



# Kairauksessa käytettävien kemikaalien ympäristövaikutusten arviointi

AA Sakatti Mining Oy

Projektinnumero: 101016521-001

16.3.2022



**Copyright © AFRY Finland Oy**

AFRY Finland Oy:n projektinumero on 101016521-001.

**Kannen kuva:** © AFRY

Päivämäärä 16.3.2022

AA Sakatti Mining Oy

Sakatin kaivoshanke

**Kairauksessa käytettävien kemikaalien ympäristövaikutusten arviointi**

## Sisällysluettelo

1	Raportin tarkoitus .....	3
2	Kohteen kuvaus .....	3
2.1	Maaperä .....	3
2.2	Pohjavesi .....	4
2.3	Pintavesi .....	5
3	Kairauksessa ja kairanreikien tulppauksessa käytettävät kemikaalit .....	6
4	Viiankiaavan Natura-alueen suojeluperusteet .....	7
5	Kemikaalien haitallisuuden arviointi .....	8
5.1	Fysikaalis-kemialliset ominaisuudet ja toksisuus .....	9
5.2	Haitallisuuden arviointi .....	9
5.2.1	Arvioinnissa käytetyt parametrit .....	9
5.2.2	Kemikaalien pysyvyys .....	9
5.3	Kriittisten aineiden tunnistaminen .....	11
6	Kairaus .....	13
7	Kairanreikien tulppaus .....	14
8	Käsitteellinen malli .....	15
8.1	Havainnollistaminen .....	15
8.2	Aineen lähde .....	16
8.3	Altistumistavat ja kulkeutumisreitit .....	16
8.3.1	Suora kosketus .....	16
8.3.2	Haihtuminen .....	17
8.3.3	Pölyäminen .....	17
8.3.4	Pintavalunta .....	17
8.3.5	Pohjavesikulkeuma .....	17
8.4	Altistuminen .....	17
8.4.1	Ihmiset .....	17
8.4.2	Eliöstö .....	17
9	Kriittisten aineiden määrät ja pitoisuudet .....	18
10	Ekologinen riskinarviointi .....	18
11	Kulkeutumisen arviointi .....	18
12	Epävarmuudet .....	20
13	Päätelmät ja suositukset .....	20
14	VIITTEET .....	21

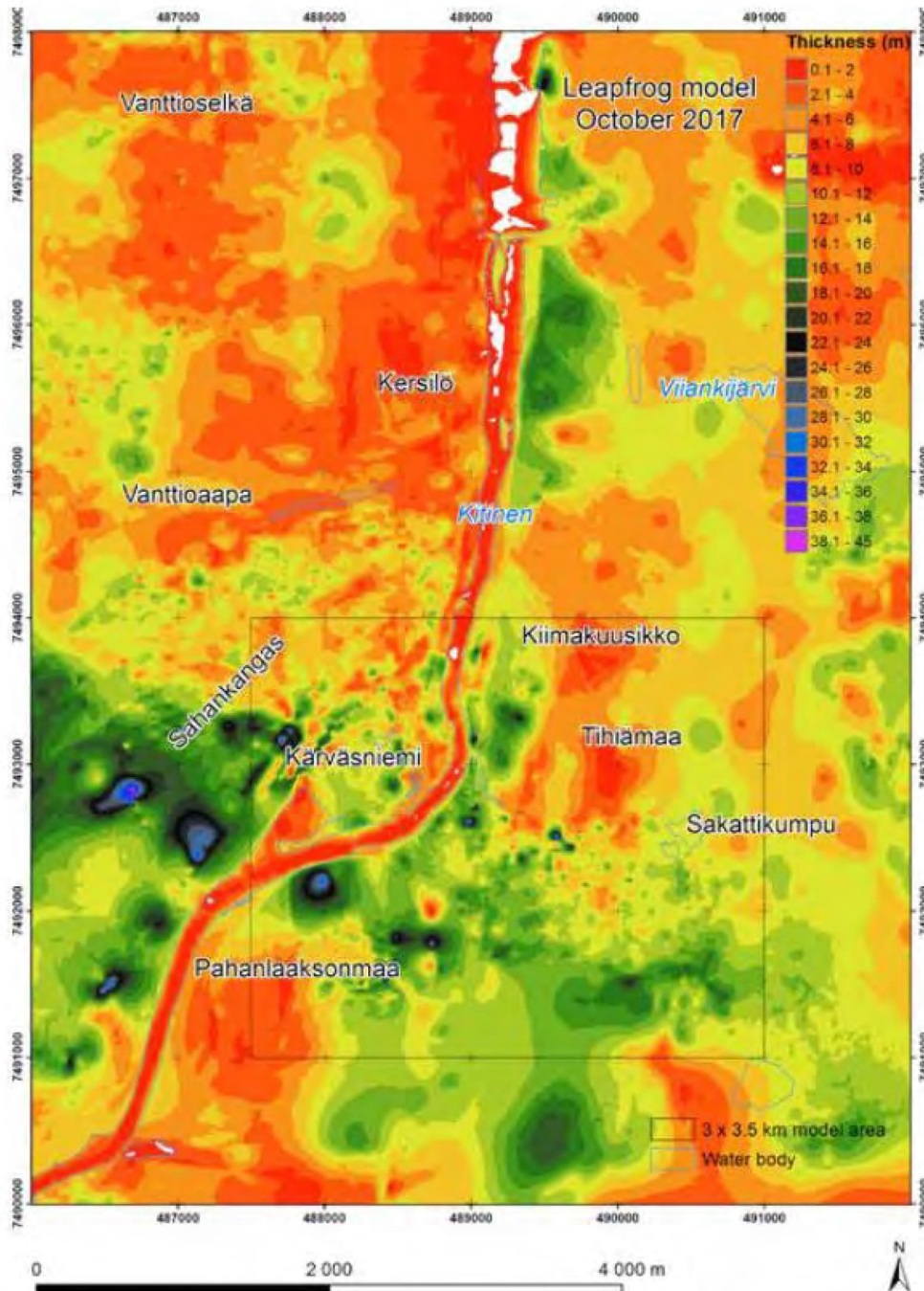
## 1 Raportin tarkoitus

AA Sakatti Mining Oy (jatkossa AASM) suunnittelee kaivoshanketta Sodankylässä sijaitsevan monimetalliesiintymän hyödyntämiseksi. Esiintymä on maanalainen ja se sijoittuu noin 15 km Sodankylän kuntakeskuksesta koilliseen ja sijaitsee Viiankiaavan suoalueen alapuolella. Monimetalliesiintymän tutkimiseksi AASM toteuttaa alueella malminetsintään liittyviä kallioperän näytteenottokairauksia. Tässä raportissa tarkastellaan kairauksessa ja kairanreikien tulppauksessa käytettävien kemikaalien käyttäytymistä ympäristössä ekologisine vaikutuksineen. Tarkastelu keskittyy Viiankiaavan Natura- ja soidensuojelualueeseen sekä Pahalaaksonmaan ja Kersilönkankaan pohjavesialueisiin. Ekologisten vaikutusten arviointi rajataan oleellisimpiin eliöiden altistusreitteihin ja kohteisiin. Myös mahdolliset puutteet tiedoissa käsitellään.

## 2 Kohteen kuvaus

### 2.1 Maaperä

Suunniteltu malminetsinnän kairausalueet ja tulpattavat kairanreiät sijoittuvat pääasiassa Viiankiaavan länsireunalle. Viianingin hankkeen malminetsintälupahakemuksissa (ML2012:0097-01 Kotimaa, ML2012:0100-01 Petäjä, ML2012:0103-01 Rimpelä, ML2012:0103-01 Särki, ML2014:0050-01 Viianki 1 ja ML2014:0051-01 Viianki 2.) kairauspaikkoja ulottuu myös Viiankiaavan itälaidalle. Alueen pintamaa koostuu moreenista, Kitisen aiemmista jokisedimenteistä sekä turvekerroksesta. Viiankiaavan turvepaksuus on keskimäärin 2,3 m ja turpeen alapuolinen mineraalimaa on pääsääntöisesti vanhaa jokihiekkaa ja -sora. Maanpinnan taso on keskimäärin 187 m merenpinnan yläpuolella ja sedimenttikerroksen (maaperä ja turve) paksuus kairausalueella vaihtelee. Viiankiaavan ja Kitisen jokivarren alueelta tehdyssä mallinnuksessa (Salonen 2019, Korkka-Niemi ym. 2017) vaihtelu on jopa 0 – 60 m välillä (Korkka-Niemi 2017). Kalliopinnan taso vaihtelee kairausalueella välillä +156 m ... +182 m. Alueen kallioperä on rapautunutta, sillä jäätikköeroosio on ollut jäänjakaja-alueella vähäistä.



Kuva 2-1 Maaperän paksuusvaihtelu (Korkka-Niemi ym. 2017).

## 2.2 Pohjavesi

Pohjavesialueet luokitellaan seuraavasti:

- **1-luokka:** vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue, jonka vettä käytetään tai jota on tarkoitus käyttää yhdyskunnan vedenhankintaan taikka talousvetenä enemmän kuin keskimäärin 10 kuutiometriä vuorokaudessa tai yli viidenkymmenen ihmisen tarpeisiin

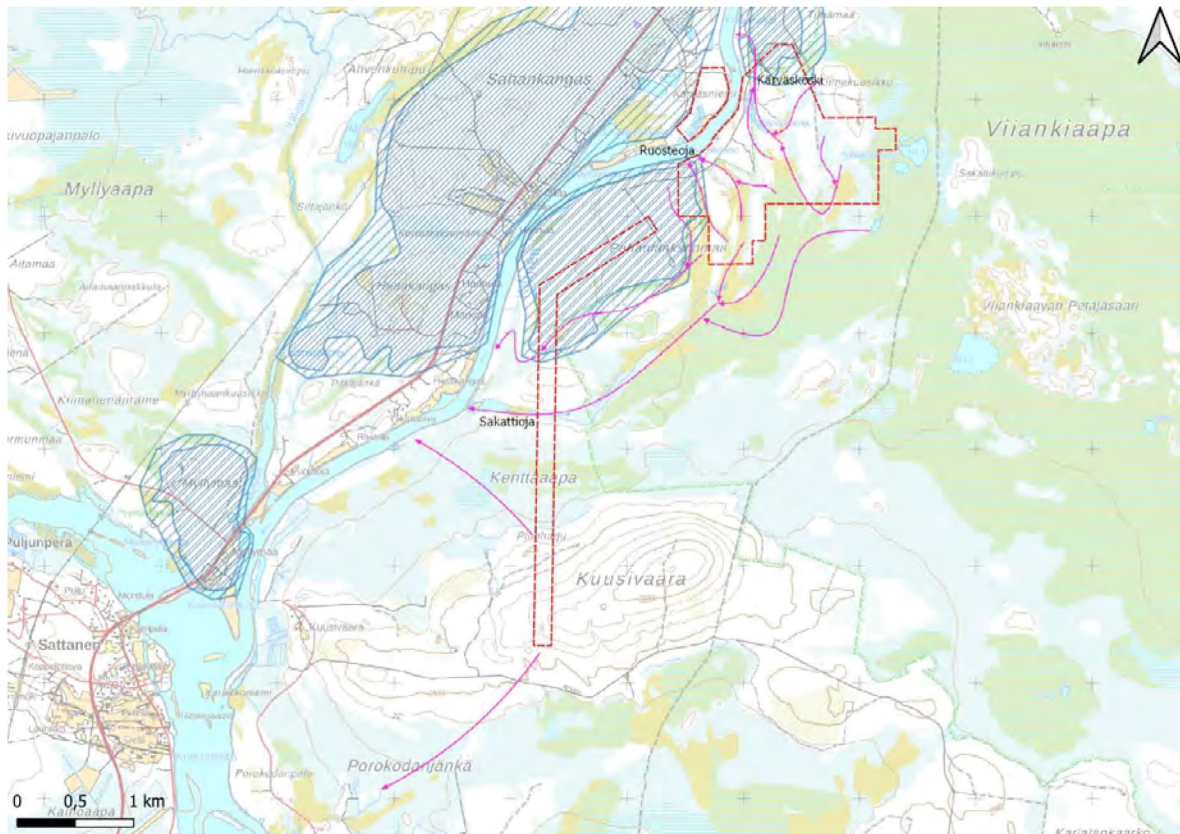
- **2-luokka:** muu vedenhankintakäyttöön soveltuva pohjavesialue, joka pohjaveden antoisuuden ja muiden ominaisuuksiensa perusteella soveltuu 1 kohdassa tarkoitettuun käyttöön
- Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus luokittelee lisäksi **E-luokkaan** pohjavesialueen, jonka pohjavedestä pintavesi- tai maaekosysteemi on suoraan riippuvainen

Lähimmät pohjavesialueen (Kitisen itäpuolella) ovat pohjoispuolen Kersilönkangas (luokka 2), johon kairausalue rajautuu sekä eteläpuolen Pahalaksonmaa (luokka 2), jonka pohjoisosa on osittain kairausalueella. Pohjavesialueet seuraavat Kitisen itäreunaa pohjois-eteläsuunnassa. Pohjavesialueet ovat toisistaan erillään. Muuta lähialueen pohjavesialueet sijaitsevat Kitisen länsipuolella (Ahvenjärvenkangas ja Myllymaa) ja kuuluvat myös luokkaan 2.

Alueilla esiintyy huonon vedenjohtavuuden omaavien moreenikerrosten vuoksi orsivesiä (Åberg 2017). Kitisen rantapenkereellä pohjaveden pinta on muutaman metrin syvyydessä ja esimerkiksi Sahankankaan alueella pohjaveden pinnan syvyydeksi on todennettu noin 5 m (Salonen 2019). Suoalueella suoveden pinta kuvaa pohjaveden pinnan tasoa. Pohjaveden virtaus turvepatjassa riippuu turpeen maatuneisuudesta ja horisontaalinen virtaus on suurin turpeen pintaosissa (K-arvo  $10^{-3}$  m/s) ja pienenee maatuneisuuden edetessä (K-arvo  $10^{-8}$  m/s). Maanpinnan korkeusprofiilin mukaan pohjaveden virtaus on suon länsipuolella länteen, suotautuen Kitisen rantapenkereen läpi Kitiseen. Kitisen rannalla on kairausalueella useampi lähde (Salonen 2019).

### 2.3 Pintavesi

Malminetsinnän kairausalue rajoittuu länsi-luode reunalta Kitiseen, joka virtaa kohti etelää. Alueella on myös Kitiseen laskevia oja, sekä suon ja Kitisen välissä olevia lampia, joista suurin on Kärväslampi. Alueen pintavedet laskevat Kitiseen, mutta kulkureitti vaihtelee riippuen sijainnista (Kuva 2-2). Kairausalueen pohjoisosan pintavedet laskevat Kärväslammen ja Kärväskosken kautta. Ahvenkontelon ja Tuulivuopajan lähistön pintavedet virtaavat Ruosteojaa ja sen läheisiä oja pitkin. Vetisemmältä suoalueelta pintavesi virtaa kohti lounasta Sakattiojan kautta Kitiseen. Suurin osa kairausalueen pintavedestä virtaa Kärväskosken sekä pohjavesisyötteisen Ruosteojan ja sen läheisten ojien kautta Kitiseen. Kairausalueen pintavalunta on mallinnettu ArcGIS hydrology -työkalulla (ESRI®). Hydrology-työkalun avulla pystytään määrittämään alueen teoreettinen pintavalunta 2 m korkeusmallia apuna käyttäen.



Kuva 2-2 Viiankiaavan länsireunan pintavalunta (ArcMap 10.4.1. Hydrology tool). Pintavalunnan pääsuunnat on esitetty pinkeillä nuolilla ja pohjavesialueet sinisellä raidoituksella, tutkimusalue rajattu punaisella katkoviivalla. Sisältää Maanmittauslaitoksen peruskartta-aineistoa 09/2021.

### 3 Kairauksessa ja kairanreikien tulppauksessa käytettävät kemikaalit

Kairauksessa käytettävät kemikaalit koostuvat apuaineista sekä sementistä. Kairauksessa käytetään apuaineita helpottamaan itse kairausta sekä nopeuttamaan ja parantamaan kairauksessa käytettävän veden selkeytymistä. Lisäksi kairauksessa käytetään sementtiä maanputken asennuksessa. Sementtiä ja apuaineita tarvitaan myös kairanreikien tulppauksessa.

AASM:ltä saatujen tietojen mukaan kairauksessa ja kairanreikien tulppauksessa käytettävät kemikaalit on esitetty kairareikäkohtaisine käyttömäärineen taulukossa 3-1. Kemikaalien pääasialliset komponentit koottiin kunkin aineen käyttöturvallisuustiedotteesta.

*Taulukko 3-1 Kairauksessa ja kairanreikien tulppauksessa käytettävät kemikaalit, niiden pääainesosat ja niiden kulutus per kairareikä. Joidenkin kemikaalien osalta käyttömäärä on ilmoitettu nollana. Tämä tarkoittaa, että kemikaalia ei käytetä säännöllisesti kairauksessa, vaan sitä käytetään vain tarvittaessa. Tämän vuoksi aineelle ei voida esittää määrää.*

<b>Tuote</b>	<b>Pääasiallinen komponentti</b>	<b>kg/reikä</b>
AMC Aus-Floc L	anioninen akryylikopolymeeri	16
AMC 206	vaarattomat ainesosat, erittelemättömät	15
AMC Liqui Sperse	vaarattomat ainesosat, erittelemättömät	0
AMC Pure Vis	vaarattomat ainesosat, erittelemättömät	0
AMC Tube Lube	Neutraloidut luontaiset rasvahapot	0
Baro-Lube NS	Vastaavan viranomaisen mukaan ei sisällä vaarallisia aineita raja-arvoja ylittävissä pitoisuuksissa.	19
CIMENT-FONDU	Sementti, alumiini. Aine ei aiheuta vaaraa ympäristölle.	141
DDXpand	vaarattomat ainesosat, erittelemättömät	0
EZ Mud DP	polyakryyliamidi/polyakrylaattikopolymeeri	0
EZ Mud Gold	-	11
Natriumkarbonaatti		4
N-seal	Vastaavan viranomaisen mukaan ei sisällä vaarallisia aineita raja-arvoja ylittävissä pitoisuuksissa.	0
Quick Drill	litiumkarbonaatti, sitruunahappo, formaldehydi	0,1
Quik-Trol Gold LV	polysakkaridi	7
Quik-Trol LV	polysakkaridi	0

#### 4 Viiankiaavan Natura-alueen suojeluperusteet

Sakatin esiintymä sijoittuu Natura 2000-alueverkoston kohteelle Viiankiaapa (FI1301706). Viiankiaavan 6 595 ha kokoinen Natura-alue on suojeltu sekä erityisten suojelutoimien alueena (SAC) että lintudirektiivin perusteella (SPA). Lisäksi Natura-alueen suojeluperusteina on kuusi luontodirektiivin liitteen II lajia sekä 28 lintudirektiivin liitteen I lintulajia (Ympäristöministeriö 2018).

Natura-tietolomakkeessa esitetyt Viiankiaavan Natura-alueen suojeluperusteena olevat luontodirektiivin liitteen I mukaiset luontotyypit sekä liitteen II lajit on esitetty taulukossa 4-1. Lisäksi Natura-alueen suojeluperusteina esitetyt lintudirektiivin liitteen I lajit on esitetty taulukossa 4-2.



Taulukko 4-1 Viiankiaavan Natura-alueen suojeluperusteina esitetyt luontodirektiivin luontotyyppit ja luontodirektiivin liitteen II lajit (Ympäristöministeriö 2018).

Luontodirektiivin luontotyyppit	ha	Luontodirektiivin liitteen II lajit	
3160 Humuspitoiset lammet ja järvet	70	saukko	<i>Lutra lutra</i>
3210 Fennoskandian luonnontilaiset jokireitit	91		
3260 Pikkujoet ja purot	1,2	lapinleinikki	<i>Ranunculus lapponicus</i>
6450 Tulvaniityt	5,5	lettorikko	<i>Saxifraga hirculus</i>
7110 Keidassuot*	70		
7140 Vaihettumissuot ja rantasuot	70	isonuijasammal	<i>Meesia longiseta</i>
7160 Lähteet ja lähdesuot	0,3	lapinsirppisammal	<i>Hamatocaulis lapponicus</i>
7220 Huurresammallähteet*	0,4	kiiltosirppisammal	<i>Hamatocaulis vernicosus</i>
7230 Letot	540		
7310 Aapasuot*	4950		
9010 Luonnonmetsät*	860		
9060 Harjumetsät	12,7		
91D0 Puustoiset suot*	1100		
*priorisoitu luontotyyppi			

Taulukko 4-2 Viiankiaavan Natura-alueen suojeluperusteina esitetyt lintudirektiivin liitteen I lajit ja lintudirektiivissä mainitsemattomat muuttolinnut (Ympäristöministeriö 2018).

Lintudirektiivin liitteen I lajit		Lintudirektiivin liitteessä mainitsemattomat muuttolinnut	
ampuhaukka	<i>Falco columbarius</i>	jouhisorsa	<i>Anas acuta</i>
helmipöllö	<i>Aegolius funereus</i>	jänkäkurppa	<i>Lymnocyptes minimus</i>
hiiripöllö	<i>Surnia ulula</i>	jänkäsirriäinen	<i>Limicola falcinellus</i>
teeri	<i>Tetrao tetrax</i>	keltävästäräkki	<i>Motacilla flava</i>
kapustarinta	<i>Pluvialis apricaria</i>	lapasorsa	<i>Anas clypeata</i>
kurki	<i>Grus grus</i>	lapasotka	<i>Aytha marila</i>
liro	<i>Tringa glareola</i>	metsähanhi	<i>Anser fabalis</i>
metso	<i>Tetrao urogallus</i>	mustalintu	<i>Melanitta nigra</i>
palokärki	<i>Dryocopus martius</i>	mustaviklo	<i>Tringa erythropus</i>
pohjantikka	<i>Picoides tridactylus</i>	pohjansirkku	<i>Emberiza rustica</i>
pyy	<i>Bonasa bonasia</i>	tuulihaukka	<i>Falco tinnunculus</i>
sinirinta	<i>Luscinia svecica</i>		
suokukko	<i>Philomachus pugnax</i>		
varpuspöllö	<i>Glaucidium passerinum</i>		
3 uhanalaista lajia			

## 5 Kemikaalien haitallisuuden arviointi

Kemikaalien mahdollisia haitallisia vaikutuksia arvioitiin selvittämällä mahdollisuuksien mukaan niiden pysyvyyttä, kertyvyyttä sekä toksisuutta. Em. ominaisuuksien mukaan kemikaalit voidaan jaotella vaarattomiksi sekä alhaisen, kohtalaisen ja korkean riskin luokkiin.

## 5.1 Fysikaalis-kemialliset ominaisuudet ja toksisuus

Fysikaalis-kemialliset ominaisuudet vaikuttavat sekä aineiden kulkeutumiseen että muuhun käyttäytymiseen ympäristössä. Tietoja kerättiin seuraavista lähteistä:

- Aineiden käyttöturvallisuustiedotteet
- ECHA (Euroopan unionin kemikaalivirasto)

## 5.2 Haitallisuuden arviointi

### 5.2.1 Arvioinnissa käytetyt parametrit

Taulukkoon 5-1 on koottu haitallisuuden arvioinnissa käytetyt parametrit. Arviointiin käytettiin vain sellaisia parametreja, joista oli saatavissa tietoja kairauksessa ja kairanreikien tulppauksessa käytettäville kemikaaleille. Haitallisuuden arvioinnissa käytettiin samoja luokituskriteerejä kuin AASM:n aiemmissa kairauksen apuaineiden arvioinneissa (Golder Associates 2013, 2015; Pöyry Finland Oy 2019).

*Taulukko 5-1 Ympäristöhaitan arvioimisessa käytetyt fysikaalis-kemialliset ja toksisuusparametrit.*

Ominaisuus	Soveltuvuus orgaanisille/epäorgaanisille yhdisteille	Parametri	Yksikkö
Pysyvyys	Epäorgaaninen/orgaaninen	Liukoisuus	mg/l
	Orgaaninen	log K <sub>oc</sub>	l/kg
Kertyvyys	Orgaaninen	BCF	
	Orgaaninen	log K <sub>ow</sub>	
Toksisuus	Epäorgaaninen/orgaaninen	Akvaattinen toksisuus kasvit selkärangattomat kalat	
		Akuutti LC50	mg/l
		Krooninen NOEC	mg/l
		Krooninen LOEC/MATC/EC50	mg/l
		Maaperän eliöille Akuutti LD50	mg/kg

### 5.2.2 Kemikaalien pysyvyys

Kemikaalien pysyvyyttä arvioitiin orgaanisilla yhdisteillä liukoisuuden, oktanoli-  
 vesi -jakaantumiskvion (K<sub>ow</sub>) ja biohajoavuuden (t<sub>1/2</sub>) perusteella. Epäorgaanisilla yhdisteillä arviointiin käytettiin liukoisuuden ja toksisuuden suhdetta. Ympäristöriskin arvioinnissa käytetyt kriteerit on esitetty taulukoissa 5-2–5-4.

Taulukko 5-2 Riskinarvioinnissa orgaanisille aineille käytetyt liukoisuuden, biohajoavuuden, jakaantumiskertoimen sekä biokertyvyyden (BCF) arvot.

Riskiluokitus	Liukoisuus mg/l	$t_{1/2}$ d	$\log K_{ow}$	BCF
Alhainen	>100	<22.5	<3	<2000
Kohtalainen	10-100	22.5-45	3-5	2000-5000
Korkea	<10	>45	>5	>5000

Taulukko 5-3 Riskinarvioinnissa epäorgaanisille aineille käytetyt liukoisuusarvot.

Riskiluokitus	Liukoisuus	Liukoisuus/toksisuus mg/l
Alhainen	<1	Liukoisuus < akuutti toksisuus
Kohtalainen	1-10	-
Korkea	>10	Liukoisuus > akuutti toksisuus

Taulukko 5-4 Riskinarvioinnissa käytetyt akuutin ja kroonisen toksisuuden arvot.

Riskiluokitus	Krooninen LOEC/MATC/EC50 mg/l	Akuutti L(E)C50 mg/l	Krooninen NOEC mg/l	Akuutti LD50 mg/kg
Alhainen	>1	>100	>0.1	>2000
Kohtalainen	0.1-1	1-100	0.01-0.1	>300-2000
Korkea	<0.1	<1	<0.01	≤300

## Liukoisuus

Aineen liukoisuus vaikuttaa sen kulkeutuvuuteen ympäristössä. Mitä vesiliukoisempi aine on, sen helpommin voi kulkeutua ympäristössään. Aineiden biosaatavuus voi olla suurempi helposti liukenevilla aineilla ja ne voivat myös hajota nopeammin. Niukkaliukoisten aineiden kulkeutuvuus on yleisesti heikompaa, mutta niiden biohajoavuus ja -saatavuus eivät välttämättä riipu vesiliukoisuudesta.

Orgaanisilla kemikaaleilla alhaista liukoisuutta voidaan pitää korkeana riskinä, kun taas epäorgaanisilla kemikaaleilla alhainen liukoisuus on pääsääntöisesti alhainen riski.

## Biohajoavuus

Biohajoavuutta tarkastellaan yleensä aineen puoliintumisajan avulla, kuinka nopeasti puolet aineesta on hajonnut. Mitä suurempi on aineen puoliintumisaika, sitä kauemmin se säilyy ympäristössä ja sitä suuremman riskin se aiheuttaa.

## Biokertyvyys (BFC)

Biokertyvyyttä käytettiin kriteerinä ainoastaan orgaanisille aineille. Biokonsentraatiokertoimella (BCF) mitataan aineen taipumusta kertyä eliöihin vedessä ja edelleen rikastumista ravintoketjussa. Mitä suurempi BCF-arvo on, sitä suurempi on riski ympäristölle.

### **Vesi-oktanoli -jakaantumisvakio, $K_{ow}$**

Jakaantumisvakio kertoo aineen rasva- tai vesiliukoisuudesta. Mitä suurempi vakion arvo, sitä suurempi affiniteetti aineella on orgaaniseen liuottimeen, oktanoliin. Tällöin aineella on myös suurempi taipumus kertyä eliöihin.

### **Toksisuus**

Toksisuudessa käytettiin sekä akuutteja (L(E)C50 ja LD50) että kroonisia (LOEC) toksisuustietoja.

### **5.3 Kriittisten aineiden tunnistaminen**

Taulukossa 5-5 on arvioitu käytettävissä olleiden tietojen perusteella kaikkien kairauksessa ja kairanreikien tulppauksessa käytettävien kemikaalien ympäristöriski. Kriittisiksi aineiksi tunnistettiin sellaiset aineet, joilla vähintään yksi arvioinnissa käytetyistä parametreista oli korkean riskin luokassa tai useampia kohtalaisen riskin luokassa.

Tässä tarkastelussa oletetaan tarkasteltujen tuotteiden olevan REACH asetuksen mukaisesti valmistajan ilmoituksen mukaisia ja siten ympäristölle haitattomia siltä osin, kuin tarkkaa koostumusta ei ole ilmoitettu.

Taulukon 5-5 arvioinnin perusteella kairauksen apuaine Baro-Lube NS sekä tulppauksessa käytettävät Ciment-Fondu ja N-seal luokitellaan liukoisuuden perusteella korkean riskin luokkaan. Anioninen akryylikopolymeeri (AMC Aus-Floc L) ja natriumkarbonaatti (Soda Ash) luokitellaan liukoisuuden perusteella kohtalaisen riskin luokkaan. Em. aineet Baro-Lube NS:ää ja N-seal:a lukuun ottamatta luokitellaan toksisuustietojen perusteella alhaiseen riskiluokkaan. Baro-Lube NS ja N-seal eivät valmistajien toimittamien käyttöturvallisuustiedotteiden perusteella sisällä ympäristölle vaarallisia aineita, joten myös niiden aiheuttama riski ympäristölle voidaan luokitella alhaiseksi.

Taulukko 5-5 Kairauksessa ja kairareikien tulppauksessa käytettävien kemikaalien riskiluokitus. Vihreä alhainen riski, oranssi

Apuaine	Ainesosat	CAS	tila	pH	suht. tiheys (vesi=1)	Kp. °C	Liukoisuus	Akuutti L(E)C50 mg/l
AMC Aus-Floc L	anioninen akryylikopolymeeri		neste	8,0 (1% liuos)	1,12	~105	sekoittuva (>10 mg/l)	
AMC 206	Vaarattomat ainesosat, erittelemättömät							
AMC Liqui Sperse	Vaarattomat ainesosat, erittelemättömät		neste	8,5	1,33	~100		
AMC Pure-Vis	Vaarattomat ainesosat, erittelemättömät							
AMC Tube Lube	Neutraloidut luontaiset rasvahapot		tahna	9,5-11,0	1,0-1,01			
Baro-Lube NS	Vaarattomat ainesosat, erittelemättömät		neste		0,983		Veteen liukenematon	
CIMENT-FONDU	Sementti, alumiini, kemikaalit	65997-16-2	pulveri tai pöly	11-11,5 (vesiliuos)	3,2 - 3,3		Osittain liukeneva (<2%)	> 100 mg/l (kirjolohi, 96h)
DD XPAND Matex	Vaarattomat ainesosat, erittelemättömät		kiinteä					
Ez-Mud DP	Polyakryyliamidi/ polyakrylaatti-kopolymeeri							
Ez-Mud Gold	Vaarattomat ainesosat, erittelemättömät							
Soda Ash	Natriumkarbonaatti	497-19-8	jauhe	11,5	2,5		osittain liukeneva, 30g/100ml (20 °C)	310-1220 mg/L (Pimephale promelas) 300 mg/L (Lepomis macrochirus, 96h)
N-seal	Vaarattomat ainesosat, erittelemättömät				2,6		Veteen liukenematon	
Quick-Drill	Litiumkarbonaatti	554-13-2	kiinteä					30,3 mg/l (kirjolohi)
	Siruunahappo	77-92-9	aine		1,313			1516 mg/l (Lepomis macrochirus, 96h)
	Formaldehydi	50-00-0						100 mg/l (kirjolohi, 96h)
Quik-Trol Gold LV	polysakkaridi 60-100%	-	jauhe					10000 ppm (kirjolohi)
Quik-Trol LV	polysakkaridi 60-100%	-	kiinteä aine	7,75 (1% liuos)	1,6			10000 ppm (kirjolohi)

## 6 Kairaus

Kallioperäkairaukset aloitetaan kairaamalla ensin maakerroksen ja rakoilleen pintakallion läpi ehjään kallioon ja asentamalla tarvittavaan syvyyteen asti teräksinen ns. maaputki. Varsinainen kallionäytekairaus tapahtuu tämän putken kautta. Maaputken asennuksessa käytetään sementtiä, mutta pyritään olemaan käyttämättä apuaineita. Tämä ei kaikissa tapauksissa ole kuitenkaan mahdollista. Kairauksessa kairaterän huuhteluun ja jäähdytykseen käytetään vettä. Vesi ja kairauksessa irtoava kiviaines muodostavat nk. kairaussoijaa.

Ympäristöviranomaisten vaatimuksesta Viiankiaavalla kallioperäkairauksissa käytetään suljettua huuhteluvesijärjestelmää. Huuhteluvesi käytetään siis selkeytyksen jälkeen uudestaan. Suljettu järjestelmä käsittää kairausyksikön, välivarastoaltaat ja selkeytysaltaat. Vesi pumpataan kairakoneen kairaputkeen, josta se purkautuu kairaterän läpi ja puhdistaa sekä jäähdyttää kairaterää. Vesi poistuu kairanreiästä nousemalla kairareian ja kairaputken välistä maaputkeen ja purkautuu maaputken ympärillä olevaan keräysastiaan. Keräysastiasta se pumpataan selkeytysaltaisiin. Huuhteluveden kierrätyksessä käytettävillä kairauksen apuaineilla on flokkuloivia ominaisuuksia ja niiden avulla kiven hienoaines saadaan koottua selkeytysaltaissa. Vesi pumpataan välivarastoaltaisiin ja sieltä jälleen kairaukseen. Selkeytysaltaisiin jäänyt "soija" (vesipitoinen hienoaines) kuivataan ja toimitetaan asianmukaiselle kaatopaikalle. Kairaussoijan talteenottoa kehitetään jatkuvasti. Osalla kairauslaitteistoista on ollut käytössä sentrifugi, jolla voidaan vähentää huuhteluveden kierrätyksessä käytettävien flokkuloivien kemikaalien käyttötarvetta. Kallion ollessa suhteellisen ehyttä vesihävikki kairatessa on vähäistä ja tällöin vettä poistuu suljetusta järjestelmästä lähinnä soijan mukana kaatopaikalle. Rakoilleen ja ruhjeisen kallioon kohdalla vesihävikki voi olla suurempaa. Kairareiat tulpataan kairauksen jälkeen, mikä tarkoittaa, että kalliorakoihin ja -ruhjeisiin päätynyt vesi ei nouse takaisin maanpinnalle.

Kairauksen alussa vesisäiliöt täytetään pintavedellä tai pohjavedellä ja säiliöihin lisätään tarvittaessa apuaineita. Flokkuloivien apuaineiden tavoitepitoisuus vedessä on sama koko kairauksen keston, joten lisäveden tarve tarkoittaa myös apuaineiden lisätarvetta. Mikäli kairauksen edetessä ilmenee tarvetta muille apuaineille helpottamaan kairaputkien pyörimistä ja reiän puhdistumista esim. kallion ruhjeisuuden vuoksi, lisätään apuaineita tarvittaessa. Tähän mennessä kairatut reiät ovat tyypillisimmillään 850 m pitkiä, mutta pituudet vaihtelevat muuta sata metriä suuntaan tai toiseen. Suunniteltu kairattava määrä on keskimäärin 28 km vuodessa. Kairauskausien 2017–18 ja 2018–19 seurannan perusteella kairausveden määrä on keskiarvona 203 m<sup>3</sup>/km, ja mediaanina 148 m<sup>3</sup>/km, N=40. Vedenkulutuksen vaihtelu on ollut suurta, 27–564 m<sup>3</sup>/km.

Toiminnanharjoittaja on arvioinut kairaussoijaa nousevan maanpinnalle 1 000 m syvästä kairareistä n. 7,3 t (Golder 2013). Soijaa jää jossain määrin kuitenkin myös kallioperän rakoihin. Suljetussa kairausjärjestelmässä maanpinnalle nousevasta soijasta saadaan talteen noin 95–100 %. Suurin osa kairaussoijasta

maan pinnalla on peräisin maakairauksesta (maaputken asennuksesta), jolloin kaikkea maanpinnalle nousevaa kivennäismaata ja kairaussoijaa ei saada talteen suljetun kierron avulla, vaan ainesta jää maaputken ympärille. Kun kairakone lähtee kairapaikalta, pinnalle nousut maa-aines pyritään poistamaan mahdollisimman hyvin. Maanpinnalle jäävän kairaussoijan määrä on hyvin vähäinen.

Kairauksessa käytettävien apuaineiden koostumus ja viskositeetti poikkeavat toisistaan, joten apuaineiden sitoutumisesta soijan kiintoainekseen (ja sitä kautta poistumisen kierrosta) ei ole tarkkaa tietoa.

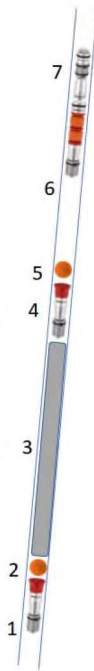
## 7 Kairanreikien tulppaus

Kuvaus kairanreikien tulppauksesta perustuu Oy Kati Ab:n toimenpidekuvaukseen (Oy KATI Ab 2021). Kairanreikien tulppauksen alussa kairausputket lasketaan halutulle syvyydelle. Kairausputkien sisään laitetaan 75 kg Fondu-sementtiä sekoitettuna 30 litraan puhdasta vettä. Sementin ylä- ja alapuolelle laitetaan Van Ruth CW -tulppa ja puhdistuspallo. Sementti ja tulpat pumpataan kairatankojen alapuolelle asti yhdessä, jolloin estetään kairareissä olevan veden sekoittuminen sementtiin. Tulpat myös estävät sementin liikkumisen kairareissä ennen kovettumista.

Varsinaisen sementoidun tulpan yläpuolelle laitetaan lisävarmistukseksi tarkoitukseen suunniteltu kaksoistulppa, jonka tarkoituksena on varmistaa tulppauksen onnistuminen. Tulppauksen periaate on esitetty kuvassa 7-1.

Tulppauksen onnistuminen varmennetaan havainnoimalla. Sementoinnin ja sen tulppien asetuttua paikoilleen nousee vesipaine kairauskoneessa ja laskee uudelleen kairausputkia nostettaessa. Ylemmän tulpan asettuminen paikoilleen varmennetaan laskemalla kairausputket tulppaa vasten, jolloin hyvin paikoillaan oleva tulppa havaitaan kairauskoneessa vastuksena ja vesipaineen nousuna.

Tulppauksessa käytetään sementin lisäksi kairakoneen suljetussa vesikierrossa samoja apuaineita kuin tutkimusreikien kairauksessa. Myös muut suojaustoimenpiteet ovat samoja, mm. reiästä nousevan irtonainen kiviaines käsitellään samalla tavalla kuin porasoija.



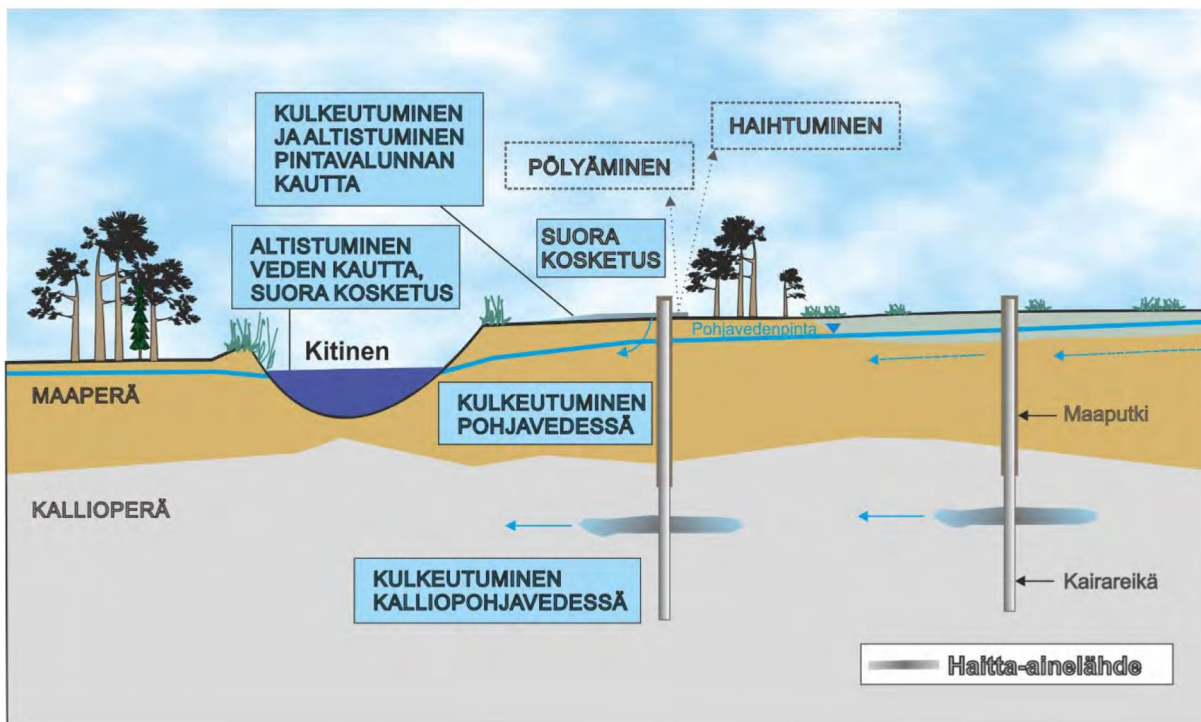
*Kuva 7-1 Periaatekuva tulpatusta kairareikästä. Kuvassa Sementti (3,) 2 Van Ruth CW tulppaa (1,4), Puhdistuspallot (2,5), Van Ruth CWBP tulppa (6) ja Van Ruth HD tulppa (7) (KATI 2021).*

## 8 Käsitteellinen malli

### 8.1 Havainnollistaminen

Käsitteellinen malli haitta-aineiden oleellisista kulkeutumis- ja altistumisprosesseista on kuvattu kuvassa 8-1. Kuvassa esitetyt altistumistavat ja kulkeutumisreitit on kuvattu sanallisesti kappaleessa 8.3.





Kuva 8-1 Käsitteellinen malli haitta-aineiden oleellisista kulkeutumis- ja altistumisprosesseista.

## 8.2 Aineen lähde

Tarkastelussa kriittiseksi tunnistettuja aineita käytetään kairauksen huuhteluvedessä ja niitä kulkeutuu myös nk. kairaussoijaan. Valtaosa kairaussoijasta kerätään talteen, alle 5 % maanpinnalle nousevasta kairaussoijasta jää ympäristöön. Ympäristöön jäävä osuus aineesta sijoittuu pääasiassa kairareikään maanpinnan alapuolelle sekä maanpinnalle puhdistuksen jälkeen jäljelle jäävään osuuteen kairaussoijasta.

Kairareikiin jäävä huuhteluvesi ja kairaussoija ovat kontaktissa kalliopohjaveteen. Kairareikässä oleva maaputki estää kairareikässä olevan veden pääsyn ympäröivään maaperään ja maapohjaveteen.

## 8.3 Altistumistavat ja kulkeutumisreitit

### 8.3.1 Suora kosketus

Mikäli eliö on kontaktissa maanpinnalla olevaan kairaussoijaan, altistuu se mahdollisesti myös suoraan haitta-aineelle. Myös vesieliöt voivat altistua suoraan haitta-aineiden mahdollisen kulkeutumisen takia.

Suora kosketus on oleellinen altistumistapa.

### 8.3.2 Haihtuminen

Haihtumista ei käsitellä oleellisena kulkeutumisreittinä tai altistumistapana.

### 8.3.3 Pölyäminen

Malminetsintäalueella kallioperää peittää pääosin suo, mutta osa kairauksesta suoritetaan kivennäismailla. Alue on ympärivuotisesti pääsääntöisesti kostea eikä merkittävää pölyämistä tapahdu. Pölyämistä ei käsitellä oleellisena kulkeutumisreittinä.

### 8.3.4 Pintavalunta

Suljetusta huuhteluvesijärjestelmästä huolimatta maanpinnalle saattaa joutua pieniä määriä kriittiseksi tunnistettuja aineita kairaussoijan mukana. Tarkasteltavan alueen pintavalunnan pääsuunnat ovat jokea kohti varsinkin lähellä jokea, jolloin on mahdollista, että haitta-aineita kulkeutuu jokiveteen. Pintavaluntaa käsitellään oleellisena kulkeutumisreittinä.

### 8.3.5 Pohjavesikulkeuma

Haitta-aineita saattaa kulkeutua kairareikiin jääneestä aineksesta pohjaveteen ja pohjaveden mukana edelleen Kitiseen. Pohjavesikulkeumaa käsitellään oleellisena kulkeutumisreittinä. Tarkastelussa ei kuitenkaan käsitellä esimerkiksi pohjavesialueiden mahdollisen tulevaisuudessa tapahtuvan käytön kautta tapahtuvaa altistusta. Arviointi on haasteellinen lyhyelläkin aikavälillä, huomioiden pienet ainemäärät ja suuri laimeneminen.

## 8.4 Altistuminen

### 8.4.1 Ihmiset

Tarkasteltavan alueen sijainti Natura2000-alueella rajaa pois merkittävän ihmisaltistuksen. Alueella liikutaan satunnaisesti virkistyskäytössä.

### 8.4.2 Eliöstö

Tarkasteltava alue on luonnontilaista Natura-aluetta, jossa esiintyy mm. harvinaisia sammalia sekä suojeltavia kasveja ja lintuja ja sammakkoeläimiä. Osa kairareijistä sijaitsee Kitisen läheisyydessä, ja haitta-aineita saattaa päätyä pohjaveden tai pintavalunnan mukana jokeen. Viiankiaavan ja Kitisen eliöstöjä käsitellään mahdollisina altistujina.

## 9 Kriittisten aineiden määrät ja pitoisuudet

Riskiperusteisessa tarkastelussa ei noussut esille sellaisia aineita, jotka olisivat ympäristölle haitallisia, kts. kappale 5.3.

## 10 Ekologinen riskinarviointi

Luvussa 8 luodussa käsitteellisessä mallissa todettiin oleellisiksi kulkeutumis- ja altistumisprosesseiksi sekä altistujiksi:

- suora kosketus – kairaussoija → Viiankiaavan eliöstö
- Pintavalunta – Kairaussoijan kulkeutuminen → Kitisen tai pienvesien (kuten Ruosteoja) eliöstö
- Pohjavesikulkeuma – Kairaussoija/huuhteluvesi kairareissä → suora kosketus/Kitisen tai pienvesien eliöstö

Koska käytettävät kemikaalien on todettu aiheuttavan vain alhaisen riskin toksisuuden perusteella, ei eliöstölle arvioida aiheutuvan haittaa.

Viiankiaavan kairausalueelle sijoittuu myös viitasammakon lisääntymis- ja levähdysalueita. Kairaukset ja kairareikien tulppaukset tehdään talviaikana, jolloin sammakot ovat horroksessa. Kairauksessa ei käytetä sellaisia kemikaaleja, jotka olisivat viitasammakoille haitallisia: kemikaaleissa ei ole voimakkaasti happamoittavia yhdisteitä tai metalleja (esim. alumiini tai kupari) (SYKE 2012). Tulppauksesta voi aiheutua pH:n nousua kairanreiässä, mutta vaikutus ei todennäköisesti ole havaittavissa edes lievänä etäämpänä kairanreiästä. Lievä pH:n nousu ei ole haitallinen viitasammakolle (SYKE 2012).

## 11 Kulkeutumisen arviointi

Suunnitellun toimenpidealueen läheisyydessä tai sen kohdalla sijaitsee kaksi luokkaan 2 luokiteltua pohjavesialuetta. Kersilönkangas (tunnus 12758187) ja Pahalaksonmaa (tunnus 12758186). Suunniteltu toimenpidealue osuu pieneltä osin eteläpuolella olevan Pahalaksonmaan pohjavesialueen alueelle. Toimenpidealueen lähellä Kitisen toisella puolella on kolme luokiteltua pohjavesialuetta. Myllymaa (tunnus 12758184) luokka 2 (vedenhankintaan soveltuva pohjavesialue) sekä Ahvenjärvenkangas (tunnus 12758120) luokka 2.

Ympäristönsuojelulain (527/2014) mukaan pohjaveteen ei saa päästä haitallisia aineita siten, että tärkeällä tai muulla vedenhankintakäyttöön soveltuvalla pohjavesialueella pohjavesi voi käydä terveydelle vaaralliseksi tai sen laatu muutoin olennaisesti huonontua.

Kitisen rantapenkat ovat karkearakeista maa-ainesta, joista pohjavesi purkautuu Kitiseen. Vaikka suurinta osa kairausalueelle sijoittuvasta Kitisen jokipenkereestä ei ole luokiteltu pohjavesialueeksi, on alue kuitenkin maa-aineksen ja topografian vuoksi pohjavettä muodostavaa. Alueella tapahtuu myös pohjaveden läpivirtausta

viereisiltä pohjavesialueilta sekä suoalueelta kohti Kitistä. Kairatessa maaputki estää huuhteluveden suoran imeytymisen kairareilistä maaperän pohjaveteen. Rantapenkoilla kairatessa kemikaaleja voi periaatteessa kuitenkin imeytyä kairaussoijasta hyvin vähäisinä määrinä maanpinnalta maaperään ja päätyä pohjaveteen kulkeutuen pohjaveden mukana Kitiseen. Jotta tämä skenaario toteutuisi, kairaussoijaa tulisi kuitenkin olla maastossa huomattavina määrinä. Kitiseen kulkeutuvien kemikaalien määrän arvioidaan kuitenkin kokonaisuudessaan erittäin alhaiseksi, sillä rantapenkalle suunniteltujen kairauspisteiden määrä on vähäinen, ja ne ovat pääosin Natura-alueen ulkopuolella. Lisäksi maanpinnalle nousevasta kairaussoijasta kerätään talteen keskimäärin 95–100 %.

Kauempana rantapenkoista suon pinnalle mahdollisesti jäävät kairauksessa käytettävät kemikaalit voivat kulkeutua pintavaluntana ympäristöön, mikäli kairaussoijaa jää maastoon. Kairaussoijaa tulisi kuitenkin olla maastossa huomattavina määrinä, jotta kemikaalien havaittavissa olevaa leviämistä esiintyisi edes kairauspisteen läheisyydessä. Todellisuudessa kairaussoijaa jää maastoon vain niiltä osin, kuin sitä ei esimerkiksi pystytä erottelemaan turpeen huokoisesta pinnasta. On myös huomioitava, että kairaus ja soijan poisto tehdään lumipeitteisenä ja jäisenä aikana. Suuri osa kairausalueen suo-osan pintavalunnasta virtaa Kärvaslammen suuntaan ja/tai Kitiseen. Kairausalueen soisessa eteläosasta pintavedet virtaavat kohti lounasta, jolloin kemikaaleja voi teoreettisesti levittäytyä pidemmälle suolle laskien lopulta Sakattiojan kautta Kitiseen.

Kairauksessa käytettävien kemikaalien laatu ja määrä huomioiden, kemikaalien ei arvioida päätyvän pohjavesialueille niiden laatuun vaikuttavina pitoisuuksina.

Koska kairareitit ovat useamman sadan metrin pituisia, suurin osa kemikaaleista sijaitsee kalliopohjavedessä. Kalliopohjaveden virtausta on tutkittu pohjavesimallinnuksen avulla (Stantec 2020). Voidaan pitää epätodennäköisenä, että kalliopohjavettä purkautuisi merkittävinä määrinä Kitiseen. Pohjavesimallinnuksen tuloksena on todettu, että ehyen kallion vuorovaikutus esimerkiksi ylempien maaperäkerrosten kanssa on vähäistä eivätkä esimerkiksi Sakatin alueen pohjaruhje tai kallioperän pystyrühjeet jatku jokivarren hyvin vettä johtaviin maaperäkerroksiin.

Kairareikien tulppauksessa erittäin vähäisiä määriä kairauksen apuaineita voi päästä kalliopohjaveteen. Tulppauksessa käytetään suljettua vesikiertoa kuten kairauksessakin. Itse sementtitulpan kontakti kairareian kalliopohjaveteen on hyvin vähäistä, koska sementti on eristetty kalliopohjavedestä erillisillä ylä- ja alapuolisilla tulvilla ja tulpat sekä sementointi tehdään ehjään kiveen, jossa veden virtaus on vähäistä tai olematonta. Tulppauksen jälkeen kairareian yläosan vesi on eristetty tulpan alapuolisesta kalliopohjavesikerroksesta, mikä pienentää edelleen käytettävien kemikaalien kulkeutumista syviin kalliopohjavesiin.

Päästölähteitä on kohteessa useita, koska haitta-aine on peräisin useasta kairareistä. Näin ollen haitta-aineella ei ole yhtä yksittäistä sekoittumisvyöhykettä joessa, vaan haitta-aine sekoittuu jokiveteen useammassa

pisteessä arviolta 1,5 km matkalla. Suurin osa kairareijistä ei myöskään sijaitse joen välittömässä läheisyydessä, vaan turvekerrosalueella, jossa veden virtaus on vähäistä. Merkittävin osa pohjavedestä, jossa saattaisi olla pieniä määriä kairauksessa käytettäviä kemikaaleja, on lisäksi kalliopohjavettä, jonka purkautumispaikoista ei ole käytettävissä tietoa – on kuitenkin epätodennäköistä, että kalliopohjavedet purkautuisivat merkittävässä määrin Kitiseen. Kyseessä ei myöskään ole ajallisesti yksittäinen päästötapauhtuma, vaan pohjavesi kulkeutuu tutkimusalueelta jokeen usean kuukauden tai jopa vuosien aikana. Lisäksi kulkeutumisreitillä aineet altistuvat erilaisille olosuhteille, joiden seurauksena tapahtuu kemiallisia reaktioita ja myös pidättymistä.

Maaperän yläosassa pohjaveden virtaussuunnat ovat pääpiirteissään yhtenevät pintavalunnan suuntien kanssa, keskeisimmiltä tutkimusalueilta (pois lukien mahdolliset kairaukset ja tulppaukset Pahanlaaksonmaan koillisreunalla) ei juurikaan suuntaudu pohjavesivirtauksia Pahanlaaksonmaan ja alueelle sijoittuvan Pahalaksonmaan pohjavesialueen suuntaan. Pohjavesialueen itäpuolella virtaussuunta on pohjoiseen (kohti Kitistä) ja eteläpuolella lounaaseen (kohti Kitistä). Pahalaksonmaan pohjavesialue näkyy siniraidallisena myös valumasuuntien karttakuvassa (Kuva 2-2).

## 12 Epävarmuudet

Kriittisten aineiden valintaan liittyy epävarmuutta koskien aineiden koostumusta. Kaikista kemikaaleista ei ollut pääkomponentteja saatavilla, miltä osin ei myöskään pystytty arvioimaan aineiden käyttöön liittyviä ympäristöriskejä. Toisaalta näiden aineiden valmistajat ovat tunnettuja ja pitkään alalla toimineita.

Haitta-aineiden kulkeutumisen arviointia vaikeuttaa alueen maaperän monimuotoisuus ja pienipiirteisyys. Myöskään laajan (ja syvän) kokonaisuuden pohjavesimallinnus ei tue edellä mainittujen pienipiirteisten yksityiskohtien tarkastelua. Varsinkin pohjavesikulkeutumisen arviointia hankaloittaa lisäksi se, että kairareikään jäävän kairaussoijan määrää koskeva arvio on karkea.

## 13 Päätelmät ja suositukset

Viiankiaavan kairauksissa ja kairareikien tulppauksessa käytettävistä kemikaaleista yhdenkään ei tunnistettu aiheuttavan ympäristölle merkittävää riskiä. Tarkastelussa otettiin huomioon sekä altistuminen suoraan tai välillisesti sekä maaeliölle että vesistöissä.

Kairaussoija keruun tehostaminen on jo pienentänyt merkittävästi maastoon jäävän, kiintokalliosta peräisin olevan kairaussoijan määrää ja samalla myös käytettävien kemikaalien määrää. Kairaussoijasta saadaan talteen keskimäärin 95-100 %.

Mikäli kairauksissa otettaisiin käyttöön uusi kemikaali, olisi myös sen muodostama riskitaso arvioitava ennen käyttöönottoa.

## 14 VIITTEET

ECHA. Euroopan unionin kemikaaliviraston kemikaalirekisteri.  
<https://echa.europa.eu/fi/information-on-chemicals>

ECOTOX. Yhdysvaltain liittovaltion ympäristöhallinnon kemikaalitietokanta.  
<https://cfpub.epa.gov/ecotox/>

Golder Associates Oy 2013. AA Sakatti Mining Oy. Kairausten apuaineiden vaikutus Viiankiaapaan.

Golder Associates Oy 2015. AA Sakatti Mining Oy. Kairausten apuaineiden vaikutus Viiankiaapaan.

Oy Kati Ab 2021. Kuvaus tulppauksesta.

Korkka-Niemi, K. (ed.), Rautio, A., Åberg, S., Åberg, A., Bigler P. and Salonen, V-P. 2017. Hydro- and environment geological studies during the years 2016-2017 around Sakatti exploration target. Final report: Characterization of geo-hydro-ecological factors possibly controlling the distribution of endangered species of Viiankiaapa mire. AA Sakatti Mining Oy 31.12. 2017. University of Helsinki. Division of Geology and Geochemistry

LAPin ELY-keskus 2019. Esitys pohjavesialueiden luokitus- ja rajaumuutoksista Sodankylän kunnassa 13.2.2019. (LAPELY/423/2017)

Lapin Vesitutkimus Oy 2009. Viiankiaavan kaivoslain mukaisten valtausalueiden Natura-arviointi. 8.12.2009.

Pöyry Finland Oy 2019. AA Sakatti Mining Oy. Kairausapuaineiden ympäristövaikutuksista.

Salonen, V. 2019. Ympäristögeologinen maaperäselvitys Sakatin kaivoshankkeen ympäristövaikutusten arvioinnin tausta-aineistoksi.

Stantec 2020. Groundwater Modeling Assessment of the Proposed Underground Mine at the Sakatti Cu-Ni-PGE-Au Deposit, Northern Finland.

SYKE 2012. Viitasammakko Rana arvalis Nilsson, 1842. Esiselvitys, SYKE 2012, Maarit Jokinen.

Ympäristöministeriö 2018: Valtioneuvoston päätös 2018 tietojen tarkistamisesta ja verkoston täydentämisestä (SYKE).

<https://syke.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=831ac3d0ac444b78baf0eb1b68076e1a>

Åberg, A., Salonen, V.-P., Korkka-Niemi, K., Rautio, A., Koivisto E., Åberg, S. 2017. GIS-based 3D sedimentary model for visualizing complex glacial deposition of Kersilö, Finnish Lapland. Boreal Environment Research 22: 277–298.









Liite 10c

Sivula

Pekkala

Kersilö

Taka-aapa

Maotojärvi

Anvenjärvi

Sahankangas

Anvenjärvi

Ollila

Hietakangas

Jolakka

Kenttäaapa

Kuusivaara

Kuusivaara

Porokodanjänkä

Eliasaapa

Hevosenäärampi

Jalaskaarko

Karjalankaarko

Matiaksenräme

Kotavaara

Kottjärvi

Rytälampi

Viianki-järvi

Särkikoskenmaa

Viiankiaapa

Viiankiaavan  
Petäjäsaari

Sakattilampi

Hiivanaasaari

Hiiva

Hiivanaasaari

Sakattilampi

Viiankiaapa



Liite 10d

Sivula

Pekkala

Kersilö

Taka-aapa

Maatojärvi

Mäntijärvi

Sahankangas

Arvenjärvi

Ollila

Hietakangas

Jolakka

Kenttäaapa

Kuusivaara

Kuusivaara

Porokodanjänkä

Eliasaapa

Hevosenväärimpi

Jalaskaarko

Karjalankaarko

Viiankiaapa

Viiankiaavan  
Petäjäsaari

Sakattilammit

Kotavaara

Kotjärvi

Rytälampi

Viianki-  
järvi

Sarkikoskenmaa

Hiivanahara

Hiiva

Hiivanasaari

Matiaksenräme

Sakattilampi

Viiankiaapa



