

Pöyry Finland Oy
Koskikatu 27 B
FI-96100 ROVANIEMI
Finland
Kotipaikka Vantaa, Finland
Y-tunnus 0625905-6
Puh. +358 10 3311
www.poyry.fi

14.02.2018
Päivi Picken paivi.picken@poyry.com
Kaisa Vähänen (tarkistaja)

Viite 101007636-001
Sivu 1 (25)

HANNUKAINEN, KOERIKASTUSJÄTTEEN KARAKTERISOINTIRAPORTTI 2017



Rautuvaara 2017

Tiivistelmä

Hannukainen Mining Oy suoritti kenttäkaudella 2017 koelouhinnan Hannukaisen kaivos Hankkeen alueella. Koelouhittu materiaali koerikastettiin Geologian tutkimuskeskuksen pilottilaitoksella Outokummussa. Erona aikaisempiin koerikastusprosesseihin jauhatusta suoritettiin aikaisempaa karkeampana, jolloin myös rikastusjäännökseen (rikastushiekkaan) muodostuu vähemmän reaktiivista pintaa. Muutos ei kuitenkaan heikentänyt malmin hyödyntämistä. Toisena merkittävänä muutoksena oli korkearikkisen rikastushiekan määrän vähentäminen rikin poistamisella soveltuvilta osin tuotteistamistarkoituksessa. Tässä raportissa kuvataan koerikastusjäännökset, jotka käsittävät yhden korkearikkisen ja yhden matalarikkisen jakteen. Nämä on suunniteltu läjitettäväksi erikseen siten, että rikastushiekkojen ominaisuuserot huomioidaan myös rakenteissa.

Korkearikkisessä rikastushiekassa on huomattava määrä kiisumineraaleja. Matalarikkisestä rikastushiekasta yli puolet on klinopyrokseenia ja yleensäkin rikastushiekka on silikaattivaltaista. Korkearikkisen rikastushiekan kokonaisrikkipitoisuus on 20,2 % ja sulfidisen rikin pitoisuus 19,6 %. Matalarikkisen rikastushiekan kokonaisrikkipitoisuus on 0,36 % ja sulfidisen rikin pitoisuus 0,19 %. Korkearikkisen rikastushiekan voidaan selkeästi luokitella mahdollisesti happaotuottavaksi rikastushiekaksi. Vaikka matalarikkisen rikastushiekan rikkipitoisuus on varsin alhainen, sitä ei kuitenkaan luokitella pysyväksi jätteeksi alhaisen neutralointikapasiteetin takia. Matalarikkisen rikastushiekan kokonaispitoisuudet jäävät alle ns. PIMA-rajojen (VNa 214/2007), mutta korkearikkisessä rikastushiekassa on kohonneina pitoisuuksina kobolttia, kuparia ja nikkeliä. Kontaktiliukoisuuskokeissa liukoisuudet jäävät pääsääntöisesti alle pysyvän jätteen kaatopaikoille tarkoitettujen raja-arvojen. Nikkelin liukoisuus ylittää kuitenkin tavanomaisen jätteen kaatopaikan raja-arvon korkearikkisessä rikastushiekassa ja pysyvän jätteen kaatopaikan raja-arvon matalarikkisessä rikastushiekassa. Vaaraominaisuuksien tarkastelussa kumpikaan rikastushiekka ei luokituta vaaralliseksi jätteeksi.

Verrattaessa NAG-utteen pitoisuuksia kokonaispitoisuuksiin voidaan todeta, että rikin lisäksi koboltti, kupari, nikkeli ja sinkki ovat sulfideihin sitoutuneessa muodossa ja niiden mahdollinen vapautuminen rikastushiekasta liittyy selkeästi sulfidien hapettumiseen. Lisäksi korkearikkisessä rikastushiekassa uraanin liukoisuus voi kasvaa sulfidien hapettumiseen liittyvien olosuhdemuutosten myötä vaikkakaan vapautuminen ei liity suoraan hapettumiseen. Matalarikkisessä merkittävää uraanin vapautumisriskiä ei havaittu.

Molemmille rikastushiekka-aloille laadittiin tuotannonaikaiset yliteveden laatuennusteet. Laatuennusteissa huomioitiin rikastushiekan mukana alueille tulevan prosessiveden ominaisuudet, sadevesi sekä rikastushiekan pintakerrosten hapettumistuotteet. Molemmille rikastushiekka-alueille laadittiin myös suotoveden laatuennuste ja vuosikuormitusennuste sulkemisen jälkeiselle ajalle. Rikastushiekkojen pitkäaikaiskäyttäytyminen määriteltiin hyödyntäen skaalauksen ja mallinnuksen tekniikoita, joiden laatusyötteinä käytettiin NAG-utteen pitoisuuksia ja sadeveden ominaisuuksia.

Sisältö

1	Johdanto.....	4
1.1	Tausta ja tavoitteet.....	4
1.2	Prosessi ja rikastushiekka-jakeet.....	4
1.3	Keskeisiä tuloksia vuodelta 2012.....	5
2	Karakterisointi.....	5
2.1	Yleinen lähestymistapa.....	5
2.2	Staatinnainen testaus.....	6
2.3	Kineettinen testaus.....	7
2.4	Tasapainomallinnus.....	8
2.5	Keskeinen lainsäädäntö ja ohjeistus.....	8
3	Rikastushiekkojen staattisen karakterisoinnin tulokset.....	9
3.1	Mineralogia.....	9
3.2	ABA- ja NAG-testit.....	10
3.3	Alkuaineanalyysit.....	12
3.4	Vaaraominaisuudet.....	14
3.5	Liukoisuudet.....	15
3.6	Jätenumerot ja jätealueluokat.....	16
4	Ylitevesien laatu tuotantovaiheessa.....	16
5	SuotoveDen laatu sulkemisvaiheessa.....	20
6	Rikastushiekka-alueiden aiheuttama Kuormitus sulkemisen jälkeen.....	22
7	Kirjallisuus.....	24

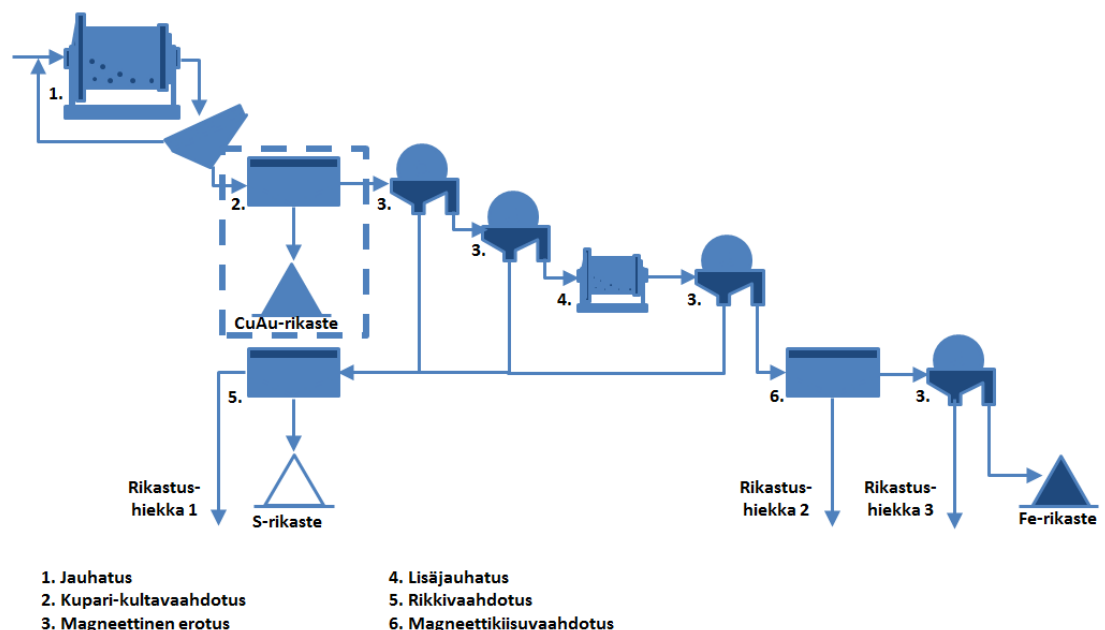
1 JOHDANTO

1.1 Tausta ja tavoitteet

Tämä raportti sisältää Hannukainen Mining Oy:n vuoden 2017 rikastuskokeiden rikastusjäännöksen karakterisoinnin ja suotovesiarvioinnin menetelmät ja tulokset tiivistetyssä muodossa. Raportti on laadittu ainoastaan yhdelle (normaalivuoden) ilmastoskenaariolle. Tavoitteena on kaivannaisjätteen ominaisuuksien määrittely siten, että kaivannaisjätteen luokittelu pystytään esittämään. Lisäksi saatavan tiedon tulee mahdollistaa vesistövaikutusarvion tarkistaminen. Tarvittaessa raportin sisällön tulee olla hyödynnettävissä myös vesienhallinnan ja jälkihoidon suunnittelun tarpeisiin. Tämä raportti käsittelee ainoastaan kaivannaisjätteen geokemiallisia ominaisuuksia.

1.2 Prosessi ja rikastushiekka-jakeet

Vuoden 2017 koerikastuksen rikastuspiiri kuvataan alla (Kuva 1-1). Prosessi alkaa jauhatuksesta, etenee kupari-kultavaahdotukseen, mistä materiaali etenee rikasteen erottamisen jälkeen magneettiseen erotukseen. Magneettierottimien välillä on vielä lisäjauhatus. Magneettierottimilta jäännös viedään rikkivaahdotukseen, missä erotetaan rikkirikaste ja vähärikkinen rikastusjäännös. Magneettierottimien saanto viedään magneettikiisuvaahdotukseen, missä erotetaan korkearikkinen rikastusjäännös ja viimeiseen magneettierotukseen vietävä välituote. Viimeiseltä magneettierottimelta saadaan rautarikaste ja siitä erottuu vielä pieni määrä vähärikkistä rikastushiekkaa.



Kuva 1-1. Koerikastuspiiri 2017 yksinkertaistettuna.

Rikastushiekkajakeita tuotetaan kaksi, korkearikkinen ja matalarikkinen. Vuoden 2017 koerikastuksessa keskeisiä eroja aikaisempiin, vuoden 2011 rikastuskokeisiin, ovat seuraavat:

- jauhatusasteen muutos suuruusluokasta 65 μm suuruusluokkaan 90-120 μm
- rikin poisto korkearikkiselle jätteelle

1.3 Keskeisiä tuloksia vuodelta 2012

Taustamateriaalina on käytetty Nils Erikssonin laatimaa raporttia vuodelta 2012, koskien rikastushiekan ja jätealueen veden karakterisointia. Raportissa tarkastellut rikastushiekat edustivat rikastusjäännöstä kahdesta eri rikastuskoekampanjasta vuodelta 2011 (SGS ja GTK). Kummastakin kampanjasta oli tarkastelussa mukana kolme rikastushiekkajaetta: LIMS (matalarikkinen rikastushiekka), PO (magneettikiisu-rikastushiekka) sekä PY (rikkikiisu-rikastushiekka, sisältäen myös rikkikiisun vaahdotusjäännöstä). Lisäksi GTK:n kampanjassa tehtiin myös rikinpoistokoe LIMS:lle (De-sulph LIMS).

Jätejakeet PO ja PY on kuvattu potentiaalisesti happoa tuottavaksi (PAF). Matalarikkinen jätejakee (LIMS) on kuvattu määritteellä ”uncertain” eli epävarma. LIMS-jakeen sulfidisen rikin määrä sijoittui 0,1 ja 1% välille ja neutralointipotentiaali/hapontuottopotentiaali-suhde välille 1-3. De-sulph LIMS oli selkeästi happoa tuottamatonta (NAF). Rikastushiekkajakeissa esiintyi kohonneita pitoisuuksia Ag, As, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, P, Pb, S, Se, U ja Zn (kaikkia mainittuja alkuaineita ei ollut kaikissa jätejakeissa).

On huomattava, että syy matalarikkisen jakeen (LIMS) epävarmaan luokitukseen on alhainen neutralointikapasiteetti.

2 KARAKTERISOINTI

2.1 Yleinen lähestymistapa

Rikastushiekan karakterisoinnissa keskitytään yleisesti jätteen hapontuotto-ominaisuuksien ja metallipitoisuuksien määrittämiseen. Nämä ovat myös pysyvän jätteen luokituksen kannalta keskeiset tekijät. Jätealueen ominaisuuksien määrittelyyn tarvitaan lisäksi tietoa suotovesien ominaisuuksista (hapettumis- ja liukoisuuskäyttäytyminen) sekä geoteknisistä ominaisuuksista (fysikaalinen stabiliteetti). Lisäksi on syytä huomioida läjityksen mahdolliset pöly- ja ilmanlaatuvaikutukset, niinpä raekoon ja kemiallisen laadun lisäksi myös kuitumineraalien mahdollisesta esiintymisestä on hyvä olla tietoa. Myös radioaktiivisten alkuaineiden mahdollista läsnäoloa on syytä tarkastella, ainakin tarkemman tutkimustarpeen toteamiseksi tai poissulkemiseksi. Ravinteiden (typen ja fosforin) yhdisteet suotovesissä on myös syytä huomioida, erityisesti rikastushiekoissa, joissa suotovesien ravinneriski on korkea. Esiintymässä voi olla esimerkiksi apatiittia merkittävässä määrin. Myös typen esiintymistä kaivannaisjätteessä tutkitaan, tosin typpiyhdisteet ovat tyypillisempiä sivukivelle tai optisen tai gravimetrisen erottelun jäännökselle. Yleinen geokemiallinen karakterisointipolku esitetään alla (Kuva 2-1).



Kuva 2-1. Tavanomainen karakterisointipolku (geokemia).

2.2 Staattinen testaus

2.2.1 ABA ja NAG

Neutralointipotentiaalilin (NP, ANC) ja hapontuottopotentiaalilin (AP, MPA) selvittämiseksi käytettiin sekä NAG – että ABA testejä. Kummallakin menetelmällä pyritään selvittämään hapontuottopotentiaalilin ja neutralointipotentiaalilin nettovaikutus. Kun ABA-testissä arvioidaan erikseen happoa tuottavien ja neutraloivien komponenttien merkitystä, NAG-testissä näyte hapetetaan tehokkaasti vetyperoksidilla ja arvioidaan komponenttien yhteisvaikutukset suotoliuksesta.

Menetelmät:

- Neutralointipotentiaali: SFS-EN 15875, sisältäen hapontuotto- ja neutralointipotentiaalilin, kokonaisrikin, sulfidirikin ja sulfaatin
- Yksivaiheinen NAG-testi: ARD Test handbook, Project P387A

NAG-testin liuokselle tehtiin lisäksi alkuaineanalyysi. Tämän avulla saadaan selville hapettumisen myötä suoraan tai välillisesti vapautuvat aineet. Tuloksia verrattiin myös kokonaispitoisuuksiin ja määritettiin ns. vapautuvissa olevan aineksen osuus kokonaispitoisuudesta.

NAG-liuosta käytettiin myös rikastushiekan suovesikehityksen arvioimisessa. Skaalaus- ja mallinnusperusteet sekä lähestymistavan käyttämisen perustelu esitetään kappaleessa 16.

2.2.2 Kontaktiliukoisuustestit

Rikastushiekoille suoritettiin kontaktiliukoisuustestit. Kontaktiliukoisuustestien avulla pyritään selvittämään materiaalista veteen liukenevat aineet. Testitulos kuvaa vesikontaktin vaikutusta lähinnä näytteen nykyisessä tilassa, huomioimatta näytteessä tapahtuvia pitkäaikaismuutoksia.

Menetelmä:

- Kaksivaiheinen ravistelutesti: SFS-EN 12457-3

2.2.3 Rikastushiekan alkuaineiden analyysi

Rikastushiekasta valittiin analysoitavaksi sähkönjohtavuus, pH, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Cl, Co, Cr, Cu, F, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Sn, Th, Ti, U, V, ja Zn.

Perustelut:

- Kaivannaisjäteasetuksen liitteessä 1 vaaditaan alkuaineet As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V (soveltuvilta osin suositellaan kuningasvesiliuotusta, SFS-ISO 11466).
- Koetoiminnan lupapäätöksessä (PSAVI/2001/2016) vaadittiin selvitettäväksi seuraavat alkuaineet: Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Cl, Co, Cr, Cu, F, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Sn, Th, Ti, U, V, ja Zn
- Vuoden 2012 rikastushiekan karakterisointiraportissa kohonneina pitoisuuksina esiintyviä aineita olivat Bi, Mn, S, Se ja Zn.

2.2.4 Prosessiveden/rikastusjäännöksen vesifaasin analysointi

Koerikastuksen yhteydessä rikastushiekasta erottuva prosessivesi analysoitiin viipymän jälkeen, jolloin näytteestä oli poistunut kiinteänä laskeutunut aines.

2.2.5 Mineraloginen tutkimus

Rikastushiekkajakeiden mineralogisen analyysin suoritti GTK rikastuskokeen yhteydessä.

2.3 Kineettinen testaus

Kineettinen testaus tehdään pääsääntöisesti kosteuskammiokoikeena (CEN/TR 16363:2012) ja siihen sisältyy näytteen läpikastelua sekä kuivaamista ja hapettamista sykleissä. Testauksella pyritään saamaan kuva rikastushiekan pitkäaikaiskäyttäytymisestä. Pitkällä aikavälillä rikastushiekassa tapahtuu sulfidien hapettumista, neutraloivien yhdisteiden vapautumista, aineiden sekundääristä liukenemista sekä pidättymistä mm. saostumisen ja karasaostumisen kautta. Kineettistä testausta käytetään yleensä silloin, kun sulfidisen rikin määrä on yli 1 % - tai silloin, kun sulfidisen rikin määrä sijoittuu välille 0,1-1 % ja neutralointipotentiaali/hapontuottopotentiaali-suhde välille 1-3.

Kineettistä testausta tarvitaan siksi, että staattisesta testauksesta saatava hapontuottokapasiteetin ja neutralointikapasiteetin suhde ei välttämättä anna yksiselitteistä kuvaa kaivannaisjätteen pitkäaikaiskäyttäytymisestä. Esimerkiksi neutralointikapasiteetti voi kulua loppuun aikaisin hapontuottokapasiteettiin verrattuna

tai päinvastoin. Vähärikkisille näytteille kineettistä koetta voisi suositella myös silloin, kun haitta-aineiden kokonaispitoisuudet ovat korkeita, vaikka sulfidisen rikin määrä olisikin suhteellisen alhainen.

Hannukaisen koerikastusten 2011 rikastusjäännökset testattiin kosteuskammiokeeseen avulla. Kineettinen testaus voi olla hyvin pitkäkestoinen ja uuden kosteuskammiokeeseen tulokset olisivat käytettävissä vasta suhteellisen pitkän ajan kuluttua. Vuoden 2017 karakterisoinnissa tarkistettiin ensisijaisesti, poikkeako uuden koerikastuksen rikastushiekka aikaisemmista. Mikäli ei poikkeaa, niin aikaisempaa koetta voidaan edelleen pitää rikastushiekan käyttäytymistä riittävästi kuvaavana. Koska raekoko kasvoi aikaisempaan verrattuna, reaktioille altis raepinta-ala pieneni. Tämän oletettiin vähentävän hapontuottoa ja haitta-aineiden liukenemistä. Rikin poiston taas voitiin olettaa vähentävän sulfidien hajoamista ja hapontuottoa.

Vuoden 2017 rikastushiekan ei useimmilta piirteiltään katsottu poikkeavan aikaisemmista hiekoista siten, että kineettisen kokeen uusiminen olisi ollut välttämätöntä. Keskeisimpiä muutoksia olivat uusien hiekkojen karkeampi raekoko ja rikin poisto osasta korkearikkistä jätettä. Kokonaisrikkipitoisuus oli aikaisempaa alhaisempi sekä matalarikkisessä rikastushiekassa että aikaisempien korkearikkisten rikastushiekkojen keskiarvossa. Matalarikkisessä rikastushiekassa oli kuitenkin aikaisempaan verrattuna jonkin verran alentunut neutralointikapasiteetti. Neutralointipotentiaalisuhde NPR oli kahdessa aikaisemmassa aikaisemmin 0,4 ja 0,7 ja uudessa kokeessa 0,12. Näistä lähtökohdista tehtiin pitkän aikavälin suotovesiennuste tarkistusluontoisena NAG-liuoksen pitoisuuksista laskemalla ja mallintamalla.

2.4 Tasapainomallinnus

Tasapainomallinnuksen tavoitteena oli pystyä huomiomaan vesilaadun sellaiset muutokset, joita tapahtuu esimerkiksi eri vesilaatujen sekoittuessa tai olosuhteiden muuttuessa. Tarkasteltavat muutokset olivat saostuminen ja adsorptio. Mineraalien hapettumisreaktioiden tuotteita ei ole mallinnettu vaan tämä on selvitetty kokeellisesti.

Tasapainomallit (Visual Minteq versio 3.0) laadittiin sekä korkearikkisen että matalarikkisen rikastushiekka-altaan tuotantovaiheen ylitevesille, jotka koostuvat rikastushiekasta erottuvasta vedestä, sadevedestä sekä NAG-liuoksen pitoisuuksista skaalatusta arviosta rikastushiekan hapettumistuotteista. Korkearikkisen altaan vedelle laadittiin lisäksi sweep-analyysi (Visual Minteq versio 3.0) optimaalisen pH:n tunnistamiseksi nikkelin ja koboltin liukoisuuden valossa. Tämän jälkeen tasapainomallinnettiin vesilaatu optimaaliselle pH:lle vakioituna.

Sulkemisvaiheen suotovesiarviot molemmille rikastushiekkajakeille tuotettiin tasapainomallintamalla vesilaatu, joka koostui sadevedestä sekä NAG-liuoksen pitoisuuksista skaalatusta arviosta rikastushiekan hapettumistuotteista. Mallinnusta edeltävän skaalauksen perusteet ja ilmastosyötteet kuvataan tulososioissa. Skaalauksen tarpeellisuudesta ja teoreettisesta perustasta löytyy lisätietoa mm kanadalaisista MEND-raporteista (MEND 1995).

2.5 Keskeinen lainsäädäntö ja ohjeistus

Arvioinnissa on huomioitu seuraavista säännöksistä ja ohjeista tulevat vaatimukset ja suositukset:

- Valtioneuvoston asetus kaivannaisjätteistä (190/2013), erityisesti:

- Liite 1. Kaivannaisjätteen luokittelu pysyväksi jätteeksi
- Liite 3. Kaivannaisjätteen ominaisuuksien määrittely
- EC directive 2006/21/EC March 2006 on the management of waste from extractive industries and amending Directive 2004/35/EC
- Valtioneuvoston asetus jätteistä (179/2012), erityisesti:
 - Liite 4. Jäteluettelo
- Kaivannaisjätteen hallinnan BREF-asiakirja 2009 (Reference document on best available techniques for management of tailings and waste-rock in mining activities)

3 RIKASTUSHIEKKOJEN STAATTISEN KARAKTERISOINNIN TULOKSET

3.1 Mineralogia

Korkearikkisesta rikastushiekasta lähes puolet on magneettikiisua (47,58 %) ja yli kolmannes (37,95 %) magnetiittia. Pieninä määrinä esiintyvistä mineraaleista mainittakoon götiitti (4,07 %), klinopyrokseeni (1,77 %) ja rikkikiisu (1,21 %). Huomionarvoista on, että magneettikiisua voidaan pitää suhteellisen nopeasti hapettavana kiisuna.

Mataririkkinen rikastushiekka koostuu kahdesta eri virrasta. Pääosa on pyriitin esijätettä (PYEJ) ja alle prosentti magneettierottimen ei-magneettista (LIMS_M4) virtausta. Pyriitin esijätteessä yli puolet (53,41 %) on klinopyrokseenia. Seuraavaksi eniten on marialiittiä (19,12 %). Plagioklaasia on 4,05 %, epidootia 3,67 %, götiittiä 2,07 % ja kvartsia 1,41 %. Magneettierottimen ei-magneettinen virtaus on lähes kokonaan magnetiittia (94,71 %). Mataririkkinen rikastushiekka on siis varsin silikaattivaltaista.

Tarkastelussa ei ole havaittu kuitumineraaleja. Uraniniittiä tai sivukivissä pieninä pitoisuuksina havaittuja lyijy-uraanimineraaleja ei havaittu.

Taulukko 3-1. Rikastushiekkojen mineralogia, GTK:n toimittama tieto.
Korkearikkinen (POKR) ja matalarikkinen (PYEJ + LIMS_M4)

Mineral	POKR	PYEJ	LIMS_M4
Quartz	0.00	1.41	0.00
Plagioclase	0.03	4.05	0.07
K_feldspar	0.02	1.73	0.00
Clinopyroxene	1.77	53.41	2.08
Ferrotschermakite	0.67	7.43	0.49
Actinolite	0.30	1.10	0.09
Epidote	0.08	3.67	0.13
Tremolite	0.00	0.00	0.00
Vesuvianite	0.00	0.10	0.00
Andradite	0.00	0.06	0.03
Marialite	0.60	19.12	0.91
Chlorite	0.04	0.81	0.02
Biotite	0.01	0.04	0.00
Muscovite	0.00	0.01	0.00
Serpentine	0.00	0.00	0.00
Talc	0.00	0.00	0.00
Titanite	0.16	0.76	0.05
Zircon	0.00	0.01	0.00
Thorite	0.00	0.00	0.00
Clay	0.06	0.88	0.01
Berthierine	0.34	1.50	0.09
Apatite	0.00	0.49	0.00
Barite	0.00	0.00	0.00
Allanite	0.01	0.02	0.00
Calcite	0.00	0.07	0.05
Dolomite	0.00	0.00	0.00
Magnesite	0.00	0.00	0.00
Pyrite	1.21	0.33	0.02
Pyrrhotite	47.58	0.02	0.11
Alteration of Pyrrhotite	4.83	0.08	0.01
Covellite	0.00	0.00	0.00
Chalcopyrite	0.07	0.00	0.00
Pentlandite	0.00	0.00	0.00
Violarite	0.00	0.00	0.00
Sphalerite	0.00	0.00	0.00
Molybdenite	0.00	0.00	0.00
Ilmenite	0.01	0.02	0.01
Magnetite	37.95	0.61	94.71
Chromite	0.00	0.00	0.00
Rutile	0.00	0.01	0.01
Uraninite	0.000	0.000	0.000
Goethite	4.07	2.07	0.97
Process_metal	0.17	0.11	0.13
Unknown	0.04	0.09	0.01
Total	100.00	100.00	100.00

3.2 ABA- ja NAG-testit

Sekä korkearikkinen että matalarikkinen rikastushiekka luokituvat mahdollisesti happoa tuottaviksi (PAF, *potentially acid forming*). Matalarikkinen rikastushiekan sulfidirikin pitoisuus on hyvin alhainen, mutta luokitus johtuu siitä, että neutralointikapasiteetti on myös hyvin alhainen.

Tämä tarkoittaa myös, ettei kumpikaan jätejäte luokituta pysyväksi jätteeksi suomalaisessa lainsäädännössä. Valtioneuvoston asetus kaivannaisjätteistä (190/2013), Liite 1 määrittelee, että pysyvänä jätteenä voidaan pitää kaivannaisjätettä, jonka sulfidisen rikin pitoisuus on alle 0,1 % tai välillä 0,1-1, kun neutralointipotentiaalisuhde (NPR, *neutralizing potential ratio*) on suurempi kuin 3. Lisäksi hienoaineksen haitta-ainepitoisuuksien on oltava riittävän alhaiset (kappale 3.3). NAG-pH:lle ei ole lainsäädännöllistä rajaa, mutta yleisesti PAF-rajana on NAG-pH 4,5. Tämän alapuolella näyte kuuluu PAF-luokkaan.

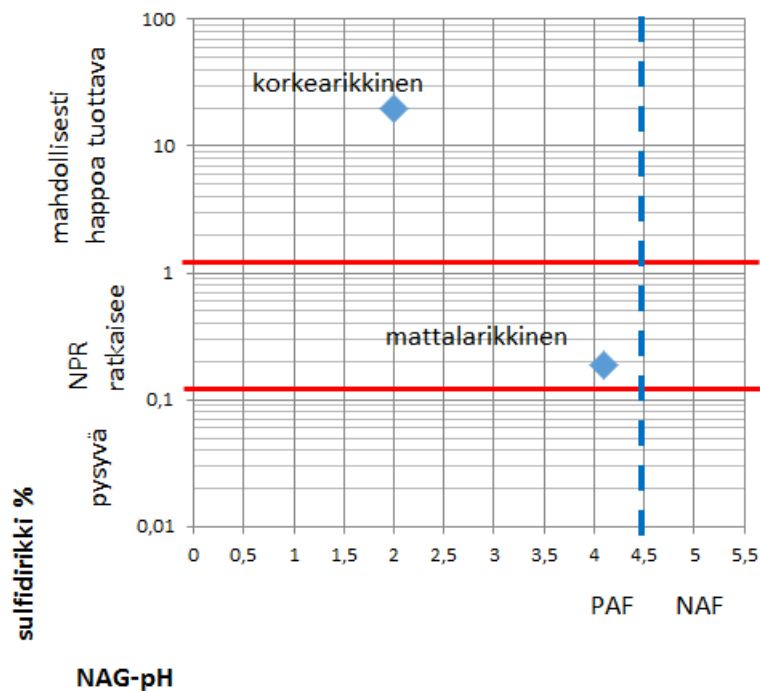
ABA-testin ja NAG-testin tulokset esitetään alla (Taulukko 3-2, Taulukko 3-3). Lisäksi tuloksia havainnollistetaan luokittelevan diagrammin avulla (Kuva 3-1).

Taulukko 3-2. ABA-testin tulokset

	S (kokonaisriikki)	S (sulfidiriikki)	AP	NP	NPR	Luokitus
	%	%	kg CaCO ₃ /t	kg CaCO ₃ /t		NAF/PAF
Korkearikkinen	20,2	19,6	633	-1	0	PAF
Matalarikkinen	0,36	0,19	11,1	1,3	0,12	PAF

Taulukko 3-3. NAG-testin tulokset

	NAGpH	NAG (pH 4,5)	NAG (pH 7,0)	Luokitus
	pH	kg H ₂ SO ₄ /t	kg H ₂ SO ₄ /t	NAF/PAF
Korkearikkinen	2	80,4	191	PAF
Matalarikkinen	4,1	0,22	2,89	PAF



Kuva 3-1. Rikastushiekköjen luokittuminen sulfidisen rikin pitoisuuden ja NAG-pH:n perusteella

NAG-testiuutteen pitoisuuksia verrattiin näytteen kokonaispitoisuuksiin. Alla (Taulukko 3-4) esitetään hapettumisen yhteydessä suoraan tai välillisesti vapautuvan pitoisuuden prosentiosuudet aineiden kokonaispitoisuuksista.

Tarkastelussa voidaan todeta, että matalarikkisessä erityisesti kobolttin, kuparin, molybdeenin, nikkelin ja rikin vapautuminen ovat huomattavissa määrin joko sulfidien hapettumisessa vapautuvia sulfidimineraalien osia tai hapettumiseen liittyvissä olosuhdemuutoksissa liukenevia. Näistä merkittäviä ovat kokonaismäärät huomioiden lähinnä koboltti, kupari, nikkeli ja rikki. Esimerkiksi elohopea ja vismutti on jouduttu käsittelemään keinotekoisena lukuna 0,5 x määritysraja, koska liuospitoisuudet ovat olleet alle määritysrajan.

Korkearikkisessä kobolttin, kuparin, nikkelin ja rikin vapautuminen ovat huomattavissa määrin joko sulfidien hapettumisessa vapautuvia sulfidimineraalien osia tai hapettumiseen liittyvissä olosuhdemuutoksissa liukenevia. Myös bariumin, natriumin ja uraanin liukoisuus vaikuttaa olevan koholla voimakkaan hapetuksen ja siihen liittyvien olosuhdemuutosten jälkeen. Näistä merkittäviä ovat kokonaismäärät huomioiden lähinnä koboltti, kupari, nikkeli ja rikki. Esimerkiksi elohopea ja vismutti on jouduttu käsittelemään keinotekoisena lukuna 0,5 x määritysraja, koska liuospitoisuudet ovat olleet alle määritysrajan.

Taulukko 3-4. NAG-testissä liuokseen vapautuneen aineen osuus kokonaispitoisuudesta prosentteina.

		Korkearikkinen %	Matalarikkinen %
As	mg/kg	29	2
Be	mg/kg	71	15
Bi	mg/kg	53	100
Cd	mg/kg	25	25
Hg	mg/kg	100	100
Mo	mg/kg	1	43
Pb	mg/kg	32	1
Sb	mg/kg	13	13
Se	mg/kg	21	4
Sn	mg/kg	10	3
Th	mg/kg	34	0
U	mg/kg	64	4
Al	mg/kg	23	1
Ba	mg/kg	100	6
Ca	mg/kg	38	14
Co	mg/kg	53	81
Cr	mg/kg	2	3
Cu	mg/kg	67	47
Fe	mg/kg	13	0
K	mg/kg	40	16
Mg	mg/kg	27	7
Mn	mg/kg	9	29
Na	mg/kg	55	9
Ni	mg/kg	57	74
P	mg/kg	40	2
S	mg/kg	35	90
Ti	mg/kg	1	0
V	mg/kg	1	10
Zn	mg/kg	36	50

3.3 Alkuaineanalyysit

Jätejakeista määritettiin alkuainepitoisuudet (29 kpl) ICP-MS-tekniikalla Labtiumin laboratoriossa Kuopiossa. Tulokset (osa) on esitetty alla (Taulukko 3-5).

Taulukossa 3-4 on esitetty viitearvoina valtioneuvoston maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista annetun asetuksen 214/2007 mukaiset kynnyks- ja

ohjearvot niiltä osin kun ne ko. asetuksessa annettu. Vaarallisen jätteen raja-arvo riippuu haitallisen aineen yhdisteestä (etenkin metalli ja puolimetallit). Vaarallisen jätteen luokittelusta on laadittu opas (Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2016). Viitearvot ovat ko. taulukossa ympäristöministeriön ohjeesta (Ympäristöministeriö 2007).

Taulukko 3-5. Jätejakeiden alkuaineiden pitoisuuksia ja niiden vertailu VNa 214/2007 arvoihin.

Tunnus	Pima-metallit (VNa 214/2017)											Rikki S	Kalsium Ca	Fosfori P	Uraani U		
	Arseni As	Kadmium Cd	Koboltti Co	Kromi Cr	Kupari Cu	Elohopea Hg	Nikkeli Ni	Lyijy Pb	Antimoni Sb	Vanadiini V	Sinkki Zn						
Maanäytteet	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Luontainen pit.	1	0,03	8	31	22	0,005	17	5	0,02	38	31						
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						
Vaarallinen jäte**	1000	100	1000	*	2500	1000	1000	2500	2500	10000	2500						
Korkearikkinen	0,73	<0.08	693	81,2	460	<0.005	328	3,98	<0.3	69,9	11	173000	1060	<50	2,18		
Matalarikkinen	2,46	<0.08	26,3	19,3	76,4	<0.005	14,9	4,54	<0.3	14,1	6	2710	13700	1060	7,52		

*Cr3+: ei määritetty; Cr6+:1000 mg/kg, **Ympäristöministeriön ohje 2/2007

Tulosten perusteella kobolttin, kuparin ja nikkelin osalta havaittiin kohonneita, ylempien ohjearvotason ylittäviä pitoisuuksia. Vaarallisen jätteen raja-arvoja ei ylity lopullisissa rikastushiekkoissa. Korkearikkisessä rikastushiekassa (pyrootiitin kertausrikasteessa, käänteinen vaahdotus) kobolttin, kuparin ja nikkelin pitoisuudet olivat lievästi koholla. Matalarikkisessä rikastushiekassa (pyriitin esijäte ja magneettierottimen 4 ei-magneettinen virtaus yhdessä) pitoisuudet olivat kaikilta osin alhaisia.

Rikkipitoisuudet olivat pääosin korkeita ja kalsiumpitoisuudet suhteellisen pieniä eli neutralointikapasiteetti olisi sen perusteella alhainen (tarkempaa tietoa tästä esitetään ABA- ja NAG-testien yhteydessä). Fosfori- ja uraanipitoisuudet olivat pieniä. Esimerkiksi Pohjois- ja Itä-Suomen vihreäkivivyöhykkeen moreenin hienoaineksessa rikin mediaanipitoisuus on 130 mg/kg, kalsiumin 22000 mg/kg, fosforin 500 mg/kg ja uraanin 2,3 mg/kg (Koljonen 1992).

Uraanipitoisuudelle ei ole asetettu viitearvoja (VNa 214/2007). Aiemmin sovellettujen ns. SAMASE-ohje- ja raja-arvojen (Ympäristöministeriö 1994) perusteella pitoisuustaso ei ole korkea. Aiemmin teollisuusalueilla sovellettu raja-arvo uraanille oli 500 mg/kg ja asuinalueilla sovellettu ohjearvo oli 50 mg/kg.

Kaivannaisjäteasetuksen (190/2013) mukaan kaivannaisjäte luokitellaan pysyväksi jätteeksi sulfidirikkipitoisuuden ollessa <0,1 % tai <1 prosentti neutralointipotentiaalisuhteen ollessa suurempi kuin 3 (kappale 3.2). Lisäksi jätteen ja siitä erottuvan hienoaineksen sisältämien ympäristölle tai ihmisen terveydelle mahdollisesti haitallisten aineiden pitoisuuksien on oltava jätteessä riittävän alhaisia 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.

Näytteiden rikkipitoisuus ylittää 0,1 % molemmissa rikastushiekkoissa ja kynnysarvotaso ylittyy eräiden metallien osalta korkearikkisessä rikastushiekassa. Rikki- ja haitta-aineiden pitoisuuksien perusteella jätejakeita ei luokitella pysyväksi jätteeksi.

Korkearikkisessä rikastushiekassa havaittiin ylemmän ohjearvotason ylittäviä pitoisuuksia kobolttia, kuparia ja nikkeliä. Pima-asetuksen (214/2007) mukaan alueella, jota käytetään teollisuus-, varasto- tai liikennealueena tai muuna vastaavana alueena, sovelletaan vertailuarvona yleensä ylempiä ohjearvoja. Nykyään maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen määrittely perustuu kohdekohtaiseen riskiarvioon, ei mekaaniseen ohjearvoihin vertaamiseen. Riskinarvioinnissa huomioidaan haitallisten aineiden pitoisuuksien lisäksi muun muassa kohteen maaperä- ja pohjavesiolosuhteet, alueen käyttötarkoitus, mahdollisuus altistumiseen lyhyen ja pitkän ajan kuluessa sekä altistumisen seurauksena aiheutuvan haitan vakavuus. Koska arviointi on kohdekohtaista, voidaan sama haitta-aineen pitoisuustaso määritellä toisaalla pilaantuneeksi ja toisaalla pilaantumattomaksi riippuen esimerkiksi alueen tulevasta käyttötarkoituksesta (Järvinen 2016).

3.4 Vaaraominaisuudet

Vaarallisella jätteellä tarkoitetaan ”jätettä, jolla on palo- tai räjähdysvaarallinen, tartuntavaarallinen, muu terveydelle vaarallinen, ympäristölle vaarallinen tai muu vastaava ominaisuus (vaaraominaisuus)”. Jos jäte on vaarallinen jäte, tunnusnumeron jälkeen on merkitty tähti (*). (Häkkinen 2016)

Ohessa on ote jäteluettelosta (179/2012, 86/2015): Mineraalien tutkimuksessa, hyödyntämisessä, louhinnassa sekä fysikaalisessa ja kemiallisessa käsittelyssä syntyvät jätteet (01):

01 01	mineraalien louhinnassa syntyvät jätteet
01 01 01	metallimineraalien louhinnassa syntyvät jätteet
01 01 02	muiden mineraalien louhinnassa syntyvät jätteet
01 03	metallimineraalien fysikaalisessa ja kemiallisessa käsittelyssä syntyvät jätteet
01 03 04*	sulfidimalmin käsittelyssä syntyvät happoa muodostavat rikastushiekat
01 03 05*	muut rikastushiekat, jotka sisältävät vaarallisia aineita
01 03 06	muut kuin nimikkeissä 01 03 04 ja 01 03 05 mainitut rikastushiekat
01 03 07*	muut metallimineraalien fysikaalisessa ja kemiallisessa käsittelyssä syntyvät jätteet, jotka sisältävät vaarallisia aineita
01 03 08	muut kuin nimikkeessä 01 03 07 mainitut pölymäiset ja jauhemaiset jätteet
01 03 09	muu kuin nimikkeessä 01 03 10 mainittu alumiinioksidin valmistuksessa syntyvä punalieju
01 03 10*	muu kuin nimikkeessä 01 03 07 mainittu alumiinioksidin valmistuksessa syntyvä punalieju, joka sisältää vaarallisia aineita
01 03 99	jätteet, joita ei ole mainittu muualla

Kaivannaisjätteiden sijoittamisesta kaivannaisjätealueille säädetään valtioneuvoston asetuksella kaivannaisjätteistä 190/2013. Kaivannaisjätteen luokittelu vaaralliseksi jätteeksi voi vaikuttaa kaivannaisjätealueen luokitteluun suuronnettomuuden vaaraa aiheuttavaksi alueeksi. Kaivannaisjätealue on aina luokiteltava suuronnettomuuden vaaraa aiheuttavaksi, jos jätealueelle sijoitettavasta jätteestä yli puolet on vaarallista jätettä. Jos vaarallisen jätteen määrä on välillä 5-50 % sijoitettavan jätteen kokonaismäärästä, voidaan alueen luokittelusta suuronnettomuuden vaaraa aiheuttavaksi kaivannaisjätealueeksi poiketa riskinarvioinnin perusteella. Riskinarvioinnissa on arvioitava jätealueen rakenteellisen vakauden heikkenemisestä tai virheellisestä toiminnasta johtuvasta vahingosta aiheutuvia seurauksia ja siinä on kiinnitettävä erityistä huomiota vaarallisten jätteiden vaikutuksiin.

Nyt tehtyjen tutkimusten perusteella kumpikaan rikastushiekka ei luokituta vaaralliseksi jätteeksi.

3.5 Liukoisuudet

Jätejakeiden liukoisuus määritettiin 2-vaiheisella ravistelutestillä (SFS-EN 12457-3). Liukoisuuskokeen suodoksista määritettiin 35 komponenttia. Testi ilmaisee aineiden liukoisuuden vallitsevissa testiolosuhteissa. Menetelmä edellyttää, että partikkelikoko on pienempi kuin 4 mm ja testissä käytetään ionivaihdettua vettä. Menetelmä sopii suurimmalle osalla murskattavissa olevasta materiaalista. Tutkimusten tulosten koonti on esitetty alla (Taulukko 3-6).

Taulukko 3-6. Rikastushiekkanäytteiden liukoisuudet ja niiden vertailu kaatopaikkannormeihin (VNa 331/2013). Kumulatiivinen pitoisuus kuiva-aineessa L/S 10.

Aine / muuttuja	VNa 331/2013 viitearvot L/S 10			2-vaiheinen ravistelutesti L/S 10	
	Pysyvän jätteen kaatopaikka	Tavanomaisen jätteen kaatopaikka ³	Vaarallisen jätteen kaatopaikka ⁴	Korkearikkinen	Matalarikkinen
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Arseeni (As)	0,5	2	25	<0.06	<0.06
Barium (Ba)	20	100	300	0,4	0,1
Kadmium (Cd)	0,04	1	5	<0.03	<0.03
Koboltti (Co)	-	-	-	25	1,6
Kromi yhteensä (Cr _{kok})	0,5	10	70	<0.06	<0.06
Kupari (Cu)	2	50	100	<0.3	0,5
Elohopea (Hg)	0,01	0,2	2	<0.01	<0.01
Molybdeeni (Mo)	0,5	10	30	<0.05	<0.05
Nikkeli (Ni)	0,4	10	40	10,6	1,2
Lyijy (Pb)	0,5	10	50	<0.05	<0.05
Antimoni (Sb)	0,06	0,7	5	<0.05	<0.05
Seleeni (Se)	0,1	0,5	7	<0.06	<0.06
Sinkki (Zn)	4	50	200	2,2	<1
Vanadiini (V)	-	-	-	<0.05	<0.05
Kloridi (Cl)	800	15 000	25 000	<4	<4
Fluoridi (F)	10	150	500	<2	<2
Sulfaatti (SO ₄ ²⁻)	1000	20 000	50 000	722	562
Liennut orgaaninen hiili (DOC) ¹⁾	500	800	1 000	417	16,7
Liunneiden aineiden kokonaismäärä (TDS) ²⁾	4000	60 000	100 000	-	-

1) Jos liunneen orgaanisen hiilen (DOC) raja-arvo ylittyy jätteen omassa pH:ssa, voidaan jäte vaihtoehtoisesti testata uutuosuhteessa L/S = 10 l/kg pH:ssa 7,5-8,0. Jätteen katsotaan täyttävän liunneen orgaanisen hiilen kelpoisuusvaatimuksen, jos pitoisuus on enintään 800 mg/kg ja vastaavasti vaarallisen jätteen kaatopaikalle 1000 mg/kg.

2) Liunneiden aineiden kokonaismäärän (TDS) raja-arvoa voidaan soveltaa sulfaatin ja kloridin raja-arvojen sijasta.

3) Kelpoisuusperusteet tavanomaisen jätteen ja vakaan reagoimattoman vaarallisen jätteen sijoittamisessa yhdessä tavanomaisen jätteen kaatopaikalle. Vakaata reagoimatonta "vaarallista jätettä" saa sijoittaa vain tavanomaisen kaatopaikan sellaiseen osaan, johon ei sijoiteta biohajoavaa jätettä.

4) Nykyään ns. vaarallinen jäte (VNa 179/2012).

Liukoisuudet olivat pääosin pieniä. Korkearikkisen rikastushiekan näytteessä nikkelin pitoisuudet ylittivät tavanomaisen jätteen kaatopaikalle sijoitettavalle jätteelle asetetut viitearvot. Lisäksi matalarikkisessä rikastushiekassa pysyvän jätteen kaatopaikalle asetetut viitearvot ylittyivät nikkelin osalta. Koboltille ei ole asetettu viitearvoa. Kaatopaikkakriteerit perustuvat oletukseen kaatopaikan pohjarakenteista yms., joten jätteiden kaatopaikkakriteerit eivät ole suoraan verrattavissa esim. muille alueille. Ravistelutestin tuloksia arvioitaessa on myös huomioitava, että se ei toimi tuoreelle kaivannaisjätteelle (vesi on liian heikko liuotin). Tulokset indikoivat suodon laatua, jos näyte on hyvin hapettunut ja/tai sisältää vesiliukoisia haitta-aineita (<http://projects.gtk.fi/KaiHaMe>).

Jätejakeiden arvioinnissa (kokonaispitoisuus/liukoisuus) on huomioitava myös alueen luontainen geokemia (sulfidimalmialue). Esim. Kivivuopionvaaran alueen tutkimuksissa pohjavedessä on havaittu kohonneita sulfaattipitoisuuksia (korkeimmillaan lähellä talousvesinormia 250 mg/l ja pohjaveden ympäristölaatonormia 150 mg/l). Happamat suotovedet voivat lisätä monien metallien liukoisuutta. Hapontuoton arviointiin voidaan käyttää ABA- ja NAG-testejä (kappale 2.2.1).

3.6 Jätenumerot ja jätealueluokat

Tehtyjen analyysien perusteella sekä korkearikkinen että matalarikkinen rikastushiekka luokituvat jätenumerolle 01 03 04* (sulfidimalmin käsittelyssä syntyvät happoa muodostavat rikastushiekat).

Liukoisuustestien perusteella matalarikkisen jätteen rikastushiekka-alue olisi tavanomaisen jätteen kaatopaikka ja korkearikkinen sijoittuisi niukasti vaarallisen jätteen kaatopaikan kategoriaan nikkelin liukoisuuden perusteella.

Vaaraominaisuuksia silmällä pitäen, kumpaakaan jätealuetta ei luokitella suuronnettomuuden vaaraa aiheuttavaksi kaivannaisjätealueeksi.

4 YLITEVESIEN LAATU TUOTANTOVAIHEESSA

Tuotantovaiheelle on tarkasteltu seuraavia vesilaatuja:

- Vähärikkiseltä rikastushiekka-altaalta poistuva vesi (prosessivettä, sadevettä ja rikastushiekan hapettumistuotteita tasapainomallinnettuna)
- Korkearikkiseltä rikastushiekka-altaalta poistuva vesi (prosessivettä, sadevettä ja rikastushiekan hapettumistuotteita tasapainomallinnettuna).

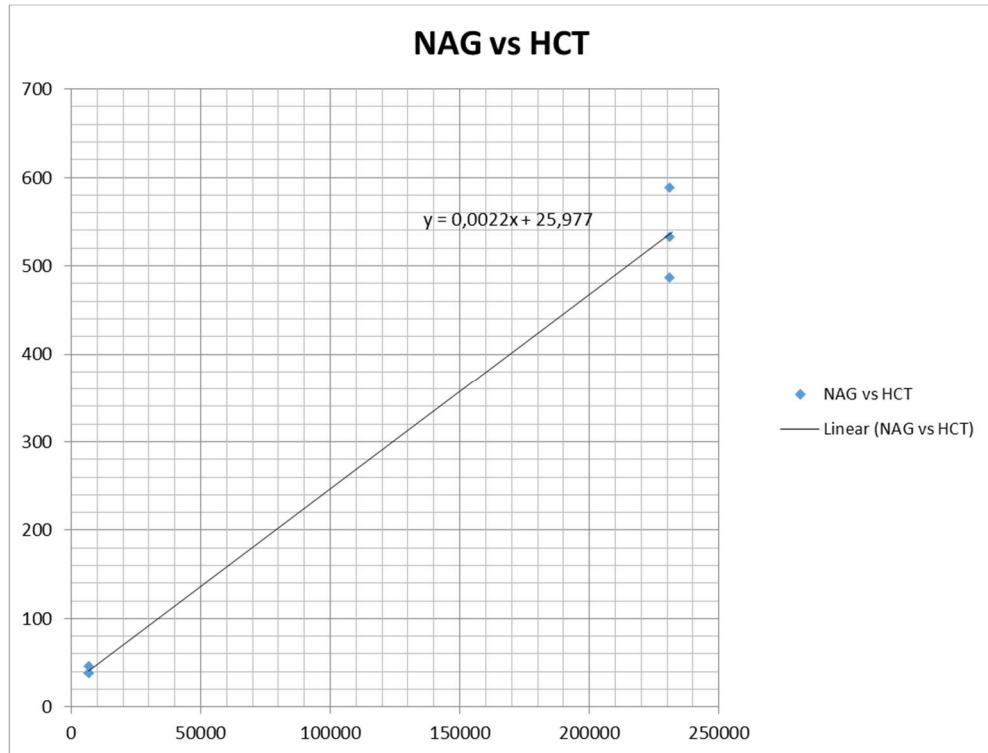
Skaalauksessa ja tasapainomallinnuksessa on käytetty seuraavia perusteita:

- Todellisuudessa vesilaatu vaihtelee tuotannon eri vaiheissa, koska sadeveden ja rikastushiekasta irtoavan veden määräsuhteet vaihtelevat. Myös vesien kontaktiaste rikastushiekkaan ja rikastushiekan hapettumisaste vaihtelevat eri vaiheissa. Mallinnusta varten on skaalattu yksi yleistetty lähtövesilaatujen yhdistelmä ja siinä on käytetty Hannukaisen kaivoshankkeen 2018 päivitetyn vesitaseen 11-19 vuosien parametrejä normaalivuodelle. Tuolloin altaat ovat laajimmillaan. Vesitase esitetään tarkemmin päivitetystä vesienhallintaraportissa 2018.
- Sadantana on käytetty 5289 mm/vuosi ja haihdunnan osuutena on käytetty 54 % (SYKE järvihaihduntamalli Ylläsjärvellä 1962-2010).
- Matalarikkisille rikastushiekka-altaille on laskettu mukaan tietty määrä veden pinnan yläpuolella olevan, hapettuvan hiekan vaikutusta. Osa allasalueesta on kuitenkin veden peitossa. Oletuksena on käytetty, että reaktiivisena massana kaivoksen toiminnan aikana on keskimäärin päällimmäinen 0,1 m rikastushiekkaa. Korkearikkisellä alueella reaktiivinen massa on laskettu vain marginaaliseksi (0,005 m), koska läjitys tapahtuu kokonaan veden alle.
- NAG-liuoksen pitoisuuksien skaalaamiseen kenttäolosuhteissa tapahtuvaan suotoveden muodostumiseen ei ole yhtä vakiintunutta käytäntöä ja eräs hyvä menettelytapa on korjata skaalaus suhteessa kosteuskammiokokeeseen (jonka kenttäolosuhdeskaalausta on tutkittu huomattavasti enemmän). Näin on

toimittu mm. Hannukaisen sivukivien suotovesien mallintamisen yhteydessä (SRK 2013). Koska NAG-testiliuosta käytetään yleisimmin alustavissa tarkasteluissa, kosteuskammiokokeen tuloksia odotettaessa, NAG-uutepohjaisten arvioiden korjaaminen kosteuskammiotestiä vasten päästään jossakin vaiheessa tekemään.

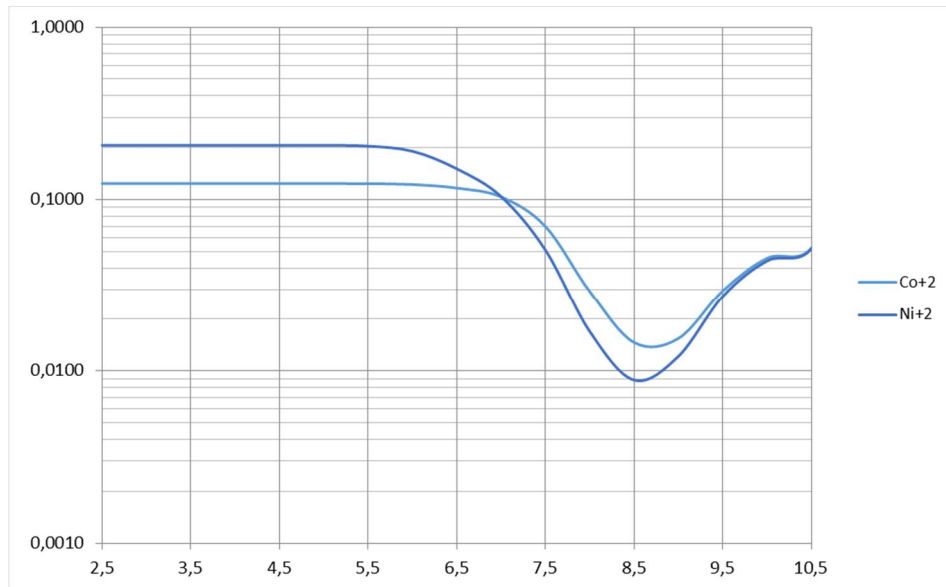
- Hannukaisen uusien, vuoden 2017 rikastushiekkojen NAG-liuoksen pitoisuudet on skaalattu ilmastoparametreilla, pinta-aloilla, reaktiivisella massalla sekä suhteuttaen NAG-liuoksen sulfaatinmuodostus Hannukaisen aikaisempien rikastushiekkojen kosteuskammiokokeen sulfaatinmuodostukseen. Lähestymistapa sisältää jonkinasteisen virheriskin, koska skaalauksessa on käytetty uuden rikastuskokeen rikastusjäännöksen NAG-uutetta ja vanhan rikastuskokeen rikastusjäännöksen kosteuskammiokokeen viikkoliuosta.
- Kosteuskammiokokeen viikkoliuoksena käytettiin viikkojen 18-20 keskiarvoa, koska tuossa vaiheessa rikastushiekkojen alkuperäinen sulfaatti oli poistunut ja sulfaatinmuodostus oli suhteellisen vakaata ja oletettavasti hapettumistuotteista johtuvaa. Hapettuminen oli myös hyvin käynnissä eli edennyt tasolle, jossa kolmannes korkearikkisten hiekkojen sulfidirikistä ja viidennes matalarikkisten sulfidista oli hapettunut. Neutralointikapasiteetin suhteellinen kuluminen eteni molemmissa rikastushiekkajakeissa hitaammin. Koska vanha rikastushiekka on kuitenkin hienojakoisempaa ja siinä on enemmän reaktiivista pinta-alaa massaan kuin uudessa rikastushiekkassa, oletetaan että virheriskistä tulee hyväksyttävän suuntainen. Arvio on siis konservatiivinen.
- NAG-uutteen ja kosteuskammiokokeen suhde on laskettu kokeiden sulfaatinmuodostusmittausten suhteen trendiviivan kulmakertoimesta (Kuva 4-1).
- HCT-todellisuus-skaalauksessa on käytetty samaa yksinkertaistettua olosuhdekerrointa (0,1) kenttä- ja laboratorio-olosuhteiden välillä kuin Erikssonin (2012) mallinnuksessa Hannukaisen aikaisempien rikastuskokeiden rikastushiekoille. Olosuhdekerrointa tarvitaan, jotta kenttäolosuhteiden ja laboratorion välinen lämpötilaero sekä kentällä toteutuva kanavoituminen ja pienempi vapaa hapen saatavuus tulisivat huomioiduksi.
 - Vertailun vuoksi mainittakoon, että esimerkiksi Herrera ym. (2015) ovat käyttäneet kolmea eri olosuhdekerrointa siten, että 0,1 on ollut pelkästään kanavoitumisen kertoimena, lämpötilakerroin on ollut kesälle 0,37 ja talvelle 0,04.
 - Lapakko ja Olson ovat tehneet vertailumittauksia todellisista suotovesistä ja kosteuskammiokokeen viikkoliuoksista, hapettumiselle altistuvilla käytöstä poistetuilla kaivannaisjätealueilla. Heidän mukaansa pääosa kertoimista asettuisi välille 0,053 – 0,21.
- Mallinnuksessa on käytetty Dzombak & Morellin adsorptiomallia. Ferrihydraattipitoisuus on johdettu olettaen, että rautaa ei ole saatavilla muista lähteestä kuin vedestä itsestään ja että se olisi peräisin rikkikiisun hapettumisesta (matalarikkinen) ja magneetikiisun hapettumisesta (korkearikkinen). Näiden määrät taas on johdettu molaarisesti liuoksen

sulfaatin kautta. Arvio on kuitenkin hyvin konservatiivinen, sillä mahdollisia raudan lähteitä näissä olosuhteissa on useita. Mahdollisiksi kiinteiksi fraktioiksi on määritetty ferrihydraatti ja kipsi. Hiilidioksidin osapaineena on käytetty ilmakehän CO₂-painetta



Kuva 4-1. NAG-liuoksen skaalaus kosteuskammiokokeeseen. Vaaka-akselilla on NAG-testissä vapautuva sulfaattimäärä ja pystyakselilla kosteuskammiokokeen viikkoliuoskeskiarvo.

Korkearikkisen altaan vesi mallinnettiin lisäksi neutraloituna. Tässä käytettiin yksinkertaistettua lähestymistapaa. Haluttu pH määritettiin sweep-analyysinä koboltin ja nikkelin suhteen (Kuva 4-2). Tämän jälkeen pH vakioitiin tasolle 9 tasapainomallissa ja mallinnettiin alkuaineiden ja yhdisteiden liukoisessa faasissa pysyvät osuudet.



Kuva 4-2. Koboltin ja nikkelin teoreettiset määrät (mg/l, pysty akseli) korkearikkisen rikastushiekan altaan vedessä pH:n (vaaka-akseli) funktiona.

Tasapainomallinnetut ylitevesilaadut (vuodet 11-19) esitetään alla (Taulukko 4-1). Ylitevesien osalta tulee huomata, että kysymyksessä ei ole vielä kaivosalueelta poistuvan veden laatu, sillä poistuva vesilaatu muodostuu vesijakeiden yhdistelmästä, johon kuuluvat myös Hannukaisen vedet sekä pieniä määriä rikastamoalueen pintavesiä. Mainittakoon vielä, että lopulliseen kuormituslaskelmaan (jota ei esitetä tässä raportissa) on käytetty mallinnustulosta suurempaa sulfaattipitoisuutta.

Taulukko 4-1. Mallinnetut ylitevesilaadut.

		Korkearikkisen altaan ylitevesi neutraloituna	Matalarikkisen altaan ylitevesi
pH		9,0	6,4
Al	mg/l	1,5657	0,4621
As	mg/l	0,0014	0,0006
B	mg/l	0,0335	0,0215
Ba	mg/l	0,0409	0,0078
Be	mg/l	0,0003	0,0003
Bi	mg/l	0,0007	0,0006
Ca	mg/l	32,4963	122,5503
Cd	mg/l	0,0000	0,0000
Co	mg/l	0,1726	0,1172
Cr	mg/l	0,0004	0,0020
Cu	mg/l	0,0123	0,0207
Fe	mg/l	0,0000	0,2481
Hg	mg/l	0,0027	0,0022
K	mg/l	19,9323	2,5620
Mg	mg/l	5,6573	9,7040
Mn	mg/l	0,7216	1,0755
Mo	mg/l	0,0007	0,0012
Na	mg/l	18,6478	15,1835
Ni	mg/l	0,0498	0,0838
Pb	mg/l	0,0000	0,0000
Sb	mg/l	0,0004	0,0003
Se	mg/l	0,0155	0,0022
Sn	mg/l	0,0003	0,0000
Th	mg/l	0,0050	0,0009
Ti	mg/l	0,0138	0,0113
U	mg/l	0,0063	0,0012
V	mg/l	0,0028	0,0050
Zn	mg/l	0,0019	0,0052
Cl	mg/l	10,1800	23,9830
F	mg/l	0,1837	0,4019
P	mg/l	0,0001	0,0000
SO4	mg/l	1064,0127	311,3464
NO3	mg/l	0,6543	0,1430
NO2	mg/l	0,0034	0,0028
NH4	mg/l	0,0645	0,0000
DOC	mg/l	43,6600	10,2303

5 SUOTOVEDEN LAATU SULKEMISVAIHEESSA

Sulkemisvaiheen skaalaaminen ja mallintaminen noudattaa pääosin samoja periaatteita kuin kaivoksen toiminnan aikaisten ylitevesien arvioinnissa on sovellettu. Alla luetellaan ainoastaan, miltä osin sulkemisvaiheen laskenta- ja mallinnusperiaatteet poikkeavat toimintavaiheesta.

- Sulkemisen jälkeinen vesilaatu vähärikkisen rikastushiekka-altaan suotovedelle käsittää sadevettä ja rikastushiekan hapettumistuotteita tasapainomallinnettuna. Ilmastoparametrit on käsitelty samankaltaisina kuin toiminnan aikaisissa malleissa.
- Sulkemisen jälkeinen vesilaatu korkearikkisen rikastushiekka-altaan suotovedelle käsittää sadevettä, rikastushiekan hapettumistuotteita tasapainomallinnettuna. Ilmastoparametrit on käsitelty samankaltaisina kuin toiminnan aikaisissa malleissa.
- Suljetulle matalarikkiselle alueelle on laskettu rajattu hapen saatavuus ja veden läpäisevyys bentoniittimaton sisältävää peittorakennetta vastaavalla kaasunvaihtotasolla. Tässä on käytetty suuntaa antavina kertoimina (15% tehokkaasta sadannasta, kaasunvaihto 2,5 kertaa pienempi), jotka ovat peräisin Hannukaisen sivukivialueiden geokemiallisesta tutkimuksesta (SRK 2013). On kuitenkin huomattava, että laskentatapa on vain suuntaa antava, sillä tällaiset kertoimet ovat paikkakohtaisia.
- Matalarikkisellä hiekalla reaktiiviseksi massaksi on oletettu keskimäärin päällimmäinen 0,5 metriä sillä veden kyllästäjän massan osuus pienenee suhteessa tuotantovaiheeseen.
- Korkearikkisellä altaalla reaktiiviseksi massaksi on oletettu 10 cm. Korkearikkisellä alueella hiekka jää käytännössä veden kyllästämäksi koska on HDPE-kupissa, vain loppumuotoilun jälkeen muodostuva keskuskohouma hapettuu.
- Korkearikkisen rikastushiekka-alueen osalta on jätetty huomioimatta, että peittorakenne läpäisee kaasuja heikommin kuin matalarikkisen alueen peitto. Hapettuminen on siis laskettu yliarviona. Toisaalta on jätetty huomioimatta myös sulkemistyön asennusten aika, jolloin aluetta joudutaan pitämään työkoneiden takia kuivempana. Tällöin altistumista hapettumiselle tapahtuu lyhytaikaisesti enemmän kuin tuotantovaiheessa tai sulkemisen jälkeen.

Rikastushiekka-alueiden suotovesilaadut ilman vesienkäsittelyä esitetään alla (Taulukko 5-1). Korkearikkisen alueen kuormitus suuntautuu HDPE-tiivisteen sisältävän pohjarakenteen takia ensisijaisesti pintaveteen. Matalarikkisen alueen vuosikuormasta osa suuntautuu pohjarakenteen sallimissa rajoissa myös pohjaveteen.

Taulukko 5-1. Suljettujen rikastushiekka-alueiden suotovesilaadut.

		Korkearikkainen mallinnettu	Matalarikkainen mallinnettu	STM 1352/2015 *	VNa 341/2009 **	WHO 2011 ***
		2,492	6,565			
Al	ug/l	11453,933	0,192	200		
As	ug/l	5,983	0,727	10	5	10
Ba	ug/l	284,921	159000,000			
Be	ug/l	3,348	0,000			
Bi	ug/l	2,849	1,453			
Ca	ug/l	28471,139	68514,354			
Cd	ug/l	0,285	0,034	5	0,4	3
Co	ug/l	10542,177	309,513			
Cr	ug/l	56,980	0,000	50	10	50
Cu	ug/l	8803,790	0,460	2000	20	2000
Fe	ug/l	1632643,007	148,944	200		
Hg	ug/l	0,285	0,008	1	0,06	6
K	ug/l	3722,777	4122,383			
Mg	ug/l	7346,785	8490,784			
Mn	ug/l	769,294	944,522			
Mo	ug/l	0,569	0,141			
Na	ug/l	8851,404	10479,743			
Ni	ug/l	5328,073	41,864	20	10	70
Pb	ug/l	35,900	0,000	10	5	10
Sb	ug/l	0,570	0,291	5	2,5	20
Se	ug/l	284,211	0,908			
Sn	ug/l	0,063	0,002			
Th	ug/l	29,062	0,291			
Ti	ug/l	56,985	29,062			
U	ug/l	39,604	4,650			
V	ug/l	21,654	20,489			30
Zn	ug/l	113,969	3,500		60	1500
Cl	ug/l	6160,000	19260,000	250000	25000	
F	ug/l	110,000	350,000	1500		
P	ug/l	7,778	0,000			
SO4	ug/l	6297010,763	90322,504	250000	150000	
NO3	ug/l	587,300	100,000	50000	50000	
NO2	ug/l	0,570	6,684			
NH4	ug/l	64,500	0,000	500	250	
DOC	ug/l	110,000	350,000			

*) Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista

**) Asetuksen 341/2009 liite 7 Pohjavettä pilaavat aineet ja niiden ympäristölaatuvaatimukset

***) WHO:n esittämät enimmäispitoisuudet juomavedelle

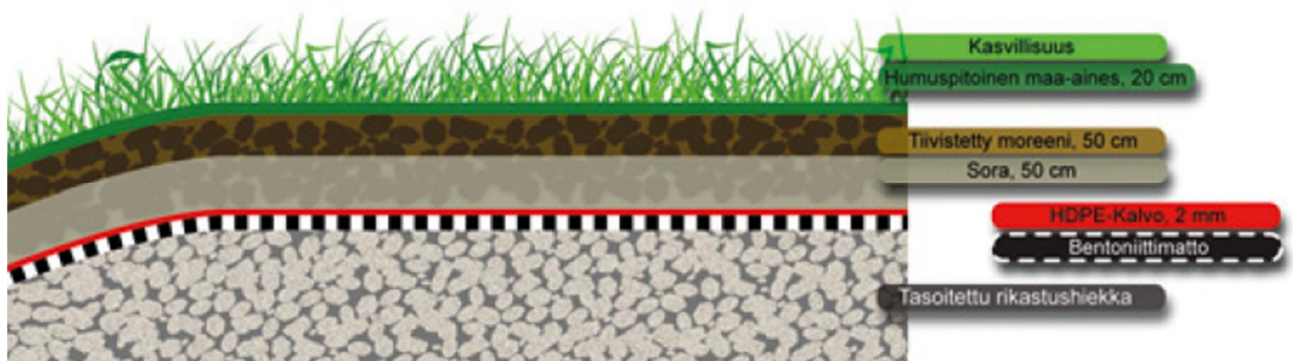
6 RIKASTUSHIEKKA-ALUEIDEN AIHEUTTAMA KUORMITUS SULKEMISEN JÄLKEEN

Sulkemisvaiheen kuormitukselle on laadittu alustava laskelma. Laskelman alustana on oletus, että suljettujen rikastushiekka-alueiden läpivirtaama on kokonaisuudessaan peräisin sadevedestä.

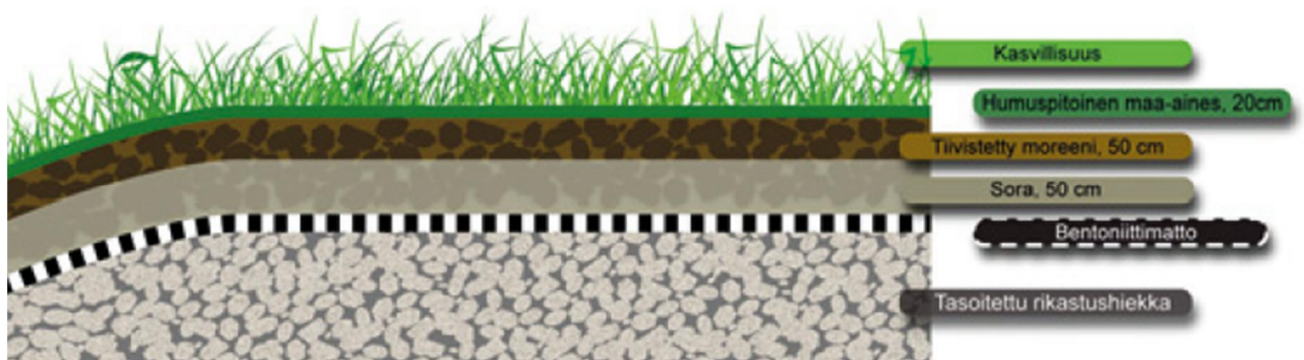
Korkearikkisen alueen peittorakenne (Kuva 6-1) sisältää sekä HDPE-kalvon että bentoniittimaton. Vaikka rakenne on hyvin tiivis, alueelle lasketaan kuitenkin kalvon mahdollisten mikrovuotojen takia läpivirtaus ja siitä aiheutuva vuosikuormitus. Kalvon mahdollisille vuotokohdille on käytetty Giroudin ym. (1994) määrittelemiä konservatiiviseen arvioon johtavia parametrejä. Giroudin ym. (1994) mukaan eekkerille (0,4 ha) voidaan laskea keskimäärin yksi 11 mm halkaisijan vuoto. Kalvon päälle on laskennassa asetettu 0,5 m painekorkeus. Bentoniitin hydraulisena johtavuutena on käytetty konservatiivisesti $1 \cdot 10^{-9}$ m/s.

Matalarikkisen alueen peittorakenteelle (Kuva 6-2) ei ole laskettu tässä yhteydessä omaa varsinaista hydraulista johtavuutta ja läpivirtaamaa, vaan on sovellettu SRK Consultingin (2013) sivukivialueiden jokseenkin vastaavat elementit käsittävälle peittorakenteelle määrittelemää tilannetta, jossa 15 % tehokkaasta sadannasta suotuu peittorakenteen läpi. Laskentatapa on lähinnä suuntaa antava, sillä saman peittorakenteen ei voida olettaa toimivan erilaisella alustalla täysin samankaltaisesti.

Ilmastoparametrit ovat samat kuin tuotantovaiheen ylitevesilaskennassa. Nämä esitetään kappaleessa 4.



Kuva 6-1. Korkearikkisen rikastushiekka-alueen suunniteltu pintarakenne (Ramboll Finland Oy 2013).



Kuva 6-2. Matalarikkisen rikastushiekka-alueen suunniteltu pintarakenne (Ramboll Finland Oy 2013).

Kuormitus on laskettu suotovesilaadun ja läpivirtaaman tulona siten, että vuosittainen ulosvirtaama oletetaan samaksi kuin suotuminen läjitykseen. Laskenta antaa tuloksena pinta- ja pohjaveteen suuntautuvien kuormitusten summan. Tulokset esitetään alla (Taulukko 6-1).

Taulukko 6-1. Suljettujen rikastushiekka-alueiden vuosikuormitus.

	Korkearikkinen mallinnettu vuosikuorma kg/a	Matalarikkinen mallinnettu vuosikuorma kg/a	Korkearikkinen mallinnettu vuosikuorma ton/a	Matalarikkinen mallinnettu vuosikuorma ton/a
Al	0,054	0,022	0,000	0,000
As	0,000	0,085	0,000	0,000
Ba	0,001	18571,709	0,000	18,572
Be	0,000	0,000	0,000	0,000
Bi	0,000	0,170	0,000	0,000
Ca	0,135	8002,696	0,000	8,003
Cd	0,000	0,004	0,000	0,000
Co	0,050	36,152	0,000	0,036
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000
Cu	0,042	0,054	0,000	0,000
Fe	7,723	17,397	0,008	0,017
Hg	0,000	0,001	0,000	0,000
K	0,018	481,507	0,000	0,482
Mg	0,035	991,751	0,000	0,992
Mn	0,004	110,323	0,000	0,110
Mo	0,000	0,016	0,000	0,000
Na	0,042	1224,067	0,000	1,224
Ni	0,025	4,890	0,000	0,005
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000
Sb	0,000	0,034	0,000	0,000
Se	0,001	0,106	0,000	0,000
Sn	0,000	0,000	0,000	0,000
Th	0,000	0,034	0,000	0,000
Ti	0,000	3,395	0,000	0,003
U	0,000	0,543	0,000	0,001
V	0,000	2,393	0,000	0,002
Zn	0,001	0,409	0,000	0,000
Cl	0,029	2249,630	0,000	2,250
F	0,001	40,881	0,000	0,041
P	0,000	0,000	0,000	0,000
SO4	29,787	10549,958	0,030	10,550
NO3	0,003	11,680	0,000	0,012
NO2	0,000	0,781	0,000	0,001
NH4	0,000	0,000	0,000	0,000
DOC	0,001	40,881	0,000	0,041

7 KIRJALLISUUS

Eriksson, N. 2012. Tailings and tailings water characterization Hannukainen iron ore project Finland. Final DFS Report Northland Mines Oy

Giroud, J.P, K. Badu-Tweneboah, K. & Söderman, K.L. 1994. "Evaluation of Landfill Liners", Fifth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products, Singapore, 5-9 September 1994.

Herrera, M., Stronach, J. & Gregoire, M. 2015. Treasury Metals Incorporated Goliath Gold Project Environmental Impact Statement

Häkkinen, E. 2016. Jätteen luokittelu vaaralliseksi jätteeksi.

Järvinen K. 2016. Maaperän ja pohjaveden haitta-aineista aiheutuvin terveysriskien luotettava mallinnus ja hallinta. Ympäristö ja Terveys –lehti 7/2016.

Kirchner, T. & Mattson, B. 2015. Scaling Geochemical Loads in Mine Drainage Chemistry Modeling: An Empirical Derivation of Bulk Scaling Factors

Koljonen, T. 1992 (toim.). Suomen geokemian atlas. Osa 2: Moreeni. Geologian tutkimuskeskus. Espoo.

Lapakko, K & Olson, M. 2015. Scaling laboratory sulfate release rates to operational waste rock piles. 10th International Conference on Acid Rock Drainage & IMWA Annual Conference, At Santiago, Chile

Mine Effluent Neutral Drainage Network (MEND), 2006. Update on cold temperature effects on geochemical weathering. MEND Report 1.6.6

Mine Effluent Neutral Drainage Network (MEND), 1995. Scaling analysis of acid rock drainage. MEND Project 1.19.2

Ramboll Finland Oy 2013. Hannukaisen kaivosshanke. Ympäristövaikutusten arviointiselostus. Northland Mines Oy.

SRK Consulting, 2013. Hannukainen DFS Waste rock geochemical characterization, WRD seepage and pit lake water quality prediction report

SYKE:n järvihaihduntamalli, haihdunta Ylläsjärvellä 1962-2010

Ympäristöministeriö 2016. Jätteen luokittelu vaaralliseksi jätteeksi. **Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2016.** **Ympäristöministeriö 1994.** Saastuneet maa-alueet ja niiden käsittely Suomessa. Saastuneiden maa-alueiden selvitys- ja kunnostusprojekti; loppuraportti. Ympäristöministeriö, Helsinki. Ympäristönsuojeluosasto, muistio 5/1994.

Ympäristöministeriö 2007. Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi. Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2007.