamat

Louhosjärveen tuleva vesi jakautuu suoraan sadantaan, pintavaluntaan lähialueelta, louhosseinämiä pitkin tapahtuvaan valuntaan sekä pohjaveden. Pinta- ja pohjavedet sekä sadanta päätyvät louhosjärveen täyttymisvaiheessa vähintään osittain louhoksen seinämiä, tai seinämän rikkonaisuusvyöhykettä pitkin. Louhoksen täyttyttyä virtaama voi valua louhokseen suoraan. Pohjaveden virtaaman määrä riippuu louhosjärven



pinnankorkeudesta. Tässä työssä oletettiin riippuvuuden olevan lineaarinen veden pinnan korkeustason suhteen. Valumat riippuvat kullekin valuman osalle vettä tuottavan valuma-alueen koosta, sadannasta ja haihdunnasta.

Louhoksen pintavaluma-alue on mallinnuksessa jaettu kahteen osaan: yläpuoliseen valuma-alueeseen ja louhosseinämäalueeseen. Yläpuolinen valuma-alue on arvioitu korkeusmallista lasketun valumaverkon perusteella, eli mukana on alue, joka viettää louhokseen päin ja jonka vedet on suunniteltu ohjattavaksi louhokseen ojituksilla. Yläpuolisesta valuma-alueesta on vähennetty louhosseinämäalue ja louhos, joita on käsitelty omina jakeinaan. Sivukivialueen suotovesiä tai pintavaluntaa ei kulkeudu Punasuon louhosjärveen. Louhosjärven luontainen yläpuolinen valuma-alue on esitetty kuvassa 5-2 violetilla väritäytöllä.



Kuva 5-2. Punasuon avolouhoksen sijainti suhteessa pienvaluma-alueisiin. Louhoksen luontainen valuma-alue on esitetty kuvassa violetilla väritäytöllä.

Taulukko 5-2. Louhosjärven valuma-alueiden pinta-alat.

Alue	Pinta-ala m ²
Avolouhos (maanpinnan taso)	249 000
Yläpuolinen valuma-alue, luontainen	834 000
Yläpuolinen valuma-alue, rajoitettu	79 000
Louhosseinämäalue	10 300

Pintavesivirtaamien määrinä on käytetty SYKEN Vesistömallijärjestelmän laskettua valumaa 14 vuoden ajanjaksolta (2010–2023) (SYKE 2024). Pidemmälle mallinnusjaksolle laskettaessa valuma on toistettu siten, että vuoden 2024 tietoina on käytetty vuoden 2010 tietoja ja niin edelleen. Pintavesien lämpötila rajattiin laskennassa positiiviseksi (vähintään 0,1 °C ja enintään 10 °C). Pintavesivirtaamien määrät on arvioitu eri valuma-alueiden pinta-alan perusteella. Keskimääräinen valuma alueella SYKEN Vesistömallijärjestelmän aineiston perusteella oli noin 14,88 l/s/km².

Pintavalunnan suolaisuusarvon (100 mg/l) arvioinnissa hyödynnettiin alueen maaperäpohjavesiputkien mittaustuloksia.

Louhosseinämäalueen koko on laskettu siten, että louhoksen reunasta on otettu 5 m leveä vyöhyke, josta vesien on arvioitu valuvan louhosseinämän rikkonaista vyöhykettä pitkin louhokseen. Louhosseinämän rikkonaisen vyöhykkeen tilavuus ja reaktiivinen pinta-ala on huomioitu tulevan veden koostumusta määrittäessä. Alueiden pinta-alat on esitetty taulukossa 5-2.

Louhosseinämäalueen vesien on arvioitu valuvan louhosjärveen hapellisissa olosuhteissa kokonaan irtomaakerrosten tai kallion rikkonaisuusvyöhykkeen läpi. Näiden vesien suolaisuus on saatu louhoksen vedenlaatumallinnuksesta, joka on esitetty sulkemissuunnitelman liitteessä 2 (AFRY Finland Oy 2024). Mallinnuksessa on huomioitu louhosseinämävesien määrän ja koostumuksen muutokset louhosjärven vedenpinnan kohotessa.

Pohjavesien on arvioitu päätyvän louhosjärveen pääasiassa järven pinnan alapuolelle, ja niiden pitoisuuden on arvioitu vastaavan louhosseinämävesien koostumusta (AFRY Finland Oy 2024, sulkemissuunnitelman liite 2). Eri kalliovyöhykkeiden kautta tulevia pohjavesiosuuksia ei ole mallinnuksessa eroteltu, mutta eri korkeustasojen vaikutus pohjavesigradiettiin on huomioitu. Mallinnuksessa louhokseen valuvan pohjaveden määrää tarkasteltiin kolmessa täyttymisvaiheessa: kun louhos on tyhjä (n. 31,3 l/s), puoliksi täynnä (n. 27,1 l/s) ja täyttynyt ulosvirtaustasolle (n. 8,0 l/s).

Tulevien virtaamien suolapitoisuus on peräisin pääasiassa sulfidimineraaleista ja yleisestä kiviaineksen rapautumisesta. Liukoisten aineiden pitoisuus riippuu veden reitistä ja etenkin reitin kahdesta pääominaisuudesta: reitillä olevien hapettuvien mineraalien määrästä (eli mineralogiasta ja vesi/kiintoaine-suhteesta) ja hapen saatavuudesta.

Louhosseinämistä tulevien vesisyötteiden suolaisuudet on saatu vedenlaatujen mallinnuksesta, joka on esitetty sulkemissuunnitelman liitteessä 2 (AFRY Finland Oy 2024).

Taulukko 5-3. Avolouhokseen mallinnetun 80 vuoden ajanjakson aikana tulevien vesien määrä ja suolapitoisuus (TDS, total dissolved solids).

Alue	Valuma (mediaani) l/s	Valuma (keskiarvo) l/s	TDS (keskiarvo) mg/l
Yläpuolinen valuma-alue, luontainen	5,4	12,4	100
Yläpuolinen valuma-alue, rajoitettu	0,5	1,2	100
Louhosseinämäalue	8,0	8,9	780

Louhoksesta poistuu vettä ulosvirtaamana poistouomaa pitkin sekä haihduntana, ja näiden ollessa riittämättömiä, myös ylivuotona. Ylivuoto on hallitsemaan ja vältettävä tilanne. Numeerisen pohjavesimallinnuksen perusteella louhosjärvestä ei suotaudu merkittäviä määriä vettä ympäröiviin vesistöihin. Mallinnuksessa on huomioitu veden erilaiset poistumisreitit louhoksesta.

Laskennassa ei huomioida louhosjärvestä vedenpinnan alapuolella tapahtuvaa mineraalien hapettumista tai pelkistymistä, koska happipitoisuuden ollessa vedessä selvästi ilmaa pienempi, tapahtuu mineraalien hapettuminen pääosin kosteissa olosuhteissa vedenpinnan yläpuolella.

5.2 Valuma-alue

Mallinnetussa tilanteessa louhosjärven luontainen yläpuolinen valuma-alue oli kooltaan n. 0,83 km². Lisäksi mallinnettiin tilanne, jossa louhosjärven yläpuolista valuma-aluetta rajoitettiin ojituksin sen jälkeen, kun louhosjärvi oli täyttynyt ulosvirtaustasolle saakka. Rajoitettu yläpuolinen valuma-alue oli kooltaan n. 0,08 km². Kaivoksen sivukivialueelta suotautuvat vedet ja pintavalunta on suunniteltu johdettavan Punasuon louhoksen sijaan viereiseen Lahnaslammen louhosjärveen. Valuma-alueiden virtaamat on esitetty taulukossa 5-3. Yläpuolinen valuma-alue on esitetty kuvissa 5-2 (luontainen) ja 5-3 (rajoitettu).

6 Laskennan tulokset

Laskennassa louhosjärveen ohjattiin vettä avolouhoksen lähiympäristöstä (pienvaluma-alueilta). Lisäksi huomioitiin louhokseen tuleva pohjavesi sekä suora sadanta.

Mallinnus aloitettiin vuodesta 2035, joka ei välttämättä vastaa louhoksen todellista sulkemisaikataulua. Mallinnuksen aloittamisajankohdalla ei kuitenkaan ole vaikutusta saatuihin tuloksiin. Mallin laskenta tehtiin 80 vuoden ajanjaksolle.

Louhosjärven täyttyminen

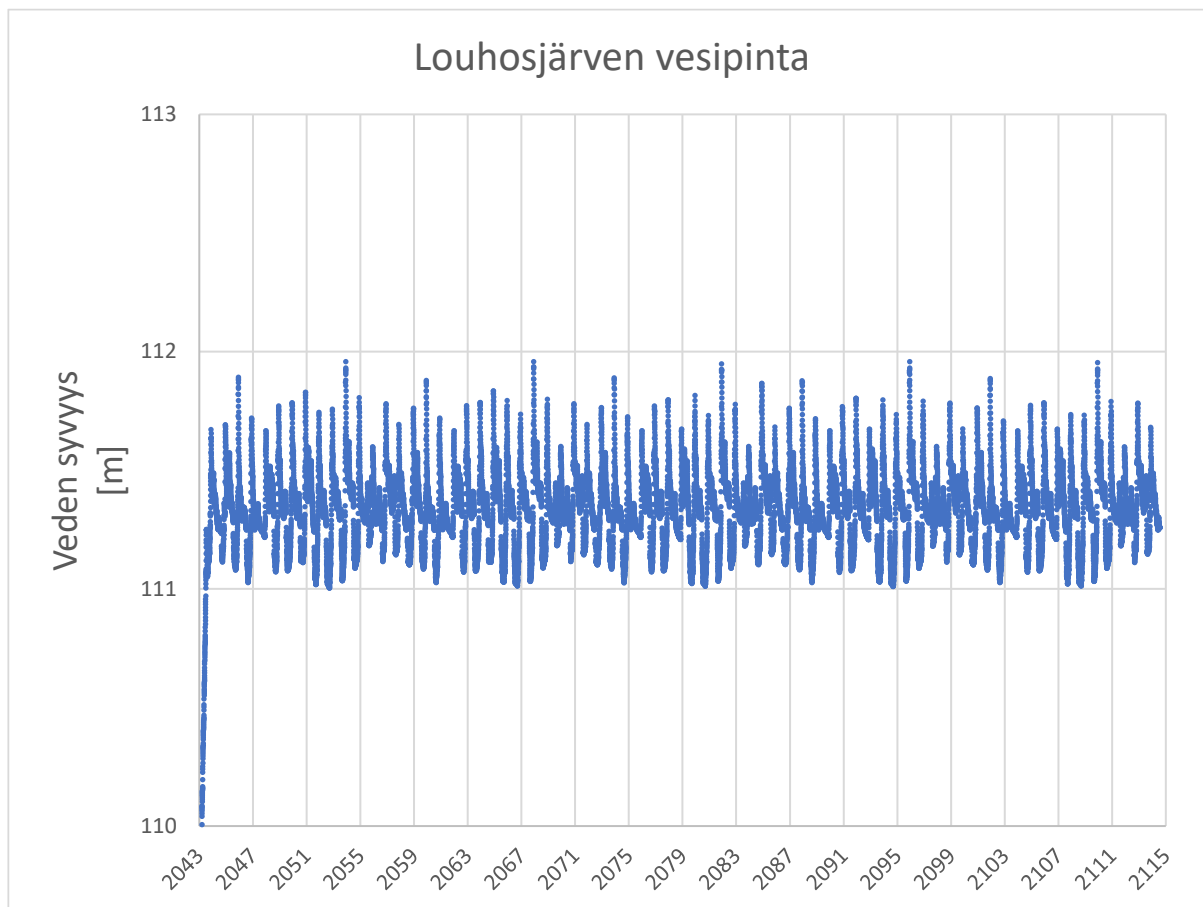
Mallissa avolouhoksen reuna oli tasolla 147 m mpy ja poistouoman pohja tasolla 146 m mpy. Poistouoman leveydet olivat 15 m (oletus skenaario, yläpuolista valuma-aluetta ei rajoitettu) ja 10 m (vaihtoehtoinen skenaario, rajoitettu yläpuolinen valuma-alue). Poistouoma mitoitettiin siten, että louhoksesta ei tule ylivuotoja, mutta vedenpinta pysyy mahdollisimman korkealla ja hapettumiselle altis pinta-ala louhoksen seinämissä on mahdollisimman pieni. Poistouoman mitoitus on teoreettinen ja mallinnuksen tarpeisiin tehty, eikä siten vastaa mahdollisesti käytännössä toteutettavia rakenteita. Avolouhoksen pohja oli tasolla 35 m mpy.

Mallin laskenta tehtiin 80 vuoden ajanjaksolle, jonka aikana louhosjärvi ehti täyttyä ja järven kerrostuneisuus pääosin vakiintua. Mallinnuksessa louhosjärvi täyttyi ulosvirtaustasolle (taso 146 m mpy) noin yhdeksässä vuodessa, minkä jälkeen järvestä alkoi poistua vettä ulosvirtaamana. Ennen ulosvirtauksen alkua vettä poistui järvestä ainoastaan haihtumalla.

6.1 Oletus skenaario (yläpuolista valuma-aluetta ei rajoitettu)

Järven täytyttyä ulosvirtaamatasolle 146 m mpy (111 m vesisyvyys) pinnan tasossa oli jonkin verran vaihtelua, mutta havaintojakson sadannalla ei ylivuotoa. Korkeimmillaan louhosjärven vesipinta käy tasolla 146,96 m mpy (eli 0,04 m järven reunasta). Mainitut vedenpinnan maksimit toteutuivat kahdesti simulaation 80 vuoden ajanjaksolla ja molemmat ajoittuivat kevätsulannan aikaan. Vesipinnan keskiarvo ja mediaani olivat tasolla 146,33 m mpy (111,33 m vesisyvyys).

Louhosjärven vedenkorkeuden vaihtelu on esitetty kuvassa 6-1. Vedenkorkeuden vaihtelu liittyy sadannan vaihteluun ja sadeveden tuloon järveen sekä suorana sadantana että lähialueiden pintavaluntana. Sadannalla ja keväisellä sulannalla oli hallitseva vaikutus järven vesitaseeseen.



Kuva 6-1. Punasuon louhosjärven vesipinnan vaihtelu järven täyttyttyä ulosvirtaustasolle (vuosina 2035–2043 louhosjärvi on vasta täyttymässä).

Muutokset pintavalunnan määrässä johtuvat paitsi sääolosuhteiden vaihtelusta myös alueella tehtävistä vedenhallintatoimenpiteistä. Pohjaveden ja louhosseinämaveden määrä muuttuu louhosjärven vedenpinnan mukaan, paine-eron pienentyessä veden purkautuminen louhokseen pienenee. Louhosjärven täyttymisnopeuteen voidaan vaikuttaa ajoittamalla yläpuolisen valuma-alueen rajaustyöt halutulla tavalla.

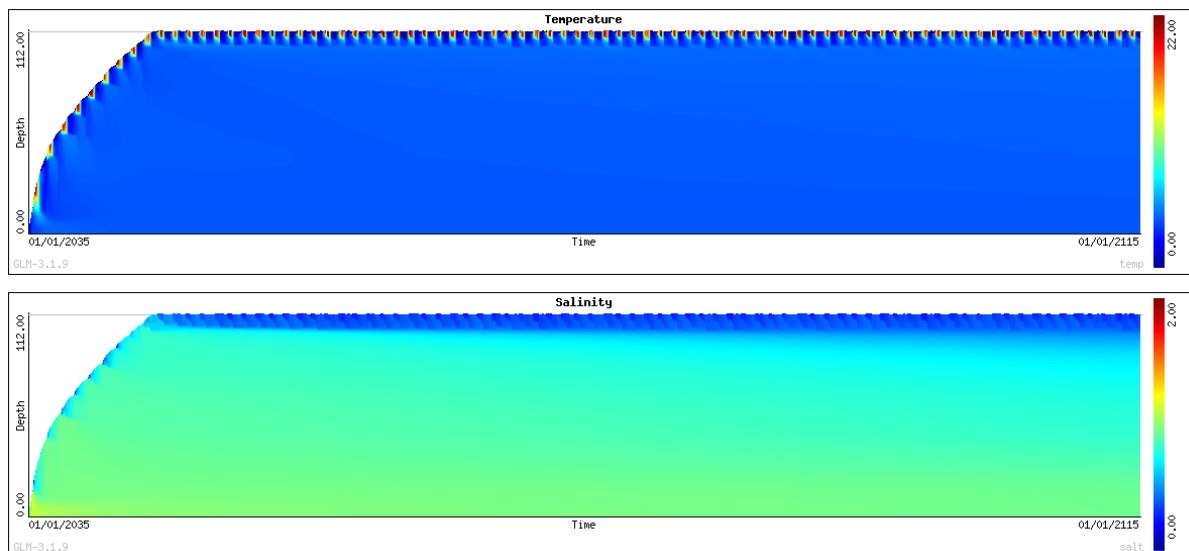
Mallinnuksessa louhosjärvestä poistuvan ulosvirtaaman suolaisuus on keskiarvoltaan noin 340 mg/l. Ulosvirtaaman määrä ja suolaisuus on esitetty taulukossa 6-1.

Taulukko 6-1. Punasuon louhosjärven mallinnettu ulosvirtaamatulos.

Ulosvirtaama (mediaani) l/s	Ulosvirtaama (keskiarvo) l/s	Ulosvirtaaman TDS (keskiarvo) mg/l
20,3	22,0	340

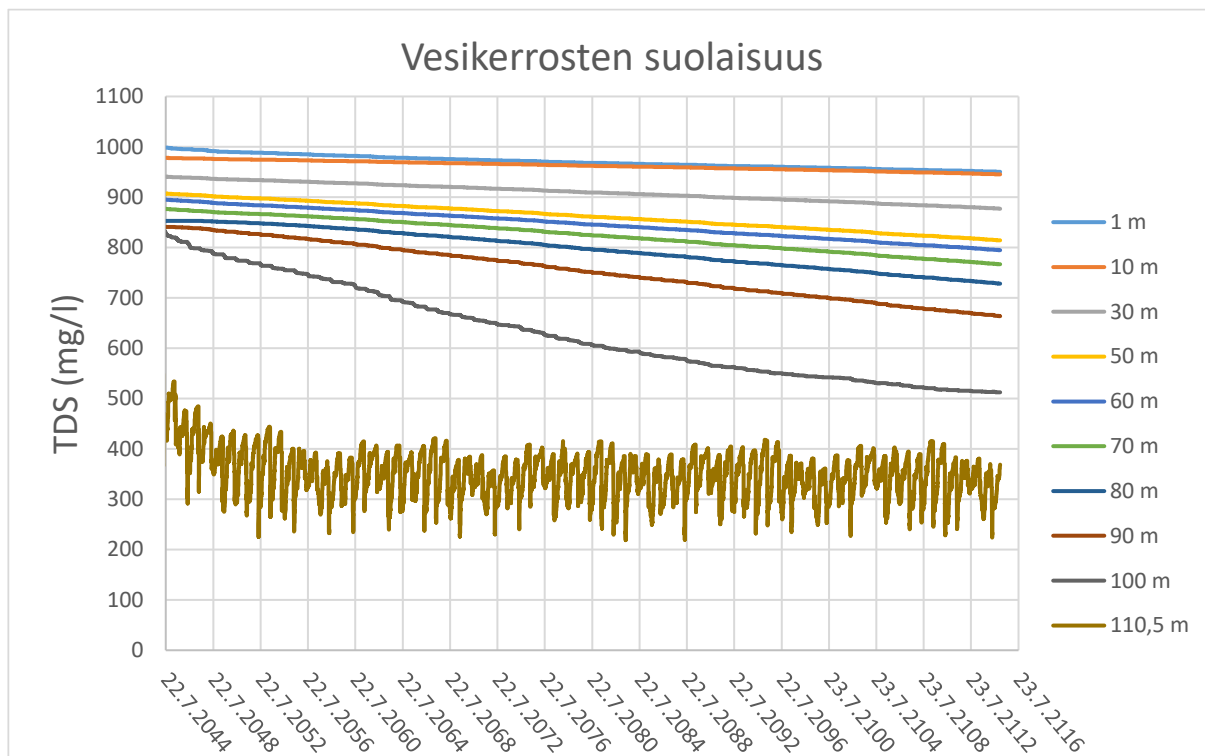
Mallinnuksessa louhosjärveen muodostui havaittava suolaisuuskerrostuneisuus. Suolaisuusero ulosvirtaavan veden ja pohjakerroksen välillä oli noin kolminkertainen (n. 340 mg/l vrt. n. 950 mg/l). Lämpötilakerrostuneisuus seurasi suolaisuuskerrostumista ja

pintaveden lämpötilan kausivaihtelu ei ulottunut järven pintaosaa (<100 m vesisyvyys) syvemmälle. Kerrostuneisuuden vuoksi louhosjärvessä ei tapahdu vuotuista täyskiertoa, mikä osaltaan ylläpitää suolaisuuseroja. Lämpötilan ja suolaisuuden kehitys on esitetty kuvassa 6-2.

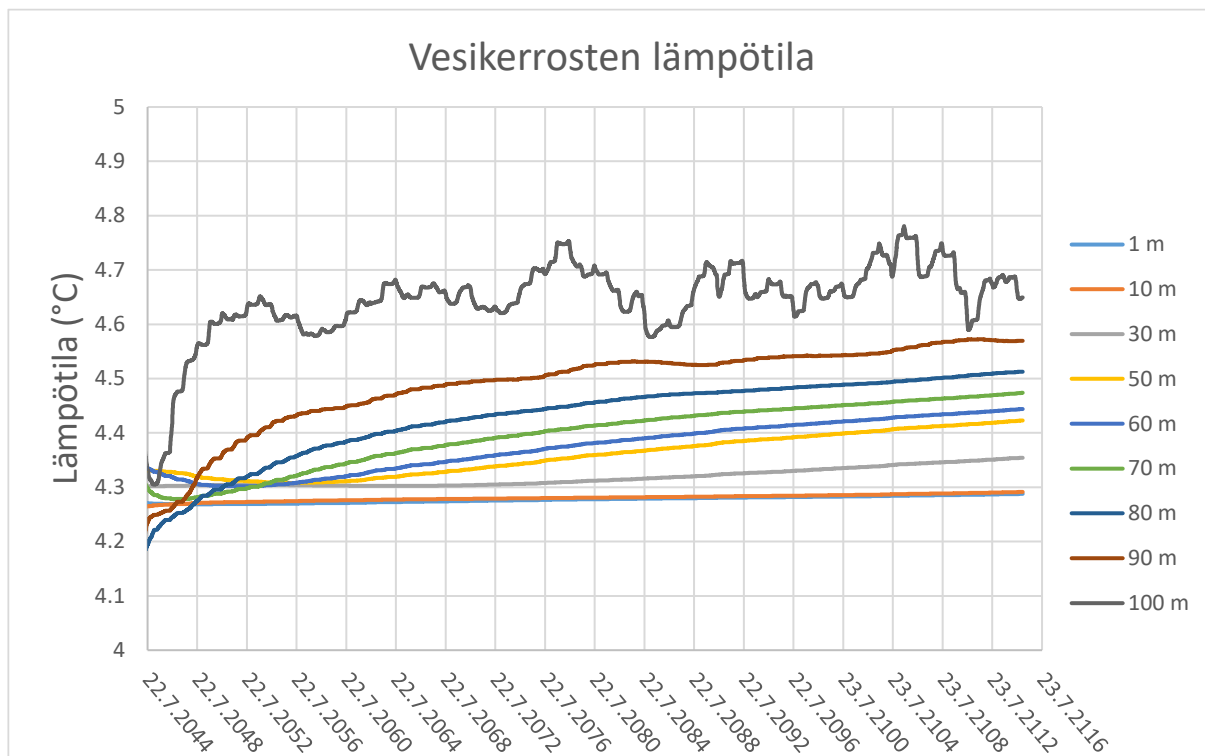


Kuva 6-2. Punasuon avolouhos, lämpötila ja suolaisuus 80 vuoden simulaatiossa. Vaaka-akselilla on aika alkaen louhoksen sulkemisesta ja pystyakselilla vedenpinnan korkeus louhoksen pohjalta lähtien. Lämpötila- ja suolaisuusarvot on esitetty väreillä, sininen on pienin ja punainen suurin arvo. Lämpötila-asteikko on 0 °C – 22 °C ja saliniteetin asteikko 0 g/l – 2 g/l.

Suolaisuuden kehittyminen vesikerroksittain (kun ulosvirtaus järvestä on alkanut) on esitetty kuvassa 6-3 ja vastaavasti lämpötila vesikerroksittain kuvassa 6-4. Huomiona, että koska kausivaihtelu vaikuttaa pintaveden lämpötilaan (vuotuinen vaihteluväli oli n. 0–29 °C), järven ylimmän kerroksen (110,5 m) lämpötilaa ei ole esitetty kuvassa 6-4. Veden koostumusta on käsitelty tarkemmin sivukivialueiden suotovesien ja louhosjärven vedenlaadun mallinnusraportissa (AFRY Finland Oy 2024).



Kuva 6-3. Punasuon avolouhoksen suolaisuuden kehitys vesikerroksittain. 80 vuoden simulaation aikana pohjakerroksen suolaisuus on vakiintumassa tasolle n. 950 mg/l ja ulosvirtaavan pintaveden suolaisuus on keskimäärin n. 340 mg/l.

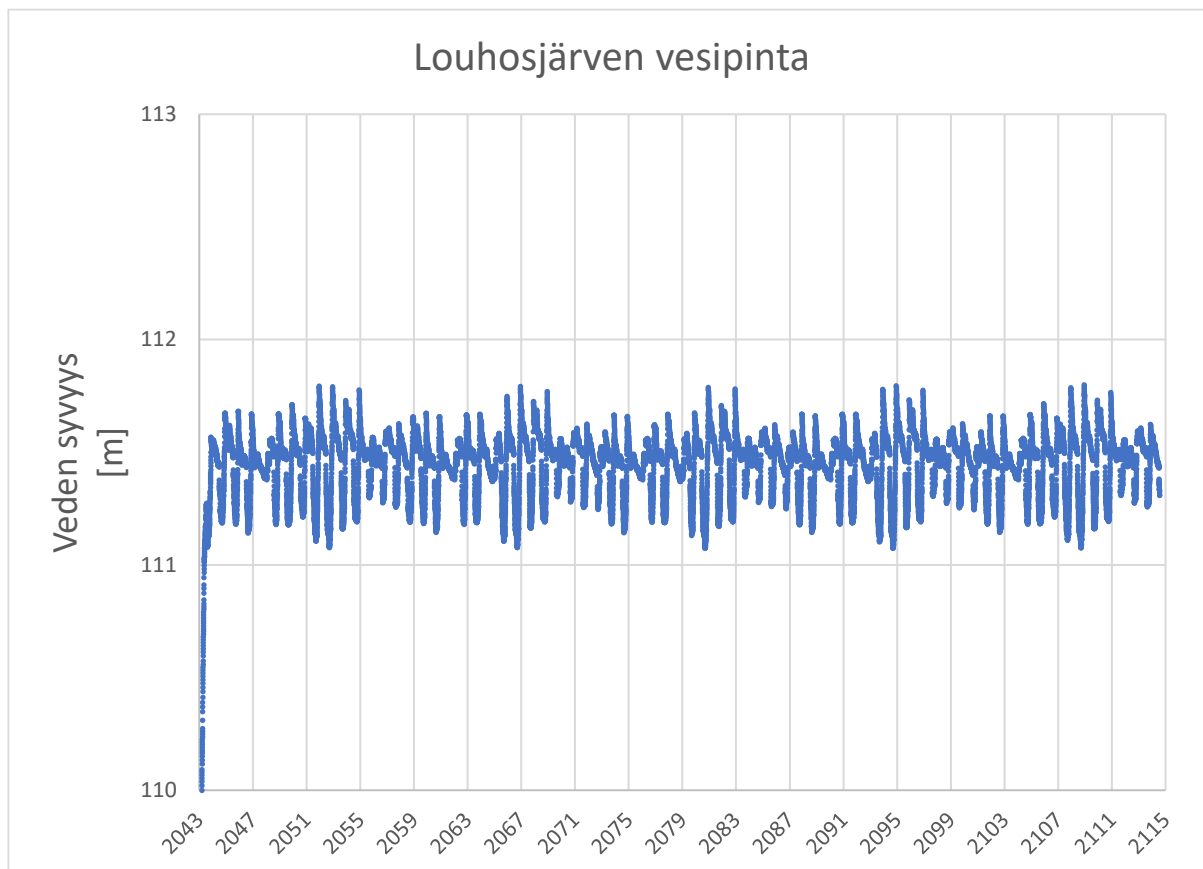


Kuva 6-4. Punasuon avolouhoksen lämpötilan kehitys vesikerroksittain. Metrit tarkoittavat etäisyyttä louhoksen pohjasta: 1 m on pohjan läheinen vesikerros, eli 1 metri pohjan yläpuolella, ja 100 m on 100 m pohjan yläpuolella. Järven ylimmän kerroksen 110,5 m lämpötilaa ei ole esitetty kuvassa. Pintaveden lämpötilan kausivaihtelu ei ulotu järven pintaosaa (<100 m vesisyvyys) syvemmälle.

6.2 Vaihtoehtoinen skenaario (rajoitettu yläpuolinen valuma-alue)

Järven täytyttyä ulosvirtaamatasolle 146 m mpy (111 m vesisyvyys) pinnan tasossa oli jonkin verran vaihtelua, mutta havaintojakson sadannalla ei ylivuotoa. Korkeimmillaan louhosjärven vesipinta käy tasolla 146,80 m mpy (eli 0,2 m järven reunasta). Vesipinnan keskiarvo oli 146,45 m mpy (111,45 m vesisyvyys) ja mediaani 146,48 m mpy (111,48 m vesisyvyys).

Louhosjärven vedenkorkeuden vaihtelu on esitetty kuvassa 6-1. Vedenkorkeuden vaihtelu liittyy sadannan vaihteluun ja sadeveden tuloon järveen sekä suorana sadantana että lähialueiden pintavaluntana. Sadannalla ja keväisellä sulannalla oli hallitseva vaikutus järven vesitaseeseen.



Kuva 6-5. Punasuon louhosjärven vesipinnan vaihtelu järven täyttyttyä ulosvirtaustasolle (vuosina 2035–2043 louhosjärvi on vasta täyttymässä).

Muutokset pintavalunnan määrässä johtuvat paitsi sääolosuhteiden vaihtelusta myös alueella tehtävistä vedenhallintatoimenpiteistä. Pohjaveden ja louhosseinämaveden määrä muuttuu louhosjärven vedenpinnan mukaan, paine-eron pienentyessä veden purkautuminen louhokseen pienenee. Louhosjärven täyttymisnopeuteen voidaan vaikuttaa ajoittamalla yläpuolisen valuma-alueen rajaustyöt halutulla tavalla.

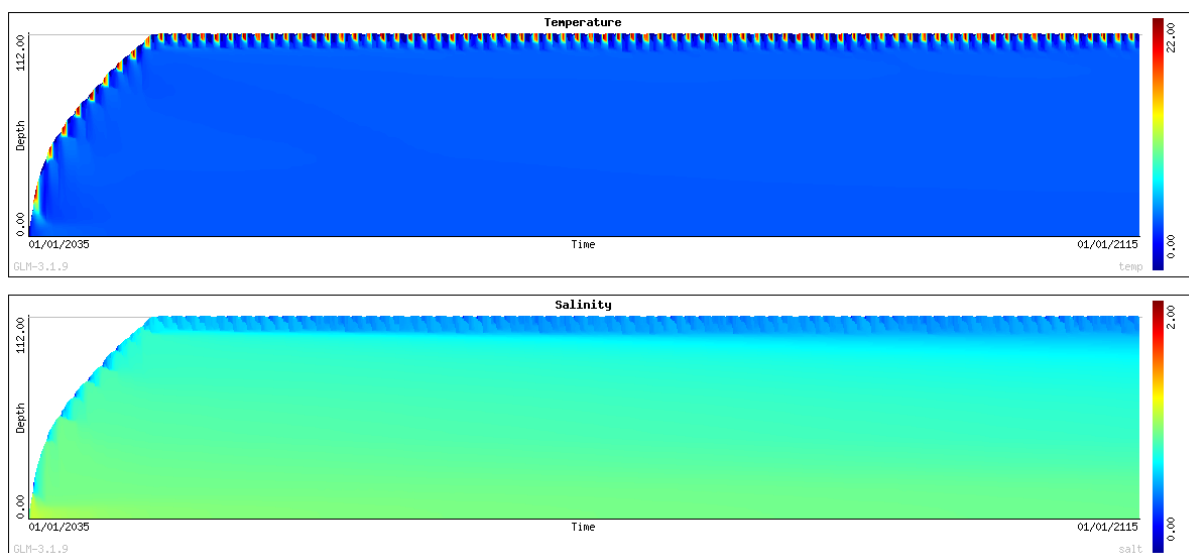
Mallinnuksessa louhosjärvestä poistuvan ulosvirtaaman suolaisuus on keskiarvoltaan noin 490 mg/l. Ulosvirtaaman määrä ja suolaisuus on esitetty taulukossa 6-2.

Taulukko 6-2. Punasuon louhosjärven mallinnettu ulosvirtaamatulos.

Ulosvirtaama (mediaani) l/s	Ulosvirtaama (keskiarvo) l/s	Ulosvirtaaman TDS (keskiarvo) mg/l
11,6	10,8	490

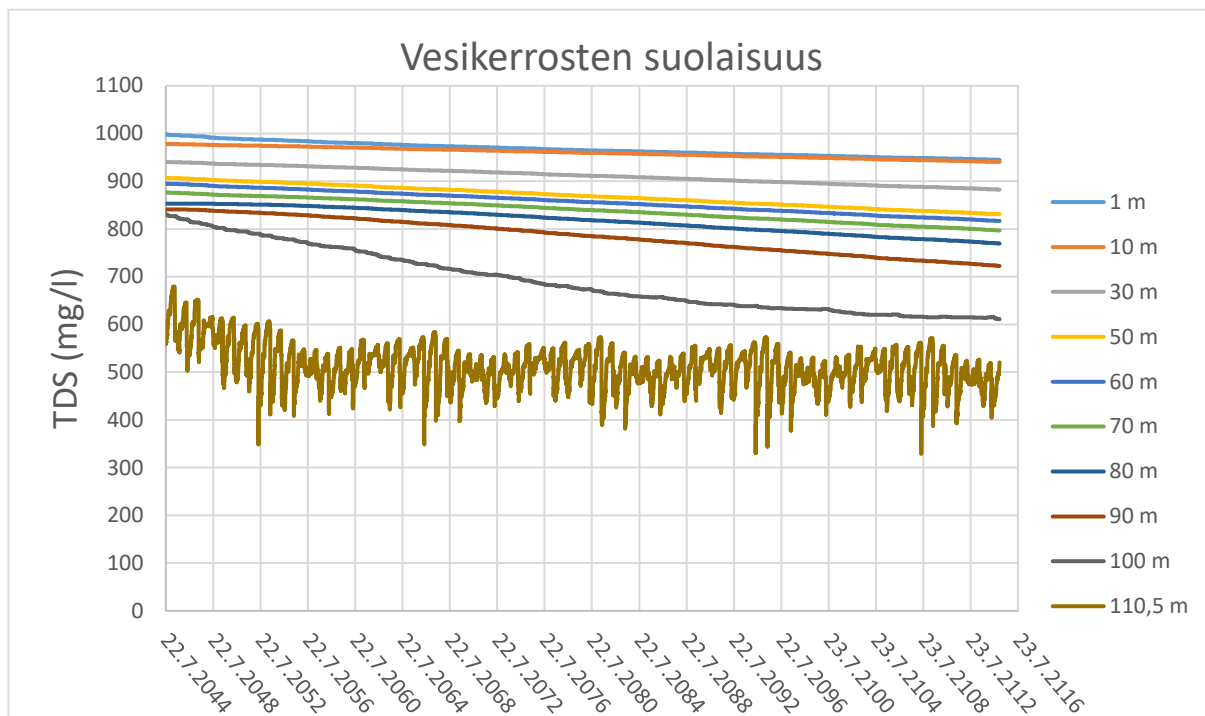
Mallinnuksessa louhosjärveen muodostui havaittava suolaisuuskerrostuneisuus. Kuitenkin yläpuolisen valuma-alueen rajoittaminen pienensi järven pintakerrokseen valuvan makean veden määrää ja siten jossain määrin haittasi kerrostumista verrattuna oletus skenaarioon. Suolaisuusero ulosvirtaavan veden ja pohjakerroksen välillä oli noin

kaksinkertainen (n. 490 mg/l vrt. n. 950 mg/l). Lämpötilakerrostuneisuus seurasi suolaisuuskerrostumista ja pintaveden lämpötilan kausivaihtelu ei ulottunut järven pintaosaa (<100 m vesisyvyys) syvemmälle. Kerrostuneisuuden vuoksi louhosjärvessä ei tapahdu vuotuista täyskiertoa, mikä osaltaan ylläpitää suolaisuuseroja. Lämpötilan ja suolaisuuden kehitys on esitetty kuvassa 6-6.

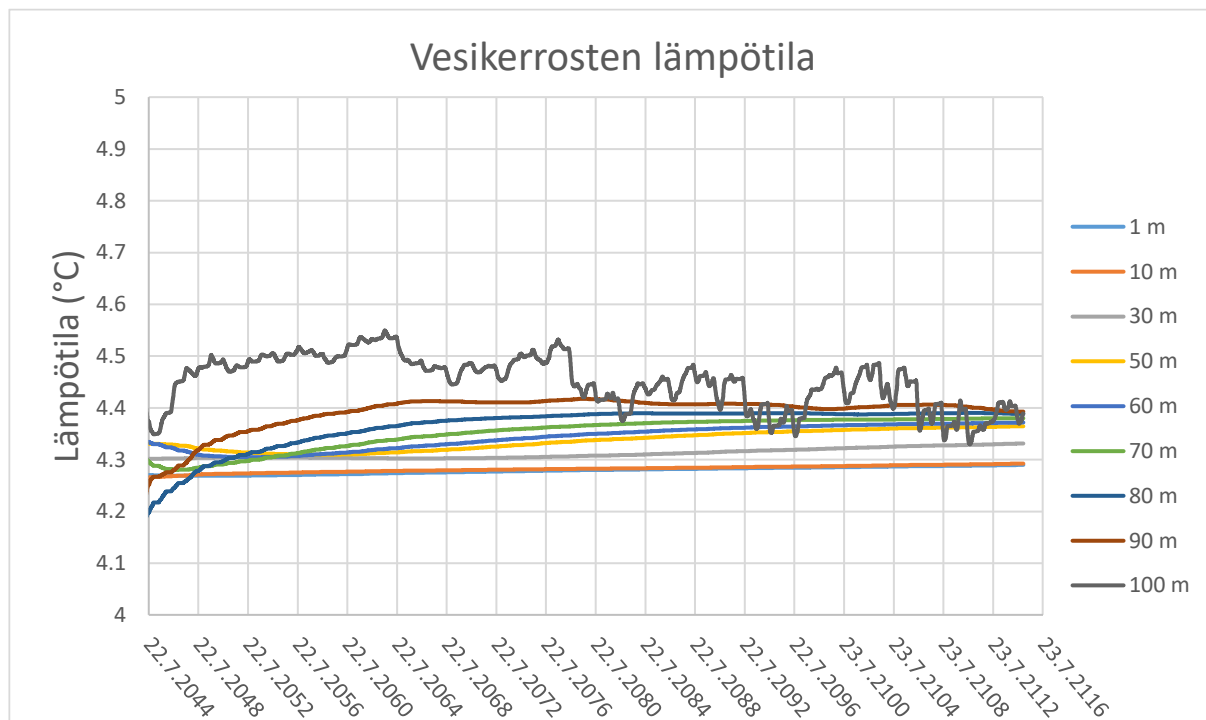


Kuva 6-6. Punasuon avolouhos, lämpötila ja suolaisuus 80 vuoden simulaatiossa. Vaaka-akselilla on aika alkaen louhoksen sulkemisesta ja pystyakselilla vedenpinnan korkeus louhoksen pohjalta lähtien. Lämpötila- ja suolaisuusarvot on esitetty väreillä, sininen on pienin ja punainen suurin arvo. Lämpötila-asteikko on 0 °C – 22 °C ja saliniteetin asteikko 0 g/l – 2 g/l.

Suolaisuuden kehittyminen vesikerroksittain (kun ulosvirtaus järvestä on alkanut) on esitetty kuvassa 6-7 ja vastaavasti lämpötila vesikerroksittain kuvassa 6-8. Huomiona, että koska kausivaihtelu vaikuttaa pintaveden lämpötilaan (vuotuinen vaihteluväli oli n. 0–29 °C), järven ylimmän kerroksen (110,5 m) lämpötilaa ei ole esitetty kuvassa 6-8. Veden koostumusta on käsitelty tarkemmin sivukivialueiden suotovesien ja louhosjärven vedenlaadun mallinnusraportissa (AFRY Finland Oy 2024).



Kuva 6-7. Punasuon avolouhoksen suolaisuuden kehitys vesikerroksittain. 80 vuoden simulaation aikana pohjakerroksen suolaisuus on vakiintumassa tasolle n. 950 mg/l ja ulosvirtaavan pintaveden suolaisuus on keskimäärin n. 490 mg/l.



Kuva 6-8. Punasuon avolouhoksen lämpötilan kehitys vesikerroksittain. Metrit tarkoittavat etäisyyttä louhoksen pohjasta: 1 m on pohjan läheinen vesikerros, eli 1 metri pohjan yläpuolella, ja 100 m on 100 m pohjan yläpuolella. Järven ylimmän kerroksen 110,5 m lämpötilaa ei ole esitetty kuvassa. Pintaveden lämpötilan kausivaihtelu ei ulotu järven pintaosaa (<100 m vesisyvyys) syvemmälle.

7 Johtopäätökset

Louhosjärven kerrostumisen laskentatuloksiin vaikuttavat tulevat ja lähtevät virtaamat, niiden pitoisuudet ja mallinnuksessa käytetyt parametrit. Mallinnuksen tarkkuus on riippuvainen lähtöaineiston tarkkuudesta.

Louhosjärven täyttämisen ja jälkihoidon osalta keskeisenä tavoitteena on saavuttaa aikanaan järvestä ulos valuvan veden mahdollisimman hyvä laatu sekä järvestä alapuoliseen vesistöön aiheutuvan kuormituksen minimointi. Veden laatuun vaikuttavat olennaisesti louhosjärven suolapitoisuus, suolakerrostuneisuuden muodostuminen ja sen pysyvyys.

Mallinnetussa oletus skenaariossa (rajoittamaton yläpuolinen valuma-alue) louhosjärvestä ulos purkautuvan veden keskimääräinen suolaisuus oli noin 340 mg/l. Vaihtoehtoisessa skenaariossa (rajoitettu yläpuolinen valuma-alue) louhosjärvestä ulos purkautuvan veden keskimääräinen suolaisuus oli noin 490 mg/l. Kummassakin skenaariossa louhoksen täyttymisajaksi saatiin noin yhdeksän vuotta ja louhosjärveen muodostui havaittava suolaisuuskerrostuneisuus.

Mallitarkastelu on alustava, ja riippuu paljon esimerkiksi järveen tulevan ja sieltä lähtevän pohjavesivirtaaman määrästä ja laadusta, joita ei vielä tässä vaiheessa tunneta tarkasti. Mallia voidaan jatkossa tarkentaa erilaisten vedenhallintamallien sekä toiminnanaikaisten mittausten perusteella.

Tulevien virtaamien pitoisuudet perustuvat tässä mallissa geokemiallisen laskennan tuottamiin arvioihin sekä alueelta mitattuihin pinta- ja pohjavesien koostumuksiin. Pohjavesimallin vesimäärät on laskettu säätietojen ja alueen geologisten ominaisuuksien perusteella. Mallinnusta voidaan tarvittaessa tarkentaa alueella tehtävien hydrologisten mittausten perusteella.

Tyypillisesti voimakkaimmin vaikuttavat parametrit järven kerrostumisen laskennassa ovat tulevien vesien koostumus ja vesien sekoittumista määräävät parametrit. Sekoittumista lisäämällä kerrostuminen vähenee tai jopa loppuu kokonaan, koska kerrostumista ei synny, ellei järven pinta- ja pohjakerroksen välillä ole riittävää tiheyseroa. Tässä tapauksessa tiheysero muodostuu ja kerrostuminen on havaittavissa, minkä vuoksi reunavalunnan mahdollisesti aiheuttama sekoittuminen ei jää pysyväksi vaan suolaisuuskerrostuneisuus palautuu.

Kalliopohjaveden virtausta louhokseen ja takaisinvirtausta louhosjärvestä kallioon on mahdollista tarkentaa laskennassa. Numeerisen pohjavesimallinnuksen perusteella louhosjärvestä ei suotaudu pohjavettä ympäröiviin vesistöihin.

Lähdeluettelo

AFRY Finland Oy 2024. Elementis Minerals Oy - Sulkemisen jälkeiset vedenlaadut Sotkamon kaivoksen kaivannaisjätteiden läjitysalueilla ja Punasuon louhosjärvessä.

Berrisford P., Dee D., Poli P., Brugge R., Fielding K., Fuentes M., Kallberg P., Kobayashi S., Uppala S. and Simmons A., 2011. The ERA-Interim archive Version 2.0, ERA report series no 1, November 2011, ECMWF.

GLM 2024. The General Lake Model homepage, <http://aed.see.uwa.edu.au/research/models/GLM/index.html>, luettu 10/2024.

Hipsey, M. R. and Bruce, L. C. and Boon, C. and Busch, B. and Carey, C. C. and Hamilton, D. P. and Hanson, P. C. and Read, J. S. and de Sousa, E. and Weber, M. and Winslow, L. A. 2019. A General Lake Model (GLM 3.0) for linking with high-frequency sensor data from the Global Lake Ecological Observatory Network (GLEON), Geoscientific Model Development, 12(1), pp 473–523, <https://www.geosci-model-dev.net/12/473/2019/>.

Ilmatieteenlaitos 2024. Ilmatieteen laitoksen avoin data, haettu 10/2024, <https://ilmatieteenlaitos.fi/avoin-data>

Maanmittauslaitos 2024. Korkeusmalli 2 m, luettu 10/2024, <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/korkeusmalli-2-m>

SCALGO Live 2024. Scalgo Live kotisivut, luettu 10/2024, <https://scalgo.com/en-US/scalgo-live-documentation/country-specific/finland>

SYKE 2024. Vesistömallijärjestelmä WSFS-VEMALA, valunta- ja kuormitustiedot, haettu 10/2024, <https://vmalli.ymparisto.fi/vuok/html/main.shtml>

BAT-näkökohta		Toiminnan vastaavuus Elementisin Sotkamon kaivoksella
Yleiset päätelmät		
BAT1	1a. Organisaation ja yrityksen johtamisjärjestelmä 1b. Ympäristöasioiden hallintajärjestelmä (EMS).	Elementis Minerals B.V.:llä on myös kaivostoiminnan kattava sertifioitu ympäristöasioiden hallintajärjestelmä ISO 14001. Yritys hoitaa ympäristöasiat sertifioitujen käytäntöjen mukaisesti. Kaivostoimintaa varten valittavat urakoitsijat velvoitetaan myös tutustumaan tähän hakemukseen
BAT2	Alustava kaivannaisjätteiden karakterisointi.	Päätöksen 2009/359/EC mukainen pysyvä/ei-pysyvä jätteen määrittely on suoritettu sivukiville ja rikastushiekalle BATin mukaisesti. Jätteen luokittelu ja vaaraominaisuuksien arviointi on tehty jätehuoltosuunnitelmaa varten.
BAT3	Kaivannaisjätteiden ominaisuuksien seuraaminen ja varmentaminen.	Sivukiviä, rikastushiekkaa ja tarvittaessa myös maanpoistomaita tarkkaillaan tarkkailuohjelman mukaisesti.
BAT4	4a. Kaivannaisjätealueiden sijaintivaihtoehtojen tunnistaminen 4b. Kaivannaisjätteen kuljetus-, käsittely- ja sijoituspaikkavaihtoehtojen tunnistaminen.	Alueella on ollut kaivostoimintaa vuodesta 1968 lähtien ja läjitysalueiden sijainnit on päätetty historiassa. Vaihtoehtoiseksi läjityspaikaksi myöhemmin on tunnistettu avolouhos (4a).
BAT5	5a. Vaarojen ja riskitekijöiden tunnistaminen 5b. Ympäristöriskien ja -vaikutusten arviointi.	Sivukiven läjitysalueelle ei ole rakennettu pohjarakenteita 1960-luvun käytäntöjen mukaisesti. Sivukivialueen riskit on kuitenkin myöhemmin tunnistettu ja peittorakenteella pyritään minimoimaan riskit. Toimintavaiheessa suotovedet pyritään keräämään mahdollisimman tarkasti käsittelyyn ja Lahnaslampeen.
BAT6	Kiinteiden kaivannaisjätteiden muodostumisen ehkäiseminen hyödyntämällä sivutuotteiksi tai tuotteiksi soveltuvia kaivannaismateriaaleja: 6a. esilajittelu ja valikoiva käsittely, 6b. sijoittaminen kaivostäyttöön, 6c. muu käyttö kaivosalueella tai sen ulkopuolella.	Sivukiven määrä pyritään minimoimaan louhinnan suunnittelun avulla. Kiilleliusketta käytetään hyödyksi alueen infrastruktuurin rakentamisessa ja ylläpidossa (BAT6c).
BAT7	7a. Malminetsinnässä muodostuvien kaivannaisjätteiden hallinta 7b. Kaivannaisjätteiden lajittelu ja valikoiva käsittely	Hyödynnettävissä oleva kiilleliuske käytetään rakentamisessa (7b). Rikastushiekka pidetään omana jakeenaan, jotta rikastushiekkaa voidaan kysynnän mukaan myydä.
BAT8	Nestemäisen kaivannaisjätteen vähentäminen öljy/kaasutoimialalla	<i>Ei relevantti</i>
BAT9	Öljy/kaasutoimialan erilaisten kaivannaisjätteiden määrän minimointi	<i>Ei relevantti</i>
BAT10	Jätteen uudelleen käsittely. Mikäli teknis-taloudellisesti ja ympäristöllisesti mahdollista, kaivannaisjätettä käsitellään, jotta siitä saadaan talteenotettava hyödyntämiskelpoiset osat.	Nykyisellään ei ole teknistaloudellisesti mahdollista käsitellä sivukiviä ja rikastushiekkaa raaka-aineeksi. Kiilleliusketta käytetään hyödyksi alueen infrastruktuurin rakentamisessa ja ylläpidossa, ja rikastushiekkaa myydään kysynnän mukaan tuotteeksi.
Riskiperusteiset		
BAT11	Toiminnan suunnittelu sulkeminen huomioiden. Kaivannaisjätteen sijoitusalueiden rakenteen suunnittelussa pyritään sulkemisen haasteiden ennakointiin niin, että ympäristönsuojelurakenne on toimiva myös jälkihoitovaiheessa.	Sulkemisen jälkeinen suotovesilaatu läjitysalueilta on mallinnettu. Sulkemisen jälkeen sivukivialueen peittorakenne rajoittaa veden pääsyä, jolloin suotovesimäärät pienenevät oleellisesti. Rikastushiekka-alueen pinta-alasta >70 % on liuskaa, joka edistää pintavaluntaa peittorakennetta pitkin ja vähentää maltillisesti vuotuista rikastushiekkaan pääsevää veden määrää.
BAT12	Kaivannaisjätteen sijoitusalueiden lyhyen ja pitkäaikaisen rakenteellisen vakauden varmistamiseksi tulee käyttää: 12a. Laadunvarmistus ja laadunvalvontajärjestelmät, 12b. Muutosten hallinta, 12c. OSM-käsikirja, 12d. Toimenpiteet onnettomuuksien lieventämiseksi sisältäen pelastussuunnitelman.	Rikastushiekka-altaan patojen rakentamistöitä valvotaan, jotta varmistutaan siitä, että rakenteet rakennetaan suunnitelmien mukaisesti. Rakentamistyöt sekä mahdolliset poikkeamat suunnitelmiin nähden dokumentoidaan.
BAT13	Kaivannaisjätteen sijoitusaluetta tukevan maapohjan geoteknisten ominaisuuksien selvitys.	Alueella on ollut kaivostoimintaa vuodesta 1968 lähtien ja läjitysalueiden sijainnit on päätetty historiassa. Sivukivialueelle ei ole tehty pohjatutkimuksia. Pohjatutkimuksia on tehty Papinlammen patolinjoille.
BAT14	Padon rakentamista varten tarvittavien materiaalien kelpoisuusvaatimusten määrittäminen kaivannaisjätteen geotekniset ominaisuudet ja ympäristökelpoisuus huomioiden.	Papinlammen korotusten suunnittelussa on huomioitu pohjatutkimukset, patomateriaali, padon ja pohjan rakenne, alkupadon ja korotusten rakenne, rakenteen tarkkailu sekä rikastushiekan stabiilitetti ja geotekniset ominaisuudet.
BAT15	Kaivannaisjätealueissa, joissa patojen tulee pidättää vettä tai muuta nestemäistä ainesta, vakauden varmistamiseksi tulee käyttää: a. Nesteitä ja nestemäisesti käyttäytyviä aineita pidättävien rakenteiden tekniikkaa ja b. Vettä läpäisemättömän pohjarakenteen rakennusmenetelmät.	15a) Pato on suunniteltu heikosti vettäjohtavaksi. Tasojen +178 - +181 välissä on vaakasuodatin sekä oja suotovesipinnan alentamiseksi.
BAT16	Allasmaisille kaivannaisjätteen sijoitusalueille, joissa on kiinteitä ja vesipitoisia jätteitä, patoihin liittyvät tekniikat ovat a. aloituspadon rakentaminen, b. & c. Ylävirtaan- tai alavirtaan korottaminen, d. Korottaminen keskilinjaa muuttamatta, e. yhdistelmäpohjarakenne tai f. heikosti vettä läpäisevä luonnollinen maaperäpohjarakenne	Papinlammen rikastushiekka-altaan patoja korotetaan ylävirtaan korottamalla (16b)
BAT17	Tekniikat maan päälle rakennettavien kiinteän jätteen sijoitusalueille ovat 17a. Alhaalta ylöspäin rakentamismenetelmä: kerrospengerrytys, nouseva rakenne, 17b. vastakohtana päätypengerrytys, laskeutuva rakenne, 17c. yhdistelmä pohjarakenne ja/tai 17d. heikosti vettä läpäisevä pohjarakenne luonnonmaasta.	Sivukivialuetta ei enää täytetä.

BAT-näkökohta		Toiminnan vastaavuus Elementisin Sotkamon kaivoksella
BAT18	Parasta käyttökelpoista tekniikkaa kaivannaisjätteen sijoitusalueiden lyhyen ja pitkäaikaisen rakenteellisen vakavuuden varmistamiseksi on käyttää seuraavia tekniikoita: 18a. Vesitase (kokonaisvesitaseen ja ainetaseen laskenta) 18b. Vesienhallintasuunnitelma	18a) Kaivoksen ja tehtaan vesitasetta seurataan jatkuvasti mm. altaiden vedenkorkeuksia, pumppujen tuottoa sekä putkistojen ja purkupisteiden virtaamamittauksia hyödyntäen. Mitoitussadantana on käytetty kerran 1000 vuodessa toistuvaa 1 vrk:n maksimisadantaa 160 mm, johon on lisätty 20 % arvio ilmastomuutoksen vaikutuksesta. Mitoitussadanta on arvioitu Ilmatieteen laitoksen raportin "Patoturvallisuuden mitoitusadannat. Suomen suurimpien 1, 5 ja 14 vrk:n piste- ja aluesadantojen analysointi vuodet 1959-1998 kattavasta aineistosta". Altaille on määritetty HW-tasot ja hätä-HW tasot. Lahnaslammen avolouhosta voidaan poikkeuksellisissa sadantatilanteissa käyttää lisätilavuutena vesienhallinnassa. 18b) Vedet kootaan hallitusti läjityksistä.
BAT19	Mitoitustulva	Suunnittelussa on huomioitu BAT-kohdan edellyttämä mitoitustulva, 1/1000 vuotta.
BAT20	Tekniikoissa kuvataan vapaan veden hallintaa patoaltaissa. Hallintakeinoja ovat (a-e) vedenpoistojärjestelmät, (f) padon vähimmäisetäisyys vapaaseen veteen, (g) riittävä kuivavara ja (h-i) hätäjuoksutusratkaisut.	Rikastushiekka-altaan vesitasetta seurataan ja vedenpintaa pidetään hallinnassa. Altaan vapaan veden eli ns. ylitevesien poisto ja vesipinnan säätely tapahtuu dekantointikaivolla. Rikastushiekka beachin pituus maksimoidaan.
BAT21	Tekniikat kaivannaisjätteen sijoitusalueiden lyhyen ja pitkäaikaisen rakenteellisen vakavuuden varmistamiseksi ovat 21a. patojen ja altaiden kuivatusjärjestelmät ja/tai 21b. maan päälle rakennetun kiinteän jätteen sijoitusalueen kuivatusjärjestelmät.	21a) Tasojen +178 - +181 välissä on vaakasuodatin sekä oja suotovesipinnan alentamiseksi. Altaan vapaan veden eli ns. ylitevesien poisto ja vesipinnan säätely tapahtuu dekantointikaivolla. 21b) Sivukivialueen ympärillä on suotovesiojat.
BAT22	Kaivannaisjätteen sijoitusalueen geotekniset analyysit 22a. Geotekniset analyysit altille ja padoille 22b. Geotekniset analyysit maan päälle rakennetuille kiinteän jätteen sijoitusalueille.	22a) Papinlammen korotusten suunnittelussa on huomioitu pohjatutkimukset, patomateriaali, padon ja pohjan rakenne, alkupadon ja korotusten rakenne, rakenteen tarkkailu sekä rikastushiekan stabiliteetti ja geotekniset ominaisuudet. 22b) Sivukivialueen reunaliuskat on muotoiltu ympäristölupamääräyksen mukaisesti kaltevuuteen 1:3
BAT23	Kaivannaisjätteen sijoitusalueiden fysikaalisen vakavuuden seuranta ja tarkkailu: Pyritään hallitsemaan altaiden, patojen, maan päälle rakennettujen kiinteän jätteen sijoitusalueiden, padon tai jätealueen suotovirtauksien, kuivatusvesien, maaperään tai pohjaveteen suotautuvien vesien sekä koko vesienhallinnan käyttäytymistä.	Patoja tarkkaillaan patoturvallisuusviranomaisen hyväksymän patotarkkailuohjelman, patoturvallisuuslain ja patoturvallisuusoppaan mukaisesti. Tarkkailussa huomioidaan mm. sääolot, routiminen, painumat ja muut mahdolliset poikkeamat läjityksessä.
BAT24	Kaivannaisjätteen sijoitusalueen fysikaalisen vakavuuden seuranta ja tarkkailu 24a. Kelpoisuustarkastukset (kolmannen osapuolen kanssa tai ilman) 24b. Sisäinen auditointi 24c. Ulkoinen auditointi.	Elementis suorittaa sisäisen rikastushiekka-alueen patotarkastuksen vuosittain, viiden vuoden välein viranomaisen ja konsultti ovat tarkastuksessa mukana. Konsultti tekee 5 vuoden välein arvion patojen kunnosta
BAT25	<i>Liittyy öljy/kaasu-toimialaan</i>	<i>Ei relevantti</i>
BAT26	Liittyy maanalaiseen kaivostoimintaan ja kaivannaisjätteiden maanalaiseen sijoittamiseen	<i>Ei relevantti</i>
BAT27	Tekniikat kaivannaisjätteen fysikaalisen pysyvyyden hallitsemiseksi ovat a. mekaaninen seulonta, b. hydrosyklonointi, c. sakeutus ja selkeytys ja/tai d. vedenpoisto painegradientin tai sentrifugoinnin avulla.	Ei tarvetta rikastushiekan fysikaalisuuden pysyvyyden hallitsemiseksi.
BAT28	Tekniikat kaivannaisjätteen stabilointiin kaivostäyttää varten ovat 28a. sementoidun karkean kaivannaisjätteen valmistaminen, 28b. Sementoidun tai sementoimattoman kaivannaisjätelietteen valmistaminen hydraulista kaivostäyttää varten tai/ja 28c. Pastamaisen kaivannaisjätteen valmistaminen kaivostäyttää varten.	Ei relevantti, Elementisin Sotkamon kaivoksella ei tehdä BAT-kohdan tarkoittamaa kaivostäyttää
BAT29	Tekniikat kaivannaisjätteen fysikaalisen pysyvyyden hallitsemiseksi ovat 29a. Sakeutetun ja pastamaisen kaivannaisjätteen sijoittaminen suihkutusputkilla, 29b. Kuivien tai märkien suodatinkakkujen läjittäminen (tai kuivana kasaaminen), 29c. Kaivannaisjätteen sijoittaminen kaivostäytöksi, 29d. Lietekäsittely tai/ja 29e. Kaivannaisjätteen hienon ja karkean fraktion yhteisläjitys.	<i>Ei tarpeellinen.</i>
BAT30	Tekniikat kaivannaisjätteen sisältämien haittaaineiden liukenemisen estämiseksi tai vähentämiseksi ovat 30a. alkaliniteetin vähentäminen, 30b. tiivistäminen, konsolidointi ja läjitys (ks. BAT 29), 30c. vaiheittainen kunnostus (ks. BAT 38a) tai/ja 30d. väliaikaiset peittoratkaisut (ks. BAT 38b).	30d) Sivukivialue on maisemoitu väliaikaisesti ja tullaan peittämään tiiviimmällä peittoratkaisulla myöhemmin.
BAT31	Happaman kaivosvaluman muodostumisen estäminen tai vähentäminen	Alueella on ollut kaivostoimintaa vuodesta 1968 lähtien ja läjitysalueiden sijainnit on päätetty historiassa. Aikoinaan ei ole ollut tapana rakentaa alueille pohjarakenteita. Mahdollisesti happoa tuottavat kaivannaisjätteet on nykyisellään tunnistettu, ja valuma/suotovedet on otettu huomioon vesien keräilyllä ja käsittelyllä. Sulkemissuunnittelussa em. jätejakeet on huomioitu ja sivukivialueen sulkemisrakenne estää merkittävässä määrin hapen ja veden pääsyä kasaan.
BAT32	Itsestään syttävän kaivannaisjätteen synnyn ehkäiseminen ja määrän pienentäminen	<i>Ei relevantti</i>

BAT-näkökohta		Toiminnan vastaavuus Elementisin Sotkamon kaivoksella
BAT33	Tekniikat kaivannaisjätealtaiden syanidipitoisuuden vähentämiseksi ovat syanidin tuhoaminen 33a. hapen, rikkioksidin tai 33b. vetyperoksidin avulla tai/ja 33c. syanidin tuhoamisen turvallisuustoimenpiteiden menetelmät/sovellukset.	<i>Ei relevantti</i>
BAT34	Hiilivetypitoisuuksien vähentäminen kaivannaisjätteissä	<i>Ei relevantti</i>
BAT35	Pohjarakenteet ja (fysikaaliset) esteet. Parasta käyttökelpoista tekniikkaa pohjaveden tilan huononemisen tai maaperän pilaantumisen ehkäisemiseksi on käyttää yhtä tai useampaa soveltuvaa tekniikkaa seuraavista: 35a. Pohjarakenteena tiivis vettä läpäisemätön luonnonmaa 35b. Pohjarakenteena tiivis keinotekoinen materiaali 35c. Suotautumiseste.	Alueella on ollut kaivostoimintaa vuodesta 1968 lähtien ja läjitysalueiden sijainnit on päätetty historiassa. Aikoinaan ei ole ollut myöskään tapana rakentaa alueille pohjarakenteita. Sivukivialueen ja Papinlammen rikastushiekka-altaan pohja muodostuu huonosti läpäisevästä luonnonmoreenista (35a)
BAT36	<i>Liittyy öljy/kaasu-toimialaan</i>	<i>Ei relevantti</i>
BAT37	Vesijakeiden hallinta: 37a. Vedenpoistojärjestelmien eriyttäminen toiminnan aikana (ks. BAT 42b) 37b. Altaiden ja patojen kuivatusjärjestelmät (ks. BAT 21a) 37c. Maan päälle rakennetun kiinteän jätteen sijoitusalueen kuivatusjärjestelmät (ks. BAT 21b) 37d. Maisemointi ja maastonmuotojen uudelleen rakentaminen (ks. BAT 42d)	37b) Tasojen +178 - +181 välissä on vaakasuodatin sekä oja suotovesipinnan alentamiseksi. Altaan vapaan veden eli ns. ylitavesien poisto ja vesipinnan säätely tapahtuu dekantointikaivolla. 37c) Sivukivialueen ympärillä on suotovesioijat.
BAT38	Kaivannaisjätteen sijoitusalueiden peittäminen 38a. vaiheittainen kunnostus, 38b. väliaikaiset peitot, 38c. kasvillisuuspeitot, 38d. läpäisevät kuivapeitot, 38e. läpäisemättömät alhaisen virtaaman kuivapeitot, 38f. happea kuluttavat kuivapeitot, 38g. vesipeitot ja/tai 38h. märkäpeitot.	Sivukivialueelle on suunniteltu läpäisemätön kuivapeitto (38e) ja rikastushiekka-altaalle läpäisevä peitto (38d).
BAT39	Pohjavesien ja pilaantuneen maaperän puhdistaminen 39a. vettä läpäisevät reaktiiviset seinämät ja/tai 39b. fytotekniikat.	<i>Ei relevantti. Pohjaveden ja maaperän pilaantuminen pyritään estämään. Alueen historiasta johtuen alueella voi olla PIMA-töitä vaativia kohteita. PIMA-tutkimukset ja vaadittavat toimenpiteet tehdään toiminnan loppuessa.</i>
BAT40	Maaperä- ja pohjavesipäästöjen seuranta ja tarkkailu. Tekniikka perustuu mahdollisten maaperään ja vesistöön vaikuttavien päästölähteiden tunnistamiseen ja seurantaan.	Jätealueilta muodostuvien vesien määrää, laatua ja vedenkäsittelyn toimivuutta sekä ympäristön pinta- ja pohjavesien tilaa tarkkaillaan.
BAT41	Maaperä- ja pohjavesipäästöjen seuranta ja tarkkailu. Tekniikka perustuu suotovesien tunnistamiseen 41a. tiiviin pohjarakenteen alapuolisen vuodontarkkailujärjestelmän, 41b. vettä läpäisevän suotovesien tarkkailujärjestelmän tai 41c. tarkkailukaivon (esim. pietsometrikaivojen) avulla.	Maaperä ja pohjavesipäästöt tunnistetaan toiminnan aikana esimerkiksi pohjavesitarkkailun avulla.
BAT42	Kaivannaisjätteiden vaikutuksen alaisten vesien muodostumisen ehkäiseminen tai vähentäminen 42a. Louhinnasta, rikastuksesta ja/tai kaivannaisjätteiden hallinnasta peräisin olevien ylijäämävesien uudelleen käyttö tai kierrätys 42b. Vedenpoistojärjestelmien eriyttäminen toiminnan aikana 42c. Kaivannaisjätteiden peittäminen (ks. BAT 38b-f) 42d. Maisemointi ja maastonmuotojen uudelleen rakentaminen 42e. Vähäisiä ympäristövaikutuksia omaavien reagenssien ja kemikaalien käyttö.	42a) Rikastushiekka-altaan vedet johdetaan tehtaan vesikiertoon. Sivukivialueen suotovedet johdetaan Lahnaslammen avolouhokseen. Mikäli tehtaalla tarvitaan raakavettä, se otetaan Lahnaslammen louhoksesta. Näin vähennetään vesistöä otettavia vesimääriä. Vesistöön purettavat vedet käsitellään.
BAT43	Kaivannaisjätteiden vaikutuksen alaisten vesien kerääminen ja käsittely	Rikastushiekka-altaan vedet johdetaan tehtaan vesikiertoon. Sivukivialueen suotovedet johdetaan Lahnaslammen avolouhokseen. Mikäli tehtaalla tarvitaan raakavettä, se otetaan Lahnaslammen louhoksesta. Näin vähennetään vesistöä otettavia vesimääriä. Vesistöön purettavat vedet käsitellään.
BAT44	<i>Öljy- ja kaasuteollisuus</i>	<i>Ei relevantti.</i>
BAT45	Suspensiossa olevan kiintoaineksen tai (orgaanisten) nesteiden poistaminen 45a. painovoimainen erotus laskeutusaltaissa, 45b. selkeytys tankeissa, 45c. koagulaatio ja flokkulaatio, 45d. vaahdotus ilmalla, 45e. väliainesuodatus, 45f. suspensiossa olevien partikkelien kalvosuodatus tai/ja 45g. hydrosyklonointi (ks. BAT 27b).	Kaivoksen purkuvesi käsitellään kalkkisaostuksella, jossa muodostuva sakka erotetaan painovoimaisesti Soidinsuon altaalla (45a). Vesikierrrossa tapahtuu kiintoaineen painovoimaista erottumista myös mm. Lahnaslammen louhoksessa ja Talkkipiirin altaassa.

BAT-näkökohta		Toiminnan vastaavuus Elementisin Sotkamon kaivoksella
BAT46	Liuenneiden aineiden poistaminen 46a. ilmastus ja aktiivinen kemiallinen hapettaminen, 46b. aktiivinen aerobinen biologinen hapettaminen, 46c. aerobiset tai d. anaerobiset kosteikot, 46e. hapettomat biokemialliset reaktorit, 46f. hydroksidi- ja karbonaattisaostus, 46g. sulfidisaostus, 46h. kersaostus kloridilla tai sulfaattimetallisuoloilla, 46i. adsorptio, j. ioninvaihto, k. nanosuodatus tai/ja 46l. käänteisosmoosi.	Kaivoksen purkuvesi käsitellään kalkkisaostuksella, jossa metallit saostuvat hydroksideina (46f). Käsitelyyn johdetaan vettä etupäässä Lahnaslammen ja Punasuon louhoksista. Myös sivukivialueen suotovedet käsitellään kalkkisaostuksella (46f) ennen veden johtamista Lahnaslampeen.
BAT47	Kaivannaisjätteiden vaikutuksen alaisten vesien neutralointi ennen purkua 47a. aktiivinen käsittely, 47b. hapelliset kalkkikiviojat (OLD) ja avoimet kalkkikiviuomat (OLC), 47c. hapettomat kalkkikiviojat (ALD), 47d. perättäiset alkalisuutta lisäävät järjestelmät (SAPS) tai/ja 47e. anaerobiset kosteikot (BAT 46d).	Kalkkikivisuoto-oja (46c) sijaitsee magnesiittikasan ja Papinlammen altaan itäsvuonella. Se on neutraloivalla kiviaineksella täytetty oja ja sen toiminta perustuu pH:n nousuun murskeen läpi kulkevassa vedessä ja metallien pidentymiseen sen johdosta. Suoto-ojasta vedet on käännetty Talkkipiiriin altaaseen prosessivesikiertoon. Hajakuormituskohteiden osalta tarkkaillaan SAPS-kosteikolta lähteviä vesiä. SAPS-kosteikko (47d) sijaitsee ratapenkan vieressä, ja siihen johdetaan pihavesiä pysäköintialueelta ja ratapenkan suotovesiä. SAPS-kosteikolta vedet virtaavat Lahnasjokeen. SAPS-kosteikolla vesi johdetaan vertikaalisesti orgaanisen kompostikerroksen läpi kalkkikivikerrokseen. Osa metalleista voi pidentyä jo orgaaniseen ainekseen esimerkiksi adsorption tai sulfidien muodostuksen kautta. Kompostikerroksen pääasiallisena tehtävänä on kuitenkin saattaa käsiteltävä vesi pelkistävään tilaan. Vesi kulkee kalkkikerroksen läpi pelkistyneessä tilassa, ja tällöin sakan muodostus on vähäisempää. Ideaalissa tilanteessa vesi pysyy kalkin seassa vielä pelkistyneenä samalla, kun sen pH nousee ja saostumisreaktiot tapahtuvat vasta kalkkikerroksen jälkeisessä laskeutusaltaassa, kun vesi hapettuu.
BAT48	Pintavesiin kohdistuvien päästöjen seuranta ja tarkkailu	Päästöjä seurataan tarkkailuohjelman mukaisesti
BAT49	Kaivannaisjätteiden paljailta pinoilta peräisin olevan pölyämisen ehkäiseminen tai vähentäminen 49a. veden tai vesipohjaisten liuosten ruiskutus, 49b. tuulensuojajärjestelmät, 49c. maisemointi ja maastonmuotojen uudelleen rakentaminen (ks. BAT 42d), 49d. vaihteittainen kunnostus (ks. BAT 38a), 49e. väliaikaiset peittoratkaisut (ks. BAT 38b), 49f. kasvillisuuspeitot (ks. BAT 38c), 49g. läpäisevät kuivapeitot (ks. BAT 38d), 49h. läpäisemättömät alhaisen virtaaman kuivapeitot (ks. BAT 38e), 49i. vesipeitot (ks. BAT 38g) ja/tai 49j. märkäpeitot (ks. BAT 38h).	Tiealueiden pölyämistä ehkäistään kastelulla (BAT49a).
BAT50	Tekniikat kaivannaisjätteen kuljetuksessa ja käsittelyssä aiheutuvan pölyämisen ehkäisemiseksi ja pienentämiseksi on 50a. jatkuvatoimiset järjestelmät (kaivannaisjätteen kuljetuksessa ja käsittelyssä), 50b. organisaation suunnittelutekniikat tai/ja 50c. veden tai vesipohjaisten liuosten ruiskutus (ks. BAT 49a).	Tiealueiden pölyämistä ehkäistään kastelulla (BAT50c).
BAT51	Öljy- ja kaasuteollisuus	Ei relevantti.
BAT52	Ilmaan kohdistuvien päästöjen seuranta ja tarkkailu.	Toiminnasta aiheutuvaa pölyämistä tarkkaillaan silmämääräisesti ja ehkäistään jatkuvasti. Hajapölypäästöjä rajoitetaan liikenneväylien kastelulla.
BAT53	Kaivannaisjätteen käsittelystä aiheutuvan melun ehkäiseminen ja pienentäminen 53a. Meluvallit 53b. Jatkuvatoimiset järjestelmät (ks. BAT 50a) 53c. Maisemointi ja maastonmuotojen uudelleen rakentaminen (ks. BAT 42d).	Sivukiven kuljetuksesta ja läjityksestä syntyy meluvaikutuksia. Suojelualueet sekä asutus ovat sen verran etäällä sivukiven läjityksestä ettei esim. meluvalleja (53a) ole katsottu tarpeelliseksi. Ympäristöluvassa määrättyjen ympäristömelumittausten perusteella luparajat ei ylity. Lievennystoimenpiteitä ei tämän vuoksi ole tarvinnut tehdä
BAT54	Kaivannaisjätteen käsittelystä aiheutuvien hajupäästöjen ehkäiseminen ja pienentäminen	Toiminnasta ei aiheudu hajupäästöjä, ei relevantti
BAT55	Kaivannaisjätteiden hallinnan maisemavaikutusten ja maankäytön jalanjäljen ehkäiseminen tai minimoiminen 55a. Kaivannaisjätteiden muodostumisen ehkäiseminen (ks. BAT 6) 55b. Kaivannaisjätteen kiintoaine/neste -suhteen hallinta (ks. BAT 27) 55c. Kaivannaisjätteen tiivistäminen, kiinteäyttäminen ja läjitys (ks. BAT 29) 55d. Maisemointi ja maastonmuotojen uudelleen rakentaminen (ks. BAT 42d).	Tällä hetkellä sivukivi läjitetään louhokseen vesipeiton alle, jolloin maisemavaikutuksia ei aiheudu. 55a) Sivukiveä ei louhita turhaa. Kiilleliusketta käytetään rakentamiseen. 55d) Sulkemisvaiheessa alue maisemoidaan.
BAT56	Kaivannaisjätteiden hallinnan aiheuttaman energian ja aineiden kulutuksen minimointi 56a. Energiankulutuksen vähentäminen 56b. Vedenkulutuksen vähentäminen 56c. Reagenssien, lisämateriaalien ja raaka-aineiden kulutuksen vähentäminen.	56a) Kuljetusmatkat pyritään minimoimaan. Tämä vähentää energian kulutusta materiaalin siirrosta. 56b) Rikastushiekka-altaan vedet johdetaan tehtaan vesikiertoon. Sivukivialueen vedet johdetaan Lahnaslammen avolouhokseen. Mikäli tehtaalta tarvitaan raakavettä, se otetaan Lahnaslammen louhoksesta. Näin vähennetään vesistöä otettavia vesimääriä.
BAT57	Luonnon radioaktiivisia aineita (NORM) sisältävien kaivannaisjätteiden hallinnan vaikutusten ehkäiseminen tai minimoiminen 57a. Luonnon radioaktiivisten aineiden seurantasuunnitelma 57b. Kaivannaisjätteen lajittelu ja valikoiva käsittely (ks. BAT 7b)	Sivukiville ja rikastushiekalle on tehty U- ja Th-aktiivisuuspitoisuuksien tarkastelu STUK:in ohjeistuksen (STUK 2021) mukaisesti. Minkään radionuklidin aktiivisuuspitoisuus ei siis ylittänyt vapautusrajaa 1000 Bq/kg.



Elementis Minerals B.V. Suomen sivuliike

Kaivosalueen sulkemisen vakuusarvio

19.5.2025

Vakuuslaskenta, koostesivu			
	m2	Kustannus ALV 0 %	Kustannus ALV 25,5 %
Sivukivialue	702 000	12 161 300	15 262 432
Papinlammen rikastushiekka-allas	400 000	3 880 000	4 869 400
Soidinsuonallas	191 000	1 852 700	2 325 139
Muut peitettävät alueet	189 000	2 230 200	2 798 901
Altaiden purut		128 500	161 268
Tarkkailu		399 000	500 745
Sulkemisvaiheen vesienhallinta		2 400 000	3 012 000
Kunnossapito		108 000	135 540

		Kustannus € ALV 0 %	Kustannus € ALV 25,5 %
Yhteensä		23 159 700	29 065 424

		€/m2 ALV 0 %	€/m2 ALV 25,5 %
Yksikkökustannus			
Sivukivialue		17,3	21,7
Papinlammen rikastushiekka-allas		9,7	12,2
Soidinsuonallas		9,7	12,2

Ei sisällä kaivosvakuuden piiriin kuuluvia sulkemiskustannuksia

Sivukivialueelle 3D-pinta-ala

InfraRYL	Sivukivialue	702 000	m2	Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä €
*	Kasvitus			m2tr	702 000	0,5	351 000
*	Kasvukerros, 300 mm			m3rtr	210 600	3,0	631 800
*	Suojamoreeni 1000 mm, k < 10-6			m3rtr	702 000	6,0	4 212 000
1423	Bentoniittimatto			m2tr	702 000	5,5	3 861 000
*	Moreenikerros louhepinnoille (11,9 ha), 500 mm			m3rtr	59 500	5,0	297 500
1141	Muotoilu ja tasaus			m2tr	702 000	2,0	1 404 000
1141	Puuston ja kasvillisuuden poisto			m2tr	702 000	2,0	1 404 000
Yht.							12 161 300

Yht. €	12 161 300
Yht. € +ALV 25,5%	15 262 432

* Kaivosten jäteveden alueen laajentamisen ympäristönsuojelullinen vaikuttavuus ja kustannukset.
Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:64.

Papinlammelle 2D-pinta-ala

InfraRYL	Papinlammen rikastushiekka-allas	400 000	m2	Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä €
*	Kasvitus			m2tr	400 000	0,5	200 000
*	Kasvukerros, 300 mm			m3rtr	120 000	3,0	360 000
*	Suojamoreeni 700 mm, k < 10-6			m3rtr	280 000	6,0	1 680 000
*	Tiivistetty moreeni 300 mm, k < 10-7			m3rtr	120 000	7,0	840 000
1141	Muotoilu ja tasaus			m2tr	400 000	2,0	800 000
Yht.							3 880 000

Yht. €	3 880 000
Yht. € +ALV 25,5%	4 869 400

* Kaivosten jätevuuden alan laajentamisen ympäristönsuojelullinen vaikuttavuus ja kustannukset.
Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:64.

Soidinsuonaltaalle 2D-pinta-ala

InfraRYL	Soidinsuonallas	191 000	m2	Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä €
*	Kasvitus			m2tr	191 000	0,5	95 500
*	Kasvukerros, 300 mm			m3rtr	57 300	3,0	171 900
*	Suojamoreeni 700 mm, k < 10-6			m3rtr	133 700	6,0	802 200
*	Tiivistetty moreeni 300 mm, k < 10-7			m3rtr	57 300	7,0	401 100
1141	Tasaus			m2tr	191 000	2,0	382 000

Yht. 1 852 700**Muut peitettävät alueet**

InfraRYL	Muut peitettävät alueet	189 000	m2	Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä €
*	Kasvitus			m2tr	189 000	0,5	94 500
*	Kasvukerros, 300 mm			m3rtr	189 000	3,0	567 000
*	Suojamoreeni 700 mm, k < 10-6			m3rtr	132 300	6,0	793 800
*	Tiivistetty moreeni 300 mm, k < 10-7			m3rtr	56 700	7,0	396 900
1141	Tasaus			m2tr	189 000	2,0	378 000

Yht. 2 230 200

Yht. €	4 082 900
Yht. € +ALV 25,5%	5 124 040

Muut peitettävät alueet	m2	
Talkkipiirin altaan eteläosa	59000	
Vanha talkkipiirin allas	30000	
Varoallas	30000	
Punasuon luoteiskulma	10000	
Maanlajitysalue	60000	Arvioitu puolet maanlajitysalueesta.
	189000	

* Kaivosten jätevuuden alan laajentamisen ympäristönsuojellinen vaikuttavuus ja kustannukset.
Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:64.

Talkkipiirin allas

InfraRYL		Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä €
*	Padon purku osalta matkaa ja muotoilu	m3rtr	7 000	4,0	28 000
*	Rikastushiekkasakkojen siirto altaan pohjalta	m3rtr	20 000	4,0	80 000
Yht.					108 000

Vanha vesivarasto/esiselkeytysallas

InfraRYL		7 500 m2	Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä €
*	Kasvitus		m2tr	7 500	0,5	3 750
*	Kasvukerros, 300 mm		m3rtr	2 250	3,0	6 750
*	Alueen purku, poistetaan pintakerrosta		m3rtr	2 500	4,0	10 000
Yht.						20 500

Yht. €	128 500
Yht. € +ALV 25,5%	161 268

* Kaivosten jäteväkuuden alan laajentamisen ympäristönsuojelullinen vaikuttavuus ja kustannukset.
Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:64.

Tarkkailu, vuodet 1-5 sulkemisen jälkeen				
Tarkkailu	Tarkkailu- pisteet	Kierrokset	Näytteet	Kustannus
	kpl	kpl	kpl	€ (ALV 0 %)
Päästötarkkailu	2	100	200	40 000 €
Vaikutustarkkailu, pintavedet	7	20	140	56 000 €
Vaikutustarkkailu, pohjavedet	10	10	100	30 000 €
Pohjasedimentti	4	1	4	4 000 €
Pohjaeläimet	5	1	5	6 000 €
Kasviplankton	3	1	3	2 000 €
Kalastustiedustelu		1	1	4 000 €
Sähkökoekalastus		1	1	4 000 €
Kalojen metallipitoisuudet		1	1	2 000 €
Sienet		1	1	7 000 €
Muurahaiset		1	1	7 000 €
Maaperä		1	1	7 000 €
Raportointi		5		25 000 €
ELYN valvonta		5		8 000 €

Yht. €	202 000
Yht. € +ALV 25,5%	253 510

Tarkkailu, vuodet 6-30 sulkemisen jälkeen				
Tarkkailu	Tarkkailu- pisteet	Kierrokset	Näytteet	Kustannus
	kpl	kpl	kpl	€ (ALV 0 %)
Alueelta lähtevä vesi	2	25	50	15 000 €
Vaikutustarkkailu, pintavedet	3	25	75	30 000 €
Vaikutustarkkailu, pohjavedet	5	20	100	30 000 €
Pohjaeläimet	3	1	3	3 000 €
Kasviplankton	3	1	3	2 000 €
Kalojen metallipitoisuudet		1		2 000 €
Kasvillisuusseuranta (kasvittuminen)		1		10 000 €
Raportointi		25		75 000 €
ELYN valvonta		25		30 000 €

Yht. €	197 000
Yht. € +ALV 25,5%	247 235

Sulkemisvaiheen vesienhallinta		
	Aikajakso	Kustannus
	kpl	€ (ALV 0 %)
Vesienkäsittely*	Vuodet 1-20 sulkemisesta	2 400 000 €

Yht. €	2 400 000
Yht. € +ALV 25,5%	3 012 000

* Kustannusarvio sulkemisen jälkeisestä vesienkäsittelystä (n. 0,7 miljoonaa kuutiota vuodessa), sisältäen sähkön, kemikaalit ja huoltokustannukset 120 000 e/a

Kunnossapito		
	Aikajakso	Kustannus
	kpl	€ (ALV 0 %)
Peiton ja ojaston kunnostustyöt	Vuodet 1-10 sulkemisesta	50 000 €
Tienpito jälkihoidon aikana	Vuodet 1-5 sulkemisesta	25 000 €
Tienpito (tarkkailtavat alueet)	Vuodet 6-10 sulkemisesta	25 000 €
Tienpito (tarkkailtavat alueet)	Vuodet 11-30 sulkemisesta	8 000 €

Yht. €	108 000
Yht. € +ALV 25,5%	135 540

Oletus: tarkkailua ja huoltoa varten aurattava 10 km.