Vuonoksen YVA-hankevaihtoehdoissa esitettyjen rikastushiekan läjitysalueiden suotovedenlaatujen geokemiallinen mallinnus

Mondo Minerals B.V. Branch Finland

Projektinumero: 101028111-007

25.6.2026

AFRY Finland Oy

Sisältö

1 Johdanto 4

2 Lähtötiedot 5
2.1 Peräkkäisuutto (BCR) 5
2.2 Prosessiveden pitoisuudet 5
2.3 Lämpötila, sadanta ja virtaamat 6
2.4 Sulkemisrakenne 7

3 Hankevaihtoehdot VE0 ja VE1 8
3.1 Hankevaihtoehtojen kuvaus 8
3.2 Vedenlaadun arvioinnin toteutus 8
3.3 Vedenlaatu ja kuormitus 9

4 Hankevaihtoehdot VE2a ja VE2b 12
4.1 Hankevaihtoehtojen kuvaus 12
4.2 Kuivaläjitysvaihtoehtojen tekniset suunnitelmat 13
4.2.1 VE2a 13
4.2.2 VE2b 13
4.3 Vedenlaadun arvioinnin toteutus 13
4.4 Vedenlaatu ja kuorma 16

5 Hankevaihtoehto VE3 19
5.1 Hankevaihtoehdon kuvaus 19
5.2 Rikastushiekka-alueen tekniset suunnitelmat 20
5.3 Vedenlaadun arvioinnin toteutus 21
5.4 Vedenlaatu ja kuormitus 22

6 Johtopäätökset 25

7 Herkkyydet ja epävarmuudet 26
7.1 Herkkyystarkastelu 26
7.2 Epävarmuudet 27

8 Syötetiedot ja oletukset 28
8.1 Mallin lähtötiedot ja konseptualisointi 28
8.2 Geokemiallinen tasapainomallinnus 29

9 Lähdeluettelo 30

Liitteet

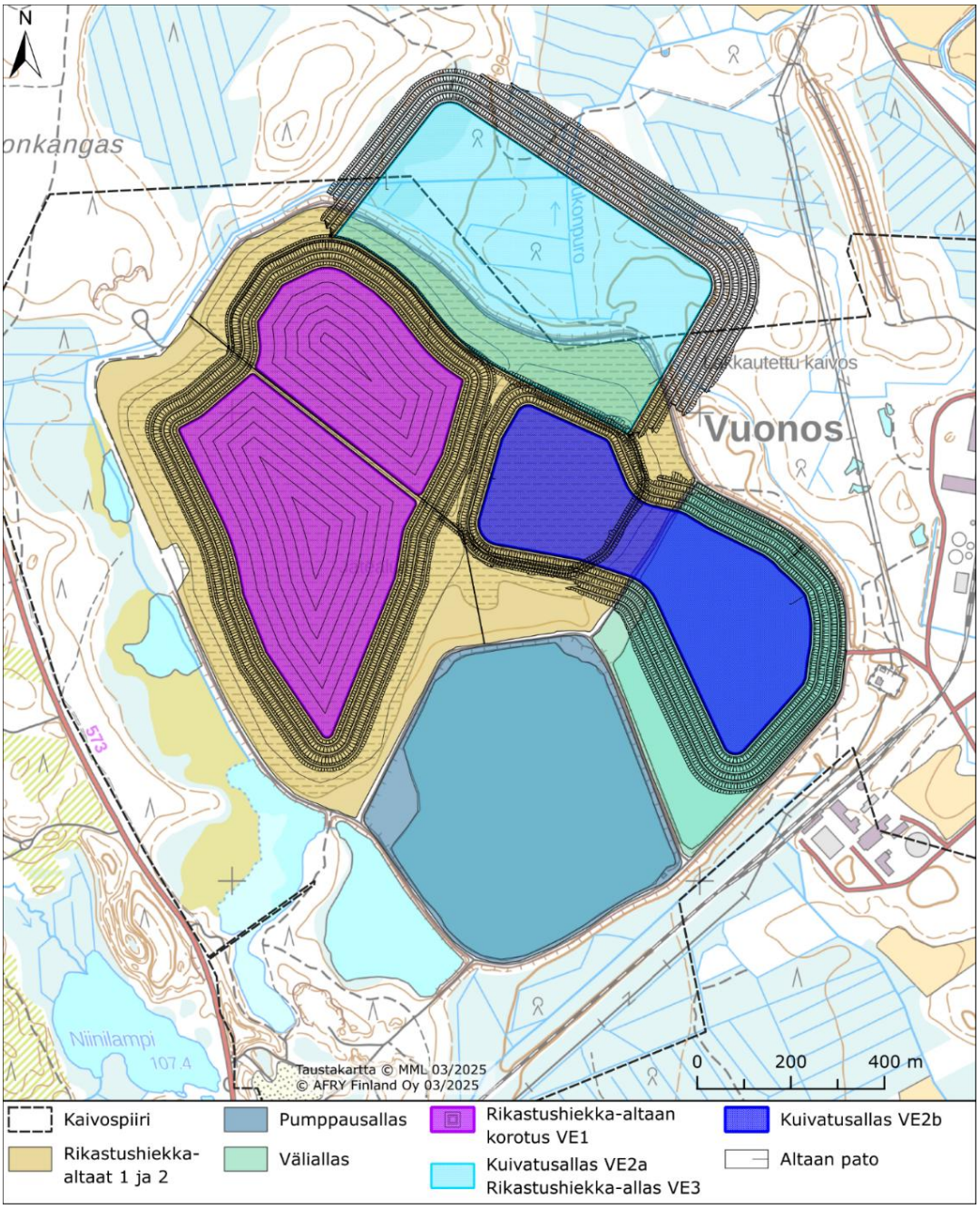
Liite 1 BCR-uuton tulokset

TERMI	SELITE
ylitevesi	Allasmaisen kaivannaisjätealueen päältä tai vesialtaalta pumpattava poistovesi (suotovesimallinnuksessa).
hankevaihtoehto (VE)	Ympäristövaikutusten arviointimenettelyssä (YVA) tarkasteltava hankkeen toteuttamistapa.
happivuo	Tietyn ajan kuluessa tapahtuva hapenkulutus tai -siirtymä pinnan läpi, tässä yhteydessä ilmoitettuna yksikkönä moolia happea neliömetriä kohti vuodessa (mol $O_2/m^2/a$)
peittorakenne	Kaivannaisjätealueen sulkemisrakenne, jonka tarkoitus on sadeveden suotautumisen ja happivuon pienentäminen tarpeen mukaan.
konseptualisointi	Käsitteellistäminen, vuorovaikutusten, reaktioiden tai virtausten kuvaaminen -ei-numeerisesti
kosteuskammiokoe	*Humidity cell test*, kineettinen koetyyppi, jolla selvitetään kaivannaisjätteen tai kiviaineksen pitkäaikaiskäyttäytymistä. Kokeessa näyte on peräkkäin kuivissa ja kosteissa olosuhteissa, syklien välillä näytekammio huuhdotaan tislatulla vedellä.
skaalauskerroin	Kerroin, jonka avulla muunnetaan laboratorioanalyysien tuloksia vastaamaan kenttäolosuhteita (esimerkiksi raekoon tai lämpötilan suhteen)
suotovesi	Myös ”kontaktivesi”, kaivannaisjätteen läjitysalueelta poistuva/tihkuva ylimääräinen vesi, joka on ollut kontaktissa kaivannaisjätteen kanssa

1 Johdanto

Tämä raportti on AFRY Finland Oy:n laatima ja käsittelee Mondo Mineralsin Vuonoksen rikastushiekka-alueella muodostuvien suotovesien vedenlaatua tehdasalueen toiminnan aikana ja sulkemisen jälkeen perustuen YVA:ssa esitettyihin hankevaihtoehtoihin. Mallinnusten tulosten perusteella voidaan tarkastella hankevaihtoehtojen ympäristövaikutusten eroja.

Hankevaihtoehtojen sijoittuminen on esitetty kuvassa 1-1. Vaihtoehdossa VE1 nykyistä rikastushiekka-allasta korotetaan. Rikastushiekka-altaalla muodostuvien suoto- ja ylitevesien oletetaan säilyvän laadultaan nykyisen kaltaisena (ks. luku 3). Hankevaihtoehdoissa VE2a ja VE2b rikastushiekka (magnesiittihiekka) läjitetään kuivaläjityksenä. Hankevaihtoehdossa VE3 rikastushiekka (magnesiittihiekka) läjitetään märkäläjityksenä uudelle rikastushiekka-altaalle. Vaihtoehdon VE2 mukainen vedenlaadun arviointi on esitetty luvussa 4 ja VE3 luvussa 5.



Kuva 1-1. Suunniteltujen toimintojen sijoittuminen hankealueella vaihtoehdoissa VE1, VE2a–b ja VE3.

2 Lähtötiedot

Geokemiallisen mallinnuksen lähtöaineistona toimii magnesiittihiekan peräkkäisuutto- eli BCR-uuttotulokset (ks. luku 2.1). Magnesiittihiekkanäyte on otettu nykyiseltä rikastushiekka-alueelta vuonna 2025. BCR-uuttotulosten sekä teknisten suunnitelmien ja paikallisten luonnonolosuhteiden pohjalta luotiin konseptuaalinen malli, jonka perusteella eri hankevaihtoehtojen mukaisilla alueilla muodostuvien suotovesien laatua arvioitiin geokemiallisen tasapainomallinnuksen avulla. Numeerisessa geokemiallisessa mallinnuksessa käytettiin Geochemist's Workbench-ohjelmaa (GWB).

2.1 Peräkkäisuutto (BCR)

Rikastushiekan ominaisuuksia tutkittiin ottamalla näytteitä seitsemästä eri pisteestä nykyisen rikastushiekka-alueen välialtaasta sekä nykyisiltä rikastushiekka-altailta 1 ja 2 eri syvyyksiltä. Näytteet otettiin vuonna 2025 ja analysointi suoritettiin vuoden 2025 aikana. Valituille näytteille tehtiin 4-vaiheinen BCR-peräkkäisuutto, jossa neste/kiintoaine-suhde oli 50:1.

Vuoden 2025 näytteenoton tavoitteena oli selvittää rikastushiekka-altaalle eri aikoina läjitettyjen rikastushiekkojen ominaisuuksien nykytilaa. Nykyisillä rikastushiekka-altailla päällimmäisenä on Mondo Mineralsin nykyisestä toiminnasta muodostuvaa magnesiittihiekkaa, ja sen alla on aiemman toimijan (Outokumpu Oy) aikana muodostunutta nk. sulfidirikastushiekkaa. Näytteenoton tarkoitus ei ollut selvittää YVA-menettelyä varten toiminnassa nykyisellään muodostuvan magnesiittihiekan ominaisuuksia, mutta tulosten tulkinnan yhteydessä yhden vaihettumiskerroksesta otetun näytteen (NP4/9 m) todettiin vastaavan koostumukseltaan pitkälti nykyistä magnesiittihiekkaa. Kyseisen näytteen tuloksia käytetään YVA-vaihtoehtojen geokemiallisessa mallinnuksessa edustamaan magnesiittihiekkaa.

Pelkkä aineen kokonaispitoisuus ei anna riittävää tietoa aineiden ympäristökäyttäytymisestä, sillä aineiden vapautuminen riippuu niiden esiintymismuodoista. Metallien sitoutumismuotoja ja potentiaalista vapautumista voidaan arvioida mm. peräkkäisuutolla. BCR-peräkkäisuutossa käytetään Euroopan komission kehittämää ja validoimaa BCR-referenssimenetelmää (Rauret et al. 1999).

BCR-peräkkäisuutossa näytteet uutetaan neljässä peräkkäisessä vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa vaihtuva ja heikosti happoliukoinen fraktio uutetaan etikkahapolla, jolla vapautetaan pääasiassa karbonaatteihin sitoutuneet metallit. Toisessa vaiheessa uutetaan hydroksyyliammoniumkloridilla pelkistyvä fraktio, joka edustaa rauta- ja mangaanioksideihin sitoutuneita metalleja. Kolmannessa vaiheessa uutetaan vetyperoksidilla hapettuva fraktio, joka sisältää orgaaniseen aineeseen ja sulfideihin sitoutuneet metallit. Neljännessä vaiheessa jäännösfraktio määritetään hajottamalla jäljelle jäänyt kiinteä jäännös kuningasvedellä, joka vapauttaa mineraalirakenteisiin sitoutuneet metallit.

Peräkkäisuuttotuloksista koostettiin mallin syöte. Näyte NP4/9 m valittiin edustamaan magnesiittihiekkaa. Mallin lähtöaineistona käytettiin ensimmäisen, toisen ja kolmannen uuttovaiheen tuloksia. BCR-uuton tulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 1.

2.2 Prosessiveden pitoisuudet

Rikastushiekka-altaan vedenlaatuun vaikuttaa rikastushiekan rapautumistuotteiden lisäksi rikastushiekan mukana tulevan prosessiveden laatu. Prosessiveden tuloksia käytettiin myös rikastushiekka-alueiden suotovedenlaadun mallinnuksessa.

Taulukossa 2-1 on esitetty prosessiveden nikkelin, sulfaatin, raudan ja arseenin pitoisuudet keskiarvona vuosien 2020–2024 mittaustuloksista, joita oli 518 kpl. Prosessivedestä otettiin lisäksi vuonna 2025 lisänäyte, jolle tehtiin kattavampi karakterisointi (Taulukko 2-2).

Taulukko 2-1. Rikastushiekka-altaan veden geokemiallisessa tasapainomallinnuksessa käytetyn prosessiveden laatu (keskiarvo vuosien 2020–2024 tuloksista, N=518).

Parametri	Prosessivesi (mg/l)
Ni	0,35
SO_4	790
Fe	0,59
As	0,068

Taulukko 2-2. Rikastushiekka-altaan veden geokemiallisessa tasapainomallinnuksessa syötetietona käytetyn prosessiveden lisänäytteen tulokset (8.12.2025).

Parametri	Yksikkö	Prosessivesi	Parametri	Yksikkö	Prosessivesi
pH		9,1	Cr	µg/l	4,2
N	µg/l	1100	Cu	µg/l	0,6
P	µg/l	10	Fe	µg/l	330
SO_4	mg/l	560	Hg	µg/l	0,005
As	µg/l	54	K	mg/l	8,3
P	µg/l	10	Mg	mg/l	110
SO_4	mg/l	560	Na	mg/l	29
Ca	mg/l	85	Ni	µg/l	62
Cd	µg/l	0,01	Pb	µg/l	0,05
Co	µg/l	1,1	Zn	µg/l	1,6

2.3 Lämpötila, sadanta ja virtaamat

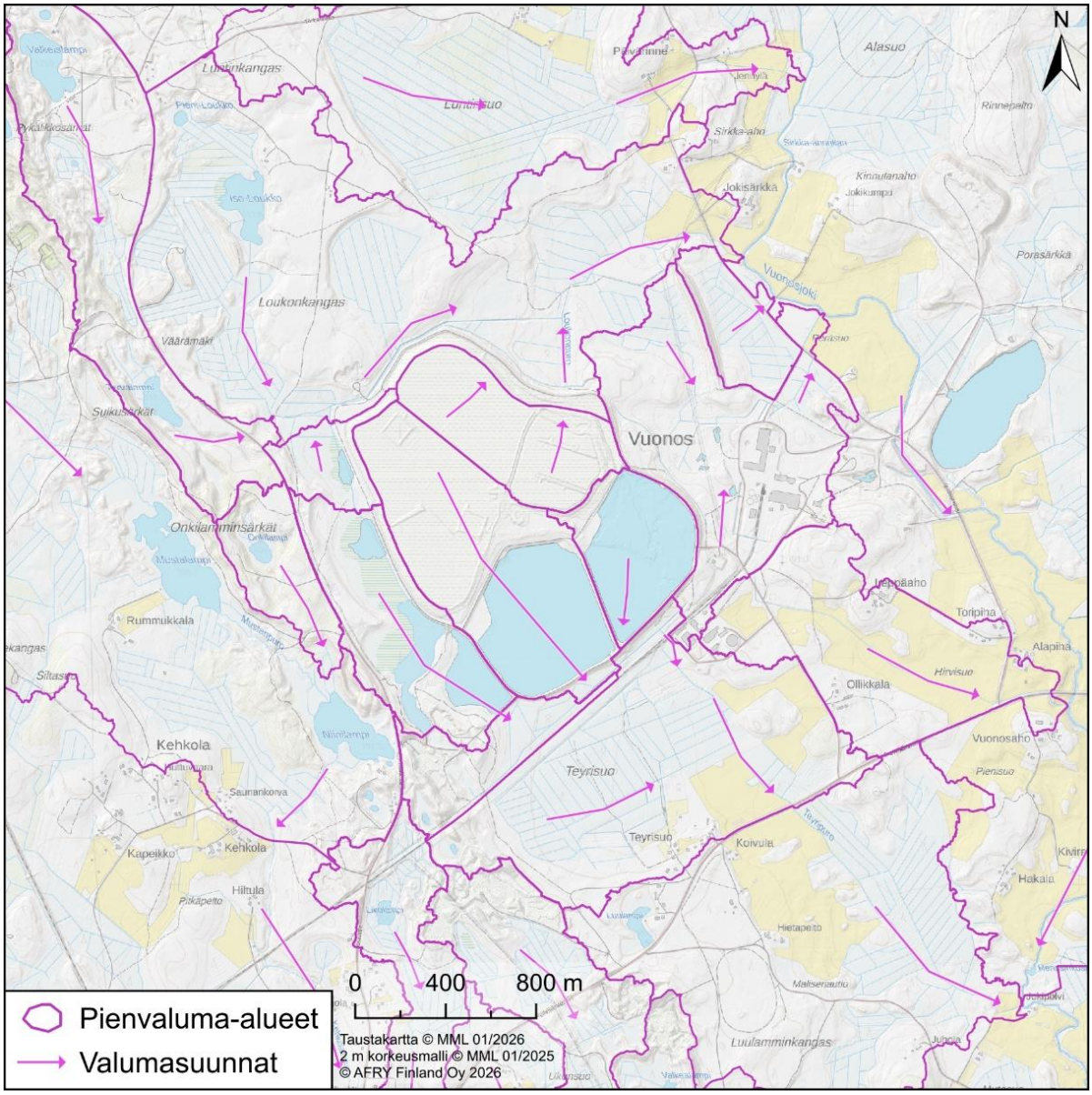
Vuotuinen sadanta alueella on keskimäärin 644 mm/a (Viuruniemi v. 1990–2024, Ilmatieteenlaitos 2026). Sadannan kasvu lisää veden määrää läjitysalueella, mikä laimentaa pitoisuuksia. Toisaalta sadannan kasvu lisää suotoveden määrää ja näin kokonaiskuormitusta, eikä siksi voida sanoa, onko konservatiivista arvioida sadantaa ylös vai alaspäin.

Lämpötilalla sen sijaan on reaktionopeutta kasvattava vaikutus, eli keskilämpötilojen nousu lisää sulfideihin sitoutuneiden haitallisten aineiden vapautumista rikastushiekasta. Keskilämpötilaksi malliin määritettiin 3,5 °C perustuen Joensuun ilmastotietoihin (keskilämpötila v. 1991–2024). Joensuun lentoaseman havaintoasema on aluetta lähin, jolta on saatavilla pidemmän aikavälin lämpötilahavaintoja.

Alueelle osuvasta sadannasta noin 30 % oletetaan haihtuvan, eli nettosadanta on 450 mm/vuosi. Sulkemisvaiheessa rikastushiekka-alue peitetään tiiviillä peittorakenteella (AFRY Finland Oy 2026a), jolloin nettosadannasta 90 % oletetaan poistuvan pintavaluntana ja 10 % muodostavan suotovettä.

Hankevaihtoehdossa VE2b rikastushiekka läjitetään nykyiselle rikastushiekka-altaalle, jolla ei ole pohjarakenteita. Pohjarakenteettoman läjitysalueen pohjan vedenläpäisyksi oletetaan 40 % kokonaisvedestä. Talteenotettavan suotoveden arviossa ei ole huomioitu nykyisellä rikastushiekka-altaalla olevan suotovesien pumppauksen vaikutusta talteenotettavaan osuuteen, vaan arvio

perustuu yleisesti pohjarakenteettomien läjitysalueiden talteenottoasteeseen. Kokemusperäisen arvion mukaan noin 60 % suotovesistä saadaan otettua talteen suotovesiojiin. Talteenottamaton suotovesi suotautuu rikastushiekka-alueen pohjan kautta maaperään ja pohjaveteen. Hankevaihtoehdoissa VE2a ja VE3 rikastushiekka läjitetään uudelle laajennusalueelle, jolle rakennetaan tiiviit pohjarakenteet. Tiiviiden pohjarakenteiden seurauksena arviolta noin 95 % suotovesistä saadaan otettua talteen suotovesiojiin ja vastaavasti noin 5 % jää talteenottamatta. Sulkemisen jälkeen pintavalunta jakautuu lähtökohtaisesti luontaisten mikrovaluma-alueiden mukaisesti (Kuva 2-1).

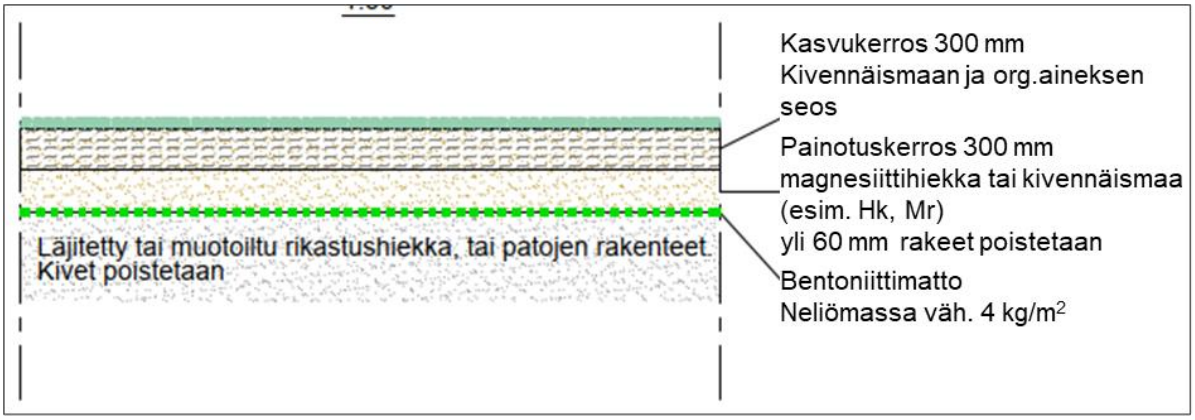


Kuva 2-1. Mikrovaluma-alueet ja niiden valumasuunnat Vuonoksen tehdas- ja rikastamoalueella sulkemisen jälkeen.

2.4 Sulkemisrakenne

Vuonoksen nykyinen rikastushiekka-allas peitetään sulkemisvaiheessa tiiviillä peittorakenteella (AFRY Finland Oy 2026a). YVA-hankevaihtoehdoissa sulkemisrakenne on alustavasti sama kaikissa hankevaihtoehdoissa. Peittorakenteella voidaan vähentää suotovesimäärää ja hapettumisen seurauksena magnesiittihiekasta vapautuvaa ainekuormaa. Toiminnallisten tavoitteiden kannalta

tärkeintä on kaksi parametria: peittorakenteen kyky hidastaa hapen kulkeutumista ja toisaalta kyky vähentää vedenläpäisyä. Esimerkkirakenne esitetään kuvassa 2-2.



Kuva 2-2. Esimerkki toiminnalliset tavoitteet täyttävästä peittorakenteesta (AFRY Finland Oy 2026a).

Bentoniittiin perustuvassa peittorakenteessa painotuskerroksen tärkein tavoite on auttaa ylläpitämään bentoniittimaton kosteus tavoitetasolla sekä estää bentoniitin fyysinen vaurioituminen (mm. puhkeamat esimerkiksi eläinten vaikutuksesta ja jäätyminen maan routimisen vaikutuksesta). Kasvukerros edesauttaa suojakerroksen paikallaan pysymistä erityisesti ääriolosuhteissa (kuten rankkasateet), lisää haihduntaa ja pidättää lunta, joka eristää pakkaselta eli vähentää roudan syvyyttä.

Peittorakenteena käytetään tiivistä peittorakennetta. Vedenläpäisyn tavoite on maksimissaan 10 % nettosadannasta ja hapenläpäisyn 1 mol/m^2/vuosi.

3 Hankevaihtoehdot VE0 ja VE1

3.1 Hankevaihtoehtojen kuvaus

Hankevaihtoehdossa VE0 toiminta jatkuu nykyisellä ympäristöluvalla niin kauan kuin se on lupaehtojen puitteissa mahdollista. Toiminta päättyy rikastushiekka-altaan saavuttaessa nykyisen ympäristöluvan maksimikorkeuden (+116 m mpy (N60) rikastushiekan läjityskorkeus, +117 m mpy (N60) patoharjat) noin vuonna 2030–2032.

Hankevaihtoehdossa VE1 rikastushiekka-altaat korotetaan korotussuunnitelman mukaisesti tasolle +126 m mpy (rikastushiekan läjityskorkeus) ja +127 m mpy (patoharjat). Tämä mahdollistaisi toiminnan jatkamisen noin vuoteen 2050 asti. Muilta osin toiminta jatkuu ennallaan.

3.2 Vedenlaadun arvioinnin toteutus

Toiminnanaikaisten vedenlaatujen arviointi

Hankevaihtoehdossa VE0 toiminta jatkuu nykyisellään, eikä hankevaihtoehdolla näin ollen ole vaikutusta nykyiseen rikastushiekka-altaan vedenlaatuun.

Hankevaihtoehdossa VE1 nykyistä rikastushiekka-allasta korotetaan ja rikastushiekan määrä läjitysalueella kasvaa. Rikastushiekan märkäläjityksessä, jollainen nykyinen rikastushiekka-allas on, rikastushiekan reaktiivinen massa muodostuu saturoituneen rikastushiekan yläpuolisesta ns. kuivasta kerroksesta. Rikastushiekka-allasta korottaessa myös saturoituneen rikastushiekan määrä kasvaa ts. vedenpinta altaalla nousee. Märkäläjityksessä hapettuva rikastushiekkakerros muodostuu läjitysalueen reunaosien kuiviin penkereisiin, joissa rikastushiekka kaataa kohti altaan keskiosaa. Altaan keskiosiin muodostuu vapaa vesipinta. Korotetussa rikastushiekka-altaassa hapettuvan

rikastushiekan kerrospaksuuden oletetaan muodostuvan nykyistä vastaavaksi. Tällöin myös hapettuvan rikastushiekan määrä on suunnilleen sama. Jonkin verran eroja aiheutuu vedenpinnan tason lisäksi mm. korotusten seurauksena pienentyvästä pinta-alasta, mutta näiden katsotaan olevan vähäisiä. On myös huomioitavaa, että mallinnusten tarkkuuden on tarkoitus olla YVA-selostusvaiheessa riittävä hankevaihtoehtojen vaikutusten vertailuun suuruusluokkatasolla.

Sulkemisen jälkeisten vedenlaatujen arviointi

Rikastushiekka-altaalla sulkemisen jälkeen muodostuvan veden laatua on arvioitu sulkemissuunnitelman edellisen päivityksen yhteydessä. Mallinnus toteutettiin kolmelle eri vaiheelle (AFRY Finland Oy 2026b):

- **Vaihe 1** edustaa heti sulkemisen jälkeisiä ensimmäisiä vuosia. Rikastushiekka-alue on kokonaan peitetty eli hapen ja vedenläpäisykyky on toiminnan aikaisesta rajoittunut, mutta rikastushiekan prosessivesipitoinen huokosvesi ei ole vielä alkanut korvautumaan sadevedellä.
- **Vaihe 2** edustaa sulkemisen jälkeistä keskipitkän ajan ennustetta noin 66 vuotta sulkemisen jälkeen. Vaihe 2 on muutoin vastaava kuin vaihe 1, mutta huokosvedestä noin puolet oletetaan korvautuneen sadevedellä.
- **Vaihe 3** edustaa sulkemisen jälkeistä pitkän ajan ennustetta noin 132 vuotta sulkemisen jälkeen. Vaihe 2 on muutoin vastaava kuin vaihe 1, mutta huokosveden oletetaan kokonaan korvautuneen sadevedellä.

3.3 Vedenlaatu ja kuormitus

Toiminnanaikaiset vedenlaadut

Hankevaihtoehdoissa VE0 ja VE1 rikastushiekka-altaan vedenlaadun oletetaan säilyvän nykyisen kaltaisena. Rikastushiekka-altaan suotoveden laatua tarkkaillaan kuukausittain. Vuosien 2023–2025 suotoveden tarkkailutulosten keskiarvot on esitetty taulukossa 3-1. Välialtaan ja rikastushiekka-altaan pinnalta pumpattavan yliteveden tarkkailutulosten keskiarvot on esitetty taulukossa 3-2.

Taulukko 3-1. Vuonoksen rikastushiekka-altaan suotovesipumppaamoiden vuosien 2023–2025 tarkkailutulosten keskiarvot.

Parametri	Yksikkö	Suotovesipumppaamot (v. 2023–2025)			Keskiarvo A-C
		A	B	C	
näytemäärä	kpl	29	24	26	79
pH		5,9	6,1	6,4	6,1
Ni	mg/l	0,31	0,21	0,67	0,4
As	mg/l	0,0045	0,0045	0,018	0,0089
Fe	mg/l	17	14	5,2	12
SO_4	mg/l	2100	1500	1600	1700
sjk	mS/m	530	310	340	390
Ca	mg/l	350	200	230	260
Redox	mV	170	140	160	160

Taulukko 3-2. Vuonoksen välialtaan ja rikastushiekka-altaan vuosien 2023–2025 tarkkailutulosten keskiarvot.

Parametri	Yksikkö	Väliallas	Rikastushiekka-alue
näytemäärä	kpl	304	302
pH		8,2	9,2
Fe	mg/l	0,57	1
Ni	mg/l	0,27	0,14
As	mg/l	0,065	0,11
SO_4	mg/l	790	640

Sulkemisen jälkeiset vedenlaadut

Mallinnuksen tuloksena tuotettu suotovedenlaatu on esitetty taulukossa 3-3. 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 suotoveden laatuun. Pitoisuus suotovedessä ei ole pitoisuus pohjavedessä. Tässä yhteydessä arvoja käytetään vain suuruusluokan hahmottamisen tukena. Sulkemisen jälkeisenä aikana muodostuvan suotoveden laatua tarkasteltiin kolmessa eri skenaariossa (ks. luku 2.4). (AFRY Finland Oy 2026b)

Vaiheessa 1 suotovesi on lievästi hapanta (pH 6). Arseenin, kadmiumin, koboltin, kuparin, nikkelin, lyijyn, sinkin, sulfaatin ja ammoniumin pitoisuudet ylittävät pohjaveden ympäristölaatunormin raja-arvot. Muiden aineiden osalta pitoisuudet ovat maltillisia. Prosessiveden vaikutus näkyy etenkin nikkelin, sulfaatin, typen, kadmiumin ja arseenin pitoisuuksissa. (AFRY Finland Oy 2026b)

Vaiheessa 2 suotovesi on edelleen lievästi hapanta (pH 6,4), mutta lähempänä neutraalia kuin vaiheessa 1. Kadmiumin, koboltin, kuparin, nikkelin, lyijyn, sinkin, sulfaatin ja ammoniumin pitoisuudet ylittävät pohjaveden ympäristölaatunormin. Muiden aineiden osalta pitoisuudet ovat maltillisia. Prosessiveden vaikutus suotoveden laatuun näkyy edelleen, mutta etenkin nikkelin, sulfaatin, typen, kadmiumin ja arseenin pitoisuudet ovat laskeneet selvästi prosessivesipitoisen huokosveden korvauduttua sadevedellä. (AFRY Finland Oy 2026b)

Vaiheessa 3 suotovesi on lievästi emäksistä (pH 8,3). Prosessivesipitoinen huokosvesi on korvautunut kokonaan sadevedellä, eikä prosessiveden vaikutusta enää näy suotoveden laadussa. Kadmiumin, koboltin, nikkelin ja sinkin pitoisuudet ylittävät pohjaveden ympäristölaatunormin mukaiset pitoisuudet. Muiden aineiden osalta pitoisuudet ovat maltillisia. (AFRY Finland Oy 2026b)

Taulukko 3-3. Rikastushiekka-alueelta tulevan suotoveden koostumus sulkemisen jälkeen. Suuruusluokan hahmottamisen tueksi esitetään pohjaveden ympäristölaatunormin (VNA 341/2009) pitoisuuksia, vaikka nämä eivät olekaan suoraan sovellettavissa suotoveden vedenlaadulle. (AFRY Finland Oy 2026b)

Muuttuja	Yksikkö	Vaihe 1	Vaihe 2	Vaihe 3	VNA 341/2009
pH		6,0	6,4	8,3	
Ag	mg/l	0,000054	0,000054	0,000053	
Al	mg/l	0,42	0,42	0,00038	
As	mg/l	0,016	0,0012	8,4E-07	0,005
B	mg/l	0,00078	0,00078	0,00078	
Ba	mg/l	0,0031	0,0031	0,0031	
Be	mg/l	0,000052	0,000052	0,000052	
Ca	mg/l	93	50	7,9	
Cd	mg/l	0,057	0,052	0,044	0,0004
Cl	mg/l	0,00076	0,00076	0,00076	25

Muuttuja	Yksikkö	Vaihe 1	Vaihe 2	Vaihe 3	VNA 341/2009
Co	mg/l	0,073	0,072	0,07	0,002
Cr	mg/l	0,000022	3,6E-06	3,3E-10	0,01
Cu	mg/l	0,059	0,026	0,00068	0,02
F	mg/l	5,8	5,8	5,8	
Fe	mg/l	5,8E-06	1,6E-06	8,8E-09	
Hg	mg/l	6,8E-06	1,5E-06	2,9E-08	
K	mg/l	8,4	4,3	0,14	
Li	mg/l	0,0013	0,0013	0,0013	
Mg	mg/l	120	69	14	
Mn	mg/l	0,36	0,36	0,36	
Mo	mg/l	0,00049	0,00049	0,00049	
Na	mg/l	46000	15	0,02	
Ni	mg/l	0,5	0,32	0,14	0,01
P	mg/l	0,0084	0,0042	0,0015	
Pb	mg/l	0,14	0,078	0,00058	0,005
Sb	mg/l	0,001	0,001	0,001	0,0025
Se	mg/l	0,00025	0,00025	0,00025	
Si	mg/l	0,49	0,49	0,49	
Sn	mg/l	0,000046	0,000072	0,0022	
Sr	mg/l	0,0076	0,0077	0,0077	
Th	mg/l	0,00082	0,00082	0,00082	
Ti	mg/l	0,28	0,28	0,28	
U	mg/l	0,00033	0,00012	0,0012	
V	mg/l	0,003	0,003	0,003	
W	mg/l	0,00	0,00	0,00	
Zn	mg/l	0,42	0,42	0,31	0,06
SO_4	mg/l	810	420	20	150
NO_3-N	mg/l	0,55	0,27	0,00	50
NH_4-N	mg/l	0,55	0,27	0,00	0,2

Taulukossa 3-4 esitetään aineiden vuotuinen kuormitus ympäristöön perustuen tasapainotettuun suotovedenlaatuun sulkemisen jälkeen.

Taulukko 3-4. Suotovesien mukana rikastushiekka-alueelta tuleva kuormitus (kg/v) ympäristöön sulkemisen jälkeen. (AFRY Finland Oy 2026b)

Muuttuja	Vaihe 1	Vaihe 2	Vaihe 3
	kg/a	kg/a	kg/a
Ag	0,0026	0,0026	0,0026
Al	20	20	0,018
As	0,79	0,058	4,1E-05
B	0,038	0,038	0,038
Ba	0,15	0,15	0,15
Be	0,0025	0,0025	0,0025
Ca	4500	2400	380
Cd	2,7	2,5	2,2
Cl	0,037	0,037	0,037

Muuttuja	Vaihe 1	Vaihe 2	Vaihe 3
Co	3,5	3,5	3,4
Cr	0,0011	0,00017	1,6E-08
Cu	2,9	1,2	0,033
F	280	280	280
Fe	0,00028	0,00008	4,3E-07
Hg	0,00033	7,1E-05	1,40E-06
K	410	210	6,9
Li	0,061	0,061	0,061
Mg	6000	3300	670
Mn	17	17	17
Mo	0,024	0,024	0,024
Na	2200000	700	0,95
Ni	24	16	6,6
P	0,41	0,2	0,073
Pb	7	3,8	0,028
Sb	0,051	0,051	0,051
Se	0,012	0,012	0,012
Si	24	24	24
Sn	0,0022	0,0035	0,11
Sr	0,37	0,37	0,37
Th	0,04	0,04	0,04
Ti	13	13	13
U	0,016	0,0057	0,058
V	0,15	0,15	0,15
W	0	0	0
Zn	20	20	15
SO_4	39000	20000	980
NO_3-N	27	13	0
NH_4-N	27	13	0

4 Hankevaihtoehdot VE2a ja VE2b

4.1 Hankevaihtoehtojen kuvaus

Hankevaihtoehdossa VE2 nykyisiä rikastushiekka-altaita tyhjennetään ja täytetään (RH1- ja RH2-altaat) vuorotellen. Kuivasta (ei sillä hetkellä läjityskäytössä olevasta) altaasta poistetaan rikastushiekkaa, joka läjitetään uudelle rakennettavalle kuivaläjitysalueelle. Tällöin toinen puoli nykyisestä rikastushiekka-altaasta on märkäläjityskäytössä, ja toinen puoli kuivumassa ja tyhjennyksessä kuivaläjitystä varten. Kuivaläjitys mahdollistaisi toiminnan jatkamisen noin vuoteen 2050 asti. Hankevaihtoehdossa VE2 tarkastellaan kahta vaihtoehtoista sijaintia kuivaläjitykselle (VE2a ja VE2b):

- VE2a: Kuivaläjitys nykyisen rikastushiekka-altaan pohjoispuolelle rakennettavaan ”altaaseen” (sama alue kuin VE3, rikastushiekan läjityskorkeus maksimissaan tasolle +126 m mpy)
- VE2b: Kuivaläjitys nykyisen rikastushiekka-altaan 2 eteläosaan ja välialtaaseen, rikastushiekan läjityskorkeus +134 m mpy.

4.2 Kuivaläjitysvaihtoehtojen tekniset suunnitelmat

4.2.1 VE2a

Hankevaihtoehdossa VE2a uudelle rikastushiekka-alueelle rakennetaan tiivis pohjarakenne sekä vaadittava infra (ml. suotovesienhallinta, sähköt, tiestö, pumppaamot jne). Uuden rikastushiekka-altaan rikastushiekan läjityskorkeus on maksimissaan tasolle +126 m mpy (rikastushiekan pinnan taso, +127 m mpy patoharjat).

Tiiviin pohjarakenteen seurauksena arviolta noin 95 % kuivaläjitysalueella muodostuvasta kokonaisvesimäärästä on talteenotettavissa suotovesiojista. Vastaavasti noin 5 % suotautuu pohjarakenteen läpi maaperään ja pohjaveteen.

4.2.2 VE2b

Hankevaihtoehdossa VE2b kuivaläjitysalue rakennetaan osittain nykyisen rikastushiekkaläjityksen päälle ja osittain nykyisen välialtaan päälle (Kuva 4-1). Väliallas on aiemmin suurelta osin täytetty magnesiittihiekalla. Välialtaan vapaa vesipinta on noin 3 ha ja vesitilavuus noin 0,1 milj. m^3.

Rikastushiekka-altailla ei ole pohjarakenteita. Rikastushiekkaa on läjitetty turve- ja hieta- tai hiesukerrosten päälle. Läjityksen pohjalla oleva turve on todennäköisesti tiivistynyt heikosti vettä läpäiseväksi. Turvekerroksen alla on moreenin päällä oleva heikosti vettä läpäisevä hieta- tai hiesukerros (AFRY Finland Oy 2025).

Altaita ympäröivät suotovesiojat, suotovesiojissa olevien pumppaamoiden avulla suotovedet pumpataan takaisin allasvesikiertoon joko rikastushiekka-altaaseen tai välialtaaseen.

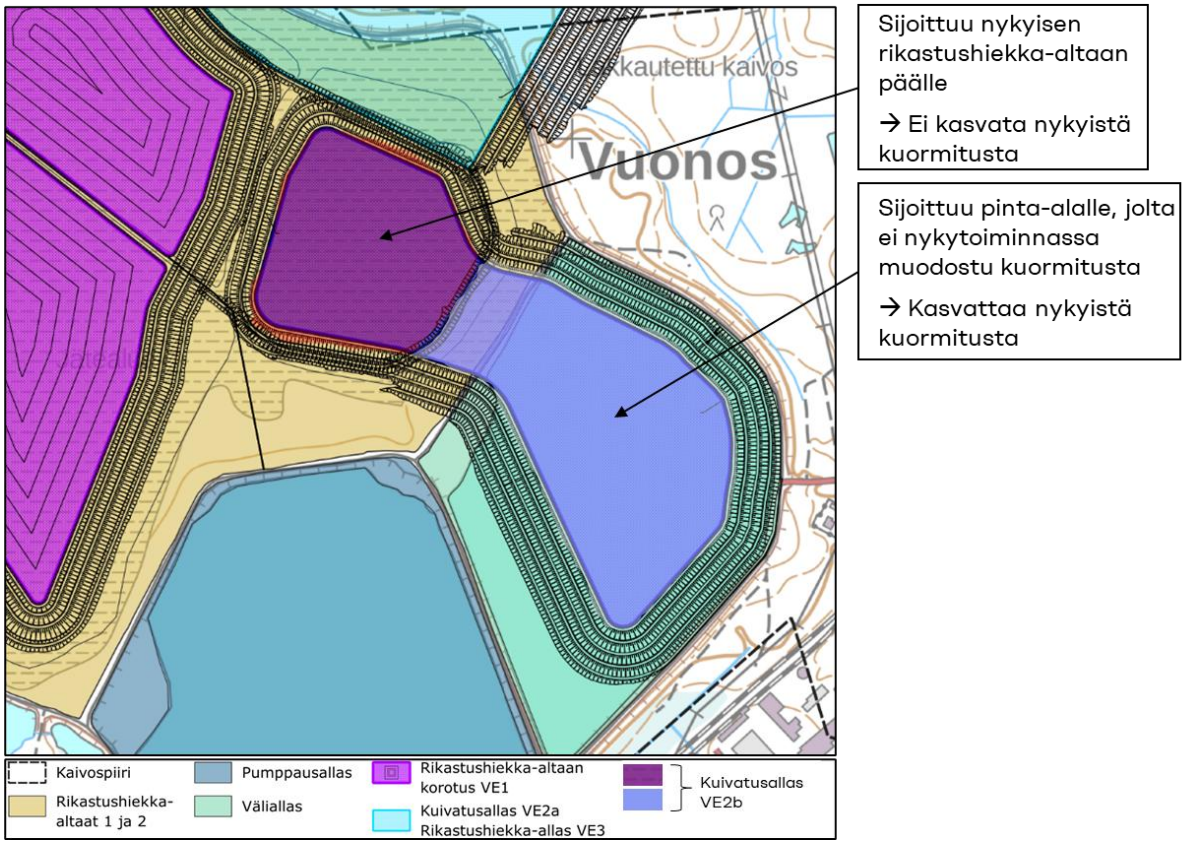
Rikastushiekka-altaan 1 länsipuolella sijaitsevat luontaiset altaat, joita käytetään vastapainealtaina siten, että alemman vastapainealtaan pinta on ylempänä kuin pumppausaltaan pinta ja ylemmän vastapainealtaan pinta on ylempänä kuin rikastushiekka-altaan 1 suotovesiojan pinta.

Rikastushiekka-altaasta 1 vapaa vesi johdetaan dekantointikaivon kautta suoraan pumppausaltaaseen. Rikastushiekka-altaasta 2 vedet johdetaan dekantointikaivon ja välialtaan kautta pumppausaltaaseen. Rikastushiekka-alueelta osa selkeytyneestä vedestä palautetaan rikastamolle ja talkkitehtaalle prosessivedeksi. Loppuosa vedestä johdetaan purkureittiä pitkin Lahdenjoen alajuoksulle ja edelleen Sysmäjärveen.

4.3 Vedenlaadun arvioinnin toteutus

Hankevaihtoehdot VE2a ja VE2b ovat läjitysteknisesti muuten toistensa kanssa samanlaiset ja mittasuhteiltaan lähellä, mutta vaihtoehdossa VE2b ei ole tiiviitä pohjarakenteita. Molemmissa hankevaihtoehdoissa läjityksessä muodostuvan suotoveden laatu mallinnettiin yhteisesti käyttäen läjitysalueen VE2b dimensioita. Kuormitus laskettiin hankevaihtoehdoille erikseen, sillä vaihtoehdossa VE2b suhteellisesti suurempi osa suotovedestä suotautuu maaperään.

Hankevaihtoehdossa VE2b rikastushiekka-alue sijoittuu osittain nykyisen rikastushiekka-altaan päälle. Uusi läjitysalue estää vanhan magnesiittihiekkaläjityksen hapettumisen ja korvaa sen uudella läjityksellä. Tämän osan ei katsota kasvattavan nykyistä kuormitusta, koska vanha kuormitus korvautuu uudella (Kuva 4-1). VE2b-altaan itäisempi puolisko sijoittuu pinta-alalle, jolta ei nykytoiminnassa muodostu kuormitusta. Tälle alueelle on aikoinaan läjitetty magnesiittihiekkaa, mutta aktiivisesta läjityksestä on niin kauan, että hapettumisen ja kuormituksen muodostumisen katsotaan olevan erittäin vähäistä. Uusi magnesiittiläjitys näin ollen kasvattaa nykyistä kuormitusta tältä pinta-alalta.



Kuva 4-1. Hankevaihtoehdon VE2b mukaisen kuivaläjitysalueen muodostaman kuorman tuoma lisä nykyiseen rikastushiekka-altaalla muodostuvaan kuormitukseen.

Toiminnanaikaisten vedenlaatujen arviointi

Mallinnetussa skenaariossa rikastushiekka-alueet (VE2a tai VE2b) ovat lopullisessa lakikorkeudessaan. Kuivaläjityksessä muodostuvan suotoveden laatuun vaikuttaa rikastushiekan rapautumistuotteiden lisäksi rikastushiekan mukana tulevan prosessiveden koostumus. Rikastushiekka-alueella muodostuva vesi koostuu mallinnuksessa siis kolmesta osatekijästä: rikastushiekan rapautumistuotteista (BCR-uuttotulokset), prosessivedestä huokosvedessä (tarkkailutulokset) ja sadevedestä.

Rikastushiekan annetaan kuivua ensin nykyisellä rikastushiekka-altaalla. Kun rikastushiekka läjitetään kuivaläjitysalueelle, prosessivesi on jo pitkälti korvautunut sadevedellä. Mallinnuksessa prosessiveden osuus huokosvedestä on oletettu olevan 20 %. Prosessiveden laatu on esitetty luvussa 2.2.

Vedenlaadun arvioinnissa magnesiittihiekasta vapautuvien aineiden määrä laskettiin skaalaamalla BCR-uuton tulokset paikkakohtaisesti. BCR-uuton vaiheen 1 tulokset edustavat helpoiten huuhtoutuvaa kuormitusta. Tämän kuormituksen oletetaan huuhtoutuvan vuosittain läjitetystä magnesiittihiekasta ensimmäisen vuoden kuluessa läjittämisestä. Magnesiittihiekka läjitetään ensin nykyiselle rikastushiekka-altaalle, josta se siirretään kuivaläjitysaltaalle. BCR-uuttovaiheen 1 edustama kuormitus huuhtoutuu siis jo nykyisellä altaalla ja on osa nykyistä toiminnassa muodostuvaa kuormaa, eikä sitä siksi oteta mallinnuksessa huomioon.

Uuttovaihe 2 edustaa rauta- ja mangaanioksideihin sitoutunutta fraktiota, joka alkaa vapautua pelkistävissä olosuhteissa. Tämä kuormitus alkaisi siis teoriassa vapautua vasta kun läjitys jää pysyvästi vedenpinnan alle. Mallinnuksessa tämän fraktion oletetaan kuitenkin konservatiivisesti vapautuvan yhden vuoden kuluessa. Vedenlaatumallinnus ei kuvaa jotakin tiettyä vuotta, vaan teoreettista tilannetta läjityksen maksimivaiheessa. Mallinnuksessa yhden vuoden aikana oletetaan

vapautuvan yhden vuoden läjitysmassasta vapautuva kuorma. Uuttovaiheessa 2 vapautuvan kuorman reaktiivinen massa mallissa on siis vuotuinen läjitysmäärä.

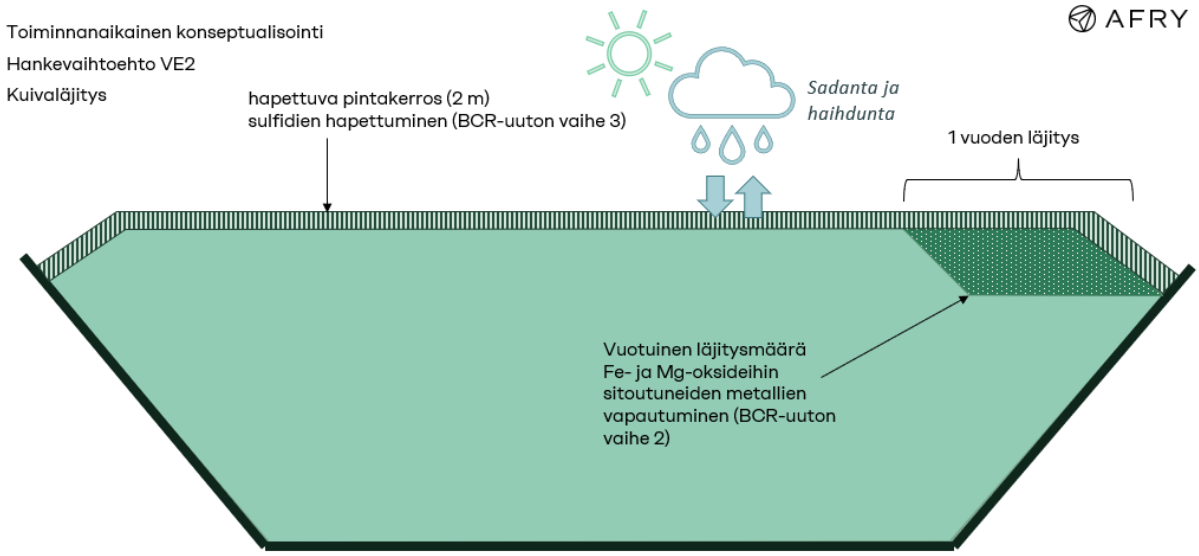
BCR-uuttovaiheiden 1 ja 2 suhteuttaminen vuotuiseen läjityksessä tapahtuvaan vapautumiseen on esitetty taulukossa 4-1.

Taulukko 4-1. BCR-uuttovaiheiden 1 ja 2 suhteuttaminen vuotuiseen vapautuvaan kuormaan rikastushiekan kuiva- ja märkäläjityksessä.

BCR-uuttovaihe	Kuivaläjitys / Märkäläjitys	Vapautumisnopeus (%-osuus BCR-uuton edustamasta maksimivapautumisesta)
Uuttovaihe 1	Kuivaläjitys	0–5 % / vuosi
Uuttovaihe 2	Kuivaläjitys	0–0,5 % / vuosi
Uuttovaihe 1	Märkäläjitys	0–5 % / vuosi
Uuttovaihe 2	Märkäläjitys	50 % / vuosi

Rikastushiekassa on vain vähän sulfidimineraaleja, mutta sulfidien hapettumista tapahtuu jonkin verran pääasiassa rikastushiekka-alueen pintakerroksissa. Sulfideista vapautuvien aineiden määrä perustuu BCR-uuton vaiheen 3 tuloksiin. Reaktiivisen massan määritelmä tälle osuudelle on hieman eri kuin vaiheille 1 ja 2. Reaktiivinen massa muodostuu täyteen läjitetyn rikastushiekka-alueen ylimmästä 2 metrin pintakerroksesta. Kerrospaksuuden määrittely perustuu magnesiittihiekan sisältämien sulfidimineraalien kuluttamaan hapen määrään. Happi kuluu päästessä kosketuksiin magnesiittihiekan kanssa, eikä sitä näin ollen riitä kasan syvempiin osiin.

Hankevaihtoehdossa VE2 toiminnan aikana muodostuvan vedenlaadun arvioinnin yksinkertaistettu konseptualisointi on esitetty kuvassa 4-2.



Kuva 4-2. Hankevaihtoehdossa VE2 toiminnan aikana muodostuvan vedenlaadun arvioinnin konseptualisointi.

Sulkemisen jälkeisten vedenlaatujen arviointi

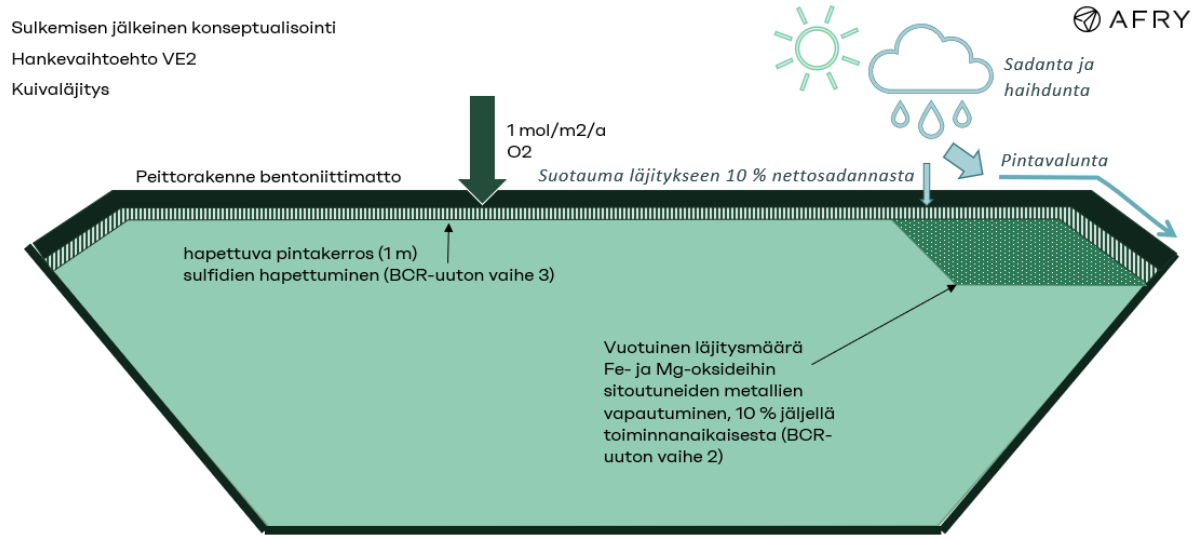
Sulkemisen jälkeen kuivaläjityksen huokosveden sisältämät prosessivesijäänteet ovat lähes täysin korvautuneet sadevedellä. Mallinnuksessa prosessiveden osuudeksi huokosvedestä arvioitiin 6 %.

Sulkemisen jälkeen rikastushiekka-alueelle suotautuvan veden määrää ja hapen pääsyä rajoittaa peittorakenne. Rikastushiekka-alueen sulkemisrakenteeksi on suunniteltu tiivis bentoniittimattorakenne. Vuotuinen suotovesimäärä on sama kuin alueelle peiton läpi imeytyvä sadanta. Vesitilavuuden oletetaan saavuttavan lopulta tasapaino läjityksessä, jolloin kaikki vuoden aikana läjitykseen suotautuva vesi suotautuu myös ulos läjityksestä. Peiton vedenläpäisyksi

oletettiin 10 % nettosadannasta, jota käytetään teknisen suunnittelun yläraja-arvona. Happivuolle käytettiin arvoa 1 mol/m^2/a. Bentoniittimaton toimiessa optimaalisesti se estää kaasunvaihdon erittäin tehokkaasti.

BCR-uuttovaiheen 1 edustama kuormitus huuhtoutuu jo ennen läjittämistä kuivaläjitysalueelle, eikä sitä siksi oteta mallinnuksessa huomioon. Uuttovaiheen 2 tuloksista johdetun läjitysalueella vuoden aikana vapautuvan kuorman reaktiivinen massa mallissa on vuotuinen läjitysmäärä, mutta kuormasta 90 % oletetaan huuhtoutuneen jo toiminnan aikana. Sulfideista vapautuvien aineiden reaktiivinen massa pienenee puoleen (1 metri) toiminnanaikaisesta. Kerrospaksuuden määrittely perustuu peittorakenteen rajoittamaan happivuohon ja magnesiittihiekan sisältämien sulfidimineraalien kuluttamaan hapen määrään.

Hankevaihtoehdossa VE2 sulkemisen jälkeen muodostuvan vedenlaadun arvioinnin yksinkertaistettu konseptualisointi on esitetty kuvassa 4-3.



Kuva 4-3. Hankevaihtoehdossa VE2 sulkemisen jälkeen muodostuvan vedenlaadun arvioinnin konseptualisointi.

4.4 Vedenlaatu ja kuormitus

Toiminnanaikaiset ja sulkemisen jälkeiset vedenlaadut

Hankevaihtoehdoissa VE2a ja VE2b rikastushiekka-alueella muodostuvan suotoveden laatu on esitetty taulukossa 4-2. Suotoveden pH on emäksinen kummassakin mallinnustilanteessa. Sulfaatin pitoisuus toiminnanaikana (380 mg/l) on odotetusti pienempi kuin nykyisellä rikastushiekka-altaalla, koska magnesiittihiekassa on vähemmän sulfideja kuin nykyiselle rikastushiekka-altaalle läjitetyssä Outokumpu Oy:n aikaisessa sulfidirikastushiekassa. Sulkemisen jälkeen sulfaatin pitoisuus pienenee (52 mg/l). Arseeni, kadmium ja elohopea pidättyvät mallinnuksessa kokonaan, ja siksi niiden pitoisuutena on esitetty rikastushiekka-altaan suotoveden nykyinen mittaustulos.

Nikkelin pitoisuus mallinnetussa toiminnanaikaisessa suotovedessä on erittäin korkea (8,2 mg/l). Nikkelin korkea pitoisuus johtuu todennäköisesti mallinnuksessa käytetystä lähtöaineistosta (BCR-uuttotulokset), joiden skaalaamiseen liittyy epävarmuuksia. Nikkelin mallinnustulokseen liittyviä epävarmuuksia on kuvattu luvussa 7.2.

Myös raudan pitoisuus on yliarvioituna mallinnuksessa. Todellisuudessa rauta saostuu mallinnuksen mukaisessa pH:ssa rautahydroksideina ja liukoisen raudan määrä on huomattavasti pienempi. Vertailuksi rikastushiekka-alueen nykyisessä ylitevedessä pH on 9,2 ja rautaa on ollut keskimäärin noin 1 mg/l.

Kadmiumin, koboltin ja antimonin pitoisuudet ylittävät pohjaveden ympäristölaatunormin (VNA 341/2009) niin toiminnanaikaisessa kuin sulkemisen jälkeisessä suotovedessä. Lisäksi sinkin pitoisuus toiminnanaikaisessa suotovedessä ylittää ympäristölaatunormin. On kuitenkin huomioitava, että ympäristölaatunormit on määritetty kuvaamaan pohjaveden laatua, eivätkä siten ole suoraan sovellettavissa kaivannaisjätealueiden suotovesiin. Pitoisuus suotovedessä ei ole pitoisuus pohjavedessä. Tässä yhteydessä arvoja käytetään vain suuruusluokan hahmottamisen tukena.

Taulukko 4-2. Hankevaihtoehtojen VE2a ja VE2b mukaisilla rikastushiekan kuivaläjitysalueilla muodostuvan suotoveden laatu toiminnan aikana ja sulkemisen jälkeen. Suuruusluokan hahmottamisen tueksi esitetään pohjaveden ympäristölaatunormin (VNA 341/2009) raja-arvot, vaikka nämä eivät olekaan suoraan sovellettavissa suotoveden laadulle.

		VE2 suotovesi toiminnan aikana	VE2 suotovesi sulkemisen jälkeen	VNA 341/2009
pH		9,2	9	
Ag	mg/l	0,0011	0,00027	
Al	mg/l	1,9	0,51	
As	mg/l	0,11*	0,11*	0,005
B	mg/l	0,0096	0,0039	
Ba	mg/l	0,0042	0,0021	
Be	mg/l	0,0015	0,00025	
Ca	mg/l	63	31	
Cd	mg/l	1,4	0,17	0,0004
Cl	mg/l	0,00077	0,0001	25
Co	mg/l	0,43	0,099	0,002
Cr	mg/l	0,0042*	0,0042*	0,01
Cu	mg/l	0,00021	0,000026	0,02
Fe	mg/l	190	70	
HCO_3^-	mg/l	2600	1400	
Hg	mg/l	<0,000005*	<0,000005*	
K	mg/l	8,6	1,2	
Li	mg/l	0,044	0,011	
Mg	mg/l	580	230	
Mn	mg/l	2,9	1,3	
Mo	mg/l	0,0021	0,00053	
Na	mg/l	1,9	0,31	
Ni	mg/l	8,2	1,5	0,01
P	mg/l	0,0055	0,0027	
Pb	mg/l	0,000018	0,0000018	0,005
Sb	mg/l	0,017	0,0044	0,0025
Se	mg/l	0,013	0,002	
Si	mg/l	12	3,1	
Sn	mg/l	0,042	0,0098	
Sr	mg/l	0,049	0,025	
Tl	mg/l	0,013	0,002	
U	mg/l	0,0021	0,0003	
V	mg/l	0,066	0,016	
Zn	mg/l	0,076	0,025	0,06
SO_4	mg/l	380	52	150
NO_3-N	mg/l	0,035	0,0055	50
NH_4-N	mg/l	0,035	0,0055	0,2

*Tasapainomallinnuksen perusteella kaikki arseeni, kromi ja elohopea pidättyy saostuvien rautaoksihydroksidien pinnalle suotovedessä. Arseenin pitoisuutena on esitetty nykyisen rikastushiekka-altaan suotoveden keskimääräinen arseenipitoisuus v. 2023–2025 (0,11 mg/l). Kromin ja elohopean pitoisuutena on esitetty nykyisen rikastushiekka-altaan 2 lisänäytteenotossa mitatut kromi- (0,0042 mg/l) ja elohopeapitoisuudet (<0,000005 mg/l).

Kuormitus ympäristöön toiminnan aikana ja sulkemisen jälkeen

Hankevaihtoehdoissa VE2a ja VE2b rikastushiekan kuivaläjitysalueilta ympäristöön kohdistuva kuormitus on esitetty taulukossa 4-3. Hankevaihtoehdossa VE2a rikastushiekka-alueelle rakennetaan tiivis pohjarakenne. Tästä syystä VE2a -tilanteessa kuormitus maaperään ja pohjaveteen on pienempi kuin vaihtoehdossa VE2b ja vastaavasti suotovesiojista talteenotettavan suotoveden määrä on suurempi kuin VE2b-tilanteessa. Toiminnan aikana suotovesiojista ja altaan pinnalta talteenotettava vesi ohjataan vesienkäsittelyyn. Toiminnanaikainen kuormitus pintavesiin on esitetty Vuonoksen vesi- ja kuormataseessa (AFRY Finland Oy 2026c).

On huomioitavaa, että taulukossa 4-3 esitetty kuormitus on vain kunkin hankevaihtoehdon uudelta rikastushiekan läjitysalueelta pohjaveteen kohdistuva kuormitus, eikä ota huomioon nykyiseltä rikastushiekka-altaalta pohjaveteen kohdistuvaa kuormitusta. Taulukossa esitetty kuormitus ei siis ole kaivannaisjätealueiden kokonaiskuormitus. Hankevaihtoehtojen eroja on kuvattu tarkemmin luvussa 6.

Taulukko 4-3. Kuormitus ympäristöön hankevaihtoehdoissa VE2a ja VE2b.

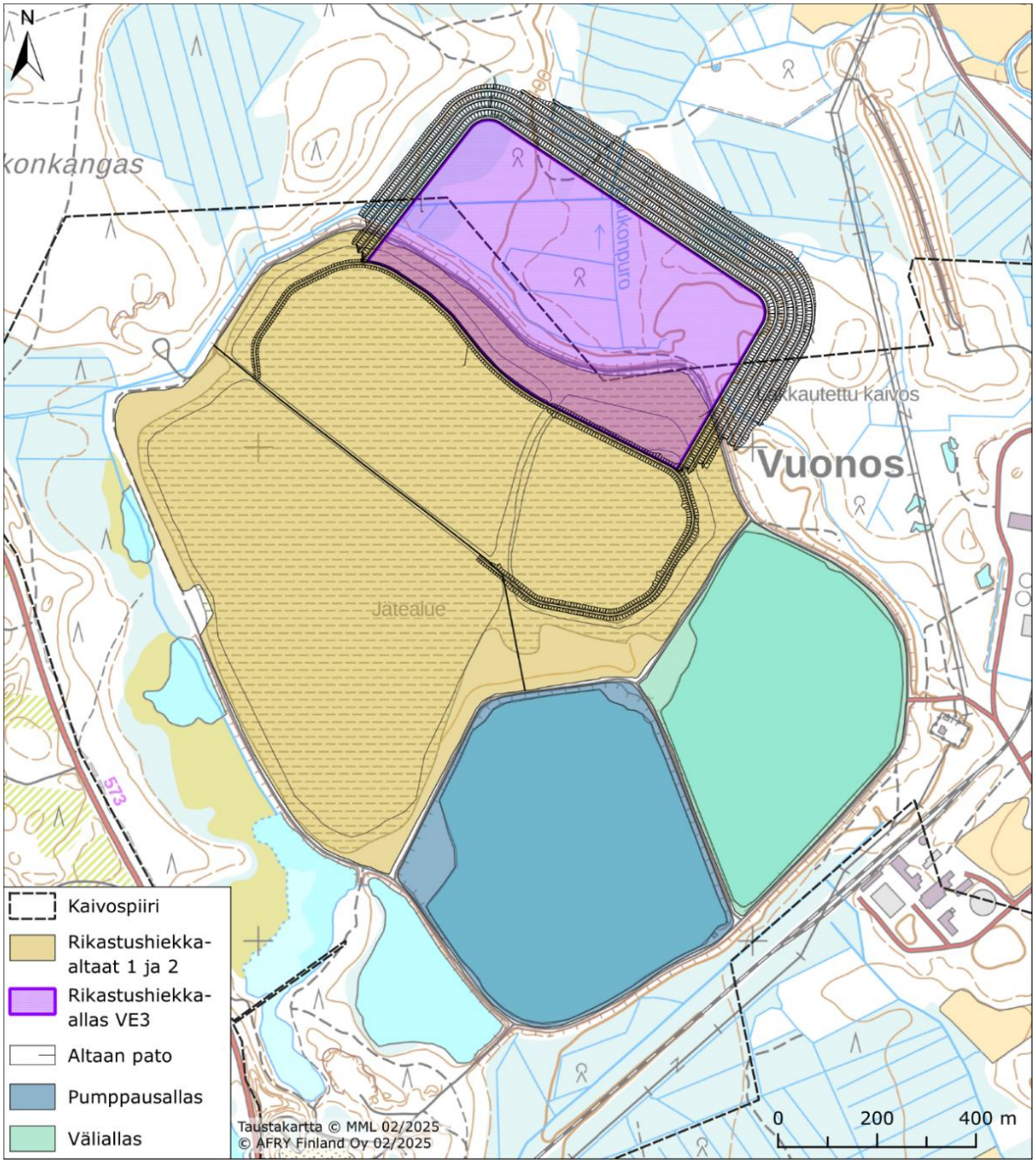
	VE2a			VE2b		
	Toiminta	Sulkeminen		Toiminta	Sulkeminen	
	Maaperä/ Pohjavesi	Suotovesi-ojista vesistöön	Maaperä/ Pohjavesi	Maaperä/ Pohjavesi	Suotovesi-ojista vesistöön	Maaperä/ Pohjavesi
	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a
Ag	0,0048	0,0023	0,00012	0,023	0,0011	0,00057
Al	8,5	4,4	0,23	40	2,1	1,1
As	0,49	0,94	0,049	2,3	0,44	0,23
B	0,043	0,033	0,0017	0,2	0,016	0,0081
Ba	0,019	0,018	0,00095	0,089	0,0085	0,0045
Be	0,0068	0,0021	0,00011	0,032	0,001	0,00053
Ca	280	270	14	1300	130	66
Cd	6,2	1,5	0,077	29	0,69	0,36
Cl	0,0034	0,00086	0,000045	0,016	0,00041	0,00021
Co	1,9	0,84	0,044	9	0,4	0,21
Cr	0,019	0,036	0,0019	0,089	0,017	0,0089
Cu	0,00093	0,00022	0,000011	0,0044	0,0001	0,000054
Fe	840	600	32	4000	280	150
HCO_3^-	12000	12000	620	55000	5600	2900
Hg	0,000022	0,000043	0,0000022	0,00011	0,00002	0,000011
K	38	10	0,53	180	4,8	2,5
Li	0,2	0,093	0,0049	0,92	0,044	0,023
Mg	2600	2000	100	12000	930	490
Mn	13	11	0,57	62	5,1	2,7
Mo	0,0092	0,0045	0,00024	0,043	0,0021	0,0011
Na	8,6	2,7	0,14	41	1,3	0,66
Ni	37	13	0,67	170	6,1	3,2
P	0,025	0,023	0,0012	0,12	0,011	0,0056
Pb	0,00008	0,000015	0,0000008	0,00038	0,0000072	0,0000038
Sb	0,078	0,037	0,002	0,37	0,018	0,0092
Se	0,058	0,017	0,00088	0,27	0,0079	0,0041
Si	53	26	1,4	250	12	6,4
Sn	0,19	0,083	0,0044	0,88	0,04	0,021
Sr	0,22	0,21	0,011	1	0,099	0,052
Tl	0,058	0,017	0,00088	0,27	0,0079	0,0041
U	0,0094	0,0026	0,00013	0,044	0,0012	0,00063

	VE2a			VE2b		
	Toiminta	Sulkeminen		Toiminta	Sulkeminen	
	Maaperä/ Pohjavesi	Suotovesi-ojista vesistöön	Maaperä/ Pohjavesi	Maaperä/ Pohjavesi	Suotovesi-ojista vesistöön	Maaperä/ Pohjavesi
	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a
V	0,29	0,14	0,0073	1,4	0,066	0,035
Zn	0,34	0,21	0,011	1,6	0,1	0,053
SO_4	1700	440	23	7900	210	110
NO_3-N	0,16	0,047	0,0025	0,74	0,022	0,012
NH_4-N	0,16	0,047	0,0025	0,74	0,022	0,012

5 Hankevaihtoehto VE3

5.1 Hankevaihtoehdon kuvaus

Hankevaihtoehdossa VE3 nykyisen rikastushiekka-alueen pohjoispuolelle rakennetaan uusi rikastushiekka-alue (Kuva 1-1), jonne magnesiittihiekka läjitetään märkäläjityksenä. Nykyinen rikastushiekka-allas suljetaan sulkemissuunnitelman (AFRY Finland Oy 2026a) mukaisesti sen saavutettua nykyisen ympäristöluvan mukaisen maksimikorkeuden +117 m mpy. Uuden rikastushiekka-alueen käyttöönotto mahdollistaisi toiminnan jatkamisen noin vuoteen 2050 asti.



Kuva 5-1. Vaihtoehto VE3, jossa rakennetaan uusi rikastushiekka-allas nykyisen rikastushiekka-altaan pohjoispuolelle ja nykyinen rikastushiekka-allas suljetaan.

5.2 Rikastushiekka-alueen tekniset suunnitelmat

Hankevaihtoehdossa VE3 uudelle rikastushiekka-altaalle rakennetaan tiivis pohjarakenne sekä vaadittava infra (ml. suotovesienhallinta, sähköt, tiestö, pumppaamot jne). Uuden rikastushiekka-altaan rikastushiekan läjityskorkeus on maksimissaan tasolle +126 m mpy (rikastushiekan pinnan taso, +127 m mpy patoharjat).

Tiiviin pohjarakenteen seurauksena arviolta noin 95 % altaalla muodostuvasta kokonaisvesimäärästä on talteenotettavissa. Märkäläjityksessä altaan pinnalle muodostuu vapaa vesipinta, josta ylitevettä pumpataan takaisin rikastamon vesikiertoon. Altaan patojen läpi suotautuva suotovesi talteenotetaan altaan suotovesiojista.

5.3 Vedenlaadun arvioinnin toteutus

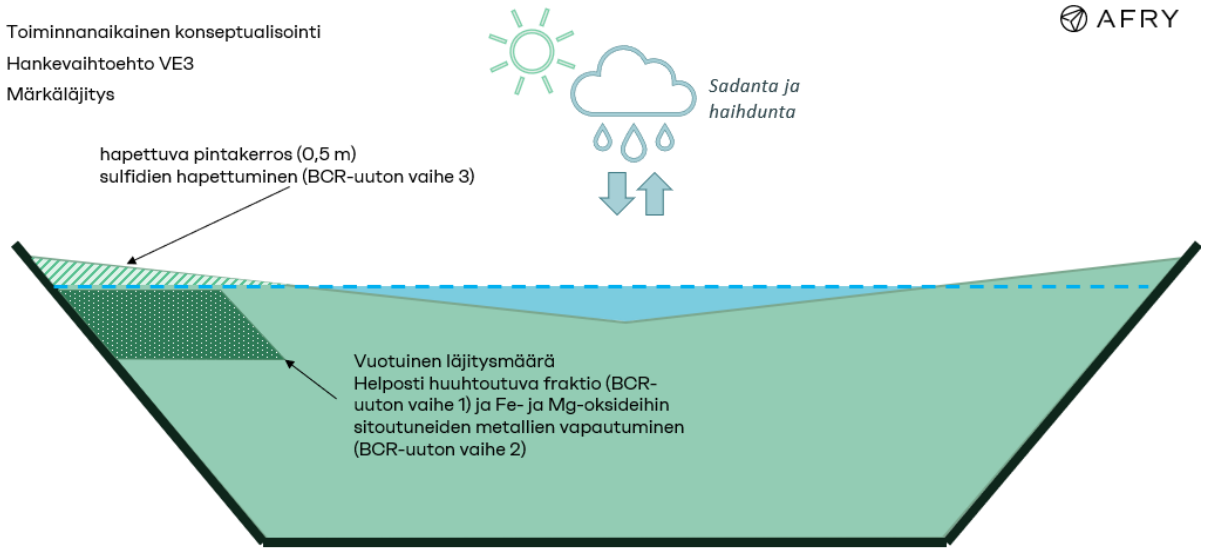
Toiminnanaikaisten vedenlaatujen arviointi

Mallinnetussa skenaariossa rikastushiekka-allas on lopullisessa lakikorkeudessaan (+126 m mpy). Rikastushiekka-altaalla muodostuvan veden laatuun vaikuttaa rikastushiekan rapautumistuotteiden lisäksi rikastushiekan mukana tulevan prosessiveden koostumus. Rikastushiekka-altaan vesi koostuu mallinnuksessa siis kolmesta osatekijästä: rikastushiekan rapautumistuotteista (BCR-uuttotulokset), prosessivedestä (tarkkailutulokset) ja sadevedestä.

Märkäläjityksessä prosessivesi käsittää toiminnan aikana n. 66 % rikastushiekka-altaalle tulevasta vedestä, eli prosessiveden ja sadeveden kokonaismäärästä. Prosessiveden koostumus on esitetty luvussa 2.2.

Vedenlaadun arvioinnissa magnesiittihiekasta vapautuvien aineiden määrä laskettiin skaalaamalla BCR-uuton tulokset paikkakohtaisesti. BCR-uuton vaiheen 1 tulokset edustavat helpoiten huuhtoutuvaa osuutta. Mallissa tämän kuorman oletetaan huuhtoutuvan vuosittain läjitetystä magnesiittihiekasta yhden vuoden kuluessa. Uuttovaihe 2 edustaa rauta- ja mangaanioksideihin sitoutunutta fraktiota, joka alkaa vapautua pelkistävissä olosuhteissa. Tämä kuorma alkaa siis vapautua kunnolla vasta paljon myöhemmin, kun läjitys jää pysyvästi vedenpinnan alle. Mallinnuksessa tämän kuorman oletetaan vapautuvan lopulta yhden vuoden kuluessa. Vedenlaatumallinnus ei kuvaa mitään tiettyä vuotta, vaan teoreettista tilannetta läjityksen maksimivaiheessa. Mallinnuksessa yhden vuoden aikana oletetaan vapautuvan yhden vuoden läjitysmassasta vapautuva kuorma. Uuttovaiheille 1 ja 2 käytetty reaktiivinen massa mallissa on siis vuotuinen läjitysmäärä.

Rikastushiekassa on vain vähän sulfidimineraaleja, mutta sulfidien hapettumista tapahtuu jonkin verran pääasiassa rikastushiekka-altaan vedellä kyllästymättömissä osissa altaan pintakerroksissa. Sulfideista vapautuvien aineiden määrä perustuu BCR-uuton vaiheen 3 tuloksiin. Reaktiivisen massan määritelmä tälle osuudelle on hieman eri kuin vaiheille 1 ja 2. Reaktiivinen massa muodostuu täyden rikastushiekka-altaan vedenpinnan yläpuolisen ns. kuivan kerroksen massasta. Tyypillisesti läjitysalueen reunaosien kuivat penkereet ovat muutaman metrin paksuisia. Penkereiltä rikastushiekka kaataa kohti altaan keskiosaa. Altaan vapaan vedenpinnan pinta-alalla ei ole ollenkaan reaktiivista massaa. Rikastushiekan kuivan kerroksen keskiarvopaksuutena käytetään yleensä 0,5 metriä.



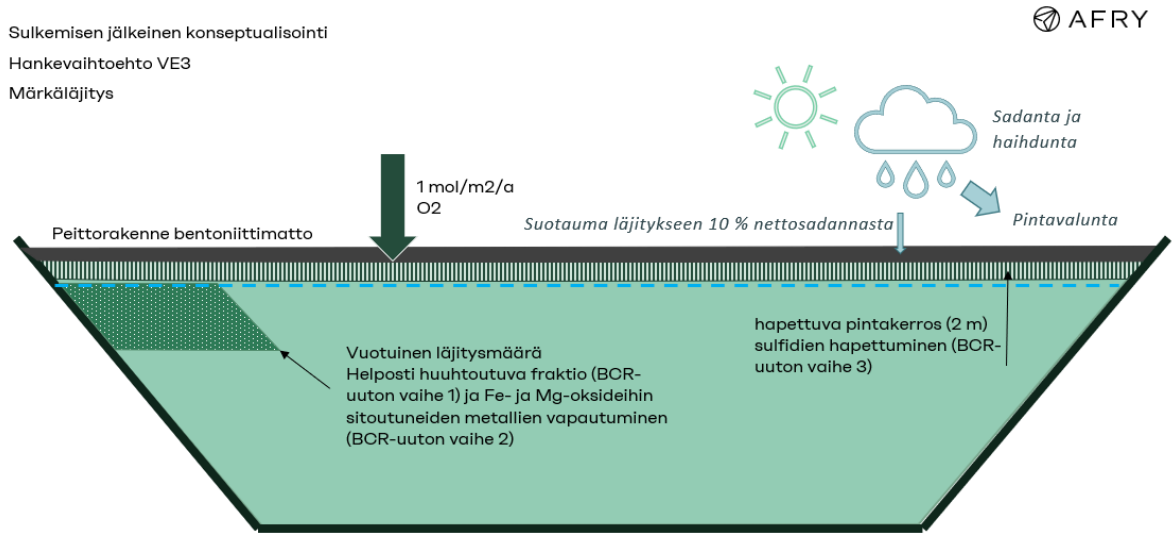
Kuva 5-2. Hankevaihtoehdossa VE3 toiminnan aikana muodostuvan vedenlaadun arvioinnin konseptualisointi.

Sulkemisen jälkeisten vedenlaatujen arviointi

Sulkemisen jälkeen prosessivesi korvautuu hiljalleen sadevedellä. YVA-selostusvaiheessa sulkemisen jälkeiselle ajalle on mallinnettu vain yksi vedenlaatu, toisin kuin Vuonoksen nykyisen toiminnan sulkemissuunnitelman mallinnuksissa, joissa nykyiselle rikastushiekka-alueelle mallinnettiin sulkemisen jälkeinen vedenlaatu kolmessa eri tilanteessa riippuen prosessiveden osuudesta huokosvedessä (ks. luku 3.2). VE3-vaihtoehdossa sulkemisen jälkeisen vedenlaadun mallinnuksessa oletettiin, että 20 % prosessivedestä on korvautunut sadevedellä. Mallinnus kuvastaa näin sulkemisen jälkeistä vedenlaatua noin parinkymmenen vuoden jälkeen sulkemisesta. Vertailuksi, nykyisen rikastushiekka-altaan huokosveden prosessiveden osuuden on arvioitu puolittuvan 66 vuodessa.

Sulkemisen jälkeen rikastushiekka-altaalle suotautuvan veden määrää ja hapen pääsyä rajoittaa peittorakenne. Rikastushiekka-altaan sulkemisrakenteeksi on suunniteltu tiivis bentoniittimattorakenne. Vuotuinen suotovesimäärä on sama kuin alueelle peiton läpi imeytyvä sadanta. Vedenpinnan oletetaan saavuttavan lopulta tasapaino läjityksessä, jolloin kaikki vuoden aikana läjitykseen suotautuva vesi suotautuu myös ulos läjityksestä. Peiton vedenläpäisyksi oletettiin 10 % nettosadannasta, jota käytetään teknisen suunnittelun yläraja-arvona. Happivuolle käytettiin arvoa 1 mol/m^2/a. Bentoniittimaton toimiessa optimaalisesti se estää kaasunvaihdon erittäin tehokkaasti.

BCR-uuttovaiheen 1 edustama kuorma huuhtoutuu jo toiminnan aikana, eikä sitä siksi oteta mallinnuksessa huomioon. Uuttovaiheen 2 edustama kuorma vapautuu pelkistävissä olosuhteissa suhteellisen nopeasti (oletus noin vuosi). Sulkemisen jälkeen uutta pelkistynyttä kerrosta ei muodostu, vaan pikemminkin vedenpinta laskee kasan hieman kuivuessa. Uuttovaiheelle 2 käytetty reaktiivinen massa mallissa on vuotuinen läjitysmäärä, mutta kuormituksesta 90 % oletetaan huuhtoutuneen jo toiminnan aikana. Sulfideista vapautuvien aineiden reaktiivinen massa kasvaa kasan ylinten kerrosten kuivuessa. Tyypillinen märkäläjityksen sulkemisen jälkeinen hapettuva kerrospaksuus on 2 metriä.



Kuva 5-3. Hankevaihtoehdossa VE3 sulkemisen jälkeen muodostuvan vedenlaadun arvioinnin konseptualisointi.

5.4 Vedenlaatu ja kuormitus

Toiminnanaikaiset ja sulkemisen jälkeiset vedenlaadut

Hankevaihtoehdossa VE3 rikastushiekka-alueella muodostuvan suotoveden laatu on esitetty taulukossa 5-1. Suotoveden pH on emäksinen kummassakin mallinnustilanteessa. Sulfaatin

pitoisuus toiminnanaikana (770 mg/l) on hieman suurempi kuin nykyisen rikastushiekka-altaan sulfaattipitoisuus (ks. Taulukko 3-2) mutta hyvin lähellä välialtaan sulfaattipitoisuutta. Hankevaihtoehdossa VE3 magnesiittihiekka läjitetään märkäläjityksenä, jolloin suotoveden laatuun vaikuttaa myös prosessivesi. Sulfaatti on VE3 -tilanteessa pääosin peräisin prosessivedestä. Sulkemisen jälkeen sulfaatin pitoisuus pienenee vain vähän (700 mg/l). Sulfaatin pitoisuus pienenee kuitenkin pitkällä aikavälillä, kun prosessivesi korvautuu hiljalleen kokonaan sadevedellä. Arseeni, kadmium ja elohopea pidättyvät mallinnuksessa kokonaan, ja siksi niiden pitoisuutena on esitetty nykyisen rikastushiekka-altaan veden mittaustulos.

Kadmiumin, koboltin, nikkelin, antimonin ja sinkin pitoisuudet ylittävät pohjaveden ympäristölaatunormin. On kuitenkin huomioitava, että ympäristölaatunormit on määritetty kuvaamaan pohjaveden laatua, eivätkä siten ole suoraan sovellettavissa kaivannaisjätealueiden suotovesiin. Pitoisuus suotovedessä ei ole pitoisuus pohjavedessä. Tässä yhteydessä arvoja käytetään vain suuruusluokan hahmottamisen tukena.

Taulukko 5-1. Hankevaihtoehtojen VE2a ja VE2b mukaisilla rikastushiekan kuivaläjitysalueilla muodostuvan suotoveden laatu toiminnan aikana ja sulkemisen jälkeen. Suuruusluokan hahmottamisen tueksi esitetään pohjaveden ympäristölaatunormin (VNA 341/2009) pitoisuuksia, vaikka nämä eivät olekaan suoraan sovellettavissa suotoveden laadulle.

		VE3 suotovesi toiminnan aikana	VE3 suotovesi sulkemisen jälkeen	VNA 341/2009
pH		9	9	
Ag	mg/l	0,00011	0,00064	
Al	mg/l	0,13	1,3	
As	mg/l	0,000011	0,11*	0,005
B	mg/l	0,0022	0,01	
Ba	mg/l	0,006	0,0057	
Be	mg/l	0,000093	0,00055	
Ca	mg/l	140	150	
Cd	mg/l	0,022	0,23	0,0004
Cl	mg/l	0,0000076	0,0002	25
Co	mg/l	0,047	0,18	0,002
Cr	mg/l	0,0042*	0,0042*	0,01
Cu	mg/l	0,000028	0,00002	0,02
Fe	mg/l	17	190	
HCO_3^-	mg/l	690	3800	
Hg	mg/l	<0,000005*	<0,000005*	
K	mg/l	8,4	8,6	
Li	mg/l	0,0046	0,027	
Mg	mg/l	180	690	
Mn	mg/l	0,75	3	
Mo	mg/l	0,00023	0,0012	
Na	mg/l	28	22	
Ni	mg/l	0,94	2,2	0,01
P	mg/l	0,0028	0,0018	
Pb	mg/l	0,00000029	0,0000014	0,005
Sb	mg/l	0,0018	0,011	0,0025
Se	mg/l	0,00034	0,0042	
Si	mg/l	0,72	7,6	
Sn	mg/l	0,0043	0,02	
Sr	mg/l	0,06	0,067	
Tl	mg/l	0,00034	0,0042	
U	mg/l	0,00034	0,00063	

		VE3 suotovesi toiminnan aikana	VE3 suotovesi sulkemisen jälkeen	VNA 341/2009
V	mg/l	0,0069	0,04	
Zn	mg/l	0,021	0,032	0,06
SO_4	mg/l	770	700	150
NO_3-N	mg/l	0,53	0,42	50
NH_4-N	mg/l	0,53	0,42	0,2

*Tasapainomallinnuksen perusteella kaikki arseeni (sulkeminen), kromi ja elohopea pidättyy saostuvien rautaoksihydroksidien pinnalle suotovedessä. Arseenin pitoisuutena on esitetty nykyisen rikastushiekka-altaan suotoveden keskimääräinen arseenipitoisuus v. 2023–2025 (0,11 mg/l). Kromin ja elohopean pitoisuutena on esitetty nykyisen rikastushiekka-altaan 2 lisänäytteenotossa mitatut kromi- (0,0042 mg/l) ja elohopeapitoisuudet (<0,000005 mg/l).

Kuormitus ympäristöön toiminnan aikana ja sulkemisen jälkeen

Hankevaihtoehdon VE3 mukaiselta rikastushiekka-alueelta ympäristöön kohdistuva kuormitus on esitetty taulukossa 4-3. Hankevaihtoehdossa VE3 rikastushiekka-alueelle rakennetaan tiivis pohjarakenne.

Toiminnan aikana suotovesiojista ja altaan pinnalta talteenotettava vesi ohjataan vesienkäsittelyyn. Toiminnanaikainen kuormitus pintavesiin on esitetty Vuonoksen vesi- ja kuormataseessa (AFRY Finland Oy 2026c).

Taulukko 5-2. Kuormitus ympäristöön hankevaihtoehdoissa VE3.

	VE3		
	Toiminta	Sulkeminen	
	Maaperä/Pohjavesi	Suotovesiojista vesistöön	Maaperä/Pohjavesi
	kg/a	kg/a	kg/a
Ag	0,0022	0,0077	0,00041
Al	2,5	16	0,82
As	0,00021	1,3	0,07
B	0,041	0,12	0,0065
Ba	0,11	0,069	0,0037
Be	0,0018	0,0067	0,00035
Ca	2700	1800	95
Cd	0,41	2,8	0,15
Cl	0,00014	0,0025	0,00013
Co	0,88	2,2	0,11
Cr	0,079	0,051	0,0027
Cu	0,00053	0,00024	0,000013
Fe	320	2300	120
HCO_3^-	13000	46000	2400
Hg	0,000094	0,000061	0,0000032
K	160	100	5,5
Li	0,087	0,33	0,017
Mg	3400	8400	440
Mn	14	37	1,9
Mo	0,0043	0,014	0,00075
Na	530	270	14
Ni	18	26	1,4
P	0,052	0,022	0,0011
Pb	0,0000055	0,000017	0,0000009
Sb	0,035	0,13	0,0069

	VE3		
	Toiminta	Sulkeminen	
	Maaperä/Pohjavesi	Suotovesiojista vesistöön	Maaperä/Pohjavesi
Se	0,0064	0,051	0,0027
Si	14	92	4,8
Sn	0,081	0,24	0,013
Sr	1,1	0,81	0,043
Tl	0,0064	0,051	0,0027
U	0,0065	0,0077	0,0004
V	0,13	0,49	0,026
Zn	0,39	0,39	0,02
SO_4	15000	8500	450
NO_3-N	10	5,1	0,27
NH_4-N	10	5,1	0,27

6 Johtopäätökset

Rikastushiekka-alueella muodostuvien suotovesien laatua toiminnan aikana ja sulkemisen jälkeen arvioitiin erikseen kullekin hankevaihtoehdolle (VE0, VE1, VE2a, VE2b ja VE3). Vedenlaatuarvioinnin tarkoituksena oli mahdollistaa hankevaihtoehtojen välinen vertailu suuruusluokkatasolla.

Hankevaihtoehdoissa VE0 ja VE1 toiminta perustuu nykyiseen märkäläjitykseen nykyisellä rikastushiekka-alueella. VE0-vaihtoehdossa toiminta päättyy nykyisen ympäristöluvan sallimaan maksimikorkeuteen, eikä sillä ole vaikutusta vedenlaatuun nykytilanteeseen verrattuna. VE1-vaihtoehdossa rikastushiekka-aluetta korotetaan, mutta rikastushiekan läjitystapa ja allasolosuhteet säilyvät olennaisesti samoina kuin nykytilanteessa. Kummassakin vaihtoehdossa rikastushiekka-altaan suotoveden laatu on oletettavissa säilyvän nykyisen kaltaisena. Hankevaihtoehdoille VE0 ja VE1 on mallinnettu sulkemisen jälkeinen vedenlaatu sulkemissuunnitelman viimeisimmän päivityksen (AFRY Finland Oy 2026a) yhteydessä.

Hankevaihtoehdot VE2a ja VE2b, joissa magnesiittihiekka läjitetään kuivaläjityksenä, eroavat merkittävästi VE0 ja VE1-vaihtoehdoista sekä läjitysteknisesti että vedenlaadullisesti. Kuivaläjitysvaihtoehdoissa muodostuvan suotoveden pH on mallinnusten perusteella emäksinen sekä toiminnan aikana että sulkemisen jälkeen, ja sulfaatin pitoisuudet ovat selvästi pienempiä kuin nykyisellä rikastushiekka-altaalla. Tämä johtuu pääosin magnesiittihiekan vähäisestä sulfidipitoisuudesta verrattuna nykyiselle rikastushiekka-alueelle läjitettyyn vanhaan Outokumpu Oy:n aikaiseen sulfidirikastushiekkaan sekä siitä, että kuivaläjityksessä prosessiveden osuus huokosvedestä on pienempi kuin märkäläjityksessä. VE2a- ja VE2b-vaihtoehtojen suotovesissä esiintyy mallinnuksen perusteella kuitenkin kohonneita metallipitoisuuksia (erityisesti kadmium, koboltti ja nikkeli), joskin suotovesien laadun osalta erot näiden kahden vaihtoehdon välillä ovat todennäköisesti vähäisiä. Vedenlaadun mallinnus toteutettiin käyttäen VE2b läjityksen mukaisia tietoja, sillä läjitysalueet ovat dimensioiltaan hyvin toistensa kaltaisia. Vedenlaadun sijaan kuormituksen kannalta vaihtoehtojen ero on selkeä: VE2a-vaihtoehdossa tiiviiden pohjarakenteiden ansiosta noin 95 % suotovesistä saadaan talteen, jolloin maaperään ja pohjaveteen kohdistuva kuormitus jää selvästi pienemmäksi kuin VE2b-vaihtoehdossa. VE2b:ssä huomattava osa suotovedestä suotautuu nykyisen rikastushiekka-alueen pohjan ja patojen läpi ympäristöön, mikä kasvattaa riskiä pohjaveden kuormittumiselle.

Hankevaihtoehdossa VE3 magnesiittihiekka läjitetään uutena märkäläjitysalueena nykyisen rikastushiekka-altaan kylkeen. Toiminnanaikana suotoveden laatuun vaikuttaa merkittävästi prosessivesi, mikä seurauksena erityisesti sulfaatin, typen ja nikkelin pitoisuudet ovat kohonneita. Sulfaattipitoisuudet ovat VE3-vaihtoehdossa toiminnan aikana korkeampia kuin kuivaläjitysvaihtoehdoissa (VE2) ja lähellä nykytilanteen tasoa. Sulkemisen jälkeen veden laatu

paranee hitaasti, koska huokosveden sisältämän prosessiveden korvautuminen sadevedellä tapahtuu pitkällä aikavälillä. Sulkemisen jälkeisessä suotovedessä sulfaatin pitoisuus on selvästi suurempi kuin hankevaihtoehdossa VE2. Muiden aineiden osalta erot ovat pieniä. Kuormitus pohjaveteen on hankevaihtoehdossa VE3 tiiviin pohjarakenteen takia pienempi kuin hankevaihtoehdossa VE2b, lukuunottamatta sulfaattia, jonka kuormitus on prosessivesijäämien seurauksena olevan korkean pitoisuuden takia suurempi. Hankevaihtoehdoilla VE3 ja VE2a ei ole tiiviiden pohjarakenteiden takia kovinkaan paljon eroja, joskin tässäkin sulfaattikuormitus on hankevaihtoehdossa VE3 suurempi.

Mikäli hankevaihtoehto VE3 toteutuu, muodostuvan suotoveden metallipitoisuudet tulevat hyvin todennäköisesti olemaan pienempiä kuin nykyisellä rikastushiekka-alueella, koska läjitettävä rikastushiekka on parempilaatuista kuin nykyiselle läjitysalueelle aikoinaan läjitetty Outokumpu Oy:n sulfidirikastushiekka, joka edelleen vaikuttaa nykyisen rikastushiekka-alueen suotovedenlaatuun.

Hankevaihtoehtojen mukaisten pohjaveteen kohdistuvien vaikutusten arvioinnissa toiminnan aikana on olennaista, että mallinnusraportin hankevaihtoehdon VE2 mukaisessa pohjaveteen kohdistuvassa kuormituksessa (Taulukko 4-3) esitetty kuormitus on vain VE2a ja VE2b mukaisilta uusilta rikastushiekan läjitysalueilta pohjaveteen kohdistuva kuormitus, eikä ota huomioon nykyiseltä rikastushiekalta pohjaveteen kohdistuvaa kuormitusta. Taulukossa esitetty kuormitus ei siis ole kaivannaisjätealueiden kokonaiskuormitus hankevaihtoehdossa VE2. Hankevaihtoehtojen VE2a ja VE2b toteutuessa kuormitus pohjaveteen on toiminnan aikana suurempi kuin mitä kuormitus on nykyisellään, sillä rikastushiekan kuivattamisen takia nykyistä rikastushiekka-aluetta ei voida sulkea VE2-altaan ollessa toiminnassa. Vertailuksi, hankevaihtoehdon VE3 toteutuessa nykyinen rikastushiekka-allas on mahdollista sulkea, jolloin kuormitus pohjaveteen jää vaihtoehdossa VE3 pienemmäksi kuin vaihtoehdoissa VE2a ja VE2b. Nykyiseltä rikastushiekka-altaalta pohjaveteen kohdistuvaa kuormitusta ei voida tietää, mutta tietäen altaalla olevan huomattava määrä vanhaa Outokumpu Oy:n aikaista sulfidirikastushiekkaa ja alueen olevan pohjarakenteeton, voidaan käytännössä olla varmoja, että kuormitus on suurempi kuin mitä VE3 vaihtoehdon mukaiselta tiiviin pohjarakenteen läjitysalueelta muodostuu.

7 Herkkyydet ja epävarmuudet

7.1 Herkkyystarkastelu

Käytetty mallinnustapa on pitkälle yksinkertaistettu ja käsittelee mallinnettavat skenaariot tasapainotiloina, joissa vuoden aikana muodostuvat hapettumistuotteet liukenevat vuosittaiseen kokonaisvesimäärään ja poistuvat saman vuoden aikana. Tulokset edustavat viimeistä vuotta sen jakson aikana, jota konseptuaalinen malli edustaa. Todellisuudessa vuodenaikoihin ja vuosittaiseen vaihteluun liittyy merkittäviäkin kuivien ja märkien jaksojen välisiä eroja.

Jotta tasapainomallinnusta voidaan hyödyntää, on ensin tunnistettava mallinnettavan kohteen pääasialliset saostumisreaktiot. Kaivannaisjätteille, erityisesti sulfidimalmien osalta, käytetään tyypillisesti raudan saostumistuotteita. Tasapainomallinnuksessa sorptio on määritelty yksinkertaistetusti käyttäen ferrihydriittia pääasiallisena pintareaktioalustana, ja sekundäärisinä sorboivina pintoina götiittiä ja hematiittia. Mallinnuksen tasapainoreaktioissa myös oletetaan, että raudan vapaa pitoisuus on riittävä, ja että kaikki rauta on vaihdettavissa vastaavaan mineraaliin eli ferrihydriittiin.

Mallien herkkyyksistä mainittakoon keskeisimpänä hapettumisolosuhteet. Peittorakenne vähentää merkittävästi aineiden pitoisuuksia pienentämällä happivuota ja siihen liittyvät oletukset vaikuttavat suoraan mallinnuksen tuloksiin.

Reaktiivisen massan skaalaus vaikuttaa tuloksiin: jos veden virtaus läjityksessä on oletettua tasaisempaa (ts. kanavoitumiskerroin suurenee), suurempi määrä altistuu rapautumiselle ja huuhtoutumiselle, jolloin mineraalien hapettumistuotteiden määrä kasvaa lineaarisesti suhdelukujen kanssa.

Myös lämpötilan merkitys hapettumisnopeuteen on suuri, mutta toisaalta vuoden keskilämpötilamuutosten täytyisi olla suuria (>>5 °C) vaikuttaakseen mallinnustuloksiin suuruusluokkatasolla. Ilmastonmuutoksella voi olla vaikutusta suotovesien koostumukseen. Lämpötilan nousu nopeuttaa rapautumista eli kasvattaa pitoisuuksia ja vuosittaista kuormaa, sadannan kasvu taas laimentaa, muttei vaikuta kokonaiskuormiin.

7.2 Epävarmuudet

Mallin on tarkoitus luoda tietoja, joilla voidaan ohjata suuntaa antavasti tulevaisuuden toimintaa. Epävarmuutta malliin tulee monesta lähteestä. Näistä mainittakoon mm. lähtötietoihin (esim. näytteiden edustavuus, menetelmien soveltuvuus), parametrisointiin ja muihin mallinnukseen liittyviin yksinkertaistuksiin, sekä tulevaisuuden ennustamiseen liittyvät puutteet. Epävarmuuksien vähentäminen täytyy aloittaa muuttujista, joihin voidaan vaikuttaa ja joihin liittyy suurin epävarmuus. Mallinnuksessa ei ole tarkoituksenmukaista pyrkiä minimoimaan kaikkea epävarmuutta, jonka periaatteessa voisi, koska osaoptimoinnilla voi olla hyvin pieni vaikutus kokonaisuuteen.

Edustavien näytteiden valintaan ja niistä koostettuihin syötteisiin liittyy subjektiivista epävarmuutta. Rikastushiekkanäytteet BCR-uuttokokeita varten otettiin nykyiseltä rikastushiekka-altaalta. Näytteenoton päämäärä tällöin oli tutkia rikastushiekka-alueelle läjitetyn vanhan, Outokumpu Oy:n aikaisen sulfidirikastushiekan laatua. Näytteitä otettiin sulfidirikastushiekasta sekä sulfidirikastushiekan ja nykyisessä toiminnassa muodostuvan magnesiittihiekan vaihettumiskerroksesta. BCR-uuttotulosten tarkastelussa havaittiin yhden vaihettumiskerroksesta otetun näytteen koostuvan lähes täysin magnesiittihiekasta. Kyseinen näyte toimi tässä YVA-hankevaihtoehtojen vedenlaatumallinnuksessa magnesiittihiekkaa edustavana näytteenä. Magnesiitin osuus ei ole aivan yhtä suuri kuin itse magnesiittihiekan, sillä se sisältää pieniä määriä sulfidirikastushiekkaa. Näytteen talkkipitoisuus on kuitenkin hyvin lähellä magnesiittihiekan tutkittua talkkimineraaliosuutta.

Magnesiittihiekasta vapautuvien aineiden määrä mallinnuksessa perustui BCR-uuton tuloksiin. BCR-uuton vaihe 2 edustaa rauta- ja mangaanioksideihin sitoutunutta fraktiota, joka alkaa vapautua pelkistävissä olosuhteissa. Tämä kuorma alkaisi siis teoriassa vapautua vasta kun läjitys jää pysyvästi vedenpinnan alle. Hankevaihtoehtojen VE2a ja VE2b eli kuivaläjitetyn magnesiittihiekan mallinnuksessa tämän kuorman oletettiin kuitenkin konservatiivisesti vapautuvan vuotuisesta läjityksestä yhden vuoden kuluessa. Kuivaläjitetty rikastushiekka ei käytännössä tule koskaan peittymään vedellä. Sen sijaan läjitys saturoituu osittain ja huokosveden vesipinta voi muodostua suhteellisen korkeallekin. BCR-uuton vaiheen 2 edustamia pelkistäviä olosuhteita ei siis välttämättä isossa mittakaavassa koskaan muodostu läjitykseen, vaikka paikallisesti niitä voikin muodostua. Mallinnus on siis tämän osalta hyvin konservatiivinen.

Hankevaihtoehdon VE2 vedenlaatumallinnuksessa korkea nikkelin pitoisuus (8,2 mg/l) liittyy ensisijaisesti mallinnuksessa käytettyyn lähtöaineistoon eli rikastushiekan BCR-peräkkäisuuttotuloksiin sekä näiden tulosten skaalaamiseen kenttäolosuhteita vastaaviksi. On tärkeää huomata, että BCR-uuttomenetelmää ei ole tarkoitettu kuvaamaan kaivannaisjätteen todellista pitkäaikaista rapautumista tai huuhtoutumista, vaan sen ensisijainen käyttötarkoitus on aineiden sitoutumismuotojen ja potentiaalisen liikkuvuuden arviointi. BCR-peräkkäisuutossa rikastushiekka altistetaan useille peräkkäisille uuttovaiheille, jotka on suunniteltu vapauttamaan metallit eri fraktioista (vaihtuvainen ja karbonaatteihin sitoutunut fraktio, pelkistyvä fraktio, hapettuva fraktio ja jäännösfraktio). Nämä olosuhteet ovat merkittävästi aggressiivisempia kuin

luonnollisessa ympäristössä vallitsevat veden ja kiviaineksen vuorovaikutukset. Erityisesti nikkeli, joka magnesiittihiekassa esiintyy osittain helposti liukenevissa tai heikosti sitoutuneissa muodoissa, voi BCR-uutossa vapautua määrinä, jotka yliedustavat todellista pitkäaikaista huuhtoutumista. VE2-vaihtoehdon mallinnuksessa BCR-uuttotulokset on lisäksi skaalattu siten, että osa uuttokokeessa vapautuneesta metallimäärästä oletetaan liukenevan suhteellisen lyhyessä ajassa. Tämä on tehty tarkoituksellisesti konservatiivisena oletuksena, jotta mahdolliset riskit eivät aliarvioidu YVA-vaiheen tarkastelussa. Tämän seurauksena erityisesti nikkelin pitoisuudet nousevat mallinnuksessa korkeiksi, vaikka todellisissa kenttäolosuhteissa nikkelin vapautuminen olisi huomattavasti hitaampaa ja osittain pidättyvämpää.

Laboratoriossa kokeet tehdään 25 ± 2°C lämpötilassa. Sulfidien hapettumisreaktiot ovat pääsääntöisesti sitä hitaampia, mitä alhaisempi lämpötila on, joten tulokset on muutettava vastaamaan paikallisia olosuhteita. Kuten herkkyystarkastelussa mainitaan, lämpötilan suuretkaan muutokset eivät aiheuta kertaluokkatason epävarmuutta. Lämpötilakertoimen määrittäminen perustuu pyriitin käyttäytymiseen ja Arrheniuksen yhtälöön (esim. Nicholson ym. 1988). Tapa on yleisesti käytetty sulfidisiin malmeihin liittyvissä veden koostumuksen mallinnuksissa, joiden oikeellisuus on todennettu mittauksiin perustuvin validointi- ja verifikaatiomenetelmin.

Skaalaukseen käytetään veden läpäisydynamiikan ja hapettumisreaktioiden eroa heijastavia arvioita. Kertoimiin itseensä sisältyy episteemistä epävarmuutta, vaikka kertoimet on verifioitu toteutuneissa kohteissa, mutta suurempi epävarmuus liittyy kertoimien valintaan ja miten ne kuvastavat todellista tilannetta. Kertoimet vähentävät reaktiivisen massan määrää lineaarisesti eli niillä on merkittävä vaikutus tuloksiin.

Mallinnuksessa käytetty arvo 1 mol/m^2/a on tyypillinen Vuonoksen suunnitelmien kaltaisille tiivispeitoille, ja sallii peiterakenteessa olevan konservatiivisiin arvioihin perustuvaa rikkonaisuutta. Happivuon muutoksilla on merkittävä vaikutus tuloksiin (herkkyystarkastelu).

Vesimäärien epävarmuudet liittyvät sääoloihin, sekä peittorakenteen läpäisyyn. Vesimäärän lisääntyminen pienentää pitoisuuksia, mutta lisää suotoveden määrää. Sadannan määrään liittyy epävarmuutta, myös liittyen ilmastonmuutokseen seuraavien vuosikymmenien aikana. Sadanta on arvioitu varovasti perustuen menneeseen ilmastodataan, joten tuonee malliin konservatiivisuutta. Peittorakenteen läpäisynä käytetty 10 % on toimintatavoitteeksi määritetty arvo eli yläraja-arvo.

Käytettyyn vuotuisen keskilämpötilan arvioon sisältyy epävarmuutta, mutta sitä ei arvioida erityisen merkittäväksi verrattuna muihin lähtötietoihin ja oletuksiin. Ilmaston lämpötilan epävarmuudet sisältyvät lämpötilan skaalauskertoimeen, jolla laboratorio-olosuhteita muunnetaan paikallisiin olosuhteisiin.

8 Syötetiedot ja oletukset

8.1 Mallin lähtötiedot ja konseptualisointi

Mallin syötteiden rakentamisessa käytetyt lähtötiedot ja muunnoksissa käytetyt skaalauskertoimet esitetään taulukossa 8-1.

Taulukko 8-1. Rikastushiekka-alueiden geokemiallisen mallin lähtötiedot ja konseptualisoinnissa käytetyt arvot.

Parametri	Syötetieto tai oletus	Yksikkö
Säätietojen vuotuiset keskiarvot		
Lämpötila	3,5	°C
Vuotuinen nettosadanta	445	mm/a
Skaalauskertoimet		

Parametri	Syötetieto tai oletus	Yksikkö
Lämpötilakerroin	0,25	Arrheniuksen yhtälö
Huuhtoutumiskerroin	0,2	
Kanavoitumiskerroin	0,2	
VE2		
Pinta-ala	20,1	ha
Hapettuva kerros	2	m
Massa	5	milj. t
Läjityskosteus	14	m-%
Vuotuinen suotauma (avoin)	89 500	m3/a
Vuotuinen suotauma (peitetty)	8 950	m3/a
Suotoveden talteenottoaste	60	%
VE3		
Pinta-ala	29	ha
Hapettuva kerros (avoin)	0,5	m
Hapettuva kerros (peitetty)	2	m
Massa	5	milj. t
Altaalle pumpattavan lietteen kosteus	50	m-%
Vuotuinen suotauma (avoin)	128 000	m3/a
Vuotuinen suotauma (peitetty)	12 750	m3/a
Suotoveden talteenottoaste	95	%
Hapen pääsy rikastushiekka-alueelle (peittorakenteen vaikutus)		
Happivuo	1	mol/m^2/a

8.2 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 18.0. 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.
- Adsorptiomalli: Dzombak ja Morel (1990), 2-kerrosvakiokapasitanssimalli, C=2,0 F/m^2.
- Ferrihydriitti ensisijaisena sorboivana mineraalina, liukoisuus ja sorptio-ominaisuudet kirjastosta FeOH+(V8.R6+)AB_AW_20220607.sdat. Kirjastoon on lisätty antimoni(V):n kineettinen aineisto VisualMINTEQ-ohjelman kirjastosta.
- Termodynaaminen kirjasto: 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, H^+ tasapainossa hiilidioksidin (kaasumainen) kanssa. Vaihe 1 tasapainomallinnettiin vakio-pH:ssa 6.
- HCO_3:n pitoisuuden sallitaan muuttua ionitasapainon ylläpitämiseksi.

9 Lähdeluettelo

AFRY Finland Oy 2026a. Mondo Minerals B.V. Branch Finland - Mondo Mineralsin Vuonoksen rikastamon ja talkkitehtaan sulkemissuunnitelma. 30.1.2026

AFRY Finland Oy 2026b. Mondo Minerals B.V. Branch Finland - Vuonoksen rikastushiekka-alueella sulkemisen jälkeen muodostuvan suotoveden laadun mallinnus. 19.1.2026

AFRY Finland Oy 2026c. Mondo Minerals B.V. Branch Finland - Vesi- ja kuormataseraportti.

AFRY Finland Oy 2025. Mondo Minerals B.V. Branch Finland - Mondo Mineralsin Vuonoksen rikastamon ja talkkitehtaan kaivannaisjätteen jätehuoltosuunnitelma. 30.1.2025

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

Cody S. J. 1998. Hydrogeological and hydrochemical investigation of leachate from copper, nickel and magnesite sand tailings storage facility (TSF) at Vuonos plant, Outokumpu, Northern Karelia, Finland. Thesis, The University of College of London. September 1998.

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.

Ilmatieteenlaitos 2026. Avoimen datan palvelu. Haettu sadanta, sääasema Viuruniemi 1990–2024.

MEND 1997. Short course for prediction models for acid rock drainage. 4th International conference on acid rock drainage. Vancouver 1997.

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, pp. 1077-1085.

Rauret G., López-Sánchez J. F., Sahuquillo A., Rubio R., Davidson C., Ure A. ja Quevauviller Ph. 1999. Improvement of the BCR three-step sequential extraction procedure prior to the certification of new sediment and soil reference materials. Journal of Environmental Monitoring, 1, 57–61.

Liite 1

Liite: AFRY Finland Oy 2025

Vuonoksen rikastushiekan BCR-peräkkäisuutton tulokset

Tulokset: SGS Oy 2025

Uuttovaihe 1: 0,01 M etikkahappo

		NP1	NP1	NP2	NP2	NP3	NP3	NP4	NP4	NP5	NP5	NP6	NP6	NP7	NP7	NP7
		11m	12-13m	11m	12m	10m	11-17m	9m	10-14m	8m	9-15m	5m	6-15m	4-6m	7m	8-9m
Ag	µg/g	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Al	µg/g	42	63	58	70	48	29	23	64	58	47	120	49	26	420	540
As	µg/g	2,2	1	3	2,5	1,6	1,3	7,8	2,2	1,5	0,9	0,6	0,7	<0,5	5,5	2,4
Ba	µg/g	2,6	3,1	3,5	3,8	3,2	2,5	1,6	3,2	2,9	2,9	1,4	3,1	2,4	11	18
Be	µg/g	0,03	0,02	0,02	0,02	<0,02	<0,02	0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,04	<0,02	<0,02	0,05	0,04
Bi	µg/g	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09
B	µg/g	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Ca	µg/g	7900	9800	8800	8900	6700	10000	16000	8200	8600	10000	6100	6700	14000	11000	1200
Cd	µg/g	0,54	0,7	0,4	0,41	0,26	0,21	0,1	0,48	0,33	0,39	2,4	0,24	0,19	0,11	<0,05
Co	µg/g	29	26	20	18	16	8,1	12	16	19	16	85	6,9	14	6,8	0,57
Cr	µg/g	6,1	2,1	3	3,5	2,2	6,3	3,3	4,4	3,6	3	2	9,6	5,7	4,1	5,1
Cu	µg/g	21	48	23	27	16	10	5,1	20	19	36	17	4,4	7,8	10	2,9
Fe	µg/g	1200	2100	1900	1900	1600	1100	2600	2000	1900	1500	4000	1900	780	980	480
K	µg/g	130	220	240	250	200	240	87	290	220	270	43	270	220	170	230
Li	µg/g	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Mg	µg/g	6600	5300	5600	5800	3600	3300	15000	4900	5300	4100	2400	1700	2900	2600	350
Mn	µg/g	94	95	91	91	69	69	180	88	82	80	35	41	59	46	6,6
Mo	µg/g	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Na	µg/g	43	27	22	20	24	24	23	25	19	23	12	21	10	12	25
Ni	µg/g	130	90	100	89	59	59	240	66	81	78	160	44	33	30	2,2
Pb	µg/g	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,8	<0,1	0,6	0,4	0,6	0,6	1,1	1	0,2	0,3
P	µg/g	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	57
S	µg/g	3500	2300	2000	1200	1200	540	640	930	1800	970	7000	1500	400	630	<200
Se	µg/g	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Sb	µg/g	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
Si	µg/g	120	210	240	210	130	180	120	240	190	200	110	140	130	560	370
Sn	µg/g	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Sr	µg/g	7,7	9,9	8,2	8,2	6,2	6,4	16	7,8	8,4	9,5	5,2	5,5	6,2	8,8	3,7
Tl	µg/g	<0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	<0,02	0,03	0,02	0,03	<0,02	0,03	0,03	<0,02	<0,02

		NP1	NP1	NP2	NP2	NP3	NP3	NP4	NP4	NP5	NP5	NP6	NP6	NP7	NP7	NP7
		11m	12-13m	11m	12m	10m	11-17m	9m	10-14m	8m	9-15m	5m	6-15m	4-6m	7m	8-9m
Ti	µg/g	0,3	0,3	0,5	0,8	0,7	0,2	<0,1	0,3	1	0,4	0,3	0,3	0,3	0,8	2,6
U	µg/g	1,8	3	1,8	2	1,6	2	0,088	2,6	1,6	2,6	2,7	3,3	1,9	0,95	0,15
V	µg/g	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Zn	µg/g	140	280	150	180	95	97	13	200	110	220	620	94	69	44	3,2
Zr	µg/g	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,03

Uuttovaihe 2: 0,5 M hydroksyyliammonium kloridi

		NP1	NP1	NP2	NP2	NP3	NP3	NP4	NP4	NP5	NP5	NP6	NP6	NP7	NP7	NP7
		11m	12-13m	11m	12m	10m	11-17m	9m	10-14m	8m	9-15m	5m	6-15m	4-6m	7m	8-9m
Ag	µg/g	<0,05	0,05	0,05	0,05	0,13	0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,06	<0,05	<0,05	0,08	<0,05	<0,05
Al	µg/g	310	460	340	390	300	220	51	400	300	330	410	300	210	3400	1600
As	µg/g	3,6	23	32	36	19	9,7	21	27	15	14	<0,5	4,5	7,9	38	3,5
Ba	µg/g	1,9	1,6	0,9	0,9	1,7	0,5	0,3	1,3	0,8	0,7	1,3	0,9	0,5	8,1	11
Be	µg/g	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	<0,02	<0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	<0,02	0,03	0,06	0,04
Bi	µg/g	0,41	0,61	0,44	0,46	0,33	0,15	<0,09	0,46	0,37	0,34	0,5	0,11	0,24	0,19	<0,09
B	µg/g	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Ca	µg/g	990	1600	1400	1500	1400	1100	4400	1200	1500	1500	460	670	1700	990	440
Cd	µg/g	0,41	0,7	0,4	0,4	0,27	0,16	<0,05	0,4	0,27	0,42	0,79	0,25	0,19	0,06	<0,05
Co	µg/g	23	24	17	14	14	4,6	11	13	15	10	17	3,4	7,4	3,9	0,42
Cr	µg/g	15	13	10	12	8,2	13	6,8	15	9,6	13	11	15	13	10	4,5
Cu	µg/g	39	107	42	48	35	18	0,3	43	36	52	34	8,6	14	19	4,8
Fe	µg/g	12000	16000	11000	10000	8000	3400	8800	10000	8600	6500	10000	2800	2500	4400	1300
K	µg/g	22	29	23	27	19	16	7	26	21	20	24	18	18	32	76
Li	µg/g	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Mg	µg/g	14000	11000	13000	16000	7500	6100	30000	13000	11000	8200	2800	2500	2700	2000	340
Mn	µg/g	100	96	98	120	66	42	190	98	89	68	27	23	20	20	7,9
Mo	µg/g	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,3	<0,1	0,2	<0,1
Na	µg/g	12	13	12	14	10	5	2	8	8	10	6	7	5	9	14
Ni	µg/g	120	100	97	71	59	34	190	57	71	50	47	23	24	22	1,9
Pb	µg/g	3,3	7,3	4,1	5	4	2,1	0,2	4,8	4,3	4,7	6	2,1	2,7	4,1	2,4

		NP1	NP1	NP2	NP2	NP3	NP3	NP4	NP4	NP5	NP5	NP6	NP6	NP7	NP7	NP7
		11m	12-13m	11m	12m	10m	11-17m	9m	10-14m	8m	9-15m	5m	6-15m	4-6m	7m	8-9m
P	µg/g	<3	67	40	79	54	52	6	74	57	79	<3	140	43	140	300
S	µg/g	610	490	410	380	270	<200	<200	410	340	260	950	<200	<200	<200	<200
Se	µg/g	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Sb	µg/g	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
Si	µg/g	540	900	640	720	590	560	290	860	580	670	490	450	480	2200	960
Sn	µg/g	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Sr	µg/g	1,1	2,1	1,5	1,5	1,3	0,8	3,5	1,2	1,6	1,3	0,6	0,7	1,1	1,9	0,8
Tl	µg/g	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	<0,02	<0,02	0,03	0,02	0,03	<0,02	0,03	0,03	0,04	0,02
Ti	µg/g	1,5	8,7	4,5	8,9	11	6,4	<0,1	8,4	8,2	7,4	2,8	9,7	11	36	40
U	µg/g	0,89	1,3	0,77	0,74	0,76	0,9	0,005	0,8	0,67	0,93	0,76	1,2	0,66	1,2	0,58
V	µg/g	<3	4	<3	<3	<3	<3	<3	4	<3	<3	<3	4	<3	6	<3
Zn	µg/g	150	330	160	180	110	67	13	160	110	200	290	83	71	26	3,1
Zr	µg/g	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,34	0,55

Uuttovaihe 3: 8,8 M vetyperoksidi

		NP1	NP1	NP2	NP2	NP3	NP3	NP4	NP4	NP5	NP5	NP6	NP6	NP7	NP7	NP7
		11m	12-13m	11m	12m	10m	11-17m	9m	10-14m	8m	9-15m	5m	6-15m	4-6m	7m	8-9m
Ag	µg/g	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Al	µg/g	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
As	µg/g	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Ba	µg/g	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Be	µg/g	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Bi	µg/g	< 0,09	< 0,09	< 0,09	< 0,09	< 0,09	< 0,09	< 0,09	< 0,09	< 0,09	< 0,09	< 0,09	< 0,09	< 0,09	< 0,09	< 0,09
B	µg/g	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Ca	µg/g	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
Cd	µg/g	1,6	4,6	1,7	3,2	1,8	2,3	0,025	4,1	2,1	3,7	5,4	2,3	2,4	2,8	0,18
Co	µg/g	160	240	180	180	170	160	13	220	160	230	420	130	210	210	12
Cr	µg/g	9	8,8	7,1	5,7	4	8,8	7,2	5,9	4,4	9,1	7,6	13	6,7	8,7	2,4
Cu	µg/g	120	590	130	300	220	170	7,4	330	260	250	410	140	160	140	11
Fe	µg/g	13000	35000	23000	21000	27000	19000	2400	33000	28 000	27000	32000	18000	24000	21000	1200

Vuonos rikastushiekka
BCR-peräkkäisuutto

Liite: AFRY Finland Oy 2025
Tulokset: SGS Oy 2025

		NP1	NP1	NP2	NP2	NP3	NP3	NP4	NP4	NP5	NP5	NP6	NP6	NP7	NP7	NP7
		11m	12-13m	11m	12m	10m	11-17m	9m	10-14m	8m	9-15m	5m	6-15m	4-6m	7m	8-9m
K	µg/g	290	310	320	320	310	350	260	350	300	350	260	350	360	260	420
Li	µg/g	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Mg	µg/g	8 100	4400	5500	5900	3100	3200	6100	4300	4000	2900	2100	1300	1100	1300	240
Mn	µg/g	63	72	52	63	37	37	22	66	46	52	49	27	25	30	6,6
Mo	µg/g	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Na	µg/g	21	23	22	16	11	8	2	15	12	11	14	11	7	20	33
Ni	µg/g	530	470	480	450	330	530	410	470	400	430	520	460	480	410	27
Pb	µg/g	1,3	1,6	1,3	1,7	1,5	1,1	0,4	1,5	1,6	1,8	0,6	1,4	1,4	0,2	0,5
P	µg/g	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	4	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	6	10
S	µg/g	18000	27000	21000	21000	20000	12000	3500	26000	21000	19000	25000	10000	13000	13000	980
Se	µg/g	2	2,3	1,9	1,7	1,7	1,4	0,4	1,9	1,4	1,4	2,3	1,6	1,5	1,7	0,2
Sb	µg/g	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8
Si	µg/g	560	780	590	600	500	900	260	740	520	730	580	620	510	970	450
Sn	µg/g	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	3
Sr	µg/g	0,6	0,8	0,5	0,6	0,3	0,3	0,1	0,4	0,4	0,4	0,6	0,4	0,3	0,7	0,5
Tl	µg/g	0,06	0,04	0,05	0,04	0,03	0,04	<0,02	0,03	0,03	0,04	0,01	0,05	0,04	0,03	0,01
Ti	µg/g	1,8	6,2	2,5	3	2,2	2,5	0,4	2,3	2,4	2,6	2,1	5,4	2,2	20	16
U	µg/g	0,7	1,1	0,81	0,99	1	1,4	0,066	1,3	0,94	1,2	1	2,3	1,1	1,5	0,27
V	µg/g	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Zn	µg/g	460	1700	520	1100	600	860	3,7	1500	740	1500	1500	820	850	980	56
Zr	µg/g	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,04

Uuttovaihe 4: Kuningasvesiuutto

		NP1	NP1	NP2	NP2	NP3	NP3	NP4	NP4	NP5	NP5	NP6	NP6	NP7	NP7	NP7
		11m	12-13m	11m	12m	10m	11-17m	9m	10-14m	8m	9-15m	5m	6-15m	4-6m	7m	8-9m
Ag	µg/g	1,2	2,2	1,4	1,8	1,6	0,59	< 0,05	1,8	1,8	1,6	2,7	0,54	0,79	0,75	<0,05
Al	µg/g	2400	2 600	2500	2700	2100	1500	1300	24000	2400	2300	2 300	2000	1400	4200	7700
As	µg/g	330	76	190	74	49	19	270	41	86	4	78	26	23	53	4,3
Ba	µg/g	8	8,1	8,8	12	11	4,9	1,1	7,7	8,5	7	9,1	6,3	4,5	26	85
Be	µg/g	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,08	0,1

Vuonos rikastushiekka
BCR-peräkkäisuutto

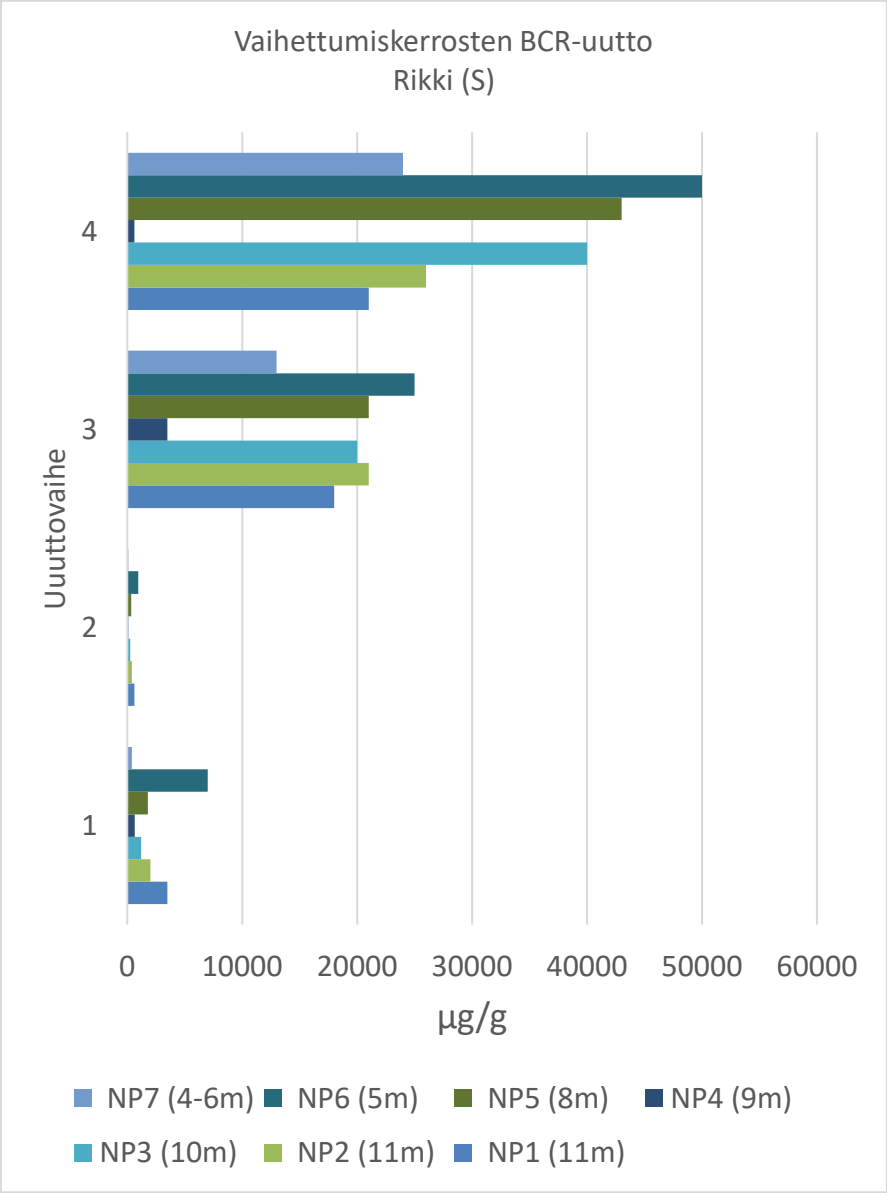
Liite: AFRY Finland Oy 2025
Tulokset: SGS Oy 2025

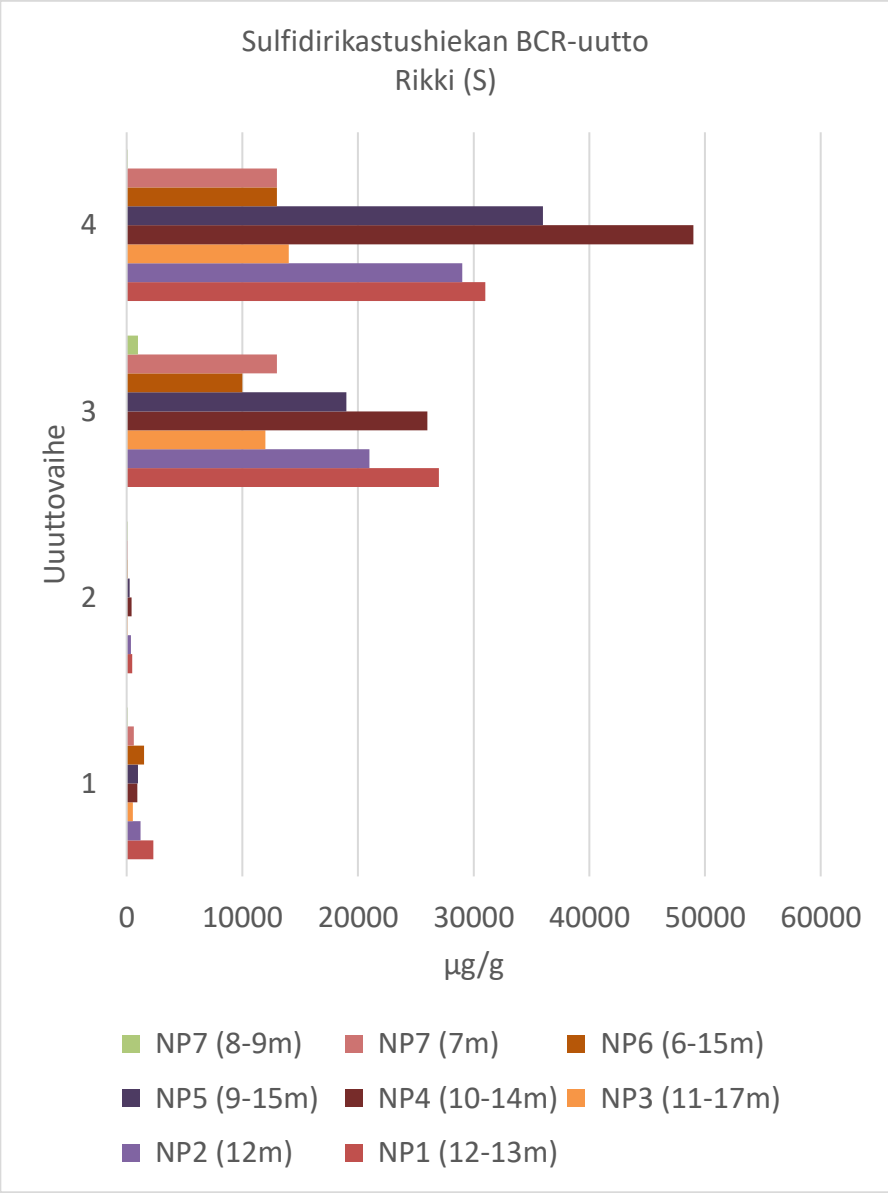
		NP1	NP1	NP2	NP2	NP3	NP3	NP4	NP4	NP5	NP5	NP6	NP6	NP7	NP7	NP7
		11m	12-13m	11m	12m	10m	11-17m	9m	10-14m	8m	9-15m	5m	6-15m	4-6m	7m	8-9m
Bi	µg/g	0,33	0,29	0,26	0,27	0,26	0,11	0,18	0,29	0,26	0,28	0,51	0,09	0,32	0,15	<0,09
B	µg/g	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Ca	µg/g	350	420	390	400	290	280	510	330	370	370	380	290	360	410	390
Cd	µg/g	0,41	0,51	0,74	1,8	2,9	1,1	0,08	2,7	2,2	3,2	5,6	1,2	2,7	1	<0,05
Co	µg/g	75	63	67	83	140	64	32	120	130	180	350	62	160	59	4,1
Cr	µg/g	190	150	150	150	96	140	250	160	130	160	83	130	92	96	33
Cu	µg/g	72	260	120	310	610	140	15	460	640	460	950	120	260	81	9,9
Fe	µg/g	76000	66000	70000	72000	82000	30000	34000	100000	92000	73000	110000	23000	41000	28000	14000
K	µg/g	690	700	770	940	820	410	38	640	760	640	800	510	410	1400	3400
Li	µg/g	4	4	4	5	4	3	1	4	4	5	4	5	3	8	13
Mg	µg/g	40000	35000	42000	41000	27000	24000	94000	32000	30000	21000	14000	9200	9700	10000	5400
Mn	µg/g	260	230	260	260	190	82	530	200	210	130	170	61	52	94	130
Mo	µg/g	5,1	4,4	4,1	5,2	4,9	4,6	0,3	5	4,9	6,4	9,8	7,8	4,4	4,7	0,8
Na	µg/g	35	44	38	38	32	24	6	33	35	34	44	28	25	59	96
Ni	µg/g	230	230	280	280	370	230	390	280	350	340	410	190	390	130	13
Pb	µg/g	1,4	1	1,1	1	1,2	0,6	0,6	0,9	1,3	1,1	7,7	0,6	0,9	2,4	1,4
P	µg/g	99	50	59	35	36	19	54	26	47	27	90	24	17	100	70
S	µg/g	21000	31000	26000	29000	40000	14000	620	49000	43000	36000	50000	13000	24000	13000	<200
Se	µg/g	4,3	4,2	4	4,3	5,4	1,8	0,1	6,2	5,1	4,2	7,4	2	3,3	1,8	<0,1
Sb	µg/g	0,9	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	1	< 0,8	1,3	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8
Si	µg/g	460	500	510	500	420	940	760	720	560	780	820	770	820	910	870
Sn	µg/g	14	18	14	17	19	13	10	18	18	19	28	13	17	13	9
Sr	µg/g	0,6	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,1	0,7	0,9	0,9	1,4	0,9	0,7	1,5	1,8
Tl	µg/g	0,13	0,13	0,16	0,16	0,12	0,09	< 0,02	0,12	0,14	0,1	0,22	0,1	0,1	0,17	0,15
Ti	µg/g	150	200	170	230	190	95	30	180	190	160	200	130	89	530	930
U	µg/g	0,58	0,29	0,41	0,29	0,34	0,36	0,047	0,28	0,37	0,4	1,5	0,53	0,29	0,46	0,64
V	µg/g	25	27	24	24	18	14	5	21	19	21	24	23	12	25	30
Zn	µg/g	280	230	290	650	1100	410	27	1100	890	1300	2600	430	970	360	26
Zr	µg/g	0,67	0,98	0,77	0,83	0,62	0,38	0,11	0,7	0,68	0,7	0,94	0,71	0,36	2,7	5,1

Tulokset: **SGS Oy 2025.** CERTIFICATE OF ANALYSIS Final Report. BCR extraction. KE25-02103 - PO#168353535. 30/04/2025

Vuonos rikastushiekka
BCR-peräkkäisuutto

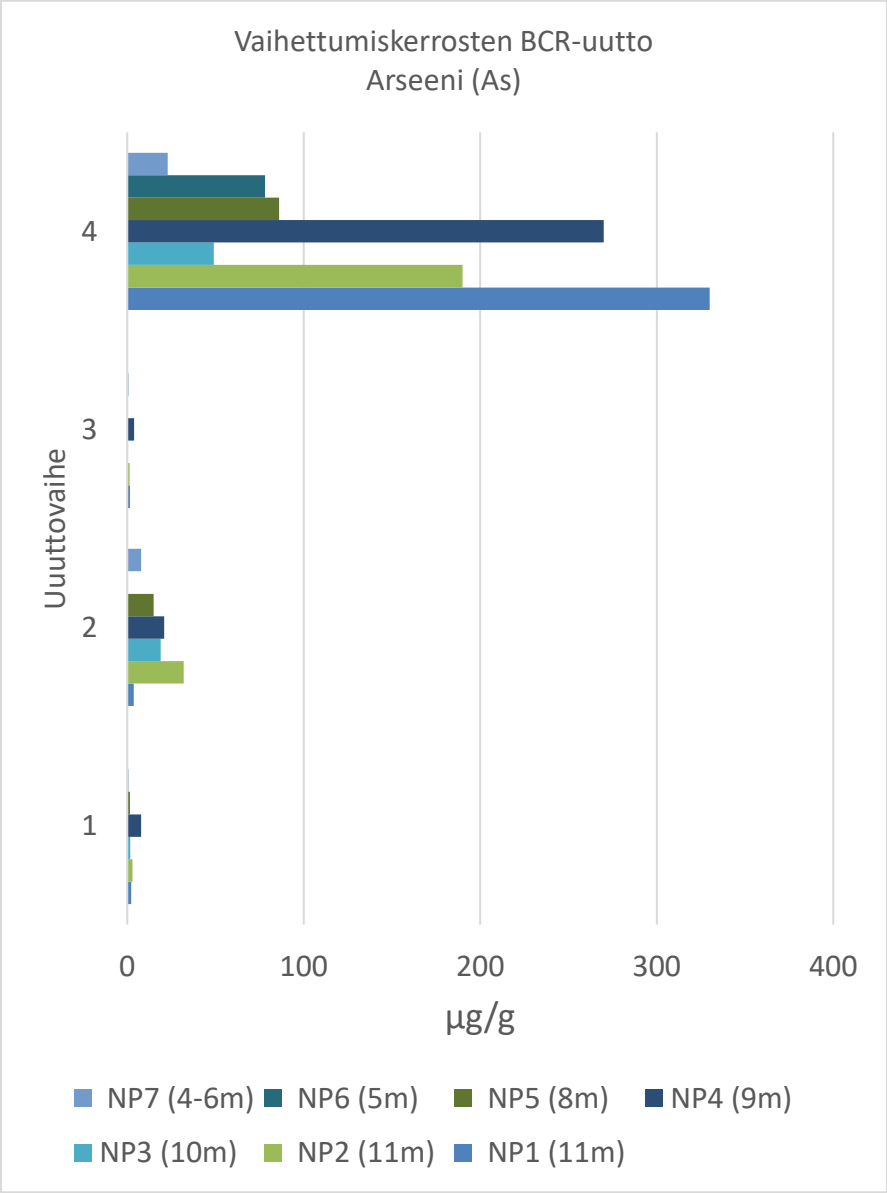
Liite: AFRY Finland Oy 2025
Tulokset: SGS Oy 2025

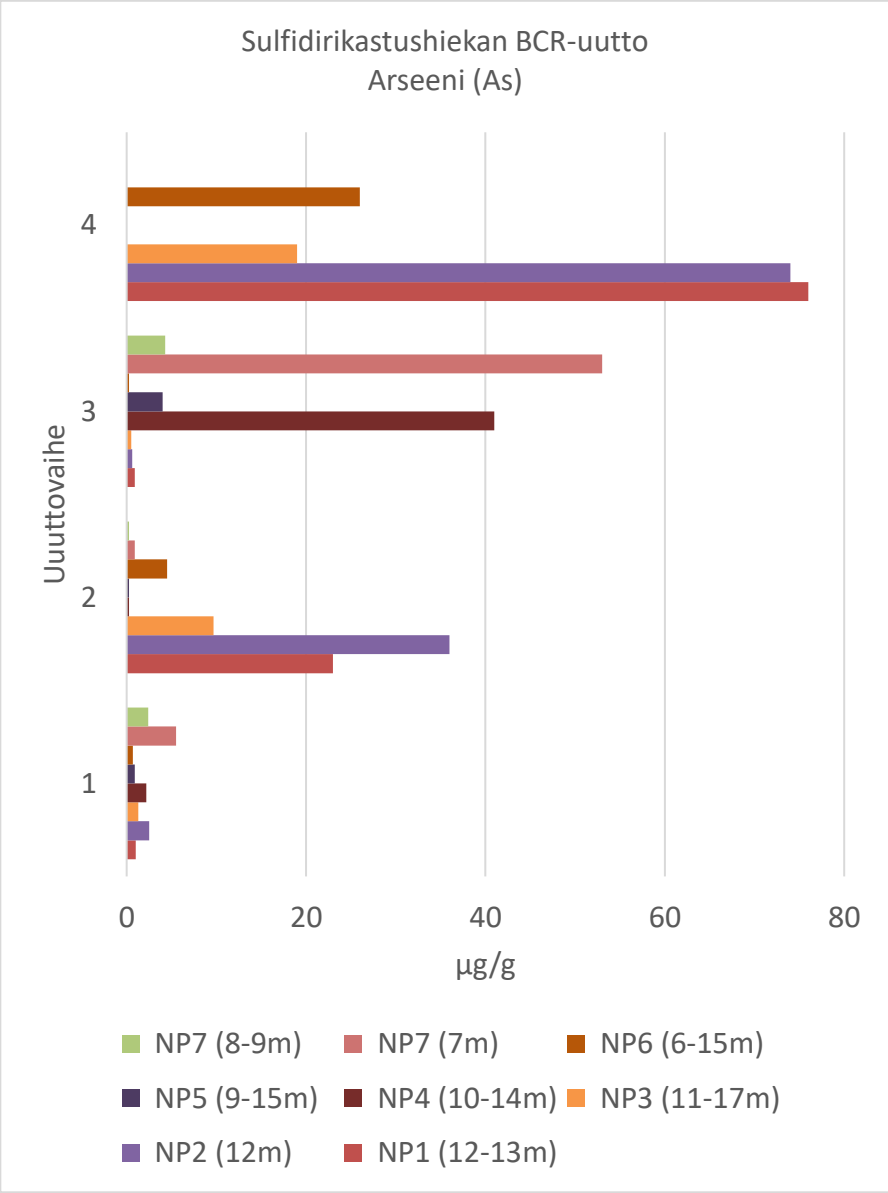




Vuonos rikastushiekka
BCR-peräkkäisuutto

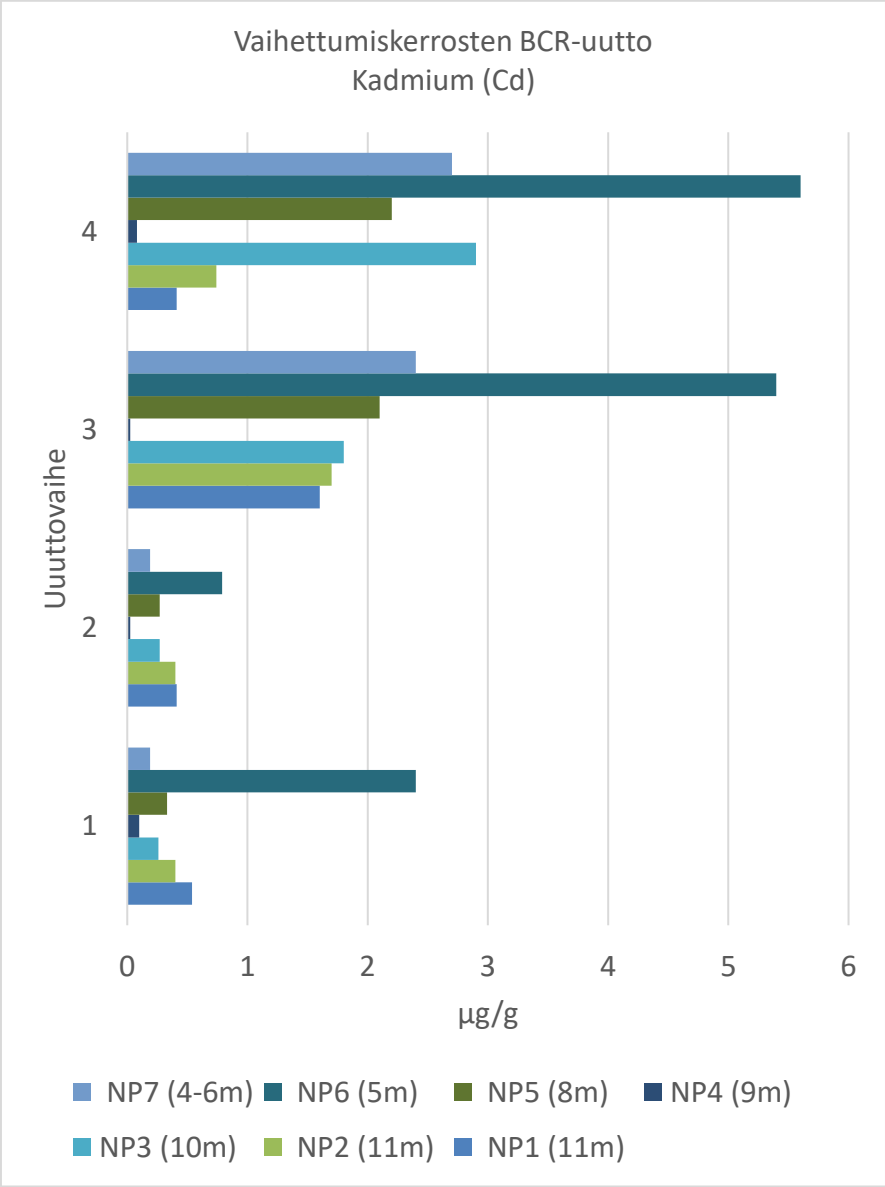
Liite: AFRY Finland Oy 2025
Tulokset: SGS Oy 2025

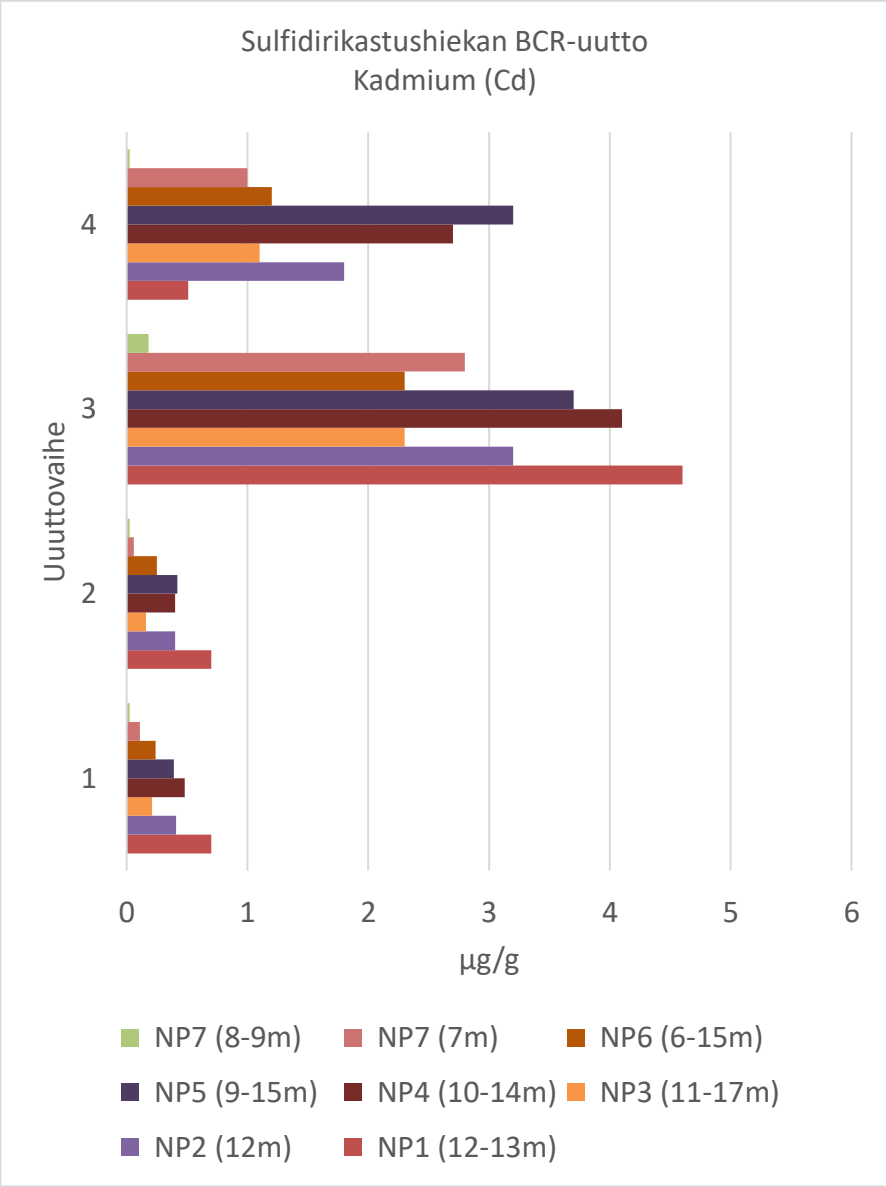




Vuonos rikastushiekka
BCR-peräkkäisuutto

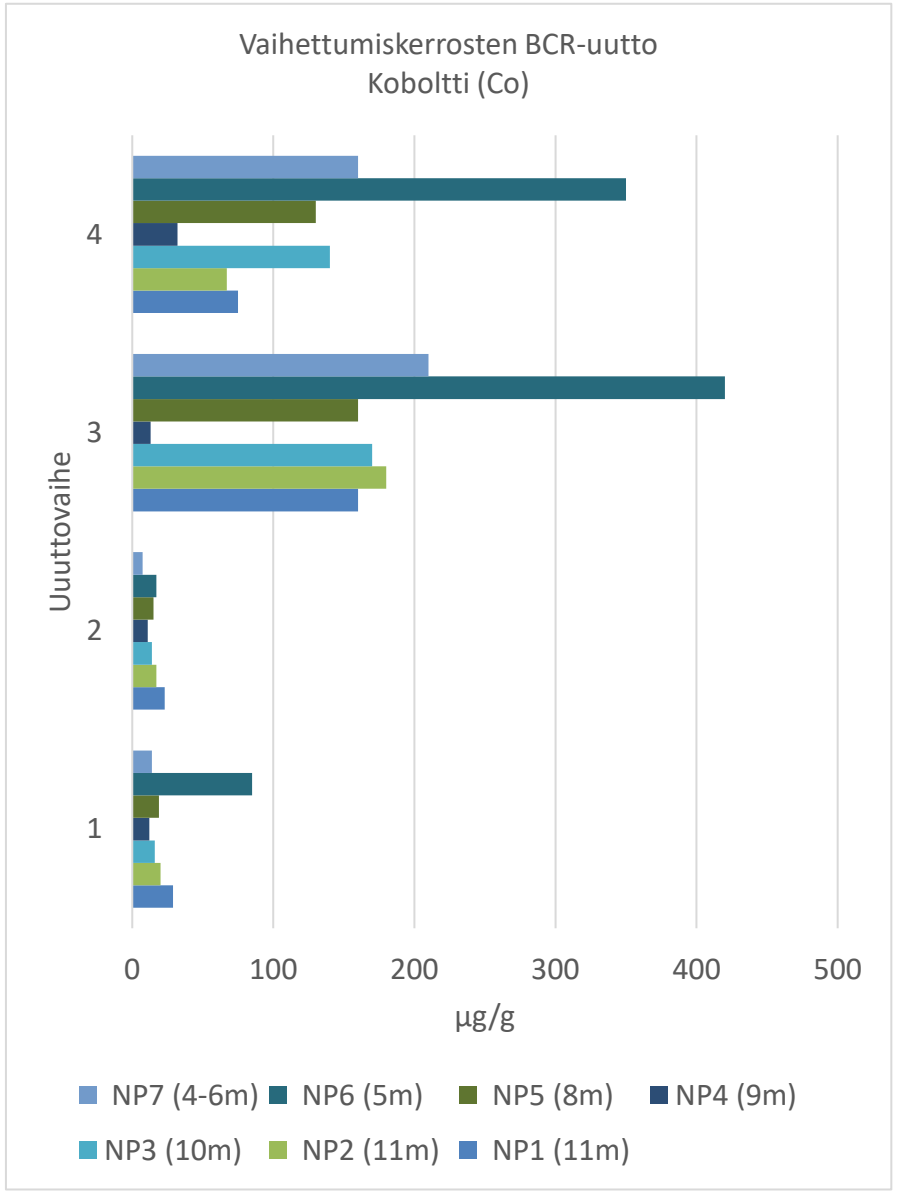
Liite: AFRY Finland Oy 2025
Tulokset: SGS Oy 2025

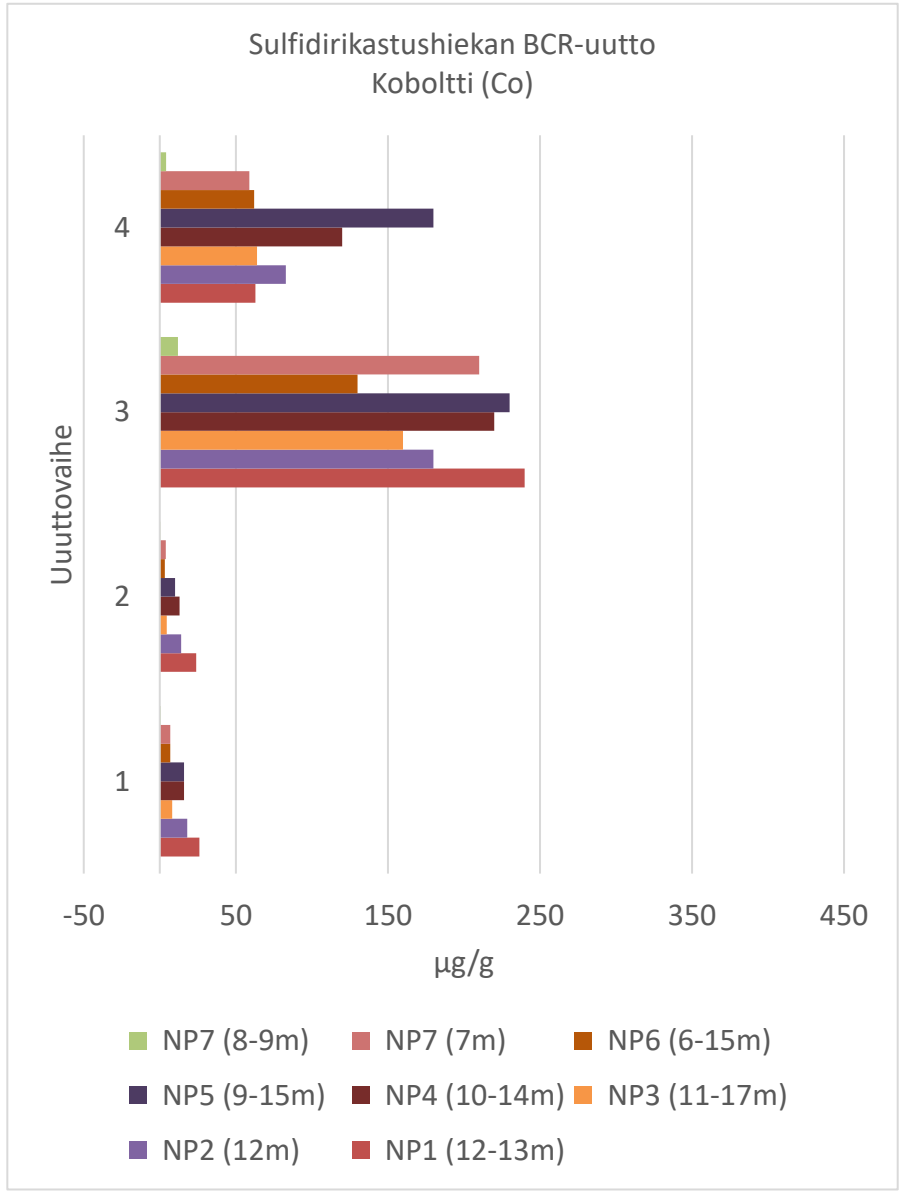




Vuonos rikastushiekka
BCR-peräkkäisuutto

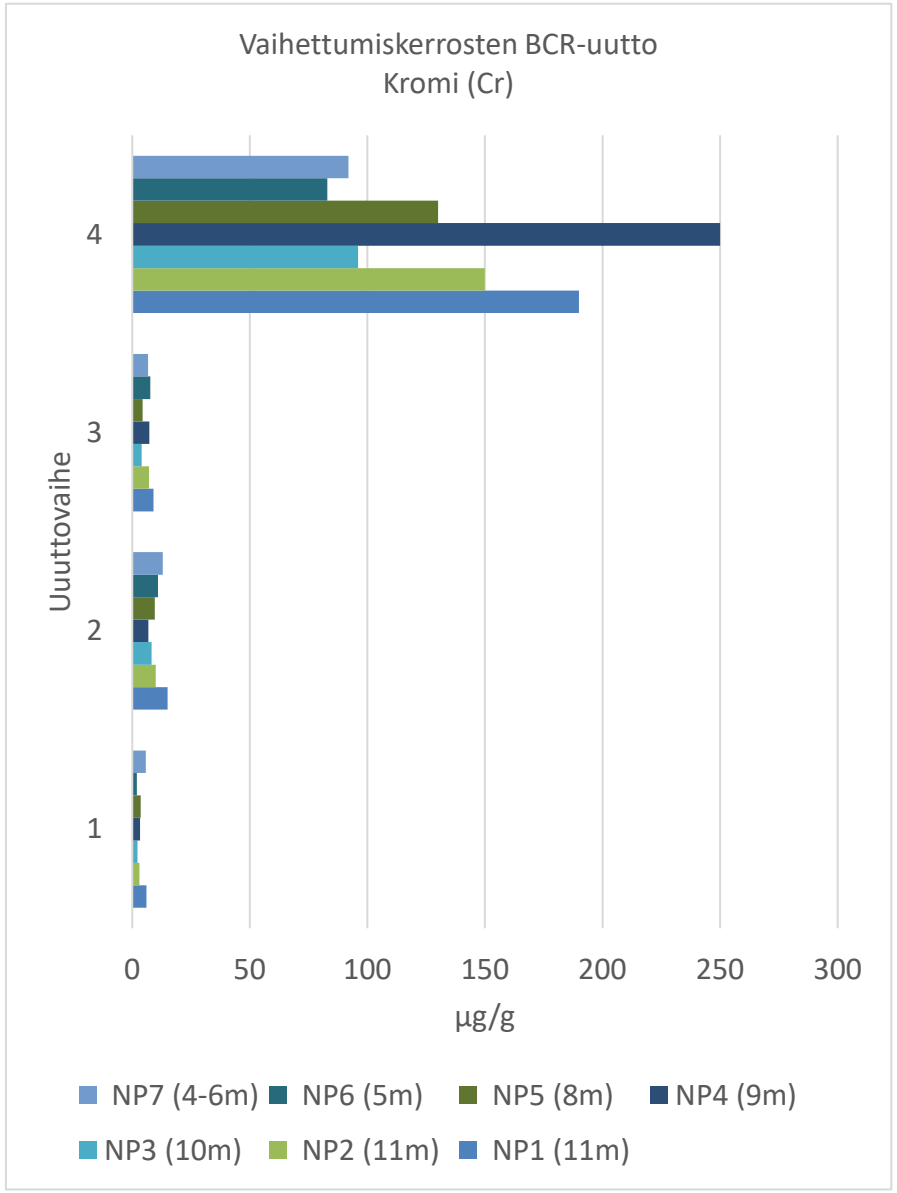
Liite: AFRY Finland Oy 2025
Tulokset: SGS Oy 2025

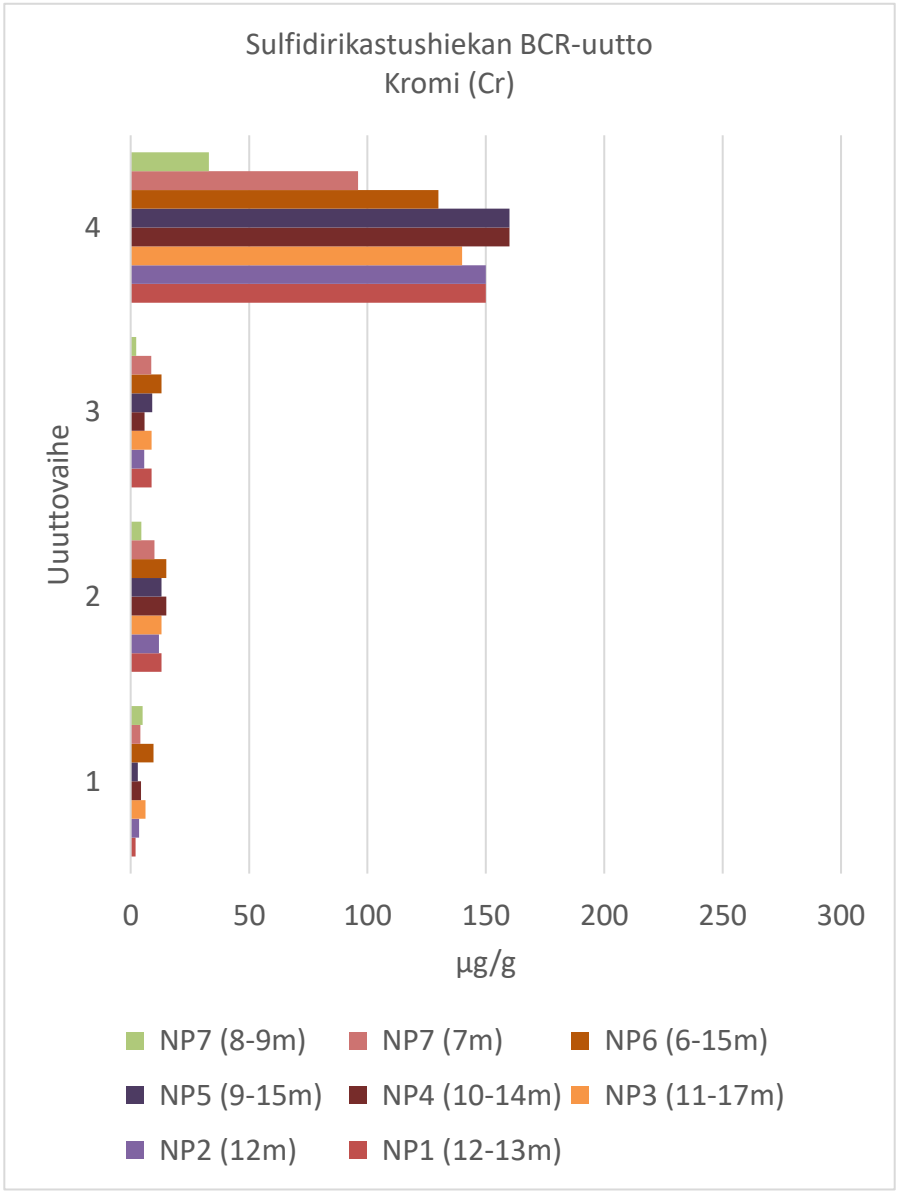




Vuonos rikastushiekka
BCR-peräkkäisuutto

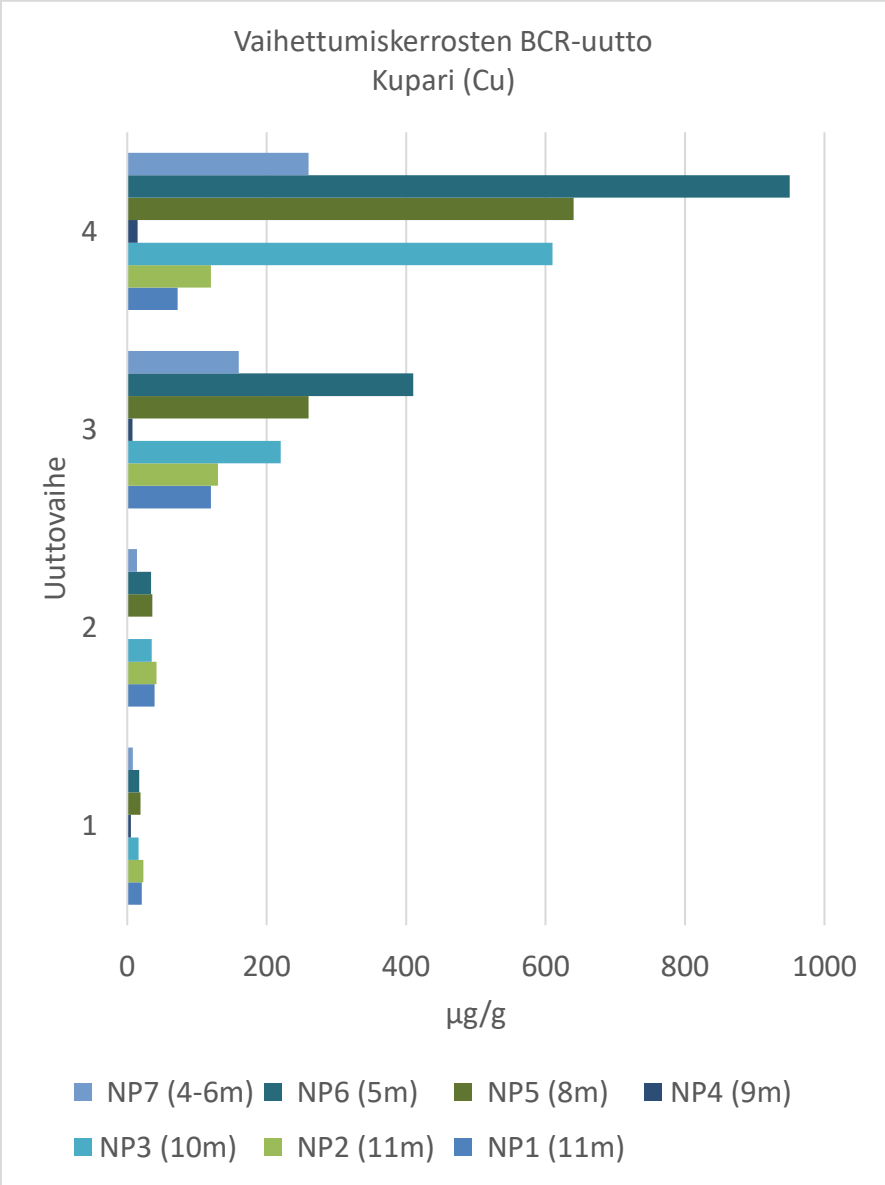
Liite: AFRY Finland Oy 2025
Tulokset: SGS Oy 2025

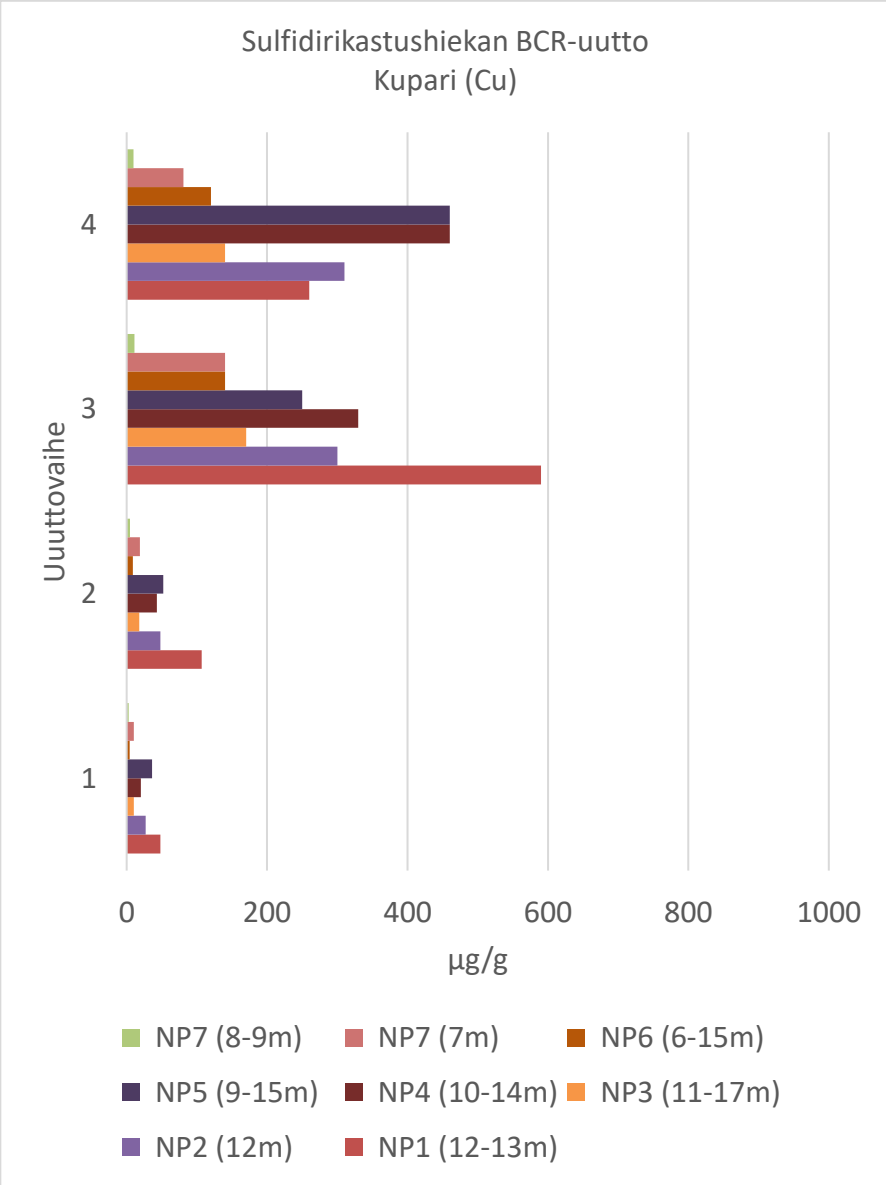




Vuonos rikastushiekka
BCR-peräkkäisuutto

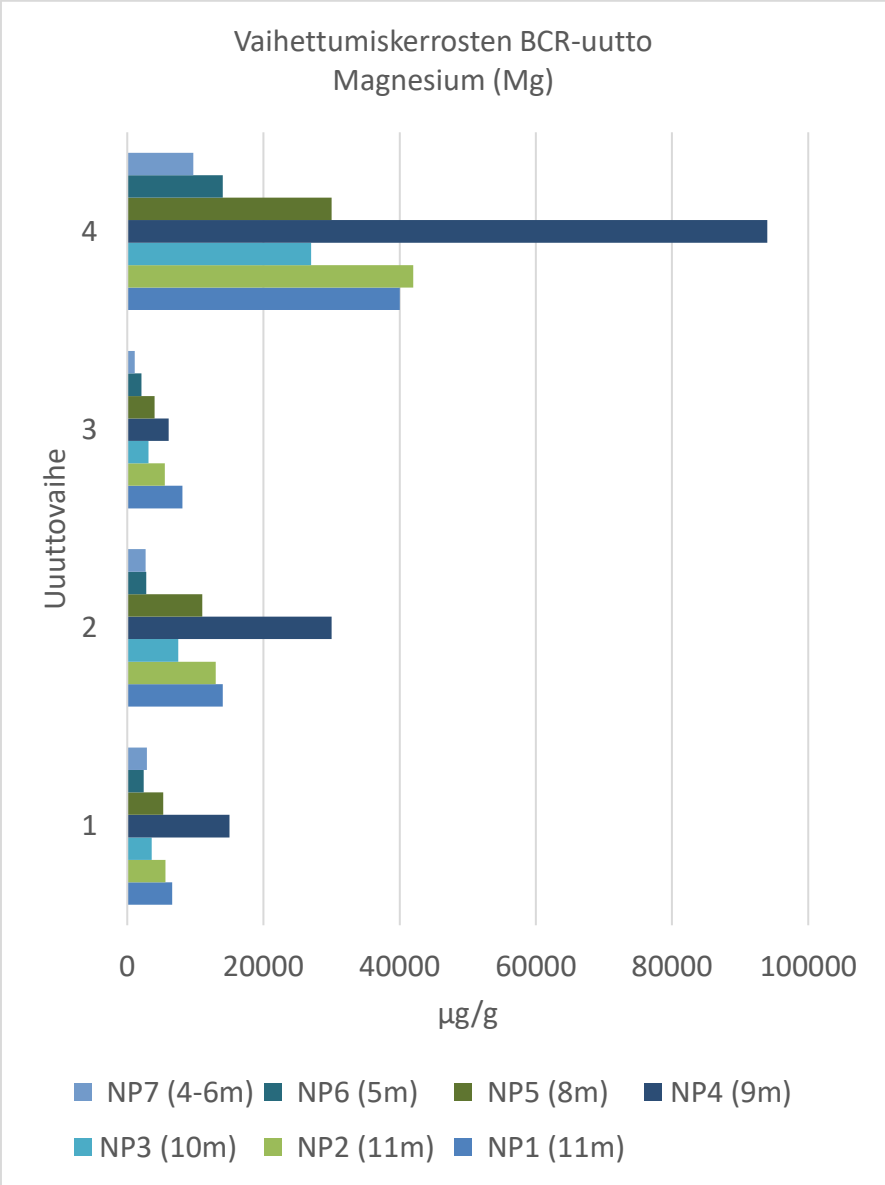
Liite: AFRY Finland Oy 2025
Tulokset: SGS Oy 2025

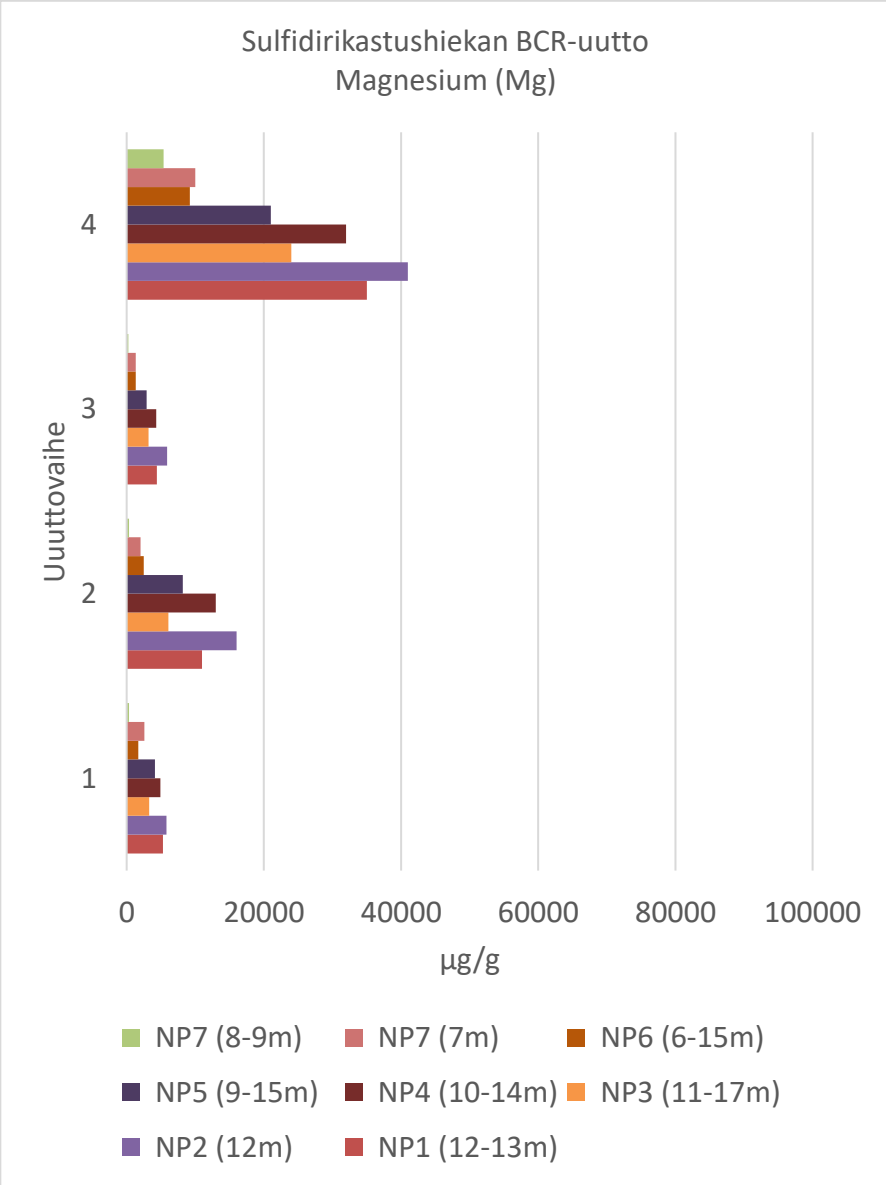




Vuonos rikastushiekka
BCR-peräkkäisuutto

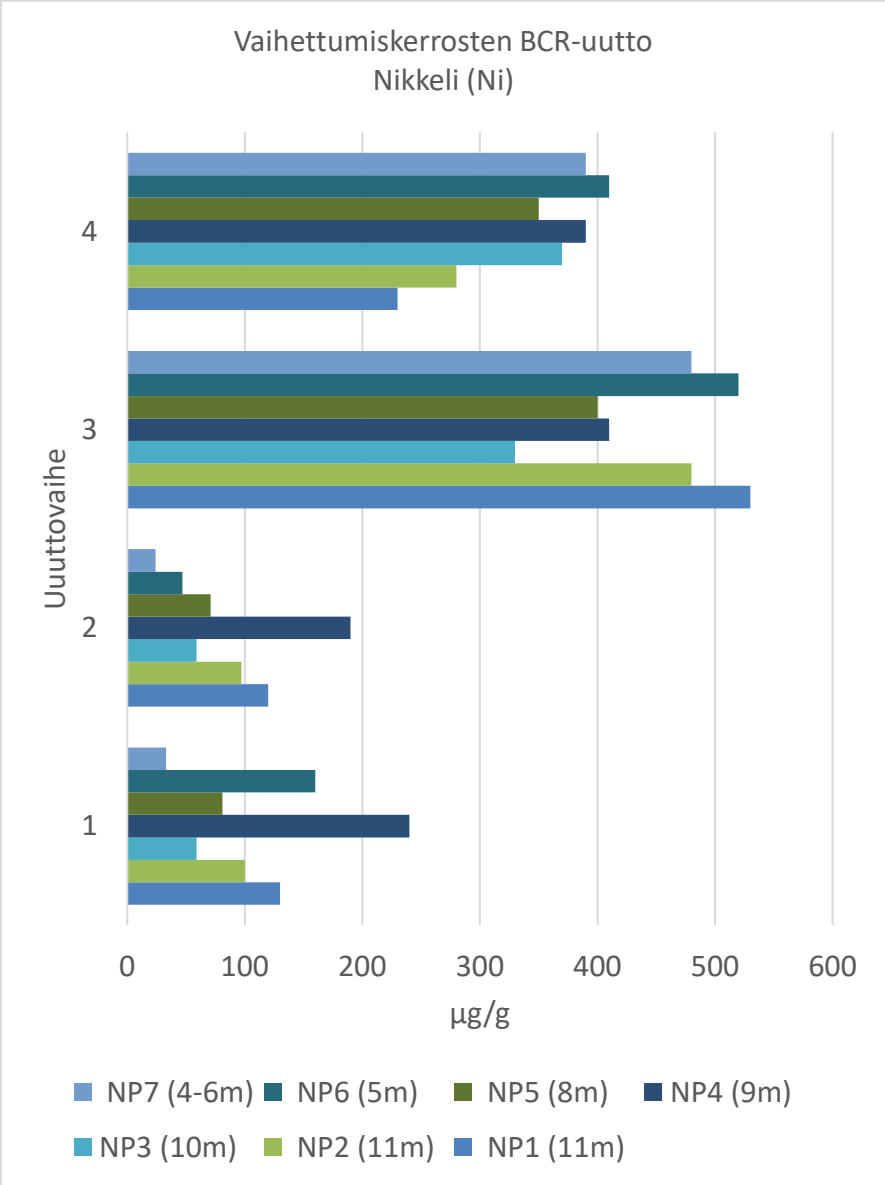
Liite: AFRY Finland Oy 2025
Tulokset: SGS Oy 2025

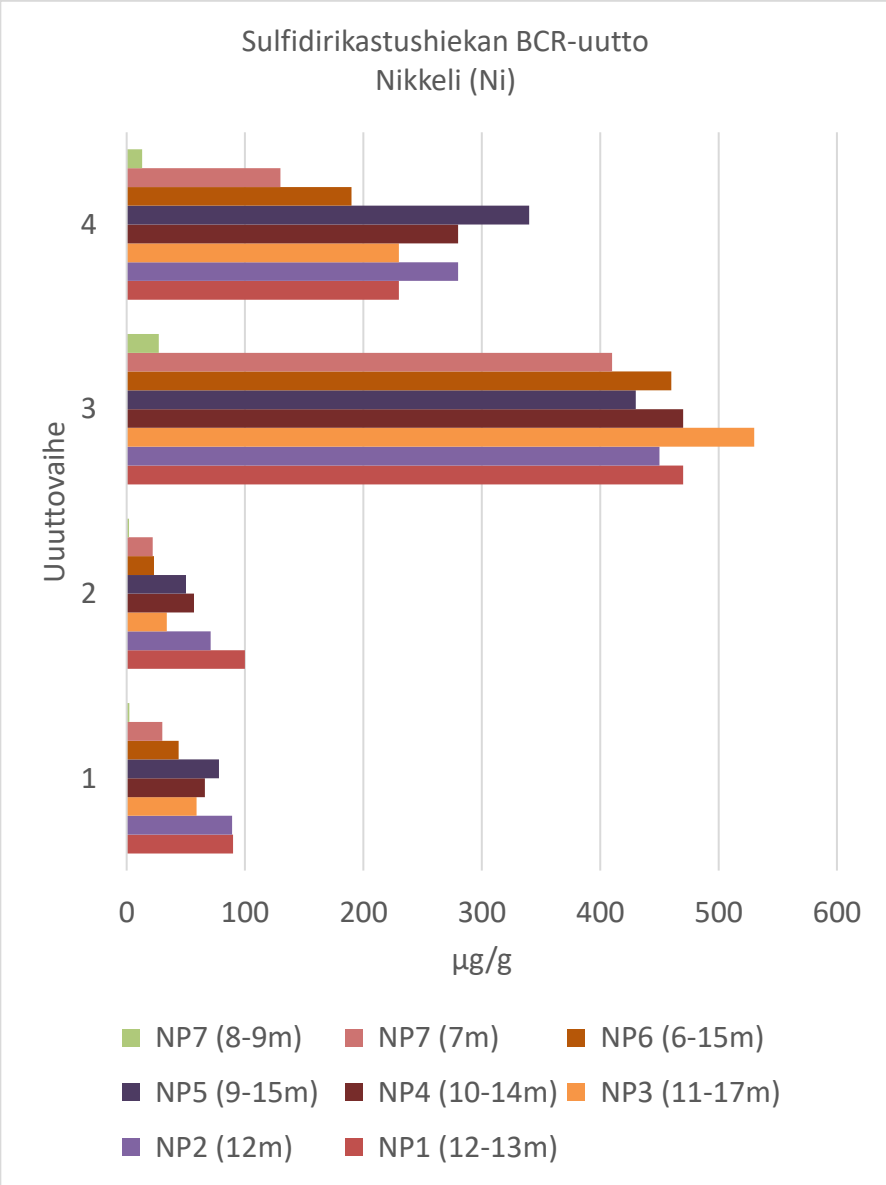




Vuonos rikastushiekka
BCR-peräkkäisuutto

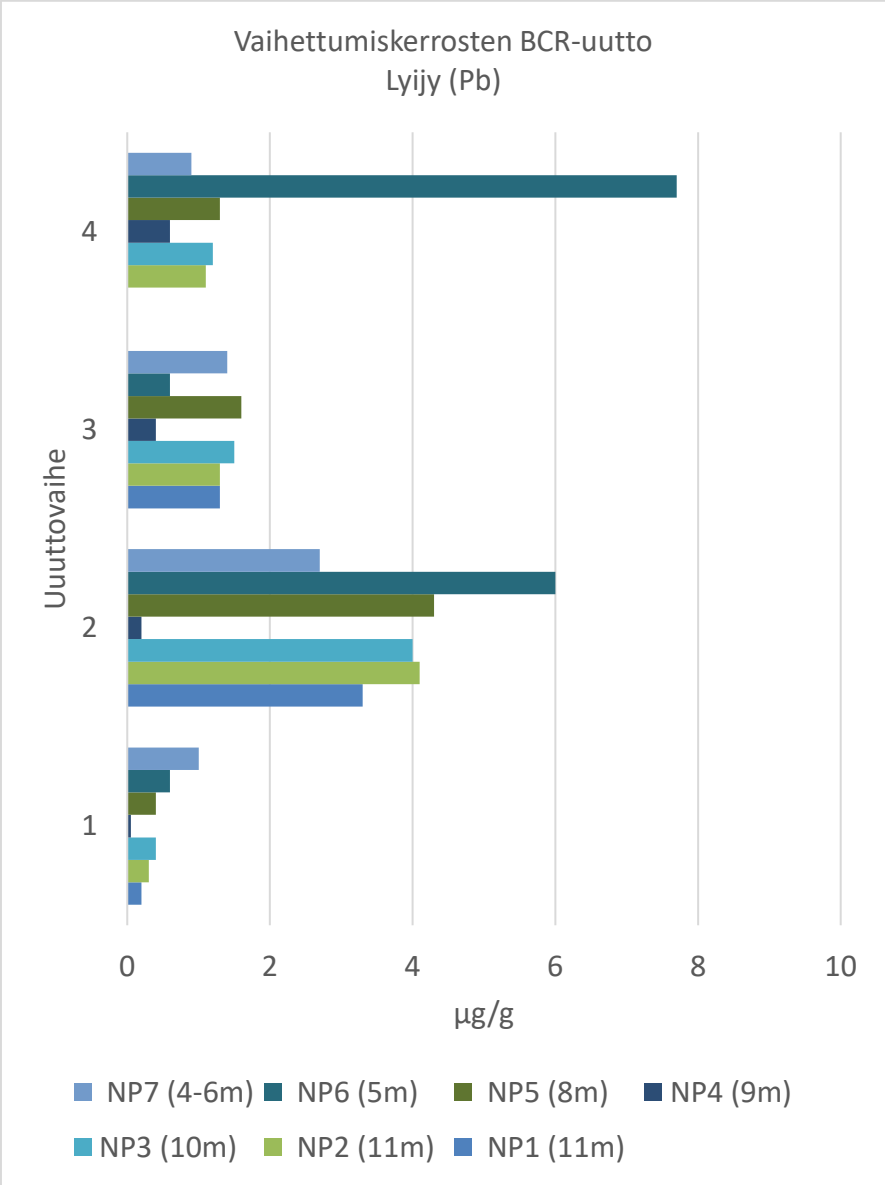
Liite: AFRY Finland Oy 2025
Tulokset: SGS Oy 2025

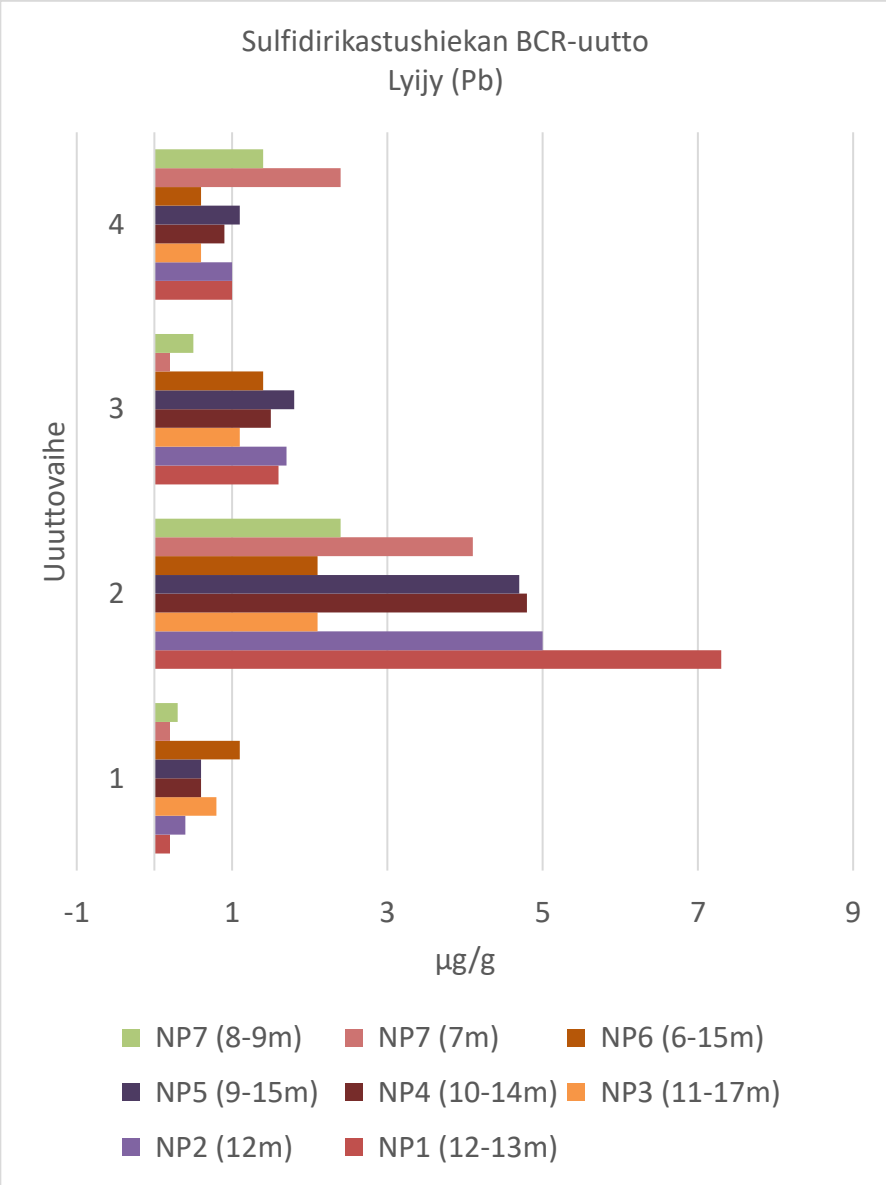




Vuonos rikastushiekka
BCR-peräkkäisuutto

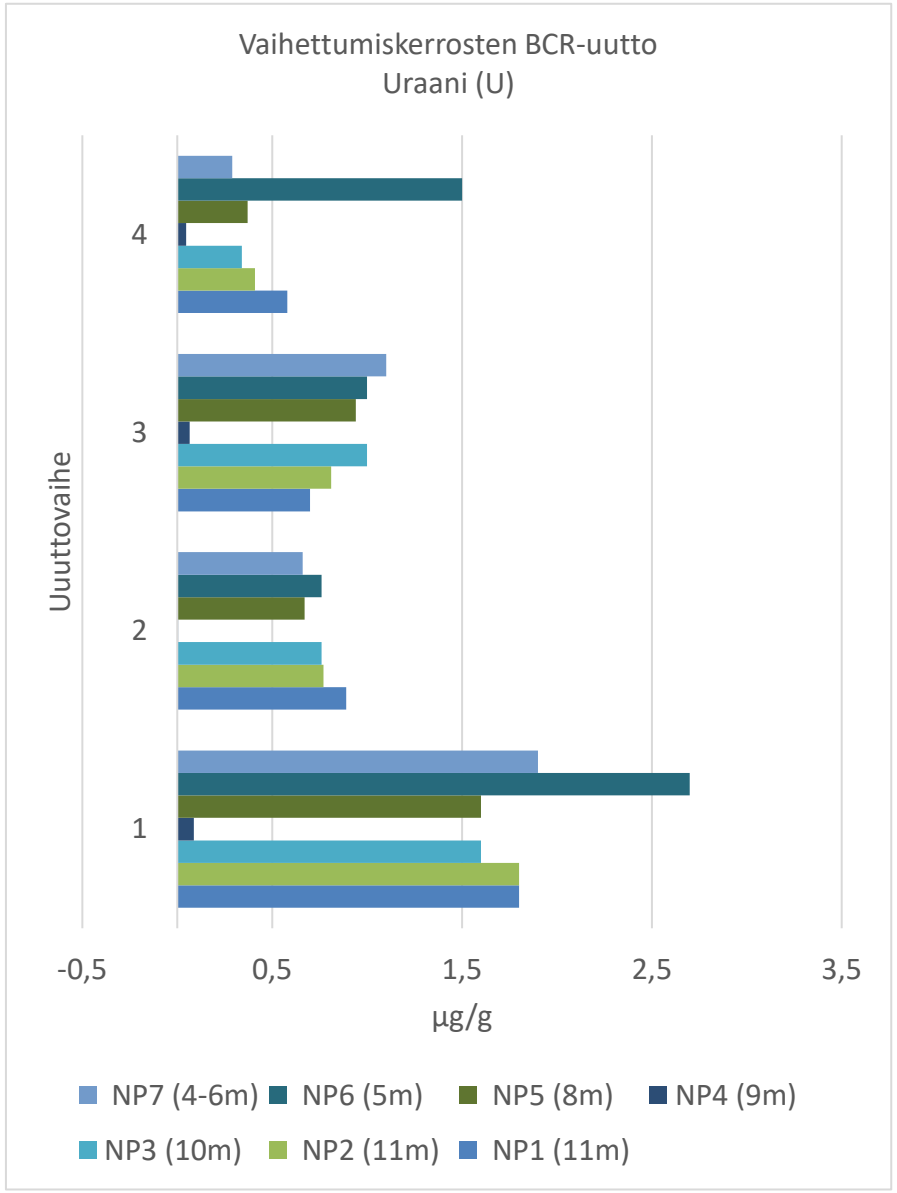
Liite: AFRY Finland Oy 2025
Tulokset: SGS Oy 2025

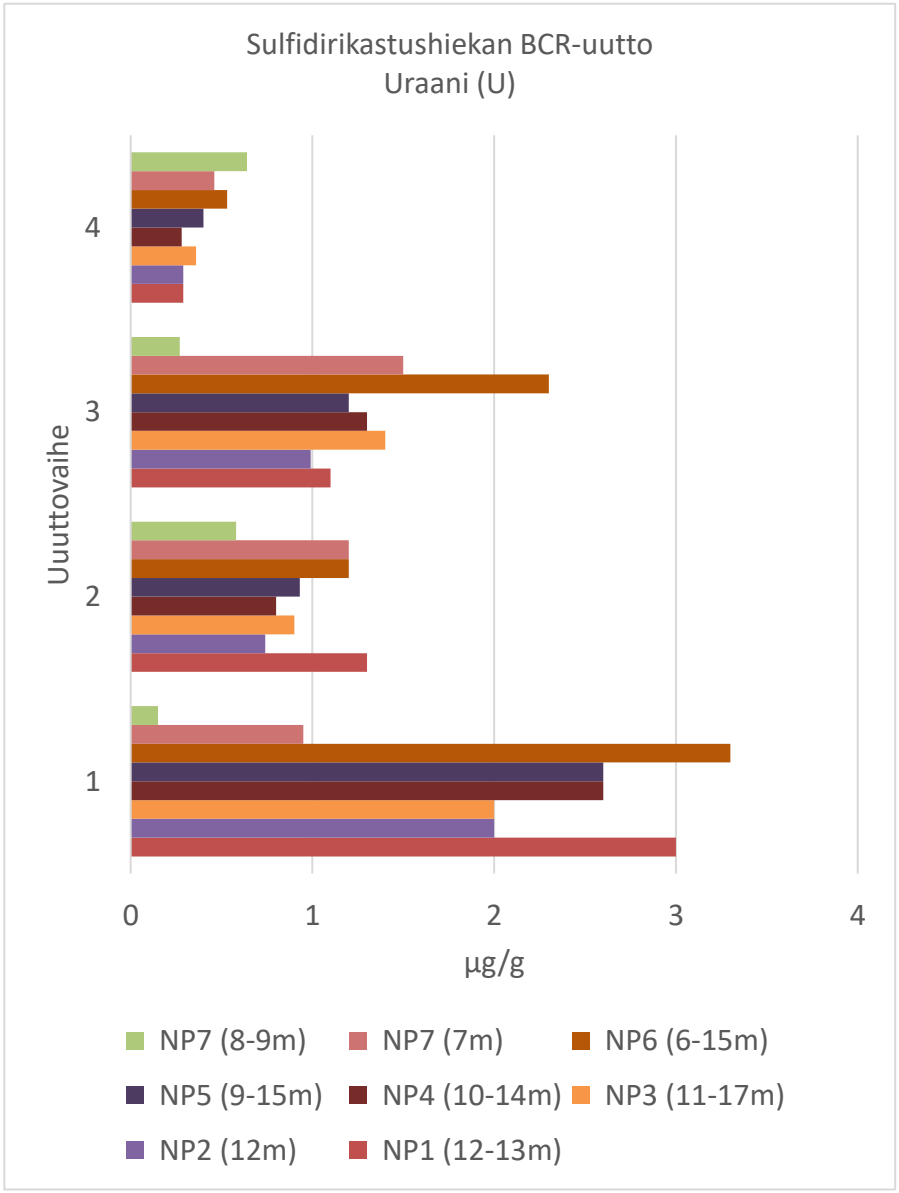




Vuonos rikastushiekka
BCR-peräkkäisuutto

Liite: AFRY Finland Oy 2025
Tulokset: SGS Oy 2025





Vuonos rikastushiekka
BCR-peräkkäisuutto

Liite: AFRY Finland Oy 2025
Tulokset: SGS Oy 2025

