Vastaanottaja
AA Sakatti Mining Oy

Asiakirjatyyppi
Raportti

Päivämäärä
31.5.2024

Viite
1510062024

SAKATIN PÖLYVAIKUTUKSET
SEKUNDÄÄRISET VAIKUTUKSET POROIHIN

RAMBOLL Bright ideas. Sustainable change.

SAKATIN PÖLYVAIKUTUKSET
SEKUNDÄÄRISET VAIKUTUKSET POROIHIN

Projekti	Sakatin kaivoksen pölylaskeuman sekundääriset vaikutukset poroihin
Projekti nro	1510062024
Vastaanottaja	AA Sakatti Mining Oy
Asiakirjatyyppi	Raportti
Päivämäärä	31.5.2024
Laatija	Inka Reijonen, Heli Lassila, Ramboll Finland Oy
Tarkastaja	Katariina Koikkalainen, Hanna Tolvanen, Ramboll Finland Oy

Ramboll
PL 25
Itsehallintokuja 3
02601 ESPOO

P +358 20 755 611
F +358 20 755 6201
https://fi.ramboll.com

Ramboll Finland Oy
Y-tunnus 0101197-5, ALV rek.
Kotipaikka Espoo

SISÄLTÖ

1.	Tausta	2
2.	Kohde	2
3.	Lähtöaineisto	3
4.	Käsitteellinen malli	4
5.	Pölyn vaikutus rehuntuotantoon	6
5.1	Pölylaskeuma ja rehuntuotantoalueet	6
5.2	Vaikutus rehuntuotantoalueiden maaperään	7
5.3	Laskennallinen metallien kertyminen rehukasveihin	9
5.3.1	Timotei ja muut kasvit	10
6.	Pölyn vaikutukset - metallien biosaatavuus ja esiintymismuodot	11
6.1	Metallien liukoisuus	11
6.2	Liukoisten metallien esiintymismuodot	14
6.3	Happamuuden vaikutus liukoisuuteen ja kemialliseen biosaatavuuteen	15
6.4	Metallien vaikutus kasvillisuuteen	16
7.	Poron altistuminen pölylaskeuman metalleille ravinnon kautta	18
7.1	Porojen altistuminen	18
7.2	Metallien haittavaikutuksia poroihin	20
8.	Muut vaikutukset	22
9.	Epävarmuustekijät	22
10.	YHTEENVETO	23
KIRJALLISUUS		24

Liitemateriaali

1. TAUSTA

AA Sakatti Mining Oy (Anglo American Plc:n tytäryhtiö) suunnittelee Sakatin monimetalliesiintymän hyödyntämistä. Hankealue sijaitsee Sodankylän kunnassa noin 15 km kuntakeskuksesta koilliseen Kemijoen vesistöalueeseen kuuluvan Kitisen jokivarressa. Sakatin esiintymä sijoittuu Natura 2000 -verkostoon kuuluvalle ja soidensuojeluohjelmalla suojellun Viiankiaavan suon länsilaidalle. Sakatin esiintymä sijaitsee maan alla Natura-alueen alapuolella. Monimetalliesiintymän nyt tunnetut mineraalivarannot ovat noin 44,4 miljoonaa tonnia. Yhtiön suunnitelmissa on aloittaa malmin louhinta 1,25–2,2 milj. t/v kapasiteetilla, joka takaa kaivoksen elinkaareksi nyt tunnetuilla mineraalivarannoilla yli 20 vuotta. Louhinta tullaan toteuttamaan maanalaisena kaivoksena. Kaivoksen päätuotteena tulevat olemaan joko erilliet kupari- ja nikkelirikaste tai yhteisrikaste. Rikasteita tuotetaan yhteensä keskimäärin noin 250 000 t/v (150 000–500 000 t/v). Mineraalien rikastus tapahtuu vaahdotusprosessilla kemikaalien avulla. Kaivokselta kuljetetaan rikastetta jatkojalostettavaksi. Hankealueelle sijoitettavia toimintoja ovat maanalaisen kaivoksen sisäänkäynti- ja rikastamoalueet, sivukiven, malmin ja pintamaiden välivarastointialueet, läjitysalue rikastushiekalle, tiestöt, putkistot, sähkölinjat, vesienhallinta- ja käsittelyrakenteet, pastalaitos, lämpölaitos, kemikaalien ja räjähdysaineiden varastot, saniteettijätevedenpuhdistamo sekä varikot.

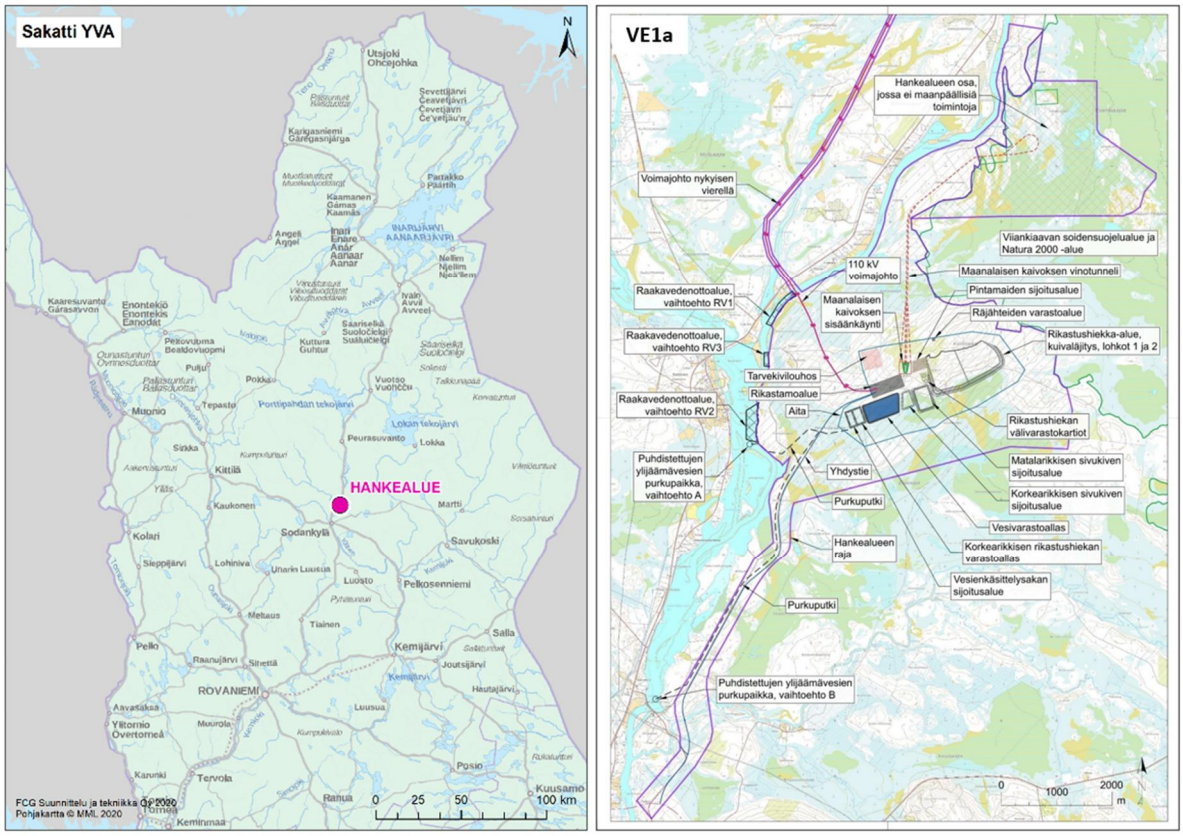
Suunnitellussa malmin rikastusprosessissa syntyy rikastushiekkaa, joka on suurimmaksi osaksi matalarikkistä. Korkearikkinen rikastushiekka, sekä osa matalarikkisestä hyödynnetään kaivostäytön pastan materiaalina. Matalarikkistä rikastushiekkaa läjitetään mahdollisesti kuivaläjityksenä maanpinnalle, mistä sitä voi kulkeutua edelleen tuulen mukana ympäristöön.

Sakatin hankealueella tai sen läheisyydessä toimii Oraniemen ja Sattasniemen poronhoidon paliskunnat. Ympäristövaikutusten arvioinnissa on tunnistettu kaivoshankkeen kielteisiä vaikutuksia poronhoidolle, erityisesti Viiankiaavan tokkakunnalle, jonka laidunalueelle suunniteltu kaivoshanke sijoittuu. Laidunalueiden kokonaispinta-alan pienentyminen ja häiriöalueiden mahdollinen välttämiskäytös vaikuttavat porotalouden käytettävissä olevan laidunalueen määrään.

Tässä työssä tarkastellaan pölylaskeuman mahdollisia sekundäärisiä vaikutuksia alueen poron ravintoon. Tarkastelu on toteutettu YVA-selostuksen hankevaihtoehdolle YVA-menettelyssä tarkastellulle vaihtoehdolle VE1a.

2. KOHDE

Sakatin hankealue sijaitsee Itä-Lapissa noin 15 km Sodankylästä pohjoiseen (Kuva 2-1). Alueelle on suunnitteilla monimetalli kaivoshanke, joka on kokonaisuudessaan ja ympäristövaikutuksiltaan kuvattu tarkemmin Sakatin kaivoshankkeen ympäristövaikutusten arviointiselostuksessa (YVA) sekä sitä koskevassa täydennysasiakirjassa. Tässä työssä arvioidaan hankevaihtoehtoa VE1a.



Kuva 2-1. Sakatin monimetalliesiintymän kaivoshankkeen sijainti ja tässä työssä arvioidun toiminnan vaikutukset VE1a. Lähde: FCG Finnish Consulting Group Oy 2023.

3. LÄHTÖAINEISTO

Poroille pölystä aiheutuvien sekundääristen vaikutusten arvioimiseksi käytettiin mm. seuraavaa lähtöaineistoa:

- Sakatin monimetalliesiintymän kaivoshankkeen YVA-selostuksen täydennys (FCG Finnish Consulting Group Oy)
- Sakatin kaivoshankkeen pölymallinnus (AONA Environmental Ltd. 2020)
- Matalarikkisen rikastushiekan prosessivaihtoehdon 2 geokemialliset ominaisuudet (Tailings geochemical characterisation report for the Sakatti Cu-Ni-PGE-Au deposit, Finland ja prosessivaihtoehto 2 Geochemic Ltd., 2020)
- Tarkentavat kysymykset paliskunnille
- Tieteelliset julkaisut ja raportit
- Tietokannat (mm. Ecotox, EFSA, ECHA)
- Yhteenveto kaivannaisjätteiden karakterisoinnista sekä kaivosalueen vesien laatuarvioinnista 101017183-001, 10.2.2023 (AFRY Finland Oy)

Vaikutusarvio kohdennetaan pölylaskeumapitoisuuksien perusteella kromille, nikkelille ja kuparille. Perustuen tämänhetkisiin tutkimuksiin ja selvityksiin prosessivaihtoehto 2 on todennäköisempi malmin rikastukseen käytettävä prosessivaihtoehto ja näin ollen tarkastelu tehdään ko. prosessivaihtoehdon matalarikkiselle rikastushiekalle. Tarkastelu toteutetaan rikastushiekan keskimääräisten metallipitoisuuksien perusteella, sillä erillistä alkuaineanalyysia hienojakeisesta fraktiosta ei ole saatavilla. Tieteellisissä julkaisuissa tai tutkimuslaitosten raporteissa oli niukasti tietoa nimenomaan

nikkelin, kromin ja kuparin porospesifisistä vaikutuksista. Siten jatkotarkastelu rajataan sekundäärisiin vaikutuksiin eli pölylaskeuman vaikutuksiin ravintokasveihin sekä altistumisen arviointiin. Ravintokasvien osalta ei tarkastella erillisesti jokaista ravintokasvia, vaan referenssikasvina käytetään altistusalueella rehuksi kasvatettavaa timoteitä.

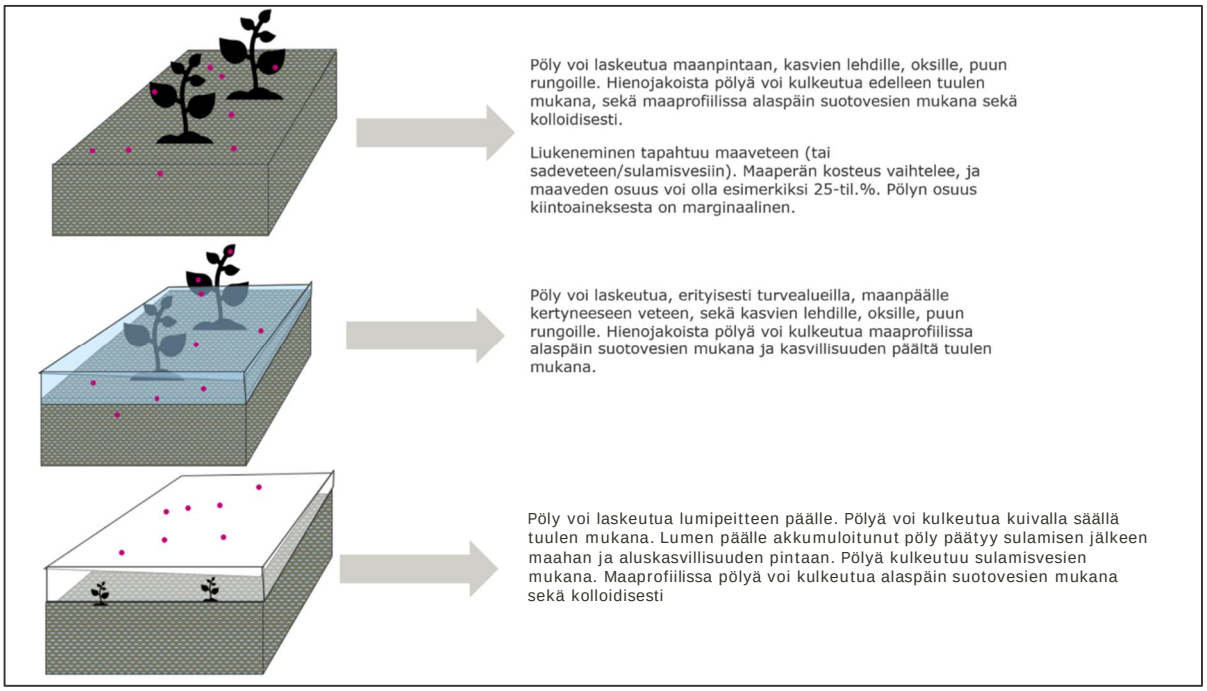
Lähtöaineiston keskeiset tiedot on esitetty raportissa Sakatin pölyvaikutusten arviointi porojen sekundäärinen altistuminen lähtöaineisto ja taustaselvitys (Ramboll Finland Oy, 2024).

4. KÄSITTEELLINEN MALLI

Työssä tarkastellaan ensisijaisesti pölyn sisältämien metallien kertymistä porojen ravintokasveihin ja siten pölylaskeuman vaikutusta porojen ravinnon laatuun. Laskeumamallissa pölyn pitoisuudet on esitetty vuosikeskiarvoina (AONA Environmental Ltd. 2020). Kasveihin kertyminen riippuu pölylaskeuman pitoisuuksien ja laadun lisäksi mm. vuodenajasta tai maaperän kosteudesta (Kuva 4-1).

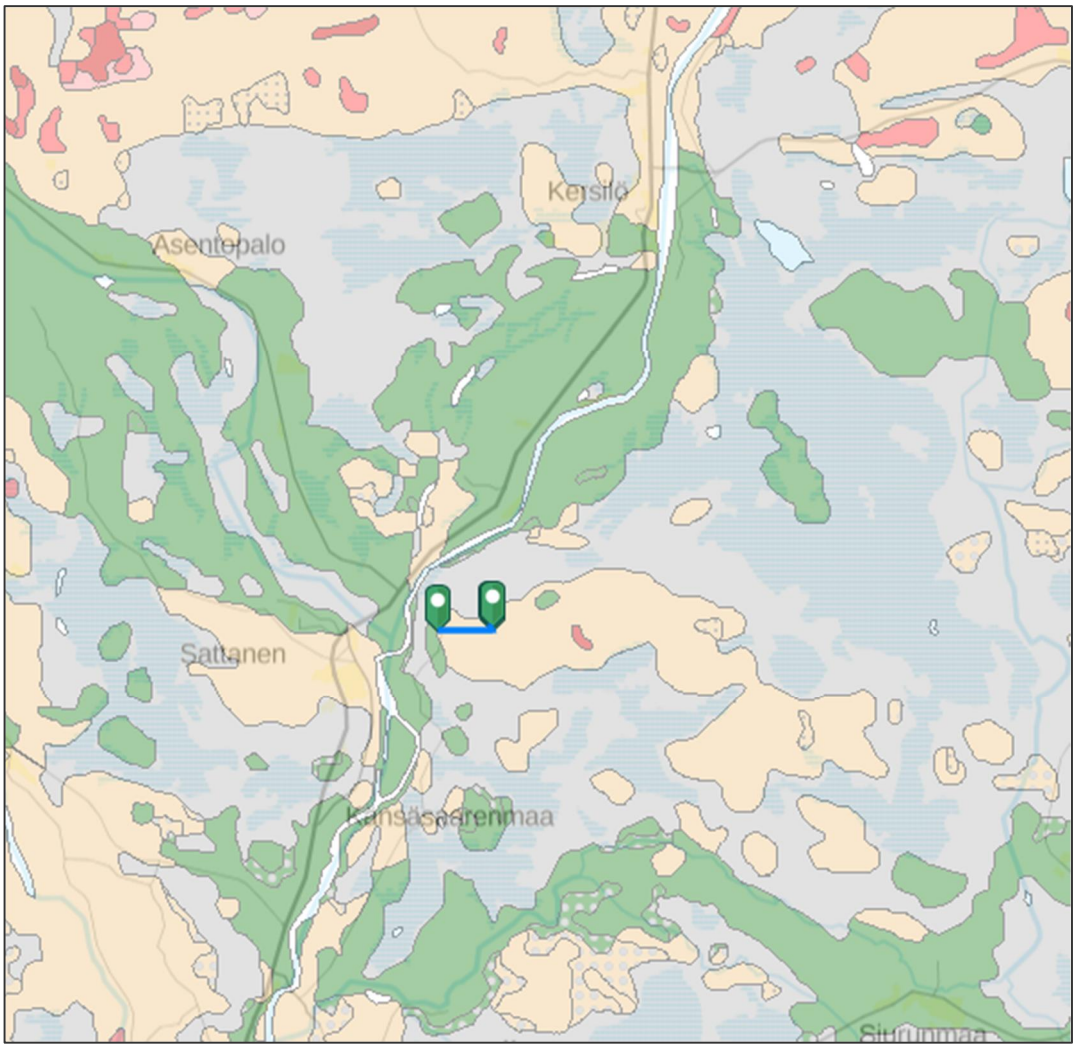
Pölylaskeuma kohdistuu maanpintaan eli pintamaahan ja lumipeitteiseen aikaan lumelle. Talvella lumeen voi akkumuloitua pölyä, joka voi herkästi huuhtoutua sulamisvesien mukana. Tällöin laskeutunut pöly ei ole kontaktissa kasvien lehtien tai juuriston kanssa. Toisaalta lumeen kertynyt pöly voi paikoin lumen sulamisen myötä vapautua maahan hetkellisesti suuremmissa määrissä.

Ilman lumipeitettä, pölyä voi laskeutua maanpinnalle tai pintavesiin. Kuivalla säällä pölyä voi kulkeutua edelleen tuulen mukana ja kerrostua maaston muotojen mukaisesti, kostealla säällä kulkeutumista maanpinnalla ei tapahdu tuulen mukana. Kosteassa maassa kulkeutuminen perustuu lähinnä veden liikkeisiin. Laskeutuneesta pölystä osa kertyy maaperään ja osa huuhtoutuu veden mukana vastaanottaviin vesistöihin.



Kuva 4-1. Käsitteellinen malli pölyn laskeutumisesta eri tilanteissa eli maanpintaan, veden peittämän maanpintaan ja talvella lumen peittämään maanpintaan. Pölyn osuus maanperän kiintoaineksesta on marginaalinen eli todella pieni. Kulkeutumista voi tapahtua tuulen mukana kiintoaineksena ja vesien mukana liuenneina yhdisteinä tai kolloidisesti eli kiintoaineksena.

Sakatin pölymallinnuksen arvioitujen laskeuma-alueiden pintamaalajit ovat pääasiallisesti suoalueiden turvetta (Tvp) tai karkeaa lajittumatonta kivennäismaata eli moreenia (Mr). Kuusivaaran läheisyydessä turve on luokiteltu saraturpeeksi (Ct). Maalajit perustuvat GTK:n kartta-aineistoon (Kuva 4-2).



Kuva 4-2. Maalajit (harmaa=turve, vaalean ruskea=moreeni, vihreä=sora/hiekka suunnitellun kaivosalueen läheisyydessä. Kuusivaaraan suunniteltu tehdasalue sijoittuu kartassa vihreiden tolppien väliin (etäisyys toisistaan on 1 km).

Sakatin alueen maaperälle sekä eri maalajeille on esitetty laskennalliset luontaiset taustapitoisuudet (SSTP, suurin sallittu taustapitoisuus) Geologian tutkimuskeskuksen ylläpitämästä valtakunnallisesta TAPIR-taustapitoisuusrekisteristä. Taustapitoisuus arvot on laskettu tietokantaan tallennettujen pitoisuushavaintojen perusteella. SSTP on suurin arvo, jota ei katsota poikkeamaksi alueen taustapitoisuusjakaumasta. Taulukossa 4-1 on esitetty kromin, kuparin ja nikkelin luontaiset taustapitoisuudet Sakatin alueen maaperässä sekä vertailun vuoksi vastaavien metallien taustapitoisuudet moreenissa (15 km säteellä Sakatin esiintymästä). Turpeelle ei ole määritetty erikseen taustapitoisuuksia. Sakatin alueella moreenin kromin ja nikkelin luontaiset taustapitoisuudet ovat suurempia kuin Suomessa keskimäärin. Tämä näkyy pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointia koskevan asetuksen eli ns. PIMA-asetuksen (VNa 214/2007) kynnysarvopitoisuuksia suurempina taustapitoisuuksina (suurin sallittu taustapitoisuus, SSTP). Korkeammat taustapitoisuudet johtuvat metallien pitoisuuksista maaperän rapautumisaineksessa. Sen sijaan kuparin taustapitoisuudet

(mediaani 16 mg/kg ja maksimi 72 mg/kg) Sakatin alueen maaperässä ovat kynnysarvoja pienemmät. Taustapitoisuuksien tietokannassa kuparille ei ole esitetty suositeltua taustapitoisuutta (SSTP-arvoa) laskennallisen SSTP-arvon ollessa pienempi kuin PIMA-asetuksen kynnysarvo. Näin ollen tässä selvityksessä kuparille on käytetty koko Suomen alueen moreenin kuparin luontaisen taustapitoisuuden mediaania (22 mg/kg).

Taulukko 4-1. Kromin, kuparin ja nikkelin taustapitoisuudet (SSTP, suurin sallittu taustapitoisuus) Sakatin alueen maaperässä GTK:n selvityksessä, moreenin luontaiset taustapitoisuudet 15 km säteellä Sakatin esiintymästä sekä PIMA-asetuksen kynnysarvopitoisuus (Vna 214/2007). (Lähde: Kts. liiteosio)

Metalli	Sakatin alueen maaperä (pinta- ja pohja-maa) (SSTP) (mg/kg)	Sakatin alueen moreeni (SSTP) (mg/kg)	Turve (SSTP) (mg/kg)	*Kynnysarvopitoisuus (VNa 214/2007)* (mg/kg)
Kromi	162	260	ei riittävästi tutkimuspisteitä (<30)	100
Kupari	22 (5–110)*	80	ei riittävästi tutkimuspisteitä (<30)	100
Nikkeli	61	150	ei riittävästi tutkimuspisteitä (<30)	50

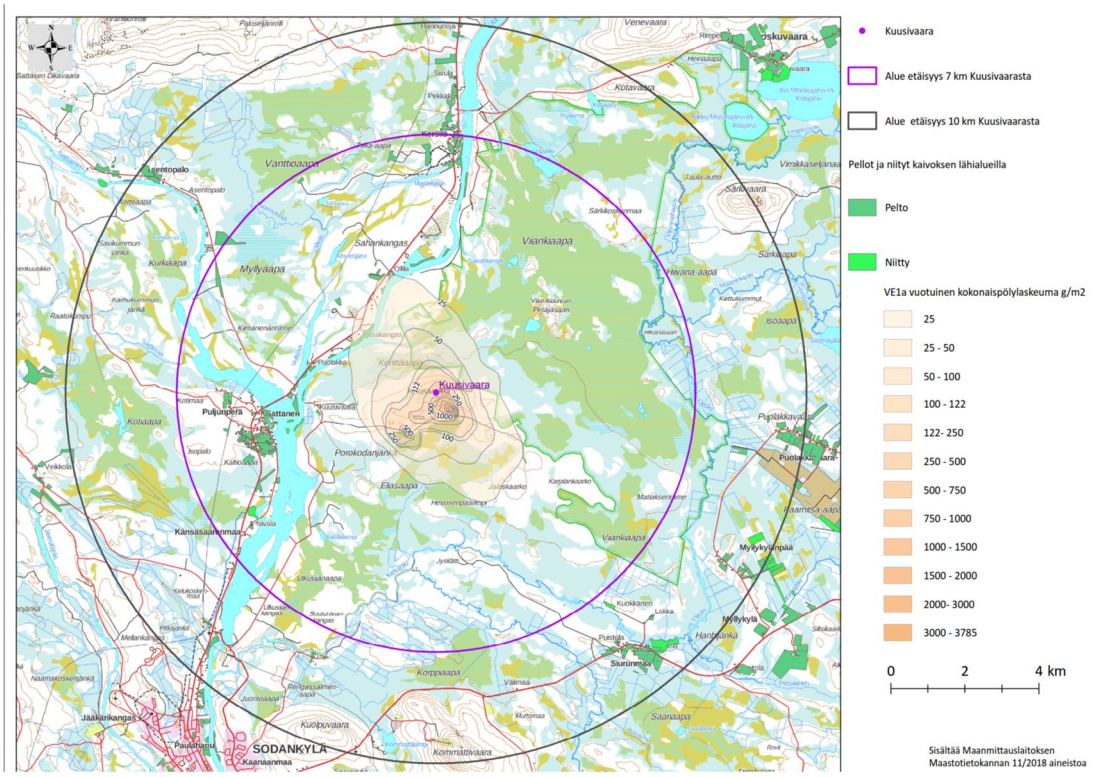
*) Ympäristöhallinnon ohjeistuksen 6/2014 ja Vna 214/2007 mukainen kuparin luontaisen taustapitoisuuden mediaani moreenissa ja vaihteluväli luontaiselle taustapitoisuudelle moreenissa

5. PÖLYN VAIKUTUS REHUNTUOTANTOON

Pölynä kulkeutuvan rikastushiekan vaikutuksia rehuntuotantoon arvioitiin laskeuman perusteella. Laskeumasta tarkasteltiin kromin, nikkelin ja kuparin vaikutuksia maaperän pitoisuuksiin ja niiden kertymiseen kasveihin. Kasvit voivat ottaa juurillaan maahan liuenneita metalleja eli biosaatavassa muodossa esiintyviä metallimuotoja. Kiintoaineksena metallit eivät kerry kasveihin. Kasvien pinnalle voi laskeuman mukana kuitenkin laskeutua kiintoainesta, joka sisältää metalleja. Pinnalle kertynyttä kiintoaines voi huuhtoutua maahan sadeveden mukana.

5.1 Pölylaskeuma ja rehuntuotantoalueet

Ympäristövaikutusten arviointimenettelyn yhteydessä laaditussa pölymallinnuksessa arvioitiin laskeutuvan pölyn määrää vuosikeskiarvona, (g/m^2/a) (AONA Environmental Ldt. 2020). Tarkastelualueella sijaitsevat pellot ja niityt, 10 km:n etäisyydellä Kuusivaarasta eli suunnittelun kaivosalueen läheisyydessä sekä laskeuma alueella, on esitetty kuvan 5-1 kartassa. Aineiston perusteella suurin mahdollinen laskeuma pelloilla tai niityillä voi olla 25 g/m^2/a.



Kuva 5-1. Peltojen ja niittyjen sijainti Sakatin hankealueella ja sen läheisyydessä, sekä pölyn laskeuma-alueet pölymallinuksessa (AONA Environmental Ltd. 2020).

5.2 Vaikutus rehuntuotantoalueiden maaperään

Pölyn mukana kulkeutuvan nikkelin, kromin ja kuparin maksimikertyminen rehuntuotantoalueiden maaperään arvioitiin a) vuositasolla sekä b) teoreettiselle pitkän aikaväli tarkastelujaksolle 40 vuoden aikana. Sakatin kaivoshankkeessa tuotantoajaksi on arvioitu yli 20 vuotta. Kertymää arvioitiin erikseen pellon muokkauskerrokseen (20 cm syvyys) ja pintamaahan (5 cm syvyys). Tarkastelu tehtiin moreenille (Taulukko 5-1) sekä kevyemmälle maa-ainekselle (Taulukko 5-2). Pölymallin perusteella suurin laskeuma rehuntuotanto alueilla on 25 g/m^2/a. Muokkauskerroksessa pöly sekoittuu maahan ja kasvien juuret voivat altistua pölyn metalleille.

Pitkällä aikavälillä (tarkastelussa 40 vuotta) moreenisen peltomaan muokkauskerroksen kertymä ilman poistumaa oli metalleille: Cr 4,3 mg/kg, Cu 1,4 mg/kg ja Ni 3,9 mg/kg. Alueilla, joissa maata ei muokata, pintamaan kertymät olivat laskennallisesti seuraavat: Cr 17,1 mg/kg, Cu 5,5 mg/kg ja Ni 15,4 mg/kg. Kevyemmässä maassa metallien laskennalliset kertymät ilman poistumaa olivat muokkauskerroksessa: Cr 7,3 mg/kg, Cu 2,3 mg/kg ja Ni 6,6 mg/kg ja pintamaassa Cr 29 mg/kg, Cu 9,4 mg/kg ja Ni 26,2 mg/kg.

Kuormituslaskelmat kuvaavat teoreettista maksimia eli pölyn 100 %:sta kertymistä maaperään. Todellisuudessa arvot ovat luonnollisesti huomattavasti pienempiä, sillä pölyä huuhtoutuu valumavesien ja tuulieroosion mukana.

Laskentaperiaate

Vuosimuutostasolla laskettiin kromin, kuparin ja nikkelin pitoisuuden nousu pintamaahan ja muokkauskerroksissa vaikutussyvyyksillä 5 ja 20 cm. Peltomaiden muokkauksen yhteydessä pöly sekoittuu maahan, ja kasvien juuret voivat siten altistua pölylle. Laskentakaava on seuraava:

Vuoden aikana laskeutunut pöly, (muunnettuna kg/m^2) x metallin pitoisuus rikastushiekassa (mg/kg)/vaikutusalueen syvyys (0,05 tai 0,20 m) x 1 m^2 x maan irtotiheys (muunnettuna kg/m^3).

Laskennat toteutettiin moreenille irtotiheydellä 1,7 g/cm^3 (=1700 kg/m^3) ja yleisesti maa-ainekselle irtotiheydellä 1,0 g/cm^3 (=1000 kg/m^3).

Lähtöoletuksina laskeutunut pöly on kokonaisuudessaan rikastushiekkaa. Pitkällä aikavälillä kertyneet metallipitoisuudet on kerrottu neljälläkymmenellä eli teoreettisen pitkän aikavälin (40 vuoden) tarkastelujaksolla. Tulokset (Taulukko 5-1) on esitetty yhden desimaalin tarkkuudella, minkä takia pitkänaikavälin tulos ei välttämättä ole sama kuin vuosimuutos kerrottuna neljälläkymmenellä (luvuissa on useampia desimaaleja, mitkä ei näy taulukossa).

Taulukko 5-1. Prosessivaihtoehdossa 2 syntyvän matalarikkisen rikastushiekan (MRH 2) pölyn mukana kulkeutuvien kromin (Cr), kuparin (Cu) ja nikkelin (Ni) teoreettinen kertyminen moreeniin (moreenin irtotiheys=1,7 g/cm3) vuodessa ja teoreettisen pitkänaikavälin tarkastelujakson eli 40 vuoden aikana ilman huuhtoutumista tai eroosiota. Rehuntuotantoalueet altistuvat korkeintaan laskeumasuuruudella 25 g/m^2/a.

Metalli	MRH 2 (mg/kg ka.)	Kertymä vuodessa muokkauskerros, syvyys 20 cm (mg/kg)				Pitkän aikavälin kertymä 40 v muokkauskerros, syvyys 20 cm (mg/kg)				Kertymä vuodessa pintamaa, syvyys 5 cm (mg/kg)				Pitkän aikavälin kertymä 40 v pintamaa, syvyys 5 cm (mg/kg)			
		Laskeuma-alueet (g/m2/a)				Laskeuma-alueet (g/m2/a)				Laskeuma-alueet (g/m2/a)				Laskeuma-alueet (g/m2/a)			
		122	100	50	25	122	100	50	25	122	100	50	25	122	100	50	25
Cr	1450	0,5	0,4	0,2	0,1	20,8	17,1	8,5	4,3	2,1	1,7	0,9	0,4	83,2	68,2	34,1	17,1
Cu	468	0,2	0,1	0,1	0,0	6,7	5,5	2,8	1,4	0,7	0,6	0,3	0,1	26,9	22,0	11,0	5,5
Ni	1310	0,5	0,4	0,2	0,1	18,8	15,4	7,7	3,9	1,9	1,5	0,8	0,4	75,2	61,6	30,8	15,4

Taulukko 5-2. Matalarikkisen rikastushiekan, prosessivaihtoehdossa 2 (MRH 2), pölyn mukana kulkeutuvien kromin (Cr), kuparin (Cu) ja nikkelin (Ni) teoreettinen kertyminen *maaperään* (irtotiheys= 1 g/cm^3) vuodessa ja teoreettisen pitkänaikavälin tarkastelujakson eli 40 vuoden aikana ilman huuhtoutumista tai eroosiota. Tarkastelu muokkauskerroksessa (syvyys 20 cm) ja pintamaassa (syvyys 5 cm). Rehuntuotantoalueet altistuvat korkeintaan laskeuma suuruudella 25 g/m^2/a.

Metalli	MRH 2 (mg/kg ka.)	Kertymä vuodessa muokkauskerros, syvyys 20 cm (mg/kg)				Pitkän aikavälin kertymä 40 v muokkauskerros, syvyys 20 cm (mg/kg)				Kertymä vuodessa pintamaa, syvyys 5 cm (mg/kg)				Pitkän aikavälin kertymä 40 v pintamaa, syvyys 5 cm (mg/kg)			
		Laskeuma-alueet (g/m2)				Laskeuma-alueet (g/m2)				Laskeuma-alueet (g/m2)				Laskeuma-alueet (g/m2)			
		122	100	50	25	122	100	50	25	122	100	50	25	122	100	50	25
Cr	1450	0,9	0,7	0,4	0,2	35,4	29,0	14,5	7,3	3,5	2,9	1,5	0,7	141,5	116	58,0	29,0
Cu	468	0,3	0,2	0,1	0,1	11,4	9,4	4,7	2,3	1,1	0,9	0,5	0,2	45,7	37,4	18,7	9,4
Ni	1310	0,8	0,7	0,3	0,2	32,0	26,2	13,1	6,6	3,2	2,6	1,3	0,7	127,9	105	52,4	26,2

Pölyn vaikutus maaperän metallien kokonaispitoisuuksiin ilman poistumaa

Pölylaskeuman kromi-, kupari-, ja nikkelikuormituksen perusteella arvioitiin metallien kokonaispitoisuus maassa taustapitoisuus huomioiden. Arviointi toteutettiin riskiperusteisesti teoreettiselle pitkän aikavälin tarkastelujaksolle, neljällekymmenelle vuodelle (Taulukko 5-3). Metallista riippuen muutos taustapitoisuuteen oli (laskeuma-alueella 25 g/m^2/a) muokkauskerroksessa 4–10 %. Pintamaassa muutos oli 15–30 %. Kokonaispitoisuudet, eli taustapitoisuus + metallien kertymä ilman poistumaa, eivät ylitä PIMA-asetuksen (Vna 214/2007) alempaa ohjearvotasoa.

Kromin ja nikkelin laskennalliset pitoisuudet ylittivät niiden ekologiset SHP_{eko} viitearvot (suurin hyväksyttävä pitoisuus, SHP_{eko}, Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2014). Tämä johtuu alueen luontaisesti

koholla olevista taustapitoisuuksista, sillä alueelliset taustapitoisuudet ylittivät asetuksen mukaiset SHP_{eko}-arvot) myös ilman pölylaskeumaa. Kuparin laskennallinen kokonaispitoisuus oli sekä PIMA-asetuksen kynnysarvoa, että ekologista viitearvoa pienempi.

Taulukko 5-3. Hypoteettinen metallipitoisuus muokkauskerroksessa tai pintamaassa teoreettisen tarkastelujakson eli 40 vuoden pölylaskeuman seurauksena laskeuma-alueella 50 ja 25 g/m²/a. Rehuntuotantoalueet altistuvat korkeintaan laskeuma-alueelle 25 g/m².

	kromi, Cr		kupari, Cu		nikkeli, Ni	
Matalarikkinen rikastushiekka, prosessivaihtoehto 2 (mg/kg ka.)	1450		468		1310	
SHPT (eko) (VNa 214/2007)	210		192		120	
SHP (eko) (VNa 214/2007)	120		125		65	
Kynnysarvo VNa 214/2007	100		100		60	
Alempi ohjearvo (VNa 214/2007)	200		150		200	
Ylempiohjearvo (VNa 214/2007)	300		200		750	
Taustapitoisuus (ks. taulukko 4-1)	162		22		61	
Laskeuma-alueet (g/m2)	50	25	50	25	50	25
Taustapitoisuus + pitoisuuslisäys teoreettisella tarkastelujaksolla (40 v) aikana muokkauskerroksessa (mg/kg)	177	169	27	24	74	68
Pitoisuuden muutos muokkauskerroksessa 40 vuoden aikana ilman poistumaa (%)	+8 %	+4 %	+18 %	+10 %	+18 %	+10 %
Taustapitoisuus + pitoisuuslisäys kaivoksen elinkaaren (40 v) aikana pintamaassa, syvyys 5 cm (mg/kg)	220	191	41	31	113	87
Pitoisuuden muutos pintamaassa 40 vuoden aikana ilman poistumaa (%)	26 %	15 %	46 %	30 %	46 %	30 %

Maassa metallien *kokonais*pitoisuudet kuvaavat heikosti ekologista haittaa. Todelliset haittavaikutukset perustuvat metallien biosaatavuuteen, ja niiden kemialliseen esiintymismuotoon. Helposti eliöihin päätyvät liukoiset metallien esiintymismuodot aiheuttavat suuremman vasteen eliöissä. Sen sijaan niukkaliukoisten metallien vaikutukset ovat vastaavasti vähäisemmät. Metallien korkea kokonaispitoisuus ei välttämättä aiheuta haittaa, mikäli metallit esiintyvät kiintoaineksena eikä liukoisessa eli helposti biosaatavassa muodossa.

5.3 Laskennallinen metallien kertyminen rehukasveihin

MINERA-mallin (http://fi.opasnet.org/fi/Minera-hanke) perusteella laskettiin kromin, kuparin ja nikkelin pitoisuudet kasveissa alueella, jossa kokonaispölylaskeuma on pölymallinnuksen mukaan 25 g/m²/a sekä alueella ilman laskeumasta aiheutuvaa metallien kertymää. Pelkkien alueellisten taustapitoisuuksien perusteella arvioitu kertymä kuvaa alueella luontaisesti kasvillisuuteen kertyviä metallipitoisuuksia. MINERA-mallin laskennan biokonsentraatiokertoimena (BCF) käytettiin ympäristöhallinnon esittämiä arvoja (Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2014). Laskennalla arvioitiin metallipitoisuus kasvien versoissa (Cstem), sekä kasvin pinnalla (Cdp) (Taulukko 5-4). Vertailuarvot kirjallisuudesta on esitetty heinäkasvien ja apilan tyypillisille kokonaispitoisuuksille (Cp). Tarkastelu toteutettiin peltojen muokkauskerroksen suurimalla laskennallisella kertymällä hypoteettisen tarkastelujakson (40 vuotta) aikana, ilman metallien poistumaa maaperästä.

Laskennan mukaan kasvin *pinnalle* kertyvien metallien pitoisuudet olivat kromin osalta kirjallisuudessa esitettyjä ominaisuuspitoisuuksia suurempia. *Versoissa* kromi- ja nikkelipitoisuudet olivat myös laskennan mukaan suurempia kuin kirjallisuudessa esitetyt pitoisuudet. Tulosten perusteella pölylaskeuma lisäsi metallien pitoisuuksia kasveissa, mutta muutos oli pieni verrattuna tilanteeseen ilman pölylaskeuman aiheuttamaan vaikutusta. Laskennalliset maanpäällisten kasvinosien kromi- ja nikkelipitoisuudet selittyvät alueen maaperän luontaisesti korkeilla taustapitoisuuksilla, ilman pölylaskeuman vaikutusta.

Kuparipitoisuudet kasvien pintaosissa olivat kirjallisuudessa esitettyjä arvoja pienempiä. Lehtiin pölyn kautta kertyvä kuparipitoisuus oli arvioinnin perusteella huomattavasti pienempää kuin versossa kokonaisuudessaan, eli kuparin ottoon vaikuttaa erityisesti kulkeutuminen juurten kautta varsiosiin, ja pinnalle laskeutuva pölyn merkitys on vähäisempää.

Taulukko 5-4. Kromin (Cr), kuparin (Cu) ja nikkelin (Ni) pitoisuudet laskeuma-alueella 25 g/m^2/a kasvien versoissa (Cstem) sekä pinnalla (Cdp). Pitoisuudet kuvaavat tasoa teoreettiselle pitkän aikavälin tarkastelulle eli jos pölyä olisi kertynyt laskeumana jo 40 vuotta. Vertailuarvot on esitetty kasvin tyypillisenä kokonaispitoisuutena (Cp). Pitoisuusarviot perustuvat muokkauskerroksen kokonaispitoisuuksiin (maan tiheydellä 1 g/cm^3).

		Pinnalle kertynyt pöly (Cdp) mg/kg ka.	Verso (Cstem) mg/kg ka.	Heinäkasvit (Cp)* mg/kg ka.	Apilat (Cp)* mg/kg ka.
Laskeuma-alue, 25 g/m2/a	Cr	2,1	6,8		
	Cu	0,3	3,2		
	Ni	1,0	8,9		
Ilman pölylaskeumaa	Cr	1,8	5,0		
	Cu	0,2	2,4		
	Ni	0,7	6,8		
Pitoisuudet kasvissa kirjallisuuden perusteella	Cr			0,11–0,35	0,2–4,2
	Cu			1,1–33,1	2,0–29
	Ni			<0,07–4,8	<0,5–8,2

*Kabata-Pendias, 2001

5.3.1 Timotei ja muut kasvit

Pölyn aiheuttamaa muutosta porojen rehukasveihin arvioitiin tarkemmin erityisesti timoteilajikkeelle *(Phleum pratense)*. Maaperän muokkauskerroksen suurimman hypoteettisen kertymän (ilman poistumaa) perusteella arvioitiin metallien pitoisuudet MINERA-mallin mukaan timoteille (Nworie ym., 2019), sekä yleisesti kasveille biokonsentraatiokertoimien perusteella (Taulukko 5-5). Tarkastelu toteutettiin 40 vuoden teoreettiselle ajanjaksolle. Arvio metallien kertymisestä timoteihin toteutettiin perustuen 25 g/m^2/a pölylaskeumaan sekä ilman laskeumaa pelkästään alueellisten taustapitoisuuksien perusteella. Pelkkien alueellisten taustapitoisuuksien perusteella arvioitu kertymä kuvaa alueella luontaisesti kasvillisuuteen kertyviä metallipitoisuuksia.

Timotein laskennallinen kromipitoisuus oli suurempi kuin heinille kirjallisuudessa esitetyt kromipitoisuudet. Tämä johtui kohteen maaperän suuresta taustapitoisuudesta, sillä laskeuma-alueella timoteihin laskennallisesti kertyvät kromipitoisuudet eivät juurikaan eronneet pelkästään alueellisen taustapitoisuuden pohjalta arvioiduista timotein kromipitoisuuksista. Nikkeliä ei kertynyt lainkaan timoteihin, kun laskenta toteutettiin nimenomaan timoteille esitetyn biokonsentraatiokertoimen avulla (Nworie ym., 2019).

Kuparin arvioidut pitoisuudet timoteissä vastasivat kirjallisuudessa esitettyjä arvoja, mutta ne olivat selkeästi suuremmat kuin yleisesti kasveille arvioidut pitoisuudet. Tämä johtuu timotein kyvystä ottaa voimakkaasti kuparia juurillaan sekä alueen luontaisesti korkeista taustapitoisuuksista. Kulkeutuminen juurista kasvin muihin osiin on kuitenkin heikkoa (Gharsan ym., 2019). Tulosten perusteella pölyn vaikutus timotein tai yleisesti kasvin kupari-, kromi- tai nikkelin kokonaispitoisuuksiin on melko pieni.

Taulukko 5-5. Kromin (Cr), kuparin (Cu) ja nikkelin (Ni) laskennallinen pitoisuus timoteissä ja yleisesti kasveissa. Cp kuvaa pitoisuutta kasvissa yleisesti, kasvin osaa ei ole tarkennettu. Pitoisuusarvioita kirjallisuudesta on esitetty heinille ja apiloille. BCF= biokonsentraatiokerroin.

		Timotei (*Phleum Pratense)* mg/kg ka.	Kasvi –yleinen mg/kg ka.	Heinät (viitearvo) mg/kg ka.	Apilat (viitearvo) mg/kg ka.
BCF	Cr	0,01*	0,011**		
	Cu	0,53*	0,2**		
	Ni	0,0*	0,028**		
Cp, 25 g/m2/a	Cr	1,7	1,9		
	Cu	12,9	5,3		
	Ni	0,0	2,1		
Cp, ilman pölylaskeumaa	Cr	1,6	1,8		
	Cu	11,7	4,4		
	Ni	0,0	1,7		
Pitoisuudet kasvissa kirjallisuuden perusteella	Cr			0,11–0,35***	0,2–4,2***
	Cu			1,1–33,1***	2,0–29***
	Ni			<0,07–4,8***	<0,5–8,2***

* Nworie ym. 2019, timoteille (*Phleum pratense*) nikkelin kerroin on 0.

**Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2014

***Kabata-Pendias, 2001

Kromin (Cr), kuparin (Cu) ja nikkelin (Ni) pitoisuusestimaatit kasvin pinnalle kertyneessä pölyssä (Cdp) ja versossa laskeuma-alueilla 122–25 g/m^2/a on esitetty liitemateriaalissa yleisesti kasveille (Taulukko 0-1) ja timoteille (Taulukko 0-2).

6. PÖLYN VAIKUTUKSET - METALLIEN BIOSAATAVUUS JA ESIINTYMISMUODOT

Poroihin kohdistuvat pölyn sekundääriset vaikutukset ravinnon kautta riippuvat metallien biosaatavuudesta ja niiden kemiallisista esiintymismuodoista. Biosaatavat, liukoiset metallien esiintymismuodot päätyvät herkemmin porojen ravintokasveihin tai niiden luonnosta saatavaan juomaveteen laskeuma-alueilla.

6.1 Metallien liukoisuus

Pölyn (prosessivaihtoehdon 2 matalarikkisen rikastushiekan) metallien liukoisuutta on tutkittu materiaalin kemiallisia ominaisuuksia tarkastelevissa raporteissa (Sakatti Tailings Static Geochemistry Report, Geochemic Ltd 2020 ja Yhteenveto kaivannaisjätteiden karakterisoinnista sekä kaivosalueen vesien laatuarvioinnista, AFRY Finland Oy 10.2.2023).

Matalarikkisen rikastushiekan pitoisuudet raportissa oli esitetty liukoisuutena kiintoainesta kohti. Tulokset muunnettiin takaisin pitoisuuksiksi liuoksessa (Taulukko 6-1), jotta voitiin arvioida metallien ympäristökäyttäytymistä ja sen merkitystä poron ravinnon kannalta. Koska matalarikkinen rikastushiekka on luokiteltu ei-happoa tuottavaksi molemmille prosessivaihtoehdoille ja pölyllä ei ole tällä perusteella sulfidien hapettumisesta aiheutuvaa happovaikutusta, on pölyn vaikutusten arvioinnissa hyödynnetty ravistelutestin tuloksia. Ravistelutestin tuloksia käytetään siten kuvaamaan pölyn metallien liukenemista ympäristöön.

Kromin ja kuparin liukoisuudet olivat ravistelutestissä alle määritysrajan: Cr< 1 µg/l ja Cu<0,3 µg/l. Talousveden laatuvaatimus (Vna 1352/2015) on kromille 50 µg/l ja kuparille 2 mg/l.

Vetyperoksidilla toteutettavassa hapetustestissä (NAG-testi) liukoisuudet nousivat. Kyseisessä testissä arvioidaan lähinnä aineksen hapontuotto ominaisuuksia ja sen seurauksena lisääntyvää metallipitoisuuden nousua liuoksissa. Matalarikkinen rikastushiekka ei ollut ominaisuuksiltaan happoa muodostavaa, eikä pH laskenut. Testissä käytettävä vetyperoksidi kuitenkin aiheutti muita vaikutuksia. Kromin pitoisuus lisääntyi huomattavasti (yli satakertaisesti). Tämä johtunee niukkaliukoisen kolmenarvoisen kromin hapettumisesta liukoisempaan muotoon eli kuudenarvoiseksi kromaatiksi, sillä vetyperoksidi voi hapettaa kromia. Luonnossa vastaavaa kromin hapettumista ei kuitenkaan ole odotettavissa, sillä vetyperoksidin kaltaista voimakasta hapetinta ei luontaisesti esiinny maaperässä tai luonnonvesissä. Ilmakehän hapen kautta hapettuminen sen sijaan on hidas prosessi, joka edellyttää poikkeuksellisen korkean pH:n (>9). Kuparin osalta liukoisuus lisääntyi hyvin vähän hapetuksen seurauksena.

Nikkeli oli tarkastelluista metalleista liukoisin. Ravistelutestissä pitoisuudet olivat n. 5 µg/l ja hapettaminen ei vaikuttanut liukoisuuteen. Talousveden laatuvaatimus (Vna 1352/2015) nikkelille on 20 µg/l. Tämä voi johtua helppoliukoisimman nikkelin vapautumisesta märästä rikastushiekasta. Mahdollisen kuivaläjityksen seurauksena pölyävän rikastushiekan koostumus vastaa käytännössä kuivaa rikastushiekkaa.

Taulukko 6-1. Kooste matalarikkisen rikastushiekan (prosessivaihtoehto 2) liukoisista ominaisuuksista. Ravistelutestin tulokset 2-vaiheisesta ravistelutestistä (kumulat, L/S 10). Sinisellä merkityt=pitoisuus alle laboratorion määritysrajan.

Parametri	Yksikkö	Ravistelutesti	Ravistelutesti	Ravistelutesti	NAG (pre-boil, ennen käsittelyä)	NAG (post, käsittelyn jälkeen)
L/S eli veden ja kiintoaineksen suhde		2	8	10	100	100
pH	-	9,05	9,2		8,79	9,65
EC	µS/cm	638	183		536	196
Alkaliniteetti (pH 8.3)	mg/L CaCO3	5,5	2,5			
Alkaliniteetti (pH 4.5)	mg/L CaCO3	104	41,5			
pH H2O2 lisäyksen jälkeen	-	3,42	3,74			
Hapon määritys (titraus ph 4,5)	mg/L CaCO3	19	8			
Hapon määritys (titraus ph 8,3)	mg/L CaCO3	37	22			
Nettohapontuotto	mg/L CaCO3	-67	-20			
Kloridi	mg/L	31,3	2,31	8,108		
Sulfaattirikki	mg/L	49,3	9,3	17,3		
Kokonaisrikki (liuk.)	mg/L	62,5	16,6	25,78	10,7	13,7
Ei-sulfaattinen rikki	mg/L	13,2	7,3	8,48		
Natrium, Na	mg/L	92,9	11,3	27,62	6,65	7,97
Magnesium, Mg	mg/L	15,5	5,34	7,372	40	0,795
Kalium, K	mg/L	22,9	10,4	12,9	12,5	15,7
Kalsium, Ca	mg/L	7,99	8,17	8,134	39,3	13,3
Rauta, Fe	mg/L	0,019	0,019	0,019	0,019	0,0693
Alumiini, Al	µg/L	10	10	10	10	10
Arseeni, As	µg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Vismutti,Bi	µg/L	0,1	0,1	0,1	0,5	0,1
Kadmium, Cd	µg/L	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Kromi, Cr	µg/L	1	1	1	108	133
Koboltti, Co	µg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Kupari, Cu	µg/L	0,3	0,3	0,3	5,31	0,3
Lyijy, Pb	µg/L	0,2	0,2	0,2	0,307	0,2
Mangaani, Mn	µg/L	3	3	3	60,1	3
Elohopea, Hg	µg/L	0,025	0,01	0,013	0,01	0,01
Nikkeli, Ni	µg/L	4,02	5,85	5,484	5,67	1,44
Fosfori, P	µg/L	110	15,1	34,08	10	10
Seleeni, Se	µg/L	2,09	1,13	1,322	4,36	6,53
Hopea, Ag	µg/L	0,5	0,5	0,5		0,5
Ti	µg/L	1,54	1	1,108	2,06	2,04
Vanadiini, V	µg/L	1	1	1	10,9	1
Sinkki, Zn	µg/L	1	1	1	1	1

6.2 Liukoisten metallien esiintymismuodot

Tarkasteltavien metallien liukoisia esiintymismuotoja mallinnettiin Visual Minteq – ohjelmistolla (Taulukko 6-2). Mallinnettavan liuoksen koostumukseksi ja pitoisuuksiksi sovellettiin matalarikkisen rikastushiekan 2-vaiheisen ravistelutestin tuloksia. Mallinnus tehtiin alkuperäisen ravistelutestin pH arvossa 9,2 sekä happamampia oloja kuvaavassa pH:ssa 5,0. Happamat ympäristöolosuhteet mallinnettiin, sillä esimerkiksi suoalueilla turvemaa ja luonnonvedet ovat happamia.

Emäksisissä oloissa kromi esiintyy $Cr(OH)_3$ esiintymismuotona (99,9 %), mikä selittää niukkaliukoisuuden (kromi saostuu hydroksidina). Kuparista n. 60 % esiintyy hydroksidina $Cu(OH)_2$ ja 30 % kationisena monohydroksidina ($CuOH^+$). Suurin osa nikkelin *liukoisista* spesieksistä muodostuu helposti biosaatavasta divalentista kationimuodosta Ni^{2+}, loput pääosin hydroksidiesiintymismuotona.

Luonnon happamia olosuhteita simuloivassa pH:ssa 5 kromin pääasiallinen esiintymismuoto mallissa on kationinen hydroksidiesiintymismuoto $Cr(OH)^{2+}$. Kupari ja nikkeli sen sijaan esiintyvät kationisina esiintymismuotoina Cu^{2+} ja Ni^{2+}. Pölyn kuparin ja nikkelin liukoisuus sekä kemiallinen biosaatavuus voi siten lisääntyä happamissa olosuhteissa verrattuna emäksisisiin olosuhteisiin, sillä kationiset muodot ovat hydroksidiesiintymismuotoja helpommin eliöille käyttökelpoisessa muodossa. Kromi esiintyy melko happamassa (pH 5) niukkaliukoisina hydroksideina.

Taulukko 6-2. Matalarikkisen rikastushiekan (prosessivaihtoehto 2) liukoisten yhdisteiden epäorgaaniset esiintymismuodot (Visual Minteq-malli). Tarkasteltavat metallit eli kromi, nikkeli ja kupari paksunnettuna tekstinä.

Komponentti	pH 9,2		pH 5		Komponentti	pH 9,2		pH 5	
	%	Esiintymismuoto	%	Esiintymismuoto		%	Esiintymismuoto	%	Esiintymismuoto
Rikki (II)	92,3	HS^{-1}	0,8	HS^{-1}	Lyijy	0,6	Pb^{+2}	99,0	Pb^{+2}
	0,7	H_2S (aq)	97,3	H_2S (aq)		20,5	$PbOH^+$	0,2	$PbOH^+$
	1,8	$NiHS^+$	0,0	$NiHS^+$		12,2	$Pb(OH)_2$ (aq)	0,8	$Pb(HS)_2$ (aq)
	0,1	$CoHS^+$	0,0	$CdHS^+$		0,2	$Pb(OH)_3^-$	0,0	$PbSO_4$ (aq)
	0,6	$MnHS^+$	0,0	$Hg(HS)_2$ (aq)		66,5	$Pb(HS)_2$ (aq)		
	0,0	$Zn_2S_3^{-2}$	1,7	AgHS (aq)					
	0,5	$Pb(HS)^2$ (aq)							
	0,0	$CdHS^+$							
	0,4	$Cd(HS)^2$ (aq)							
	0,0	HgS_2^{-2}							
	0,0	HgH_S^{2-}							
	0,3	AgHS (aq)							
	1,4	AgS^-							
	1,7	ZnS (aq)							
Natrium	100,0	Na^{+1}	100,0	Na^{+1}					
Kalium	100,0	K^{+1}	100,0	K^{+1}					
Kalsium	99,9	Ca^{+2}	100,0	Ca^{+2}	Mangaani	94,3	Mn^{+2}	100,0	Mn^{+2}
	0,0	$CaOH^+$	0,0	$CaSO_4$ (aq)		2,5	$MnOH^+$	0,0	$MnHS^+$
	0,0	$CaSO_4$ (aq)				0,0	$Mn_2(OH)_3^+$		
	0,0	$CaHPO_4$ (aq)				3,1	$MnHS^+$		
	0,1	$CaPO_4^-$				0,1	$MnHPO_4$ (aq)		
Rauta	7,0	$Fe(OH)_2^+$	5,6	$FeOH^{+2}$	Elohopea	75,7	HgS_2^{-2}	96,9	$Hg(HS)_2$ (aq)
	4,8	$Fe(OH)_3$ (aq)	94,3	$Fe(OH)_2^+$		0,0	$Hg(HS)_2$ (aq)	3,1	$HgHS_2^-$
	88,2	$Fe(OH)_4^-$	0,1	$FeHPO_4^+$		24,2	$HgHS_2^-$		
Alumiini	0,1	$Al(OH)_3$ (aq)	49,7	Al^{+3}	Nikkeli	68,1	Ni^{+2}	99,9	Ni^{+2}
	99,9	$Al(OH)_4^-$	35,3	$AlOH^{+2}$		9,5	$NiOH^+$	0,1	$NiHS^+$
			10,6	$Al(OH)_2^+$		17,1	$Ni(OH)_2$ (aq)	0,0	$NiSO_4$ (aq)
			0,3	$Al(OH)_3$ (aq)		0,3	$Ni(OH)_3^-$		
			0,0	$Al(OH)_4^-$		5,1	NiH_S^+		
			0,2	$AlSO_4^+$		0,0	$NiHPO_4$ (aq)		
			4,0	$AlHPO_4^+$					
			0,0	$Al_2PO_4^{+3}$					
Kadmium	0,7	Cd^{+2}	81,8	Cd^{+2}	Hopea	17,2	AgHS (aq)	100,0	AgHS (aq)
	0,1	$CdOH^+$	17,4	$CdHS^+$		0,1	$Ag(HS)_2^-$	0,0	AgS^-
	17,0	$CdHS^+$	0,7	$Cd(HS)_2$ (aq)		0,0	$AgHS2^{-2}$		
	82,3	$Cd(HS)_2$ (aq)				82,7	AgS^-		
Kromi	0,1	$Cr(OH)_2^{+1}$	3,6	$Cr(OH)_2^{+1}$	Titaani	99,8	$Ti(OH)_4$	99,9	$Ti(OH)_4$
	99,3	$Cr(OH)_3$ (aq)	4,9	Cr^{+3}		0,2	$Ti(OH)_5^-$	0,1	$Ti(OH)_3^+$

Komponentti	pH 9,2		pH 5		Komponentti	pH 9,2		pH 5	
	%	Esiintymismuoto	%	Esiintymismuoto		%	Esiintymismuoto	%	Esiintymismuoto
	0,5	$Cr(OH)_4$-	91,3	CrOH+2					
			0,2	$Cr(OH)_3$ (aq)					
Koboltti	57,1	Co+2	100,0	Co+2	Vanadiini	73,1	HVO_4^{-2}	0,0	HVO_4^{-2}
	18,0	CoOH+	0,0	CoHS+		26,9	$H_2VO_4^-$	0,2	VO_2^+
	22,7	$Co(OH)_2$ (aq)						99,8	$H_2VO_4^-$
	2,2	CoHS+							
	0,0	$CoHPO_4$ (aq)							
Kupari	0,8	Cu+2	99,7	Cu+2	Sinkki	2,1	Zn^{+2}	100,0	Zn^{+2}
	30,9	CuOH+	0,2	CuOH+		2,2	$ZnOH^+$	0,0	$ZnSO_4$ (aq)
	7,1	$Cu(OH)_3$-	0,0	$CuSO_4$ (aq)		65,7	$Zn(OH)_2$ (aq)		
	60,7	$Cu(OH)_2$ (aq)				0,3	$Zn(OH)_3^-$		
	0,5	CuS(aq)				0,2	$Zn_2S_3^{-2}$		
Magnesium	99,6	Mg+2	100,0	Mg+2		29,4	ZnS (aq)		
	0,4	MgOH+							
	0,0	$MgHPO_4$ (aq)							
Rikki (VI)	100,0	SO_4^{-2}	99,8	SO_4^{-2}	Seleeni	14,0	$HSeO_3^{-1}$	99,6	$HSeO_3^{-1}$
			0,1	HSO_4^-		86,0	SeO_3^{-2}	0,0	SeO_3^{-2}
			0,1	$AlSO_4^+$				0,4	H_2SeO_3 (aq)
Kloori	100,0	Cl^{-1}	100,0	Cl^{-1}					
Fosfori	0,1	PO_4^{-3}	0,6	HPO_4^{-2}					
	98,9	HPO_4^{-2}	95,2	$H_2PO_4^-$					
	1,0	$H_2PO_4^-$	0,1	H_3PO_4					
	0,0	$MgHPO_4$ (aq)	4,1	$AlHPO_4^+$					
	0,0	$CaPO_4^-$							
	0,0	$MnHPO_4$ (aq)							

6.3 Happamuuden vaikutus liukoisuuteen ja kemialliseen biosaatavuuteen

Metallien kemiallinen käyttäytyminen, ja siten niistä aiheutuvat vaikutukset liittyvät myös ympäristön ominaisuuksiin. Rikastushiekkapölyn mineraalien rapautumiseen, metallien vapautumiseen ja niiden liukoisuuteen vaikuttavat mm. maaperän ominaisuudet (kuten pH, orgaanisen aineksen pitoisuus). Liukoisuustulosten perusteella kromin, nikkelin tai kuparin liukoiset pitoisuudet (Taulukko 6-1) vesissä ovat pieniä ja alle talousvedelle esitettyjen laatuvaatimusten. Happamissa luonnonvesissä liukoisuus voi mahdollisesti lisääntyä, lähinnä kuparin ja nikkelin osalta (Taulukko 6-2). Kupari kuitenkin pidättyy voimakkaasti orgaaniseen ainekseen (kovalenttisin sidoksin keskuskationiksi) tai elektrostaattisesti maaperän kationinvaihtopinnoille (humus, savimineraalit). Tehokas pidättyminen maaperään vähentää kulkeutumista vedessä. Happamuuden vaikutus nikkelin liukoisuuteen ei ole yhtä voimakas kuin kuparilla, sillä sekä happamissa että emäksissä oloissa pääasiallinen esiintymismuoto on Ni^{2+}. Kationisen Ni^{2+} muodon osuus on kuitenkin hieman suurempi pH:ssa 5 ja siten nikkelin liukoisuus happamissa oloissa on vastaavasti hieman suurempaa. Tarkasteltavista metalleista nikkelin kemiallinen biosaatavuus on suurinta.

Rikastushiekan ravistelutestissä pölyn määrä on suuri verrattuna tilanteeseen ympäristön laskeuma-alueella. Pölyn kiintoaineksen määrä suhteessa ympäröivään veteen on pienempää esimerkiksi suoalueilla. Pitoisuudet ympäristön vesissä ovat siten lähtökohtaisesti pienemmät kuin ravistelutestissä. Siten esimerkiksi porojen altistumista juomaveden kautta pölyperäiselle nikkelille tai kuparille ei arvioida tapahtuvan haitallisissa pitoisuuksissa.

Pölystä liukenevien alkuaineiden liukoisuusskenaariot riippuvat pölyn geokemiallisten ominaisuuksien lisäksi mm. vuodenajoista ja maaperän ominaisuuksista kuten lajitekoostumus, pH, orgaanisen aineksen pitoisuus/koostumus, redox-potentiaali. Lumettomalla ajalla pöly laskeutuu maanpinnalle, jolloin sen liukoisuuspotentiaalia säätelee lähinnä maaveden määrä ja laatu sekä toisaalta sadanta ja mahdollisesti maanpinnalle kertynyt karike ja kasvillisuus. Talvella pölyä kerääntyy lumen pinnalle, mutta pakkasilla vapaan veden osuus pieni, joten liukoisuus on vähäistä. Sulamisveden aikaan metallien liukoisuutta lumesta säätelee sulamisveden ominaisuudet.

6.4 Metallien vaikutus kasvillisuuteen

Matalarikkisen rikastushiekan sisältämistä metalleista nikkeli ja kupari on tunnistettu kasvien mikroravinteiksi. Niiden hyödyllisyys perustuu pitoisuuteen. Pienissä pitoisuuksissa metallit voivat olla hyödyllisiä kasvinravitsemuksen näkökulmasta, kun taas liian suurissa pitoisuuksissa metallit ovat sen sijaan myrkyllisiä kasveille. Kromin välttämättömyydestä hivenravinteena ei ole yhtä vakiintunutta näkemystä.

Kokonaispitoisuuksien sijaan merkittävämpää on raskasmetallien biosaatavuus, johon vaikuttaa erityisesti niiden kemiallinen esiintymismuoto ja liukoisuus. Esimerkiksi kromin esiintymismuodoista kuudenarvoinen kromi ei ole ravinne, vaan sillä on ainoastaan fytotoksisia ominaisuuksia. Biosaatavuuteen vaikuttaa kemiallisen saatavuuden lisäksi kasvin ja maaperän ominaisuudet. Metalleja akkumuloivat tai hyperakkumuloivat eli metalleja keräävät tai voimakkaasti keräävät kasvit imevät enemmän metalleja maaperästä. Esiintymismuotojen perusteella (Taulukko 6-2) pölyn nikkelin biosaatavuus on kuparia ja erityisesti kromia huomattavasti suurempaa. Nikkeli esiintyy liukoisemmissa muodoissa.

Metallien vaikutusta kasveihin arvioitiin maaperän ekologisiin vaikutuksiin perustuvien viitearvojen (SHPeko, Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2014) avulla (Taulukko 6-3). Arvioinnissa hyödynnettiin myös kirjallisuuslähteistä saatuja ekotoksisuusarvoja sekä tutkimustietoa metallien vaikutuksista kasvillisuuteen.

Nikkelin ja kromin pitoisuudet voivat Sakatin suunnitellun kaivoksen kaikilla laskeuma-alueilla ylittää niille esitetyt ekologiset SHP-viitearvot. Kromille pitoisuus ylittyy jo alueen luontaisten taustapitoisuuksien perusteella, ilman suunnitellun kaivoksen pölylaskeumaa. Nikkelin luontainen taustapitoisuus on vastaavasti hyvin lähellä ekologista viitearvoa. Kromin kemiallinen biosaatavuus on kuitenkin esiintymismuototarkastelun (Taulukko 6-2) perusteella hyvin niukkaa, eikä sen siten arvioida olevan haitallista kasveille.

Nikkelin kemiallinen biosaatavuus sen sijaan oli suurempaa, ja vastaavasti haittavaikutuksia voi esiintyä kasveissa jo pienemmissä kokonaispitoisuuksissa. Luontaisesti korkeiden taustapitoisuuksien takia kasvillisuus on kuitenkin sopeutunut melko korkeisiin maaperän nikkelipitoisuuksiin. Liukoisuuskokeiden perusteella pölyperäisen nikkelin liukoinen pitoisuus (ravistelutestissä liukoisuus <0,006 mg/l) ei ylitä kasveille selkeästi haitallista pitoisuutta (1 mg/l).

Kuparin luontaiset taustapitoisuudet Sakatin hankealueella tai suunnitellun kaivoksen toiminnasta eivät ylitä ekologisia SHP-viitearvoja, eikä liukoiset pitoisuudet ylitä haitalliseksi esitettyjä pitoisuuksia, jotka ovat 0,5-20 mg/l. Kuparin liukoisuus oli ravistelutesteissä < 0,003 mg/l.

Kaivosten pölyvaikutusta kasvien ja porojen kudosten kupari-, kadmium- ja sinkkipitoisuuksiin on tutkittu aiemmin Ruotsissa, Aitikin kaivoksen alueella (Frank, 1990). Porojen ravintokasveista mitattiin metallipitoisuuksia 8 km säteellä avolouhoksesta ja vertailun vuoksi myös 200 km etäisyydeltä avolouhoksesta. Metallipitoisuuksia porojen elimissä tutkittiin alueella laiduntavista poroista sekä muualla laiduntavasta verrokkipororyhmästä. Pölyn koostumusta ei tutkimusraportissa kuvattu, mutta etenkin kuparilaskeuman pitoisuudet olivat todella suuria, 8 km etäisyydellä kaivoksesta yli 5 g/m^2/a. Sakatin suunnitellun kaivosalueen pölymallinnuksen perusteella kuparilaskeuma kaivoksen tehdasalueen välittömässä läheisyydessä on 0,6 g/m^2/a ja rehuntuotantoalueella suurimmillaan 0,0014 g/m^2/a (Sakatin pölyvaikutusten arviointi porojen sekundäärinen altistuminen lähtöaineisto ja taustaselvitys, Ramboll, 2024).

Nämä pitoisuudet alittavat selkeästi Aitikin alueella todetut kuparilaskeuman pitoisuudet. Aitikin alueen ravintokasveissa havaittiin kohonneita metallipitoisuuksia 5-10 km säteellä kaivoksesta. Tutkimus osoitti, että poron ravintokasveista jäkälä on suurin metallien kerääjä ja havaitut kupari, kadmium- ja sinkkipitoisuudet 1-8 km etäisyydellä kaivoksesta olivat erittäin suuria (2,2-180 mg/kg). Vaikka poron ravintokasveissa todettiin kohonneita metallipitoisuuksia, poron kudoksissa todetut pitoisuudet eivät kuitenkaan eronneet verrokkiryhmästä.

Taulukko 6-3. Kromin, kuparin ja nikkelin vaikutukset kasveihin. SHP=suurin hyväksyttävä pitoisuus, ekologinen (Vna 214/2007), PNEC=Predicted No Effect concentration =arvioitu vaikutukseton pitoisuus, NOEC=No Observed Effect Concentration=vasteeton pitoisuus, LOEC=Lowest Observed Effect Concentration=pienin vasteellinen pitoisuus, EC10= Effective Concentration 10 %, vaikutus havaittu 10 % koe-eliöissä.

	Kromi (Cr^{3+})	Kupari (Cu)	Nikkeli (Ni)	Lähteet
Maaperä SHP (eko)	120 mg/kg	125 mg/kg	65 mg/kg	Ympäristöhallinon ohjeita 6/2014
Metallien kulkeutuminen lehtien kautta	Kasvit todennäköisesti pystyvät pienissä määrin ottamaan metalleja myös lehtiensä kautta, mutta ilmiö on huonosti tunnettu.			Shahid ym. 2017
Fytotoksisuus, krooninen (mg/kg =kuiva-aine pitoisuus maassa, mg/l hydroponinen ympäristö)	NOEC (4 vko) 150 mg/l *Allium cepa* NOEC >150 mg/kg *Avena sativa* LOEC (56 d) 100 mg/kg *Hordeum vulgare*	NOEC (3 kk) 338 mg/kg NOEC (28 d) 42 mg/kg NOEC (4 d) 42-147 mg/kg EC10 (7 kk) 42-158 mg/kg EC10 (6,5 kk) 181-192 mg/kg	NOEC (45 d) 97-110 mg/kg NOEC (28 d) 28 mg/kg EC10 (14 d) 11-180 mg/kg EC10 (5d) 24-370 mg/kg	ECHAn eli Euroopan kemikaaliviraston www- sivut: Kromin osalta supporting study tiedot.
Vaikutukset kasvissa	Myrkyllisyys puuvillalle kromisulfaattina *(Gossypium spp.)* 0.0001 M = 39,2 mg/l aiheutti 83–88 % saannin pienenemisen lehdissä. (lehdissä 0,022 mg Cr/g, varsissa 0,015 mg Cr/g) (Rehab & Wallace 1 978 c).	Cu $(NO_3)_2$: 20 mg/l huonontaa kauran kasvua; 0,5 mg/l, erittäin myrkyllistä pellavalle vesiviljelyssä; 6.4—31.8 mg/l, vahingollista sokerijuurikkaalle, juurikkaille, perunalle hiekkaviljelyssä 2 mg/l, kaura, lievä kloroosi; 10 mg/l, kaura, voimakas kloroosi (Sax 1986).	Fytotoksisuus puuvillalle nikkelisulfaattina *(Gossypium spp.)* 0.00001 M=1,55 mg/l (Rehab & Wallace 1978d).	Nikunen ym.2000
		Cu: Soijan (*Glycine max*) kasvussa itämisen jälkeen havaittu haittaa. Pienentymä varren ja lehtien kuivapainossa kuparipitoisuudella n. 1 mg/l (1 ppm). Lehtien ja varsien kuparipitoisuus 0,00287 mg Cu/g (Vesper & Weidensaul 1978) CuSO4: Härkäpapua (*Vicia faba*) kasvatettiin ravinneliuoksessa, jossa 1 mg Cu/l, havaittiin muutoksia juuren meristeemissä (Kostal 1974).	Ni: Soijan (*Glycine max*) kasvussa itämisen jälkeen havaittu haittaa. Pienentymä varren ja lehtien kuivapainossa nikkelipitoisuudella n. 1 mg/l (1 ppm). Lehtien ja varsien nikkelipitoisuus 0,00140 mg Ni/g (Vesper&Weidensaul 1978).	Nikunen ym. 2000

7. PORON ALTISTUMINEN PÖLYLASKEUMAN METALLEILLE RAVINNON KAUTTA

7.1 Porojen altistuminen

Paliskunnille toteutettiin haastattelu kysely (Sakatin pölyvaikutusten arviointi porojen sekundäärinen altistuminen lähtöaineisto ja taustaselvitys, Ramboll, 2023). Paliskunnille tehdyn haastattelun perusteella (yhteensä 18 vastausta) kolme vastaajista raportoi rehuntuotanto- tai peltoalueiden sijaitsevan mallinnetun kaivoksen pölylaskeuman alueella (tuotantoalueet yhteensä >32 ha). Karttatarkastelun perusteella suurin pölylaskeuma peltoalueilla on 25 g/m^2/a. Kolmentoista vastaajan rehuntuotantoalueet sijaitsivat 10 km säteellä suunnitellusta kaivoksesta. Kuusi vastaajaa ilmoitti porojensa laiduntavan laskeuma-alueella ja kymmenen 10 km säteellä kaivoksesta. Laidunajat laskeuma-alueella vaihtelivat 4–7 kk/v välillä ja kaivoksesta 10 km säteellä 3–12 kk/v. Maastossa tapahtuvaa lisäruokintaa tapahtui 4–5 kk/v. Vasat poistuivat vastausten perusteella tarharuokinnasta 3 päivän – vuoden ikäisinä, minkä jälkeen vasoja ruokittiin maastossa 1-5 kk/v. Tarha- ja maastoruokinnassa käytettiin heinää, säilörehua, jäkälää, lehtikerppuja ja luppoa. Rehuntuotanto- ja peltoalueilla kasvatettiin laskeuma-alueella heinää (timotei, nurminata, apila) ja 10 km säteellä kaivoksesta lisäksi juureksia ja puutarhakasveja. Noin puolet ilmoitti toimittavansa rehua myös muualle Lapin lääniin.

Kaksi vastaajaa raportoi laskeuma-alueella tuotetun rehun vastaavan 20–100 % kokonaisrehun määrästä ja 13 vastaaja ilmoitti kaivoksesta 10 km säteellä tuotetun rehun osuudeksi 8–100 %. Noin puolet rehuntuottajista ilmoitti toimittavansa rehua ulkopuolisille toimijoille. Porojen tarhaus laskeuma-alueella vaihteli 4–6 kk/v välillä, ja kaivoksesta 10 km:n säteellä 3–12 kk/v. Tarhausaikana porot saavat rehuravintoa.

Poron mahdollinen ravinnon kautta tapahtuva altistuminen on kuvattu taulukossa 7–1. Alueen porojen ravintokasvillisuus perustuu laidunkasvillisuuteen ja rehuun. Alueen poroille syötetään paikallisesti tuotettua rehua sekä ostorehua. Laidunkasvillisuus perustuu erityisesti suoalueen kasvillisuuteen ja yleisesti porojen on arvioitu käyttävän ravinnokseen 350 erilaista ravintokasvia. Lisäksi porot voivat altistua maan, lumen, tai puiden runkojen pinnalle laskeutuneelle pölylle ravintoa etsiessään.

Tämän työn perusteella pöly ei lisää rehuntuotantoalueilla kasvien metallinottoa merkittävästi, joskin korkeiden maaperän taustapitoisuuksien takia kromin ja nikkelin pitoisuudet kasveissa voivat olla luontaisesti koholla. Hyvin lähellä kaivosaluetta pölylaskeuman seurauksena pitoisuudet kasvillisuudessa ovat suurempia. Riskiä kuparin, kromin ja nikkelin liukenemista porojen juomaveteen haitallisissa pitoisuuksissa ei pidetä merkittävänä. Rikastushiekan liukoisuustulosten perusteella kromin, nikkelin tai kuparin liukoiset pitoisuudet vesissä ovat pieniä ja alle talousvedelle esitettyjen laatuvaatimusten. Happamissa luonnonvesissä liukoisuus voi mahdollisesti lisääntyä, lähinnä kuparin ja nikkelin osalta. Tarkastelun perusteella merkittävin altistuminen pölylaskeuman metalleille tapahtuu poron lajityypilliseen ravinnonhankintaan liittyen.

Taulukko 7-1. Poron mahdollinen ravinnon kautta tapahtuva altistuminen pölylaskeumalle.

Suunkautta: ravinto	Tarkennus	Laskeuma-alueen vaikutus
Emon maito	ei erikseen arvioitu	ei suoraan, mahdollisesti epäsuorasti emon kautta
Kasvit ja niiden pinnalle laskeutunut pöly	Laidunkasvit	Pitoisuudet laskeuma-alueella ja poron laiduntaminen alueilla
	Luppo (jäkälä rungoilla, oksilla)	
	Naava	
	Raate	
	Tupasvilla	
	Korteet	
	Koivunsilmut	
	Sienet	
	Marjat	
	Varvut	
	muut ravintokasvit	
	Rehu/heinä	Rehuntuotanto laskeuma-alueilla, mahdollinen pitoisuuden muutos kasvissa
	Timotei (referenssikasvina paikalliselle heinälle)	
	Nurminata	
	Apila	
	Ostorehu	
	Juomavesi laiduntaessa	Pitoisuudet laskeuma-alueella ja poron laiduntaminen alueilla
	Suon painanteista	
Suun kautta, suora altistus pölylle ravinnon etsimistilanteessa		Pitoisuudet laskeuma-alueella ja poron laiduntaminen alueilla
	lumen pinnalle laskeutunut	
	maan pinnalle laskeutunut	
	runkojen/oksien pinnalle	
	muu lajityypillinen altistus suun kautta	

7.2 Metallien haittavaikutuksia poroihin

Kirjallisuudessa ei ole juurikaan käsitelty poron osalta lajispesifistä toksisuutta tai biokemiallisia vasteita kromin, kuparin tai nikkelin osalta. Nisäkkäisiin (ensisijaisesti poroihin, toissijaisesti märehtijöihin ja viimeiseksi muihin nisäkkäisiin) kohdistuvia viitearvoja tai vaikutuksia koottiin kirjallisuuden perusteella (Taulukko 7–2). Metallien kokonaispitoisuuksia eri kudostyypeissä on määritetty lähinnä ihmisen ravitsemuksen näkökulmasta tai toisaalta ympäristön pilaantuneisuutta kuvaavassa bioindikaattoriroolissa. Kuparin on havaittu kertyvän luuytimeen ja kromin maksaan (Hassan ym., 2013). Tarkasteltujen metallien absorptio ruoansulatuselimistöstä on kirjallisuuden perusteella heikkoa.

Toksisuusdataa kerättiin märehtijöille myös ekotoksisuustietokannasta (US EPA Ecotox). Saatujen tulosten perusteella vaikutuksettomat kuparin pitoisuudet ravinnossa olivat kuparisulfaattina 40–180 mg/kg (kuiva-aineessa). Kuparin osuus tästä on n. 16–72 mg/kg. Kromille ja nikkelille ei ollut saatavilla ravintoperusteista toksisuusdataa.

Kirjallisuudessa kuparin kroonisia toksisuusvaikutuksia on märehtijöistä havaittu lähinnä lampailla, esimerkiksi rehun kuparipitoisuudella 30 mg/kg. Lehmillä haittavaikutuksia sen sijaan ei esimerkiksi havaittu, kun niille syötettiin 5 g kuparisulfaattia vuorokaudessa yhdeksän kuukauden ajan (Todd, 1969). Karibuille kuparin on todettu olevan toksista vain erittäin suurissa pitoisuuksissa, sillä homeostaattisesti säädelty ylimääräinen kupari erittyy virtsaan (Gamberg & Whitehorse, 1997). Vasikoille on havaittu kroonisia haittavaikutuksia 1–2 g päiväannoksella (Reis, 2010).

Nikkelin akuutti myrkytys vaikuttaa keskushermostoon. Muita toksisia vaikutuksia on havaittu mm. immuunipuolustusjärjestelmässä, elinten biomassassa, luun tiheydessä ja lisääntymisvasteissa. Nisäkkäille on raportoitu toksisuusvaikutuksia ravinnon nikkelipitoisuuksilla >250 mg/kg (Nielsen, 1984). Kromia ei pidetä erityisen toksisena nisäkkäille (ECHAn tietokanta), ja ravinnon haitallisille pitoisuuksille ei löytynyt viitearvoja.

Ravinnon vaikutus metallipitoisuuksiin porojen lihaksissa tai elimissä

Kromi, kupari ja nikkeli absorboituvat heikosti poron kudoksiin. Kanadalaistutkimuksessa porojen kudoksissa ei havaittu kromi- tai nikkelipitoisuuksien nousua kaivos- tai sulattamoalueiden läheisyydessä pölylaskeumista tai ravintokasvien kohonneista pitoisuuksista huolimatta (Bernhoft, 1999 ja Frank, 1990). Porojen sukupuoli tai ikä ei vaikuttanut pitoisuuksiin (Bernhoft, 1999). Venäjällä sen sijaan on havaittu Rybatsjij Ostrovin nikkelisulattamon alueella laiduntavien porojen lihassa hieman korkeampia nikkelipitoisuuksia muilla alueilla tuotettuun poronlihaan verrattuna, mutta Kanadan karibuihin ei ollut eroa havaittavissa (Bernhoft, 1999).

Taulukko 7-2. Viitearvoja ja vaikutuksia poroon tai nisäkkäisiin. NOEL (no-observable-effect-level), NOAEL (No-observed-adverse-effect level) ja LD50 = lethal dose for 50 % of test animals eli kuolettava annos 50 % testieliöistä.

Vaste:	Metallin raportoitu vaikutus:	Lähteet:
Metallin kertyminen porossa	Cr: kertyy luuytimeen, Cu: kertyy maksaan	Hassan ym. 2013
Absorptio (teuraseläimet/nisäkkäät)	Ni: oraalinen absorptio heikkoa. Erittyy virtsassa Cu: erittyy virtsassa, erittäin suurissa pitoisuuksissa voi erittyä maksaan	Ni:EFSA, 2015 Cu: Gamberg & Whitehorse, 1997
Kertyminen eläimeen ravinnon kautta	Cr NOEL 0,1 % ravinnossa *(Bos taurus - raskaus*)	Nikunen ym. 2000
Biokemialliset vaikutukset eläimessä ravinnon kautta	Cr NOEL 0,1 % ravinnossa (Bos taurus)	Nikunen ym. 2000
Metabolia nisäkkäissä Syöpähaitallisuus	Cr: Ei selvyyttä. Cr^{3+} imeytyy heikosti oraalisesti. Cr^{6+}imeytyy tehokkaammin ja pelkistyy elimistössä Cr^{3+}:ksi Ainoastaan Cr^{6+}	Nikunen ym. 2000 ECHA
Haittavaikutuksia (nisäkkäät)	Ni: oraalinen NOAEL (lehmä) =1,34 mg/kg, NOAEL (sika)= 1,34 mg/kg (EFSA, 2015)	EFSA, 2015
Haittavaikutuksia (nisäkkäät)	Cu(NO3)2: 2—4 mg, päivittäinen saanti, rotat, ei vaikutusta; 6—9 mg päivittäinen saanti, rotat, haitallinen; 1 g päivittäinen saanti, koirat, turvallinen; 2 g päivittäinen saanti, lampaat, tappava; 5 g, päivittäinen saanti 18 kk ajan, karja, sietävät; 1.5 g CuSO4, päivittäin 30-80 d, lampaat, krooninen myrkytys; 1 mg CuSO4, anemian hoitoon käytetty päiväannos sioilla Cr: LD50, CrCl3, 1870 mg/kg oraalinen rotta (Christensen 1973) CrVI: 19,8 mg/kg oral-rat (NIOSH1983) Cu: LD50 CuSO4, 300 mg/kg oral-rat (Lewis & Sweet 1984)	Nikunen ym. 2000
Mutageenisyys	Cr3+ ei mutageeninen (WHO 1988) CrVI suolot mutageenisiä nisäkkäille in vivo ja in vitro (WHO 1988)	Nikunen ym. 2000
Teratogeenisyys	Cu: ei havaittu	Nikunen ym. 2000

8. MUUT VAIKUTUKSET

Paliskuntien huolenaiheena on ollut myös pölyn vaikutus raavaiden porojen hampaisiin. Yleisesti tarharuokinnan on havaittu kuluttavan porojen poskihampaita ja kallionpinnalta tapahtuvan ravinnon hankinnan (jäkälät) etuhampaita (mm. Nieminen, 2014). Mahdollinen vaikutus hampaisiin voi teoriassa perustua ruoan tai ravinnon hankinnan kautta suuhun päätyvien partikkelien lisääntyneeseen määrään ja niiden morfologiseen rakenteeseen sekä kokoon. Tässä työssä vaikutusta ei erikseen arvioitu, sillä tutkimustietoa pölyn mahdollisesta vaikutuksesta porojen hampaisiin ei ollut saatavilla.

YVA-menettelyn yhteydessä laaditussa porotalousselvityksessä todettiin, että yleisesti kaivostoiminnan vaikutusta porojen häiriintymiseen on tutkittu vähän. Puolikesyjen porojen osalta välttämiskäytöstä on havaittu avolouhoksen läheisyydessä. Käytöksen pääteltiin johtuvan visuaalisista muutoksista, äänistä ja hajuista sekä yleisestä ihmistoiminnan aktiivisuudesta (Eftestøl ym., 2019). Vastaavia havaintoja välttämiskäytöksestä on Pohjois-Amerikan karibuista (Boulanger ym., 2012). Metsäkaribuilla välttelyä oli havaittu kuuden kilometrin säteellä kaivoksesta. Välttely osin jatkui toiminnan siirtyessä maanalaiseksi. Pääsääntöisesti välttelyn on arveltu johtuvan visuaalisista vaikutuksista ja häiritsevistä äänistä. Avolouhosten osalta välttelykäytös on yhdistetty myös leviävään pölyyn. Kokonaisuudessaan välttelyä todettiin 14 km säteellä avolouhoksesta.

9. EPÄVARMUUSTEKIJÄT

Pölymalli ei huomioi suurempaa kertakuormitusta lumien sulaessa tai vaihtelua pölylaskeuman määrässä. Metallipitoisuuksia ei ole määritetty erikseen rikastushiekan pölyävästä hienoaineksesta, vaan arviossa käytettiin matalarikkisen rikastushiekan keskiarvopitoisuuksia.

Pölyn geokemialliset ominaisuudet perustuivat matalarikkisen rikastushiekan tutkittuihin pitoisuuksiin. Liukoisuutta ei ollut testattu happamissa ympäristöolosuhteissa.

Kertyminen kasveihin määritettiin kokonaispitoisuuksien perusteella, mikä ei aina indikoi metallien todellista biosaatavuutta ja siten pitoisuutta kasveissa. Lisäksi biokonsentraatiokertoimet (BCF) riippuvat kasvilajien lisäksi todellisuudessa myös maaperän ominaisuuksista, joita ei tarkasteltu tarkemmin tässä työssä.

Altistuminen Kokonaisaltistumista ei saatavilla olevien tietojen perusteella voitu arvioida, eikä sovellettavia viitearvoja tähän olisi ollut myöskään saatavilla.

Maaperän heterogeenisyys ja turvealueet, taustapitoisuudet vaikuttavat arvioihin. Turvealueille ei ole esitetty erikseen taustapitoisuuksia ja maaperän heterogeenisyyden takia pitoisuudet voivat vaihdella huomattavasti. Lisäksi pöly ei todellisuudessa kerry tasaisesti maaperään.

Haittavaikutukset Toksisuusdataa ei ollut saatavilla nimenomaan poroille ja toksisuusvaikutukset riippuvat eliölajista.

10. YHTEENVETO

Suunnitellun kaivoksen pölylaskeumalla ei ole merkittävää vaikutusta porojen rehuntuotantoalueiden kasvien laskennallisiin kromi-, kupari- tai nikkelipitoisuuksiin. Pölyn sisältämä kromi on niukkaliukoista ja heikosti kasveille biosaatavassa muodossa. Kupari ja nikkeli ovat kromia helpommin kasveille käyttökelpoisessa esiintymismuodossa, mutta niiden liukoiset pitoisuudet olivat alhaisia. Siten päätyminen kasviin juurten kautta on vähäistä.

Ravintokasvien metallipitoisuudet lähellä suunniteltua kaivosaluetta voivat olla rehuntuotantoalueita suurempia pölyn kokonaislaskeuman ollessa suurempi, erityisesti nikkelin osalta. Laidunalueiden kasvillisuus eroaa myös rehukasveista, ja erityisesti jäkälä on tunnistettu metallien hyperakkumuloijaksi eli kasviksi, johon voi ottaa maasta suuria määriä metalleja. Lisäksi metallien liukoisuus ja siten myös biosaatavuus pölystä voi olla suurempaa suoalueiden happamassa ympäristössä. Vastaavasti pitoisuudet porojen juomavedessä suopainanteiden kautta voi olla arvioitua suurempia. Pölyn metallien liukoisuutta ei ole tutkittu happamissa oloissa.

Porojen altistuminen rehun kautta pölyjen metalleille ei tarkastelun perusteella ole merkittävää. Porojen suora altistuminen pölylle ravinnonhankintaan liittyvien toimintojen kautta vaikuttaa olevan keskeisin oraalisen altistuksen reitti. Pölyn kuparin ja kromin kokonais- tai liukoisten pitoisuuksien perusteella altistuminen pölylle ei kuitenkaan vaikuta poron kudosten pitoisuuksiin. Nikkelin haitallisuudesta poroille tai märehtijöille ei ole tietoa, joten vaikutuksista eritysesti lähempänä suunniteltua kaivosaluetta ei ole selvyyttä. Toisaalta on odotettavissa, että porot jossain määrin välttelevät kaivosaluetta esimerkiksi liikenteen ja melun vuoksi. Pölyn vaikutuksesta välttämiskäytökseen ei ole selkeää näyttöä.

Paliskunnalle tehdyn kyselyn perusteella porojen altistuminen pölyjen metalleille voi vaihdella huomattavasti, lähinnä laidunalueiden tai tarhojen sijainnin perusteella. Aiempien tutkimusten mukaan kaivosten vaikutusalueen kasvillisuuden kohonneet metallipitoisuudet eivät vaikuttaneet kromin tai kuparin pitoisuuksiin poron kudoksissa. Nikkelin osalta on havaittu kohonneita pitoisuuksia, mutta suoraa vertailua suunniteltuun Sakatin kaivokseen ja sen pölyvaikutukseen ei voi saatavilla olevien tietojen perusteella tehdä. Kirjallisuudessa raportoidut metallipitoisuudet vastasivat kuitenkin yleisesti karibuissa havaittuja pitoisuuksia, minkä perusteella nikkelin kertymien poroon ei olisi haitallisella tasolla.

Yhteenvetona voidaan todeta, että vaikka kaivosalueiden läheisyydessä voi yleisesti esiintyä porojen ravintokasveissa kohonneita metallipitoisuuksia, niiden ei ole todettu merkittävästi kertyvän poroihin. Tämän selvityksen perusteella rikastushiekan pölykulkeuman ei arvioida aiheuttavan merkittäviä vaikutuksia Sakatin laskeuma-alueella viljeltävän rehun laatuun. Kokonaisuudessaan Sakatin kaivostoiminnan ei arvioida aiheuttavan merkittäviä riskejä ravinnon välityksellä alueen porotaloudelle.

KIRJALLISUUS

AFRY Finland Oy (2023). Yhteenveto kaivannaisjätteiden karakterisoinnista sekä kaivosalueen vesien laatuarvioinnista, 101017183-001. 10.2.2023.

AONA Environmental Ltd. (2020). Dispersion Modelling of the Dust Releases from the Planned Sakatti Mine Project. 31.10.2020.

Bernhoft, A., Waaler, T., Mathiesen, S. D., & Flåøyen, A. (2002). Trace elements in reindeer from Rybatsjij Ostrov, north western Russia. Rangifer, 22(1), 67-73.

Dannenberger, D., Nuernberg, G., Nuernberg, K., & Hagemann, E. (2013). The effects of gender, age and region on macro-and micronutrient contents and fatty acid profiles in the muscles of roe deer and wild boar in Mecklenburg-Western Pomerania (Germany). Meat science, 94(1), 39-46.

ECHA. European Chemical Agency. Aloitussivu - ECHA (europa.eu)

Eftestøl, S., Flydal, K., Tsegaye, D., & Colman, J. E. (2019). Mining activity disturbs habitat use of reindeer in Finnmark, Northern Norway. Polar Biology, 42(10), 1849-1858.

EFSA. (2015) Scientific Opinion on the risks to animal and public health and the environment related to the presence of nickel in feed. DOI:https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4074

FCG (2023). Sakatin monimetalliesiintymän kaivoshankkeen ympäristövaikutusten arviointiselostuksen täydennys.

Ghazaryan, K., Movsesyan, H., Ghazaryan, N., & Watts, B. A. (2019). Copper phytoremediation potential of wild plant species growing in the mine polluted areas of Armenia. Environmental Pollution, 249, 491-501.

Gamberg, M., & Whitehorse, Y. (1997). Contaminants in Yukon Moose and Caribou-1996. Indian and Northern Affairs Canada.

Nieminen, M. (2014). *Poro-Reindeer*. BoD-Books on Demand. s.90.

Nielsen, F. H. (1984). Nickel. In *Biochemistry of the essential ultratrace elements* (pp. 293-308). Springer, Boston, MA.

Nikunen, E., Leinonen, R., Kemiläinen, B., Kultamaa, A. (2000). Environmental properties of chemicals. Volume 1. Finnish Environment Institute.

Nworie, O. E., Qin, J., & Lin, C. (2019). Trace element uptake by herbaceous plants from the soils at a multiple trace element-contaminated site. Toxics, 7(1), 3.

Hatakka T, Pietilä R, Räisänen M, Sttranius ja Tarvainen. 2017. GTK. Kaivosalueiden maaperän taustapitoisuus.

Hassan, A. A., Rylander, C., Sandanger, T. M., Brustad, M. (2013). Copper, Cobalt and Chromium in Meat, Liver, Tallow and Bone Marrow from Semi-domesticated Reindeer (*Rangifer tarandus tarandus L.*) in Northern Norway. *Food and Public Health*, 2013, 3(3): 154-160

Outridge, P. M., & Scheuhammer, A. M. (1993). Bioaccumulation and toxicology of nickel: implications for wild mammals and birds. Environmental Reviews, 1(2), 172-197.

Reis, L. S. L. D. S., Pardo, P. E., Camargos, A. S., & Oba, E. (2010). Mineral element and heavy metal poisoning in animals. *Journal of medicine and medical Sciences*, 560-579.

Shahid, M., Dumat, C., Khalid, S., Schreck, E., Xiong, T., & Niazi, N. K. (2017). Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake. *Journal of hazardous materials*, *325*, 36-58.

Todd, J. R. (1969). Chronic copper toxicity of ruminants. Proceedings of the Nutrition Society, 28(2), 189-198.)

LIITEMATERIAALIA

Taulukko 0-1. Kromin (Cr), kuparin (Cu) ja nikkelin (Ni) pitoisuusestimaatit kasvin pinnalle kertyneessä pölyssä (Cdp) ja versossa eri laskeuma-alueilla.

		Pinnalle kertynyt pöly (Cdp)	Verso (Cstem)	Heinäkasvit (Cp)*	Apilat (Cp)*
		mg/kg ka.	mg/kg ka.	mg/kg ka.	mg/kg ka.
Laskeuma-alue, 122 g/m2/v	Cr	3,4	7,3		
	Cu	0,8	4,1		
	Ni	2,1	11,4		
Laskeuma-alue, 100 g/m2/v	Cr	3,1	7,2		
	Cu	0,7	3,9		
	Ni	1,8	10,8		
Laskeuma-alue, 50 g/m2/v	Cr	2,4	6,9		
	Cu	0,5	3,4		
	Ni	1,3	9,5		
Laskeuma-alue, 25 g/m2/v	Cr	2,1	6,8		
	Cu	0,3	3,2		
	Ni	1,0	8,9		
Ilman pölylaskeumaa	Cr	1,8	5,0		
	Cu	0,2	2,4		
	Ni	0,7	6,8		
	Cr			0,11-0,35	0,2-4,2
	Cu			1,1-33,1	2,0-29
	Ni			<0,07-4,8	<0,5-8,2

Taulukko 0-2. Kromin (Cr), kuparin (Cu) ja nikkelin (Ni) pitoisuusestimaatit timoteissä ja yleisesti kasveissa. Pitoisuusarvioita kirjallisuudesta esitetty heinille ja apiloille.

		Timotei (*Phleum Pratense)* mg/kg ka.	Kasvi (yleinen) mg/kg ka.	Heinät (viitearvo) mg/kg ka.	Apilat (viitearvo) mg/kg ka.
BCF	Cr	0,01*	0,011**		
	Cu	0,53*	0,2**		
	Ni	0,0*	0,028**		
Cp, 122 g/m2/v	Cr	2,0	2,2		
	Cu	17,7	6,7		
	Ni	0,0	2,6		
Cp, 100 g/m2/v	Cr	1,9	2,1		
	Cu	16,6	6,3		
	Ni	0,0	2,4		
Cp, 50 g/m2/v	Cr	1,8	1,9		
	Cu	14,1	5,3		
	Ni	0,0	2,1		
Cp, 25 g/m2/v	Cr	1,7	1,9		
	Cu	12,9	5,3		
	Ni	0,0	2,1		
Cp, tausta	Cr	1,6	1,8		
	Cu	11,7	4,4		
	Ni	0,0	1,7		
Cp	Cr			0,11-0,35***	0,2-4,2***
	Cu			1,1-33,1***	2,0-29***
	Ni			<0,07-4,8***	<0,5-8,2***

* Nworie ym. 2019

**Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2014

***Kabata-Pendias, 2001

$$BCF = Cp/Cs \text{ eli } Cp = BCF \times Cs$$

BCF = biokertyvyystekijä kasvin (kasvinosan) ja maa-aineksen välillä, kuiva-aine (-)
Cp = kasvin pitoisuus, (mg/kg kuiva-aine)
Cs = maa-aineksen kokonaispitoisuus (mg/kg kuiva-aine)

Taulukko 0-3. Sakatin alueen taustapitoisuudet ja niistä johdetut SSTP eli suurin sallittu taustapitoisuus-arvot (GTK, 2018. https://gtkdata.gtk.fi/Tapir/pages/TapirTeksti_Sakatti_31012018.htm).

Sakatin mineraalipotentiaalialueen ja sen ympäristön luontaiset taustapitoisuudet

Näytemateriaalit: Pintamaa (0–25 cm): kuningasvesiliukoiset pitoisuudet alle 2 mm raekoosta, kullan (Au), platinan (Pt) ja palladiumin (Pd) kuningasvesiliukoiset pitoisuudet alle 2 mm seulotusta raekoosta jauhetusta näyteaineksesta

Maalajit: moreeni 15 pintamaanäytettä; hiekkaa tai soraa 14 pintamaanäytettä; savea tai silttiä 3 pintamaanäytettä

Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) maaperägeokemian tietokantaa täydennettiin vuonna 2017 ottamalla ja analysoimalla Sakatin mineraalipotentiaalialueelta ja sen ympäristöstä 32 pintamaa- ja 31 pohjamaanäytettä. Pohjamaanäytteistä 10 oli moreenia, 18 hiekkaa tai soraa ja kolme savea. Pohjamaanäytteet on otettu 70–110 cm syvyydeltä. Näytteistä analysoitiin kuningasvesiliukoiset pitoisuudet alle 2 mm raekoosta. Kullan, platinan ja palladiumin määrityksiin alle 2 mm seulottu näyteaines jauhettiin.

Sakatin mineraalipotentiaalialueen ja sen ympäristön pinta- ja pohjamaanäytteiden mediaani- ja maksimiarvot ja tutkimusaineistosta lasketut suurimmat suositellut taustapitoisuudet (SSTP-arvot) Sakatin tutkimusalueen maaperälle sekä PIMA-asetuksen (VNa 214/2007) kynnys- ja ohjearvot. - = laskennallinen SSTP-arvo pienempi kuin kynnysarvo.

	Sakatti			PIMA-asetus (VNa 214/2007)		
	Pinta- ja pohjamaa n = 63		SSTP-arvo	Kynnys-arvo	Alempi ohjearvo	Ylempi ohjearvo
	Mediaani	Maksimi				
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Antimoni (Sb)	0,04	0,22	-	2	10	50
Arseeni (As)	1,53	**7,0**	-	5	50	100
Elohopea (Hg)	0,009	0,025	-	0,5	2	5
Kadmium (Cd)	0,03	0,06	-	1	10	20
Koboltti (Co)	6,9	19,3	-	20	100	250
Kromi (Cr)	76,1	**367**	162	100	200	300
Kupari (Cu)	16,2	72,3	-	100	150	200
Lyijy (Pb)	2,2	7,1	-	60	200	750
Nikkeli (Ni)	28,2	**151**	61	50	100	150
Vanadiini (V)	44,2	95,3	-	100	150	250
Sinkki (Zn)	15,0	44,0	-	200	250	400

Sakatin alueen moreenin luontaiset taustapitoisuudet

Moreenin kuningasvesiliukoiset taustapitoisuudet Sakatin alueella, 15 km säteellä Sakatin esiintymästä. Pitoisuudet on poimittu GKT:n TAPIR-taustapitoisuuksien tietokannasta ja raportoitu AFRY Finland Oy:n laatimassa raportissa *Yhteenveto kaivannaisjätteiden karakterisoinnista sekä kaivosalueen vesien laatuarvioinnissa* (AFRY Finland Oy, 2023).

Alkuaine		yk-sikkö	N	kes-kiarvo	medi-aani	maksimi	SSTP*	Kynnys-arvo
Antimoni	Sb	mg/kg	55	0,07	0,07	0,21	0,14	2
Arseeni	As	mg/kg	55	1,93	1,56	5,65	3,4	5
Elohopea	Hg	mg/kg	55	0,01	0,01	0,03	0,027	0,5
Kadmium	Cd	mg/kg	55	0,03	0,02	0,08	0,043	1
Koboltti	Co	mg/kg	217	15,44	15,24	35,9	28	20
Kromi	Cr	mg/kg	199	150,42	129,08	645	260	100
Kupari	Cu	mg/kg	216	36,82	35,67	100,15	80	100
Lyijy	Pb	mg/kg	55	2,16	2,13	4,14	3,8	60
Nikkeli	Ni	mg/kg	203	71,28	59,83	383	150	50
Sinkki	Zn	mg/kg	217	27,63	26	82,23	55	200
Vanadiini	V	mg/kg	217	63,16	61,53	124,17	99	100
Tallium	Tl	mg/kg	52	0,05	0,03	0,3	0,1	-
Boori	B	mg/kg	55	1,58	1,5	3,03	3,4	-
Barium	Ba	mg/kg	217	39,63	39,29	127,59	80	-
Molyb-deeni	Mo	mg/kg	55	0,27	0,22	0,71	0,62	-
Seleeni	Se	mg/kg	55	0,27	0,23	0,64	0,62	-
Tina	Sn	mg/kg	51	0,34	0,33	0,52	0,44	-
Beryllium	Be	mg/kg	55	0,21	0,2	0,58	0,39	-
Kulta	Au	mg/kg	51	0	0	0,04	0,0036	-
Palladium	Pd	mg/kg	51	0	0	0	0,0003	-
Platina	Pt	mg/kg	51	0	0	0,01	0,0025	-

**) Suurin sallittu taustapitoisuus (SSTP) laskettuna 25. ja 75, persentiilin avulla:*
SSTP = $P7_5$ + 1,5 x (P_{75} – P_{25}). SSTP-arvon laskenta perustuu SFS-ISO-standardiin 19258.