



engineers | scientists | innovators

UUMAJAN KÄRÄJÄOIKEUS

Tuomarit 2:5

VASTAANOTETTU: 2022-03-06

ASIANUMERO: M 2090-19

ASIAKIRJALIITE: 596

METALLIPITOISUUDET LÄHIALUEILLA OLEVISSA PURKUVESISTÖISSÄ KAIVOSTOIMINNAN LOPETTAMISEN JÄLKEEN

UMEÅ TINGSRÄTT

Domare 2:5

INKOM: 2022-06-13

MÅLNR: M 2090-19

AKTBIL: 698

TAPULI, PALOTIEVA JA SAHAVAARA, PAJALAN KUNTA

Tilaaaja:

Kaunis Iron AB

Bert-Ove Johansson

väg 8 984 81 Pajala

Päivämäärä: **4.3.2022**

Projektinummer: **SE2100013**

Laatinut:

Geosyntec Consultants AB

Medborgarplatsen 3

SE-118 26 Stockholm

Översättning

ref.nr: 73039881

Stockholm

2022-06-13

Versionumero: 1.0

Översättning
ref.nr: 73039881

Stockholm
2022-06-13

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	1
2	TARKOITUS	1
3	YLEISTÄ TIETOA LASKELMISTA	1
4	VIRTAUKSET	2
5	LASKETTU JÄLKIHOITOKOhteiden aiheuttama kuormitus	4
5.1	Rikastushiekka-altaan aiheuttama kuormitus.....	4
5.1.1	Vaahdotushiekan varastointisolu.....	5
5.1.2	Silikaattivaltainen rikastushiekka	5
5.1.3	Lähtökohdat, skaalaus ja aineensiirto.....	6
5.2	Tapulin avolouhosten aiheuttama kuormitus	7
5.3	Sahavaaran ja Palotievan avolouhosten aiheuttama kuormitus.....	9
5.4	Tapulin sivukivivaraston aiheuttama kuormitus	11
5.5	Sahavaaran sivukivivaraston aiheuttama kuormitus.....	12
6	ODOTETUT PITOISUUDET ALUEEN PURKUVESISTÖISSÄ TOIMINNAN LOPETTAMISEN JÄLKEEN 13	
6.1	Odotetut pitoisuudet: Kaunisjoki Sahavaarassa	14
6.2	Odotetut pitoisuudet: Kaunisjärvi ennen Patojokea	15
6.3	Odotetut pitoisuudet: Kaunisjoki ennen Aareajokea	15
6.4	Odotetut pitoisuudet: Aareajoki ennen Kaunisjokea	16
6.5	Odotetut pitoisuudet: Kaunisjoki Aareajoen jälkeen	16
7	TÄYDENTÄVÄ ENNUSTE PITOISUUKSIA PIENENTÄVÄT VAIKUTUKSET HUOMIOON OTTAEN.....	17
7.1	Ajan mittaan tapahtuva laimentuminen avolouhosjärvien veden vaihtumisen seurauksena.....	17
7.2	Metallien immobilisaatio kulkeutumisreiteillä	18
7.2.1	Täydentävä laskelma odotetusta uraanin immobilisaatiopotentiaalista	21
7.3	Arvioitu teoreettinen immobilisaatio – uraania koskeva laskentaesimerkki	22
8	KOKONAISARVIOINTI	22
9	VIITTEET	23

TAULUKOT

Taulukko 1: Veden virtaukset tutkituissa
vesistöissä/purkuvesistöissä

Översättning
ref.nr: 73039881 3

Stockholm
2022-06-13

Taulukko 2:	Kuormittava virtaus ja sen jakautuminen kustakin jälkihoitokohteesta. Yksikkö: m ³ /s	3
-------------	---	---

Taulukko 3: Laskettu aineensiirto magneettierotellun rikastushiekan hiekka-altaasta...	7
Taulukko 4: Laskettu aineensiirto vaahdotushiekan varastointisolusta. Kuormituksen odotetaan tapahtuvan olennaisin osin Kaunisjärven suuntaan ennen Patojokea.....	7
Taulukko 5: Mitatut ainepitoisuudet Tapulin keskilouhoksen ollessa osittain täytetty uudelleen sekä laskettu Tapulin avolouhosten lähtevä kokonaiskuormitus virtaaman ollessa 0,0068 m ³ /s. Yksikkö: mg/l.....	8
Taulukko 6: Mallinnetut ainepitoisuudet Sahavaarassa toiminnan aikana sekä näiden pitoisuuksien perusteella laskettu lähtevä kokonaiskuormitus sulkemisen jälkeen Sahavaaran avolouhoksesta virtaamalla 0,0098 m ³ /s sekä Palotievan avolouhoksesta virtaamalla 0,0012 m ³ /s.....	10
Taulukko 7: Laskettu aineensiirto Tapulin sivukivivarastosta.....	11
Taulukko 8: Laskettu kuormitus Sahavaaran sivukivivarastosta	12
Taulukko 9: Prosenttiosuus kunkin kohteen aiheuttamasta, suoraan purkuvesistökohtaan kulkeutuvasta vuotuisesta kokonaiskuormituksesta. Taulukossa tarkoitetaan ainoastaan suoraan purkuvesistökohtiin tapahtuvaa kulkeutumista, ei siis odotettavissa olevia kertyneitä osuuksia alavirtaan sijaitsevista paikoista.	14
Taulukko 10: Lasketut vuosikeskipitoisuudet Kaunisjoessa Sahavaarassa. Keskivirtaama 1,97 m ³ /s	14
Taulukko 11: Lasketut vuosikeskipitoisuudet Kaunisjärvessä ennen Patojokea. Keskivirtaama 0,1 m ³ /s	15
Taulukko 12: Lasketut vuosikeskipitoisuudet Kaunisjoessa ennen Aareajokea. Keskivirtaama 3,7 m ³ /s	15
Taulukko 13: Lasketut vuosikeskipitoisuudet Aareajoessa ennen Kaunisjokea. Keskivirtaama 1,9 m ³ /s	16
Taulukko 14: Lasketut vuosikeskipitoisuudet Kaunisjoessa Aareajoen jälkeen. Keskivirtaama 5,55 m ³ /s	17
Taulukko 16: Immobilisaatio turpeessa prosentteina ilmaistuna Sahavaaran sivukivivaraston runsasrikkisen jätteen suotoveden tulo- ja menovirtauksen välillä (Northland, 2014)	19
Taulukko 16: Veden läpäisemän turpeen määrää sekä uraanin pidättämistä koskevat laskelmat.....	20
Taulukko 17: Teoreettiset uraanipitoisuudet, mukaan lukien tausta, tutkituissa purkuvesistöissä pidätysasteen ollessa 0 % ja 75 % ympäröivillä turvemailla. Yksikkö: µg U/l	22

KUVAT

Kuva 1: Tutkitut jälkihoitokohteet, purkuvesistöt ja pääasialliset kuormitus suunnat	2
--	---

Kuva 2: Virtaamat purkuvesistöissä sekä metallien pääasiallisilla kulkeutumisreiteillä jälkihoitokohteista	4
---	---

Kuva 3: Metallikuormituksen kehitys avolouhosjärvien veden asteittaisen vaihtumisen seurauksena..... 18

Kuva 4: Kartta, jonka tarkoituksena on kuvata turvetilavuuden, jonka läpi virtaa kaivosalueelta tulevaa vettä, konseptuaalista määrittämistä 20

1 JOHDANTO

Tämän raportin on laatinut Geosyntec Consultants AB (Geosyntec) Kaunis Iron AB:n (KIAB) toimeksiannosta. Raportin tarkoituksena on selostaa tehtyjä laskelmia tulevista metallien kulkeutumisista ja metallipitoisuuksista lähistöllä olevissa purkuvesistöissä sen jälkeen, kun suunnitellut ja olemassa olevat avolouhokset, rikastushiekka-altaat ja sivukivivarastot Tapulissa, Sahavaarassa ja Palotievassa on suljettu.

2 TARKOITUS

Esiteltävän työn tarkoituksena on ollut saada aineistoa pohjaksi päivitetylle kokonaisarvioinnille veden laatuun kohdistuvista vaikutuksista purkuvesistöissä niillä alueilla ja niiden alueiden yhteydessä, joita KIAB:n hakema ympäristölupa koskee, toiminnan lopettamisen ja jälkihoidon jälkeen. Työ ja sen tulokset kuvaavat odotettavissa olevaa lopetetusta ja jälkihoidetusta kaivostoiminnasta aiheutuvaa, metallien hajanaisen kulkeutumisen seurauksena syntyvää purkuvesistöjen kuormitusta

3 YLEISTÄ TIETOA LASKELMISTA

Tässä työssä tehtävänä on ollut laskea odotettavissa oleva kaivosalueen olemassa olevien tai suunniteltujen kohteiden aiheuttama metallikuormitus niiden sulkemisen ja jälkihoidon jälkeen sekä arvioida, miten läheisten purkuvesistöjen metallipitoisuudet voivat muuttua tämän kuormituksen seurauksena.

Selvitys on koskenut jälkihoitokohteita, joita on pidettävä riskien vähentämisen kannalta olennaisina. Tällaisia ovat

- Kaunisvaaran rikastushiekka-allas, mukaan lukien vaahdotushiekan varastointisolu
- Tapulin ja Sahavaaran sivukivivarastot
- Tapulin, Palotievan ja Sahavaaran avolouhokset.

Kohteet, joita ei ole otettu mukaan selvitykseen, ovat joko sellaisia (esimerkiksi teollisuusalue tai kaivosalueen tiet), joilla ei voida katsoa olevan merkitystä lähdetermeinä (saastumisen leviämisen lähde) sulkemisen jälkeen, tai sellaisia (esimerkiksi malmivarastot), joiden on oltava lopetettu ja tyhjennetty materiaaleista jälkihoidon päättymisen yhteydessä ja jotka eivät näin ollen aiheuta minkäänlaista kuormitusta tulevaisuudessa.

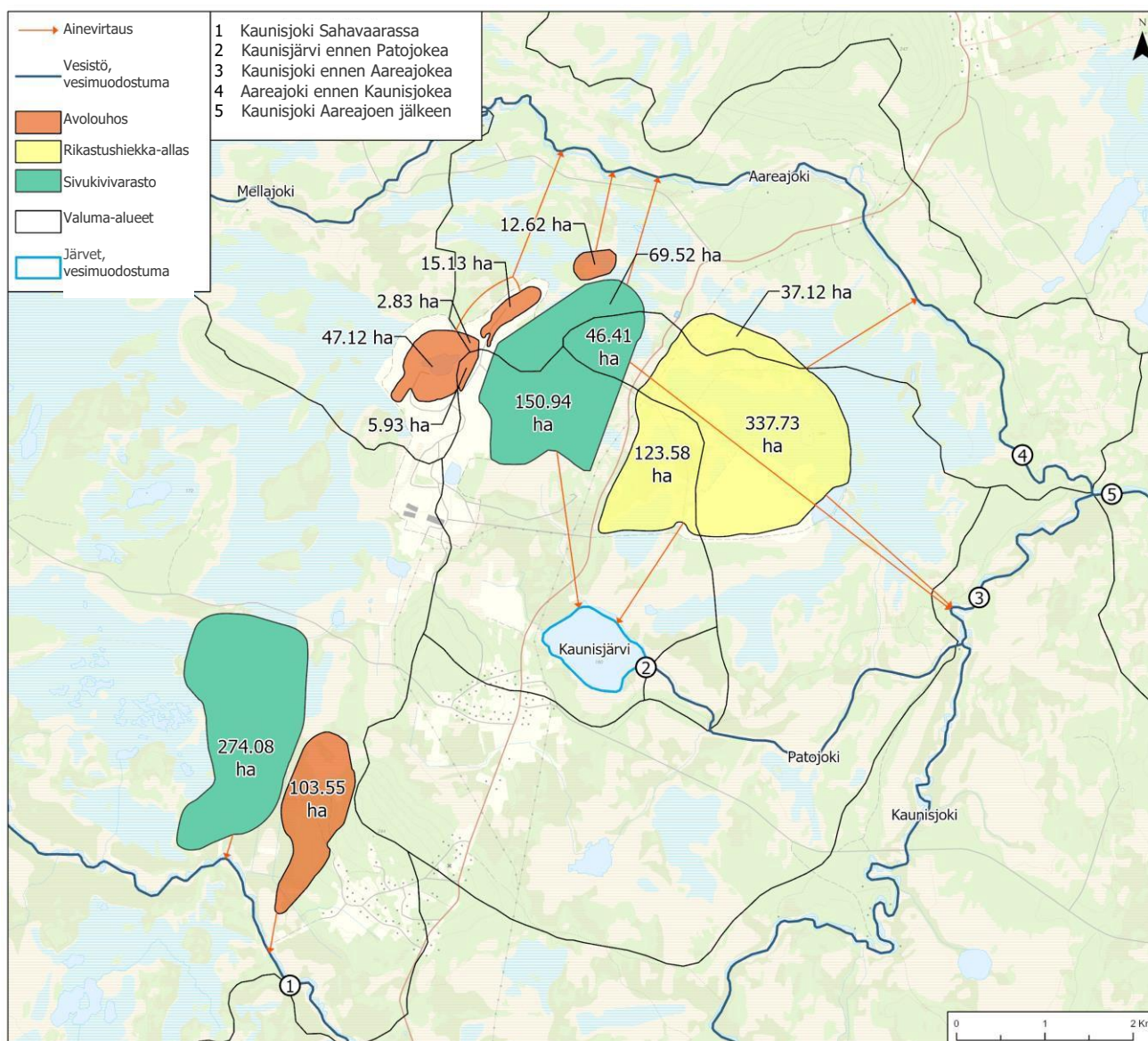
Odotettavissa olevia eri kohteista peräisin olevan kuormituksen aiheuttamia pitoisuusmuutoksia on tutkittu valikoiduissa konseptuaalisissa paikoissa Aareajoessa ja Kaunisjoessa sekä Kaunisjärvessä seuraavasti:

1. Kaunisjoki Sahavaaran jälkeen
2. Kaunisjärvi ennen Patojokea

3. Kaunisjoki ennen Aareajokea

4. Aareajoki ennen Kaunisjokea
5. Kaunisjoki Aareajoen jälkeen

Tutkittujen kohteiden ja purkuvesistöjen maantieteellinen sijainti esitetään yhdessä kaivosalueella olevien vedenjakajien (valuma-alueet) kanssa **Virhe! Viitteen lähde ei löytnyt.** Samasta karttakuvasta ilmenee myös kunkin kohteen aiheuttaman kuormituksen pääasiallinen suunta.



Kuva 1: Tutkitut jälkihoitokohteet, purkuvesistöt ja pääasialliset kuormitus suunnat

4 VIRTAAUKSET

Koska odotettavissa on, että metalleja kulkeutuu jälkihoitokohteista pääasiassa veden välityksellä, on laskettu aluksi veden virtauksen suuruus eri jälkihoitokohteista sekä tutkituissa purkuvesistöissä. Jälkihoitokohteiden virtaukset on saatu kertomalla alueen normaalivuoden nettosadanta, joksi on vahvistettu 300 mm/vuosi (PM Hydrogeologi), ja kyseisen kohteen suunniteltu pinta-ala. Purkuvesistöjen virtaustiedot on haettu SMHI:n Vattenweb-palvelusta.

Allasalueella olevien pintavaluman vedenjakajien perusteella on määritetty lopuksi pääasialliset kulkeutumis suunnat ja -virtaukset altaan tulevan kuormituksen osalta kaikissa kohteissa. Lisäksi kokonaisvirtauksen jakautuminen eri suuntiin kustakin kohteesta on määritetty käyttämällä kuvassa 1 esitettyjen alueiden välisiä suhteita kohteiden levittäytymisen osalta kullakin osavaluma-alueella.

Tutkittujen purkuvesistöjen virtausarviointien tulokset esitetään taulukossa 2. Arvioidut kokonaisvirtaukset sekä niiden jakautuminen eri purkuvesistöihin esitetään taulukossa 2. Kuvassa 2 näkyy yhteenveto kaikista lasketuista virtauksista.

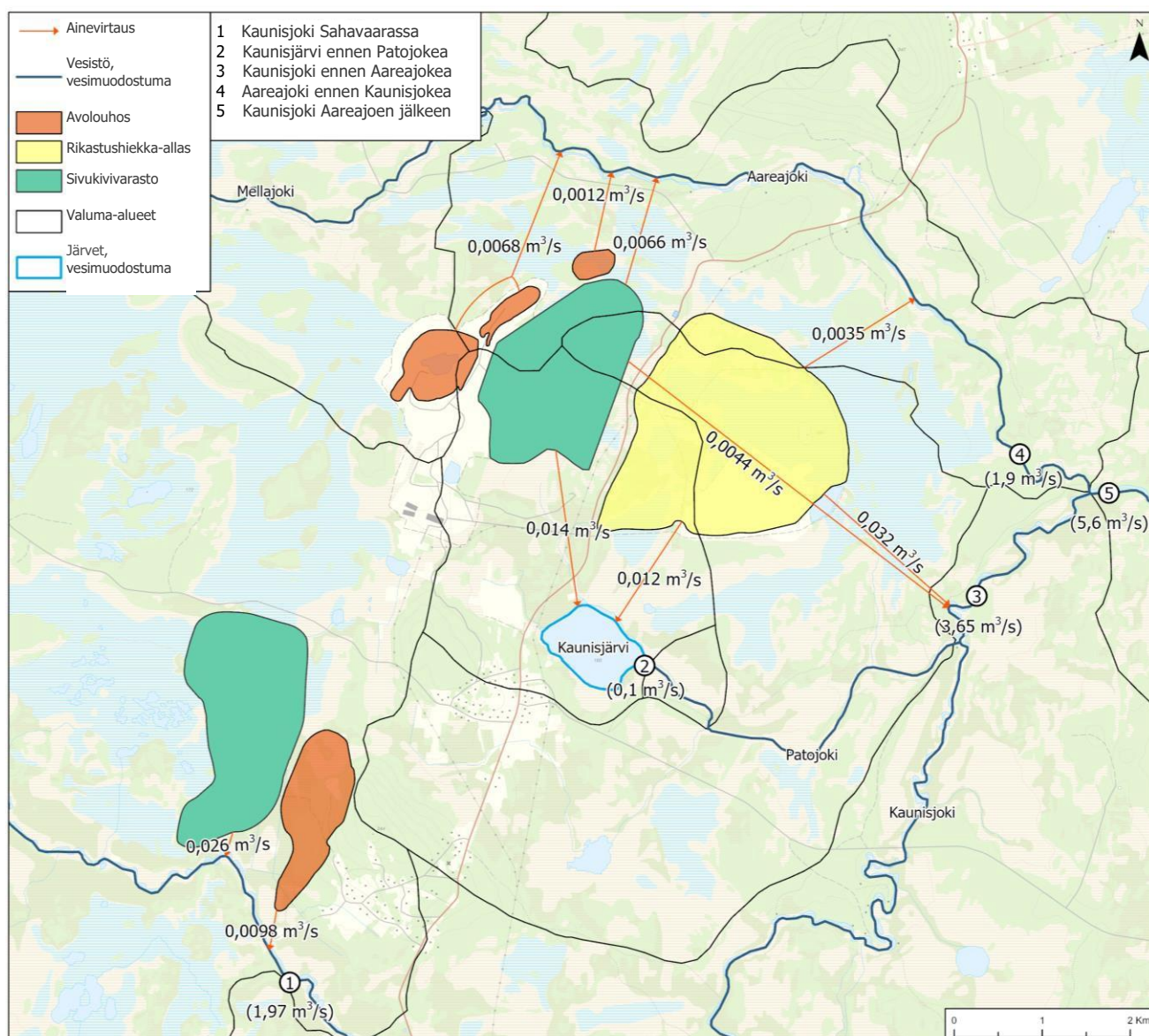
Vuorokausikeskiarvona (MQ) olevien virtaustietojen soveltamista perustellaan sillä, että sademäärillä, valumalla jälkihoitokohteista ja purkuvesistön virtaamilla voidaan odottaa olevan yhteisvaihtelua. Tämän vahvistavat myös samankaltaisen Hydrosense-hankkeen (2018) yhteydessä tehdyt tutkimukset. Virtauksen suuruuden yhteisvaihtelu kohteen ja purkuvesistön välillä merkitsee kyseessä olevalla alueella sitä, että veden menovirtaus ja näin ollen myös metallien poiskulkeutuminen on vähäistä samalla kun purkuvesistön virtaamat ovat pieniä ja päinvastoin.

Taulukko 1: Veden virtaukset tutkituissa vesistöissä/purkuvesistöissä

Purkuvesistökohta	Virtaama (m ³ /s)	Virtaama (m ³ /vuosi)
1. Kaunisjoki Sahavaarassa	1,97	62 125 920
2. Kaunisjärvi ennen Patojokea	0,1	3 153 600
3. Kaunisjoki ennen Aareajokea	3,65	115 106 400
4. Aareajoki ennen Kaunisjokea	1,9	59 918 400
5. Kaunisjoki Aareajoen jälkeen	5,6	175 024 800

Taulukko 2: Kuormittava virtaus ja sen jakautuminen kustakin jälkihoitokohteesta. Yksikkö: m³/s

Virtaussuunta	Tapulin sivukivi-varasto	Tapulin avolouhos	Palotievan avolouhos	Rikastus-hiekka-allas	Sahavaaran avolouhos	Sahavaaran sivukivi-varasto
1. Kaunisjoki Sahavaarassa	-	-	-	-	0,0098	0,025
2. Kaunisjärvi ennen Patojokea	0,014	-	-	0,012	-	-
3. Kaunisjoki ennen Aareajokea	0,0044	-	-	0,032	-	-
4. Aareajoki ennen Kaunisjokea	0,0066	0,0068	0,0012	0,0035	-	-
Yhteensä kohteista	0,025	0,0068	0,0012	0,047	0,0098	0,026



Kuva 2: Virtaamat purkuvesistöissä sekä metallien pääasiallisilla kulkeutumisreiteillä jälkihoitokohteista

5 LASKETTU JÄLKIHOITOKOHTEIDEN AIHEUTTAMA KUORMITUS

Kuormituslaskelmien lähtökohtana on käyty läpi sivukiven ja rikastushiekan geokemiallista karakterisointia, saatavilla olevia analyysitietoja ja suoritettuja mallinnuksia ja tarkastettu ne menetelmien ja arviointien perusteella. Tarkoitusta varten käyttökelpoisiksi arvioituja tietoja on sen jälkeen käytetty laskentatietoina. Kustakin osakohteesta ilmoitetaan, mitä laskelman pohjana on käytetty sekä miten laskelma on tehty.

5.1 Rikastushiekka-altaan aiheuttama kuormitus

Metallien tuleva kulkeutuminen rikastushiekka-altaasta on laskettu käyttäen lähtökohtana Golder (2014) raportissa *Numerisk modellering för vattenströmning och syrenedträngning för föreslagen utformning av sandmagasinet* esittelemän hapen kulkeutumista koskevan mallinnuksen tuloksia.

Eri elementtien suhteellisen mobilisaation on sen jälkeen Erikssonin (2014) esittelemän täydentävän kuormitusarvion mukaisesti oletettu vastaavan suoritetuissa kosteutuskammiokokeissa havaittua huuhtoutumista, kun ne tasapainottuneet ja niiden tulokset on vakioitu mitatun sulfaattipitoisuuden perusteella.

5.1.1 Vaahdotushiekan varastointisolu

Perustana on käytetty johtopäätöksiä edellä mainitusta mallinnuksesta ja kuormituslaskelmista, joissa eri elementtien suhteellisen mobilisaation on oletettu olevan sama kuin suoritetuissa kosteutuskammiokokeissa (2013 Metals Sample A) ja se on normalisoitu sulfaattipitoisuuden perusteella.

Laskelmissa on käytetty seuraavia oletuksia rikastushiekka-altaassa olevaa vaahdotushiekan varastointisolua koskevien pitkän aikavälin edellytysten osalta:

- Normaalitapauksessa hapen kulkeutuman altaan läpi oletetaan olevan $0,08 \text{ mol/m}^2/\text{vuosi}$.
- Ääritapauksessa (herkkyysanalyysi) hapen kulkeutuman altaan läpi oletetaan olevan $0,25 \text{ mol/m}^2/\text{vuosi}$. Se vastaa suurinta mallinnettua hapen kulkeutumismisnopeutta kerrottuna varmuuskertoimella 2, joka on yleisesti hyväksytty kerroin herkkyysanalyysissä.

5.1.2 Silikaattivaltainen rikastushiekka

Perustana on käytetty johtopäätöksiä edellä mainitusta mallinnuksesta ja kuormituslaskelmista, joissa eri elementtien suhteellisen mobilisaation on oletettu olevan sama kuin suoritetuissa kosteutuskammiokokeissa (S-PP WCT/WLT + Tapuli) ja se on normalisoitu sulfaattipitoisuuden perusteella.

Laskelmissa on käytetty seuraavia oletuksia rikastushiekka-altaassa olevaa vaahdotushiekan varastointisolua koskevien pitkän aikavälin edellytysten osalta:

- Normaalitapauksessa hapen kulkeutuman altaan läpi oletetaan olevan $0,4 \text{ mol/m}^2/\text{vuosi}$.
- Alueet, joilla pohjaveden pinnan arvioidaan olevan maanpinnan alapuolella altaassa, on oletettu pysyvästi kyllästämättömiksi, ja hapettumisvyöhykkeen syvyydeksi siellä on oletettu 1 metri. Rikastushiekan oletetaan hapettuvan hapettumisvyöhykkeellä ja tuottavan liuenneita rapautumistuotteita. Tässä laskelmassa on käytetty mittakerrointa 0,1, jolla kompensoidaan Kaunisvaaran alhaisempaa lämpötilaa verrattuna laboratorio-olosuhteisiin, joissa kosteutuskammiokoe tehtiin. Molempien oletusten katsotaan olevan yleisesti hyväksytyjä kyseessä olevissa olosuhteissa.

5.1.3 Lähtökohdat, skaalaus ja aineensiirto

Laskennassa on lisäksi käytetty seuraavia lähtökohtia:

- nyt suunniteltu rikastushiekka-allas on kooltaan yhteensä 479 ha, jolloin
- vaahdotusjätevaraston osuus on 54 ha hiekka-altaan kokonaispinta-alasta
- silikaattivaltaisen hiekan varaston osuus on 425 ha hiekka-altaan kokonaispinta-alasta.

Koska aiemmin arvioituun mobilisaatioon (Eriksson 2014) nähden on tapahtunut alamuutoksia, aineensiirto vaahdotushiekan varastointisolusta ja silikaattivaltaisesta rikastushiekasta on skaalattu kertoimilla 1,8 ja 1,012.

Allasalueella olevien pintavaluman vedenjakajien sekä edellä oletetun nettosadannan 300 mm/vuosi perusteella on määritetty lopuksi kolme pääasiallista kulkeutumissuuntaa ja -virtausta altaan tulevan kuormituksen osalta:

- Noin 76 prosenttia hiekka-altaan suotovedestä valuu etelään kohti Kaunisjokea ennen Aareajokea (0,032 m³/s).
- Noin 16 prosenttia hiekka-altaan suotovedestä valuu länteen kohti Kaunisjärveä ennen Patojokea (0,012 m³/s).
- Noin 8 prosenttia hiekka-altaan suotovedestä valuu pohjoiseen kohti Aareajokea ennen Kaunisjokea (0,0035 m³/s).

Odotettavissa oleva magneettierotellun hiekan aiheuttama kuormitus eri purkuvesistössä esitetään taulukossa 3.

Laskettu hiekka-altaan vaahdotushiekkasolun aineensiirto esitetään kummankin skenaarion osalta jäljempänä

Taulukossa 4. Pitkän aikavälin aineensiirron ja ainekuormituksen osalta oletuksena on, että 100 prosenttia vaahdotushiekan varastointisolun valumasta suuntautuu länteen kohti Kaunisjärveä ennen Patojokea.

Taulukko 3: Laskettu aineensiirto magneettierotellun rikastushiekan hiekka-altaasta

Parametri	Kokonaisvirtaus purkuvesistöihin, 100 % (kg/vuosi)	2. Kaunisjärvi ennen Patojokea, 16 % (kg/vuosi)	3. Kaunisjoki ennen Aareajokea, 76 % (kg/vuosi)	4. Aareajoki ennen Kaunisjokea, 8 % (kg/vuosi)
As	5,970238095	0,934701003	4,536886601	0,498650492
Cd	0,119404762	0,01869402	0,090737732	0,00997301
Cu	48,4702381	7,588504751	36,83336749	4,048365858
Ni	33,69642857	5,275515829	25,60649556	2,814417183
Pb	3,329166667	0,521214627	2,529891003	0,278061037
U	0,3	0,053705702	0,260678739	0,028651274
Zn	21,75595238	3,406113824	16,53272236	1,817116199

Taulukko 4: Laskettu aineensiirto vaahdotushiekan varastointisolusta. Kuormituksen odotetaan tapahtuvan olennaisin osin Kaunisjärven suuntaan ennen Patojokea.

Parametri	Konservatiivinen skenaario, kosteutuskammiokokeen tiedot, vko 16–30, ”normaali” happidiffuusio 0,08 mol O ² /m ² , vuosi (kg/vuosi)	Konservatiivinen skenaario, kosteutuskammiokokeen tiedot, ”äärimmäinen” happidiffuusio 0,25 mol O ² /m ² , vuosi (kg/vuosi)
Al	0,0414	0,1296
Ca	165,6	520,2
Cd	< 0,0018	< 0,0018
Co	3,888	12,168
Cu	0,207	0,6444
Fe	306	955,08
Mg	649,8	2 032,2
Mn	12,6	39,366
Na	1,098	3,4236
Ni	2,502	7,8228
Sb	< 0,0018	< 0,0018
SO ₄	2 211,84	6 912
U	< 0,0018	< 0,0018
Zn	0,207	0,6462

5.2 Tapulin avolouhosten aiheuttama kuormitus

Tapulin avolouhosten aiheuttamaa kuormitusta koskevissa laskelmissa on oletettu, että alkuperäinen veden laatu avolouhoksessa täytön jälkeen sekä sen veden laatu, jonka oletetaan poistuvan avolouhoksesta sulkemisen jälkeen, vastaa havaittua veden laatua vuonna 2017, kun keskilouhos oli osittain veden täyttämä.

Taulukossa 5 esitetään näytteenoton ja vesianalyysin tulokset ajalta, jolloin avolouhos oli osittain veden täyttämä. Analyysituloksista ilmenee, että avolouhoksen vesi oli sekä pinnalla että syvemmällä lievästi emäksistä, pH 8–8,1.

Tapulin avolouhoksen aiheuttama kuormitus esitetään taulukossa 5. Se on laskettu kertomalla pitoisuudet ajalta, jolloin avolouhos oli osittain veden täyttämä, arvioidulla virtaamalla 0,0068 m³/s, joka on kuvattu kohdassa **Virhe! Viitteen lähdettä ei löytynyt**. Odotettavissa on, että 100 prosenttia kuormittavasta metallien kulkeutumasta suuntautuu kohti purkuvesistökohtaa 4. Aareajoki ennen Kaunisjokea ja tapahtuu pääasiassa pohjavesivirtauksina pinnalta halkeilleessa kalliassa.

Niiden pitoisuuksien käyttämisestä kuormituslaskelmien syötteenä, jotka analysoitiin avolouhoksen ollessa osittain veden täyttämä, voidaan pitää konservatiivisena, koska pitoisuuksia on avolouhosjärven korkeintaan pian täytön jälkeen (kuten Tapulissa tapahtui), minkä jälkeen ne pienenevät ajan mittaan. Odotettu pieneneminen johtuu ennen kaikkea avolouhosjärvien veden luonnollisesta vaihtumisesta, kun niihin virtaa koskematonta vettä, ja metallipitoisuudet laimenevat vähitellen, koska järviin ei enää päädy metalleja. Lisäksi voidaan olettaa, että lievästi emäksinen ympäristö, jollaisen avolouhosjärvien pintaveden voidaan odottaa olevan, johtaa metallien saostumiseen sekundäärimineraaleina, jotka sen jälkeen sedimentoituvat. Metallit voivat sitten joko jäädä saostumiksi tai liueta uudelleen sen mukaan, millaiset ovat veden geokemialliset olosuhteet syvemmällä avolouhoksessa.

Odotettavissa olevan lievästi emäksisen veden voidaan myös olettaa luovan suhteellisen pelkistävässä olosuhteissa hydroksideille immobilisaation kannalta suotuisat olosuhteet, minkä vuoksi hydroksideina olevien metallien mobilisaation voidaan olettaa olevan vähäistä pitkällä aikavälillä. Sitä mukaa kuin avolouhoksen vedenpinta nousee/palautuu, vesimäärään tulee vähemmän rapautumistuotteita. Kun avolouhoksen vedenpinta sitten nousee luonnolliseen tasapainokorkeuteensa, pintavesikomponentin osuus veden kokonaisvirtaamasta kasvaa yhä suuremmaksi.

Taulukko 5: Mitatut ainepitoisuudet Tapulin keskilouhoksen ollessa osittain täytetty uudelleen sekä laskettu Tapulin avolouhosten lähtevä kokonaiskuormitus virtaaman ollessa 0,0068 m³/s. Yksikkö: mg/l

Parametri	Mitattu pitoisuus, osittain veden täyttämä, vesinäyte 1 metrin syvyydestä (mg/l)	Lähtevä kokonaiskuormitus
pH	8,1	-
SO ₄	75,2	16 009
Ca	41,6	8 856
K	6,8	1 448
Mg	20,9	4 449
Na	2,7	575
Al	0,0028	0,60
As	0,00052	0,11
Co	0,00059	0,13
Cr	0,00012	0,03

Parametri	Mitattu pitoisuus, osittain veden täyttämä, vesinäyte 1 metrin syvyydestä (mg/l)	Lähtevä kokonaiskuormitus
Cu	0,002	0,43
Fe	0,02	4,26
Mn	0,0101	2,15
Mo	0,0056	1,19
Ni	0,0045	0,96
Pb	0,00063	0,13
U*	0,012	2,55
Zn	0,0075	1,60

* Mitattu pitoisuus avolouhoksen tyhjennyksen yhteydessä (uraania ei analysoitu kertaakaan avolouhoksen osittaisen täytön aikana tapahtuneen näytteenoton yhteydessä).

5.3 Sahavaaran ja Palotievan avolouhosten aiheuttama kuormitus

Sahavaarassa avolouhoksen alustasta paljastuu louhinnan aikana kalliota, jossa on kohonneita sulfidipitoisuuksia. Tämä kallio voi rapautua ja siitä voi liueta metalleja louhinnan yhteydessä. Vedetön kallioseinä tulee sisältämään sekundäärisiä rapautumistuotteita, jotka huuhtoutuvat siirtymäaikana veden täytön jälkeen avolouhoksen vesimassaan. Rapautuminen voi jatkua täytön aikana kyllästämättömissä osissa.

Alustan puolelta / sen läpi virtaavan veden laadun oletetaan jonkin aikaa louhinnan jälkeen vastaavan pitoisuuksia, jotka mitattiin kuivatettuna pari vuotta olleen koelouhoksen vedentäytön jälkeen vuonna 2007. Se oli sinänsä kokonaan alustassa, mutta pintavalumaa odotetaan tulleen lisää runsaasti. Tulevan pH:n ei odoteta nousevan pintavalumaan sekoittumisen myötä alustan suotoveden happamuuden ja sateiden ja pintavaluman heikon puskurikyvyn vuoksi. Lisäksi liuokseen voi tulla sekundäärimineraaleja täytön aikana.

Vaikka suuren osan Sahavaaraa ympäröivästä kalliosta ei katsota muodostavan hapanta suotovettä, pitoisuuksien muutoksen arvioidaan olevan täyttöaikana mitätön, koska alustasta tapahtuu huuhtoutumista siirtymäaikana ja karbonaattipitoisuus on suhteellisen pieni.

Sahavaaran avolouhoksen pH-arvoja ja liuenneita pitoisuuksia säännellään siirtymäaikana kalkitsemalla. Kun avolouhos täytetään vedellä, sivuseinät jäävät veden alle ja rapautuminen pysähtyy. Veden laadun arvioidaan näin ollen paranevan huomattavasti pitkällä aikavälillä ja suunnitellun kalkitsemisen jälkeen. Avolouhoksen syvyyden vuoksi oletetaan syntyvän kerrostuneisuutta, jonka oletetaan olevan stabiili suuren syvyyden vuoksi. Tästä seuraa, että syvemmällä oleva vesi tulee muistuttamaan koostumukseltaan alueen kalliopohjavettä, kun taas pintakerros on enemmän pintaveden kaltaista. Pintaveden odotettu pH on noin 6, samoin syvemmän kerroksen, koska se on pelkistetympi ja muistuttaa kalliopohjavettä.

Avolouhoksen typpipitoisuudet pienenevät vähitellen, koska typpiyhdisteiden lähdetermi on aktiivisessa louhinnassa käytetyt räjähdysaineet.

Sahavaaran avolouhoksen kuormituslaskelmat perustuvat mallinnettuihin avolouhoksen suotoveden ainepitoisuuksiin toiminnan aikana (Eriksson, 2014). Sovelletut pitoisuudet kuvastavat konservatiivista veden laatua ennen suunniteltuja kalkitustoimia tai muita pitoisuuksia pienentäviä toimenpiteitä. Koska Palotievassa louhittavaksi suunniteltu sivukivi on samanlaista kuin Sahavaaran kallio, on oletettu, että Palotievan avolouhosjärven vesikemiallinen koostumus on samankaltainen kuin Sahavaaran avolouhosjärven. Siksi Sahavaaran avolouhoksen aiheuttaman kuormituksen laskennassa käytettyä varovaista oletusta vesikemiallisesta koostumuksesta on käytetty myös Palotievan avolouhoksen aiheuttaman kuormituksen laskennassa.

Sahavaaran ja Palotievan avolouhosten aiheuttamat kuormitukset on laskettu kertomalla mallinnetut ainepitoisuudet kyseisen avolouhoksen arvioidulla virtauksella, joka on esitetty kohdassa **Virhe! Viitteen lähde ei löytnyt.** Laskelmien tulokset sekä käytetyt ainepitoisuudet esitetään taulukossa 6. Sahavaaran kuormittavan virtauksen odotetaan suuntautuvan 100-prosenttisesti kohti purkuvesistöpaikkaa 1. Kaunisjoki Sahavaaran jälkeen. Palotievan avolouhoksen koko kuormituksen odotetaan suuntautuvan kohti purkuvesistöpaikkaa 4. Aareajoki ennen Kaunisjokea.

Taulukko 6: Mallinnetut ainepitoisuudet Sahavaarassa toiminnan aikana sekä näiden pitoisuuksien perusteella laskettu lähtevä kokonaiskuormitus sulkemisen jälkeen Sahavaaran avolouhoksesta virtaamalla 0,0098 m³/s sekä Palotievan avolouhoksesta virtaamalla 0,0012 m³/s

Parametri	Mallinnettu pitoisuus (Eriksson, 2014) Sahavaarassa toiminnan aikana (mg/l)	Ainevirtaus Sahavaara (kg/vuosi)	Ainevirtaus Palotieva (kg/vuosi)
pH	4,5	-	-
SO ₄	509	15 7907	19 245
Ca	172	53 487	6 519
K	50,3	15 629	1 905
Mg	20,1	6 237	760
Na	14,0	4 357	531
Al	0,503	156	19,0
As	0,00432	1,34	0,164
Co	0,0149	4,61	0,562
Cr	0,00936	2,90	0,354
Cu	0,0192	5,96	0,726
Fe	68,7	21 335	2 600
Mn	0,522	162	19,7
Mo	0,0368	11,4	1,39
Ni	1,0449	324	39,5
Pb	0,00284	0,882	0,108
Sb	0,020	6,30	0,768
U	0,030	9,21	1,122
Zn	0,265	82,3	10,0

5.4 Tapulin sivukivivaraston aiheuttama kuormitus

Tapulin sivukivivarasto koostuu kahdesta erillisestä alueesta: suuremmasta varastoalueesta, jonka lopullinen päänlyspinta-ala on noin 170 ha, ja pienemmästä alueesta, jonka lopullinen päänlyspinta-ala on noin 53 ha. Varastojen tilavuudeksi on laskettu till 39,5 (M)m³ ja 5,2 (M)m³. Varastoitavaksi tarkoitettun sivukiven määrä on näin ollen huomattavasti pienempi kuin Northlandin aiemmin suunnittelema määrä (yhteensä noin 203 Mton, josta noin 28,4 Mton:n rikkipitoisuus yli 0,5 painoprosenttia ja pinta-ala 310 ha).

Aiemmin suunnitellulle varastolle tehtiin kuormituslaskelma "Hydrogeokemisk modelljämförelse av strategier för gråbergshantering vid Tapuli" (SRK, 2014a), joka on pohjana päivitetylle arviolle valittujen syöttötietojen ja skaalausmenetelmien perusteella.

Aineensiirto Tapulin sivukivivarastoista on laskettu edellä olevien tietojen perusteella, ja se esitetään taulukossa 7.

Koska Tapulin sivukivivarastot sijaitsevat vedenjakajan päällä ja koskettavat näin ollen kolmea valuma-aluetta, aineensiirto jälkihoidetuista varastoista tulee tapahtumaan kolmeen eri suuntaan:

- pohjoiseen kohti Aareajokea ennen Kaunisjokea: 26 prosenttia virtauksesta (0,0066 m³/s)
- etelään kohti Kaunisjärveä ennen Patojokea: 57 prosenttia virtauksesta (0,0144 m³/s)
- itään kohti Aareajokea ennen Kaunisjokea: 17 prosenttia virtauksesta (0,0044 m³/s).

Taulukko 7: Laskettu aineensiirto Tapulin sivukivivarastosta

Parametri	Kokonaisvirtaus purkuvesistöihin, 100 % (kg/vuosi)	2. Kaunisjärvi ennen Patojokea, 57 % (kg/vuosi)	3a. Kaunisjoki ennen Aareajokea, 17 % (kg/vuosi)	4. Aareajoki ennen Kaunisjokea, 26 % (kg/vuosi)
Sulfaatti	28 344	16 031	4 929	7 384
Ca	15 523	8 780	2 700	4 044
K	4 757	2 691	827	1 239
Mg	16 321	9 231	2 838	4 252
Na	3 418	1 933	594	890
Al	2,24	1,27	0,390	0,584
As	0,0381	0,0216	0,00663	0,00993
Co	2,60	1,47	0,453	0,678
Cr	4,42	2,50	0,769	1,152
Cu	1,68	0,951	0,293	0,438
Fe	0,0106	0,00600	0,00185	0,00276
Mn	4,55E-07	2,58E-07	7,92E-08	1,186E-07
Mo	13,3	7,54	2,32	3,474
Ni	21,7	12,3	3,77	5,65

Pb	0,561	0,317	0,0975	0,146
Sb	4,14	2,34	0,720	1,079
U	3,65	2,07	0,635	0,951
Zn	16,7	9,46	2,91	4,36

5.5 Sahavaaran sivukivivaraston aiheuttama kuormitus

Aineensiirto Sahavaaran sivukivivarastosta perustuu tulevan kuormituksen laskentaan ja mallinnukseen "Hydrogeokemisk modellering av syreintrång och utsläpp av lösta ämnen från ett övertäckt gråbergssupplag, Sahavaara, Sverige - Sammanfattning" (SRK, 2014b), joka on pohjana päivitetylle arviolle valittujen syöttötietojen ja skaalausmenetelmien perusteella (SRK 2014b). Aineensiirto on laskettu sivukivivaraston nykyisen suunnittelun perusteella PAF:n ja NAF:n yläpintojen osalta. PAF-solujen osalta eristekerroksen on oltava sellainen, että efektiivinen hapen kulkeutuminen on $< 0,5 \text{ mol/m}^2$, vuosi. Varaston muussa osassa eli NAF-sivukiven osalta sulfidirapautuminen mallinnettiin vastaavien oletusten mukaisesti kuin Tapulin sivukivivarastossa.

Oletuksena on, että suoritettua jälkihoidon jälkeen 100 prosenttia Sahavaaran sivukivivarastosta tapahtuvasta aineensiirrosta suuntautuu etelään kohti Kaunisjokea Sahavaaralla ja keskimääräinen virtaus on $0,025 \text{ m}^3/\text{s}$. Kuormitus on laskettu arvon $0,5 \text{ mol/m}^2$, vuosi perusteella. Laskettu kuormitus käy ilmi taulukosta 8.

Taulukko 8: Laskettu kuormitus Sahavaaran sivukivivarastosta

Aine	Kokonaisvirtaus purkuvesistöihin, 100 % kohti Kaunisjokea Sahavaarassa. kg/vuosi
Sulfaatti	53 214
Ca	79 245
K	17 427
Mg	16 259
Na	11 422
Ag	0
Al	26,6
As	9,54
Co	6,92
Cr	7,80
Cu	3,068
Fe	2 843
Li	0
Mn	27,2
Mo	31,1
Ni	56,6
Pb	0,270
Sb	17,1
U	20,5
Zn	209

6 ODOTETUT PITOISUUDET ALUEEN PURKUVESISTÖISSÄ TOIMINNAN LOPETTAMISEN JÄLKEEN

Jotta voidaan arvioida, miten edellä kuvattu kuormitus vaikuttaa kaivosalueen purkuvesistöihin, kunkin purkuvesistöpaikan osalta on laskettu odotettu pitoisuuksien lisäys. Saadut pitoisuuksien lisäykset on sen jälkeen lisätty purkuvesistöpaikkojen taustapitoisuuksiin niin, että saada arvio myös sulkemisen jälkeen odotettavissa olevista pitoisuuksista.

Pitoisuuksien lisäystä koskevat laskelmat on tehty kertomalla kussakin purkuvesistöpaikassa odotettavissa oleva jälkihoitokohteiden aiheuttaman osakuormituksen summa vastaavalla purkuvesistön virtaamalla, joka on esitetty taulukossa 1. Kultakin alueelta tuleva osakuormitus esitetään prosentteina ilmaistuna jäljempänä taulukossa 9, ja se on puolestaan johdettu arvioituista kokonaiskuormituksista sekä taulukossa 2 esitetystä kuormittavien virtausten jakautumisesta.

Purkuvesistöpitoisuudet, joihin lasketut tulevat pitoisuuksien lisäykset on lisätty, ovat meneillään olevan ja aiempina vuosina käynnissä olleen kaivostoiminnan yhteydessä mitattuja vuosikeskipitoisuuksia. Sovellatut virtaustiedot on, kuten aiemmin kohdassa **Virhe! Viitteen lähde ei löytenyt.** on mainittu, arvioitu kunkin purkuvesistöpaikan valuma-alueen keskimääräistä sadantaa koskevan arvion avulla.

Laskelmien tulokset sekä niiden pohjatiedot esitetään kunkin purkuvesistökohdan osalta kohdissa 6.1–6.5. Saatuja pitoisuusarvioita vertaillaan näissä kohdissa myös voimassa oleviin erityisen saastuvia aineita (SFÄ) koskeviin arviointiperusteisiin (BG) sekä pohjaveden kemiallista tilaa koskeviin ympäristön laatumormeihin (GV-normi). Punainen luku tarkoittaa silloin joko BG:n tai GV-normin ylittämistä ottamatta huomioon biosaatavaa pitoisuutta. Kun lasketut pitoisuudet ovat ylittäneet vastaavan vertailuarvon ja tämä vertailuarvo on ollut biosaatavan pitoisuuden mukaan sovitettu, biosaatavia pitoisuuksia koskevat laskelmat on kuitenkin tehty laskentatyökalulla Bio-met, versio 4.0.

Kun tehdyt laskelmat ovat perustuneet joko mallinnettuihin tai mitattuihin suoto- ja ylijuoksuveden pitoisuuksiin heti tutkittujen kohteiden yhteydessä, huomioon ei ole otettu immobilisaatiota tai muuntotyypisiä pitoisuuksia vähentäviä vaikutuksia, joita kulkeutumisessa lähteen ja purkuvesistön välillä voidaan olettaa tapahtuvan. Esitettyjen tulosten voidaan näin ollen sanoa kuvaavan eräänlaista suurinta mahdollista kuormitusta.

Taulukko 9: Prosenttiosuus kunkin kohteen aiheuttamasta, suoraan purkuvesistökohtaan kulkeutuvasta vuotuisesta kokonaiskuormituksesta. Taulukossa tarkoitetaan ainoastaan suoraan purkuvesistökohtiin tapahtuvaa kulkeutumista, ei siis odotettavissa olevia kertyneitä osuuksia alavirtaan sijaitsevilla paikoilla.

Kohde	1. Kaunisjoki Sahavaarassa	2. Kaunisjärvi ennen Patojokea	3. Kaunisjoki ennen Aareajokea	4. Aareajoki ennen Kaunisjokea
Tapulin sivukivivarasto	0 %	57 %	17 %	26 %
Tapulin avolouhos	0 %	0 %	0 %	100 %
Palotievan avolouhos	0 %	0 %	0 %	100 %
Rikastushiekka-allas	0 %	16 %	76 %	8 %
Sahavaaran avolouhos	100 %	0 %	0 %	0 %
Sahavaaran sivukivivarasto	100 %	0 %	0 %	0 %
Vaahdotushiekkasolu	0 %	100 %	0 %	0 %

6.1 Odotetut pitoisuudet: Kaunisjoki Sahavaarassa

Oletuksena on, että kaivostoiminnan lopettamisen jälkeen 100 prosenttia Sahavaaran avolouhoksesta lähtevistä virtauksista ja 100 prosenttia Sahavaaran sivukivivarastosta lähtevistä virtauksista suuntautuu kohti purkuvesistöpaikkaa 1. Kaunisjoki Sahavaarassa. Odotettu pitoisuuksien lisäys sekä näiden virtausten seurauksena odotettavissa olevat pitoisuudet esitetään taulukossa 10.

Taulukosta ilmenee, että liuenneen uraanin kokonaispitoisuus 0,568 µg/l ylittää voimassa olevan arviointiperusteen (BG) 0,17 µg U/l + taustapitoisuus. Muiden aineiden odotetut pitoisuudet alittavat sovelletut vertailuarvot.

Taulukko 10: Lasketut vuosikeskipitoisuudet Kaunisjoessa Sahavaarassa. Keskivirtaama 1,97 m³/s

Aine	Lisäyksen määrä (g/vuosi)	Lisäyksen pitoisuus (µg/l)	Tausta, suurin vuosikeskipitoisuus, SS07 (µg/l)	Lopullinen pitoisuus (µg/l)	Bioaktiivinen pitoisuus (µg/l)	BG (µg/l)	GV-normi (µg/l)
As	10 882	0,18	0,1	0,275		0,5	
Cr	10 699	0,17	0,32	0,492		3,4	
Cu	9 028	0,15	0,58	0,725	0,040	0,5	
Ni	380 986	6,13	0,23	6,362	1,6	-	4
Pb	1 152	0,02	0,08	0,099		-	1,2
U	29 670	0,48	0,09	0,568		0,26	
Zn	290 897	4,68	5,1	9,782	4,1	5,5	

6.2 Odotetut pitoisuudet: Kaunisjärvi ennen Patojokea

Oletuksena on, että kaivostoiminnan lopettamisen jälkeen 57 prosenttia Tapulin sivukivivarastosta lähtevästä virtauksesta sekä 16 prosenttia rikastushiekka-altaan magneettierotellusta hiekasta lähtevästä virtauksesta ja 100 prosenttia rikastushiekka-altaan vaahdotushiekasta lähtevästä virtauksesta suuntautuu kohti purkuvesistöpaikkaa 2. Kaunisjärvi ennen Patojokea. Odotettu pitoisuuksien lisäys sekä näiden virtausten seurauksena tässä paikassa odotettavissa olevat pitoisuudet esitetään taulukossa 11.

Taulukosta ilmenee, että liuenneen uraanin kokonaispitoisuus 0,742 µg/l ylittää BG:n. Muiden aineiden odotetut pitoisuudet alittavat sovelletut vertailuarvot.

Taulukko 11: Lasketut vuosikeskipitoisuudet Kaunisjärvessä ennen Patojokea. Keskivirtaama 0,1 m³/s

Aine	Lisäyksen määrä (g/vuosi)	Lisäyksen pitoisuus (µg/l)	Tausta, suurin vuosikeskipitoisuus, SS10 (µg/l)	Lopullinen pitoisuus (µg/l)	Biosaatava pitoisuus (µg/l)	BG (µg/l)	GV-normi (µg/l)
As	956	0,303227	0,13	0,433		0,5	
Cu	8 747	2,773596	0,55	3,324	0,09	0,5	
Ni	20 041	6,354870	0,38	6,735	1,03		4
Pb	838	0,265851	0,12	0,386	0,020		1,2
U	2 119	0,671939	0,07	0,742		0,24	
Zn	13 069	4,144204	8,7	12,844	3,61	5,5	

6.3 Odotetut pitoisuudet: Kaunisjoki ennen Aareajokea

Oletuksena on, että kaivostoiminnan lopettamisen jälkeen 17 prosenttia Tapulin sivukivivarastosta lähtevästä virtauksesta sekä 76 prosenttia rikastushiekka-altaan magneettierotellusta hiekasta lähtevästä virtauksesta suuntautuu kohti purkuvesistöpaikkaa 3. Kaunisjoki ennen Aareajokea. Lisäksi tätä kohtaa kuormittavat epäsuorasti kohtiin 1. Kaunisjärvi Sahavaarassa sekä 2. Kaunisjärvi ennen Patojokea tulevat virtaukset, koska se sijaitsee alavirtaan näistä paikoista. Odotettu pitoisuuksien lisäys sekä näiden virtausten seurauksena tässä purkuvesistöpaikassa odotettavissa olevat pitoisuudet esitetään taulukossa 12.

Taulukosta ilmenee, että liuenneen uraanin kokonaispitoisuus 0,384 µg/l ylittää BG:n, kun taas muut odotettavissa olevat ainepitoisuudet alittavat sovelletut vertailuarvot.

Taulukko 12: Lasketut vuosikeskipitoisuudet Kaunisjoessa ennen Aareajokea. Keskivirtaama 3,7 m³/s

Aine	Lisäyksen määrä (g/vuosi)	Lisäyksen pitoisuus (µg/l)	Tausta, suurin vuosikeskipitoisuus, SS21 (µg/l)	Lopullinen pitoisuus (µg/l)	Biosaatava pitoisuus (µg/l)	BG (µg/l)	GV-normi (µg/l)
As	16 381	0,142315	0,1	0,242		0,5	
Cu	54 901	0,476958	0,56	1,037	0,05	0,5	

Ni	430 404	3,739183	0,24	3,98			4
Pb	4 618	0,040121	0,07	0,110			1,2
U	32 685	0,283951	0,1	0,384		0,27	
Zn	323 406	2,809628	7,5	10,310	4,59	5,5	

6.4 Odotetut pitoisuudet: Aareajoki ennen Kaunisjokea

Oletuksena on, että kaivostoiminnan lopettamisen jälkeen 26 prosenttia Tapulin sivukivivarastosta lähtevästä virtauksesta, 100 prosenttia Tapulin avolouhoksesta lähtevästä virtauksesta, 100 prosenttia Palotievan avolouhoksesta lähtevästä virtauksesta sekä 8 prosenttia rikastushiekka-altaan magneettierotellusta hiekasta lähtevästä virtauksesta suuntautuu kohti purkuvesistöpaikkaa 4. Aareajoki ennen Kaunisjokea. Odotettu pitoisuuksien lisäys sekä näiden virtausten seurauksena tässä purkuvesistöpaikassa odotettavissa olevat pitoisuudet esitetään taulukossa 13.

Taulukosta ilmenee, että kaikkien odotettavissa olevien ainepitoisuuksien kokonaispitoisuus alittaa sovelletut vertailuarvot.

Taulukko 13: Lasketut vuosikeskipitoisuudet Aareajoessa ennen Kaunisjokea. Keskivirtaama 1,9 m³/s

Aine	Lisäyksen määrä (g/vuosi)	Lisäyksen pitoisuus (µg/l)	Tausta, suurin vuosikeskipitoisuus, SS56 (µg/l)	Lopullinen pitoisuus (µg/l)	Biosaattava pitoisuus (µg/l)	BG (µg/l)	GV-normi (µg/l)
As	783	0,013064	0,08	0,093		0,5	
Cu	5 639	0,094107	0,7	0,794	0,02	0,5	
Ni	48 953	0,816989	0,51	1,327			4
Pb	666	0,011112	0,08	0,091			1,2
U	4 657	0,077720	0,13	0,208		0,3	
Zn	17 799	0,297057	12,15	12,4	3,3	5,5	

6.5 Odotetut pitoisuudet: Kaunisjoki Aareajoen jälkeen

Koska purkuvesistöpaikka 5. Kaunisjoki Aareajoen jälkeen sijaitsee alavirtaan kaikista jälkihoitokohteista, virtaukset kaikista kohteista suuntautuvat kohti tätä paikkaa. Odotettu pitoisuuksien lisäys sekä näiden virtausten seurauksena tässä purkuvesistöpaikassa odotettavissa olevat pitoisuudet esitetään taulukossa 13.

Taulukosta ilmenee, että liuenneen uraanin kokonaispitoisuus 0,313 µg/l ylittää BG:n, kun taas muut odotettavissa olevat ainepitoisuudet alittavat sovelletut vertailuarvot.

Taulukko 14: Lasketut vuosikeskipitoisuudet Kaunisjoessa Aareajoen jälkeen. Keskivirtaama 5,55 m³/s

Aine	Lisäyksen määrä (g/vuosi)	Lisäyksen pitoisuus (µg/l)	Tausta, suurin vuosikeskipitoisuus, SS56 (µg/l)	Lopullinen pitoisuus (µg/l)	Biosaattava pitoisuus (µg/l)	BG (µg/l)	GV-normi (µg/l)
As	17 164	0,098	0,1	0,198		0,5	
Cu	60 540	0,346	0,56	0,906	0,04	0,5	
Ni	479 357	2,739	0,24	2,979			4
Pb	5 284	0,030	0,07	0,100			1,2
U	37 341	0,213	0,1	0,313		0,27	
Zn	341 205	1,949	7,5	9,449	4,21	5,5	

7 TÄYDENTÄVÄ ENNUSTE PITOISUUKSIA PIENENTÄVÄT VAIKUTUKSET HUOMIOON OTTAEN

Kuten aiemmin on todettu, edellä esitettyjä pitoisuus- ja kuormituslaskelmia on pidettävä varovaisina, koska niissä ei ole otettu huomioon ajan mittaan tapahtuvaa laimentumista eikä immobilisaatiomekanismeja veden virtausreiteillä. Jotta laskentatulosten lisäksi saataisiin todennäköisempi kuva odotetusta kuormituksesta, tätä selvitystä on täydennetty arviolalla kummankin mekanismin odotetuista vaikutuksista ja merkityksestä purkuvesistöjen pitoisuuksien kannalta. Tässä kohdassa selostetaan pitoisuuksien odotettua kehitystä purkuvesistöissä, kun avolouhosjärvien metallipitoisuudet laimenevat vähitellen järvien veden vaihtuessa. Lisäksi esitetään yhteenveto aiemman toiminnanharjoittajan Northlands Resources AB:n vuonna 2014 teettämästä immobilisaatiotutkimuksesta, jossa tutkittiin kaivosalueella olevan turpeen immobilisaatiopotentiaalia metallien Cd, Co, Cu Ni, Pb, Sb ja Zn osalta. Lisäksi esitetään arviolaskelma mainittujen turvemaiden pidätyskyvystä uraanin osalta, koska Northlandin tutkimus ei koskenut tätä ainetta.

7.1 Ajan mittaan tapahtuva laimentuminen avolouhosjärvien veden vaihtumisen seurauksena

Koska avolouhoksia ympäröivästä kalliosta mahdollisesti vapautuvien metallien määrää on pidettävä rajallisena, koskemattoman veden luonnollinen virtaus avolouhoksiin tulee johtamaan alun perin odotettujen metallipitoisuuksien asteittaiseen laimenemiseen syntyneissä avolouhosjärvissä.

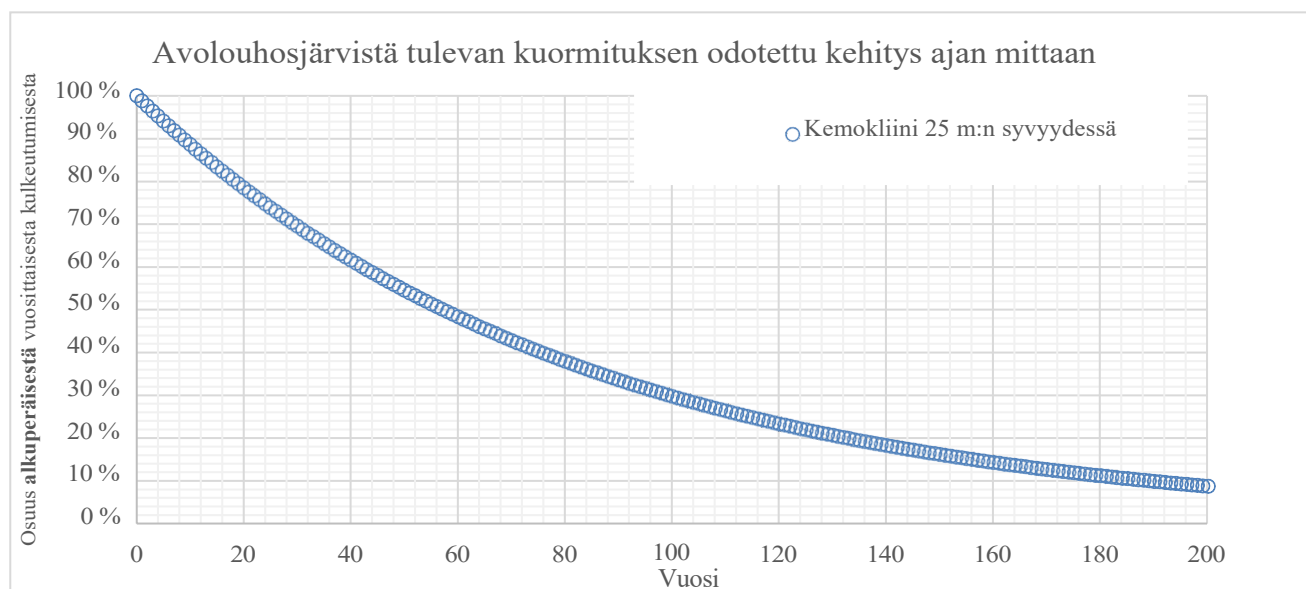
Laimentuminen tapahtuu massataseperiaatteiden mukaisesti, ja se on laskettu yhtälön 1 avulla. Yhtälössä, joka perustuu siihen, että massa on konservatiivista eikä sitä siksi voi tuhota tai luoda, aineen massa M ajankohtana $t+1$ tietyssä järjestelmässä on yhtä kuin aineen edeltävänä ajankohtana t olevan massan ja mahdollisen lisätyn massan R summa ajankohtien t ja $t+1$ välillä miinus mahdolliset massahäviöt. Massahäviöt ovat osin kulkeutumishäviöitä, jotka riippuvat järjestelmän läpi tapahtuvasta virtauksesta F_w sekä järjestelmän tilavuudesta V , ja osin mahdollisista geokemiallisista reaktioista aiheutuvia häviöitä.

Jotta voitaisiin arvioida laimentumisen laajuutta tässä tapauksessa, yhtälössä 1 olevat massan ilmaukset on korvattu pitoisuudella C, joka on M:n ja V:n osamäärä. V on puolestaan avolouhoksen pinta-ala maanpinnassa kerrottuna kyseisten avolouhosjärvien vedenpintojen välisellä etäisyydellä ja varovaiseen oletukseen perustuvalla kemokliiniarvolla (myös termokliiniarvo) 25 m, jossa vaihtuvuus saattaa olla hyvin vähäistä. Lisäksi on oletettu, että termi R voidaan jättää huomiotta, koska avolouhosjärviin ei enää päädy metallimääriä vedellä täytön jälkeen. Jotta arvio pysyisi varovaisena, huomiotta on jätetty myös mahdolliset geokemiallisista prosesseista (esimerkiksi metallien saostuminen sekundäärimineraaleina). Lisäksi on oletettu, että avolouhosjärvien valuma-alueena on vain kyseisen järven pinta-alue, minkä vuoksi järviin suorien sateiden lisäksi tulevia laimentavia virtauksia ei ole otettu huomioon.

$$\text{Yhtälö 1: } M_{t+1} = M_t + R - \frac{F_w}{V} \cdot M_t \rightarrow \{M = CV\} \rightarrow C_{t+1} = C_t + RV - \frac{F_w}{V} C_t$$

Kuvassa 3 näkyy ennuste siitä, miten metallikuormituksen voidaan odottaa vähenevän ajan mittaan pitoisuuksien laimentumisen seurauksena. Ajan mittaan tapahtuva muutos on ilmaistu prosenttiosuutena alkuperäisestä kuormituksesta sulkemista seuraavien 200 vuoden aikana. Kuvasta ilmenee, että avolouhoksista tulevan kuormituksen voidaan odottaa puolittuneen noin 60 vuoden kuluttua sulkemisesta ja olevan 100 vuoden kuluttua noin 30 prosenttia alkuperäisestä kuormituksesta.

Koska avolouhoksista tuleva kuormitus kohdistuu kaikkiin muihin tutkittuihin purkuvesistöpaikkoihin paitsi Kaunisjärveen ennen Patojokea, arvioitu kuormituksen kehitys viittaa näin ollen siihen, että pitoisuudet pienenevät vähitellen kaikkialla muualla paitsi Kaunisjärvestä ennen Patojokea, kun avolouhosten metallipitoisuudet laimenevat asteittain.



Kuva 3: Metallikuormituksen kehitys avolouhosjärvien veden asteittaisen vaihtumisen seurauksena

7.2 Metallien immobilisaatio kulkeutumisreiteillä

Northland (2014) tutki jälkihoitokohteiden ympärillä olevien turvemaiden immobilisaatiopotentiaalia aineiden Cd, Co, Cu Ni, Pb, Sb ja Zn osalta.

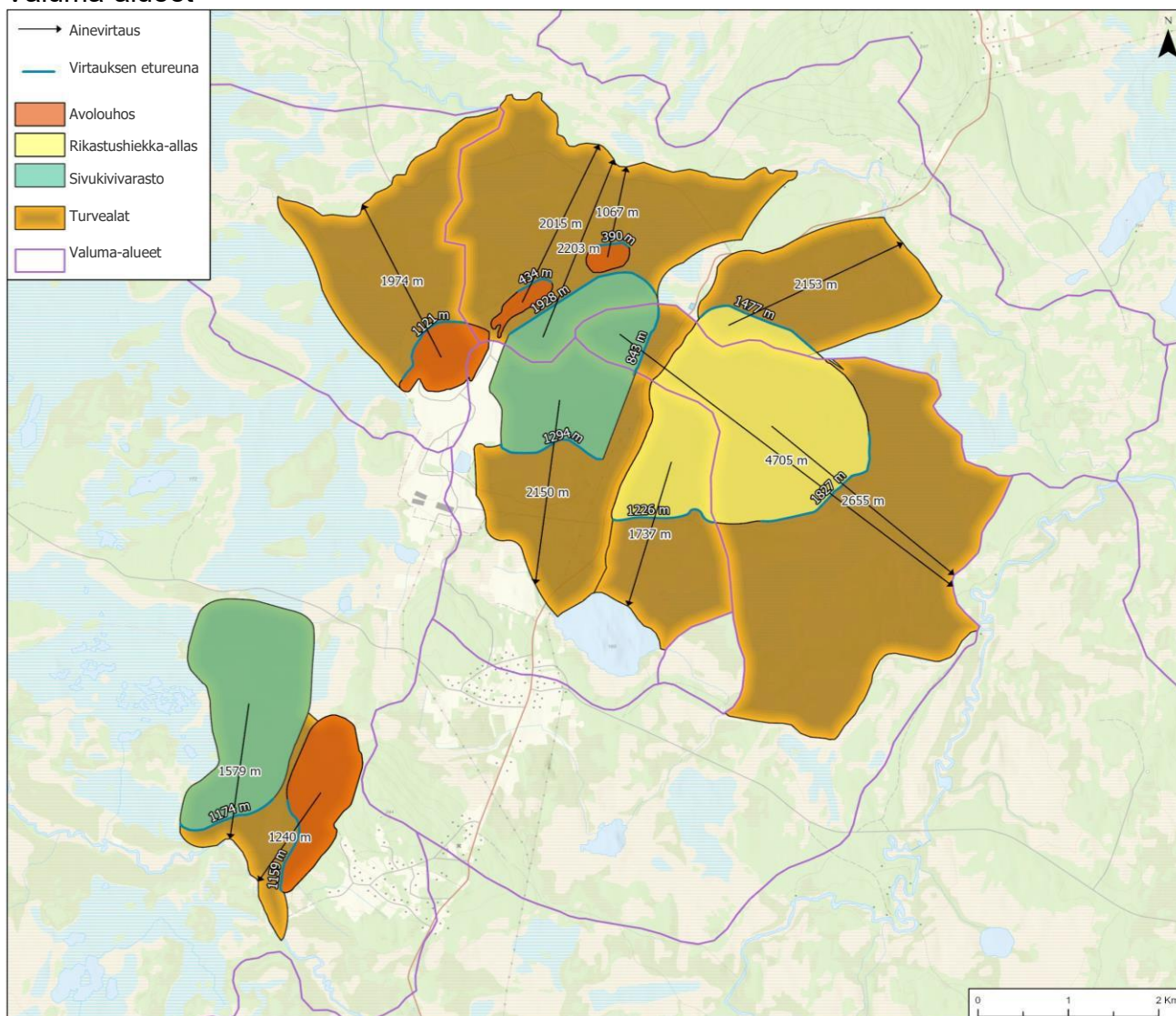
Tutkimusten tuloksista, jotka esitetään jäljempänä taulukossa 15, kävi ilmi, että turvemaiden on suotuisat immobilisaatioedellytykset sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä. Etenkin kuparia ja nikkeliä koskevissa kokeissa ilmeni hyvä pidätyskyky: immobilisaation todettiin olevan kummankin aineen osalta runsaat 90 prosenttia sekä aluksi että ajan mittaan.

Taulukko 15: Immobilisaatio turpeessa prosentteina ilmaistuna Sahavaaran sivukivivaraston runsasrikkisen jätteen suotoveden tulo- ja menovirtauksen välillä (Northland, 2014)

Aine	Vuosi 1	Vuosi 10	Vuosi 50	Vuosi 100	Vuosi 190
Cd	91	87	67	48	-
Co	98	79	24	40	70
Cu	95	99	100	99	99
Ni	99	95	90	76	93
Pb	35	34	25	17	-
Sb	50	50	30	30	0
Zn	-	-	-	5	89

Turvetilavuus jonka läpi virtaa jälkihoitokohteista tulevaa vettä ja joka siten voisi edistää immobilisaatiota, on arvioitu mittaamalla pääasialliset kulkeutumis suunnat/kulkeutumisreitit sekä läpivirtauksen alat/etureunat olemassa olevasta kartta-aineistosta. Lisäksi on oletettu, että läpivirtaus tapahtuu ensisijaisesta turpeen ylimmän 3 desimetrin alueella. Saatu turvetilavuus on kerrottu oletetulla kuivatiheydellä 400 kg / tonni turvetta, jotta saataisiin käsitys myös vastaavista turvemääristä. Kuvassa 4 esitetyn kartan tarkoituksena on kuvata tarkemmin arvioinnissa käytettyä menettelytapaa. Taulukossa 16 esitetään laskennan vaiheet.

Valuma-alueet



Kuva 4: Kartta, jonka tarkoituksena on kuvata turvetilavuuden, jonka läpi virtaa kaivosalueelta tulevaa vettä, konseptuaalista määrittämistä

Taulukko 16: Veden läpäisemän turpeen määrää sekä uraanin pidättämistä koskevat laskelmat

Kohde	Virtaa kohti	Etäisyys purkuvesist ökohtaan (m)	Virtauksen etureuna (m)	Läpäisty tilavuus (m ³)	Läpäisty määrä (tonnia)
Tapulin sivukivivarasto	Kaunisjoki ennen Patojokea	2 150	1 294	834 630	333 852
Tapulin avolouhos	Kaunisjoki ennen Aareajokea	843	4 705	1 189 895	475 959
	Aareajoki ennen Kaunisjokea	2 203	1 928	1 274 215	509 686
	Aareajoki ennen Kaunisjokea	1 974	1 121	663 856	265 542
	Aareajoki ennen Kaunisjokea	2 015	434	262 353	104 941
Rikastushiekka- allas	Kaunisjoki ennen Patojokea	1 737	1 226	638 869	255 547

Kohde	Virtaa kohti	Etäisyys purkuvesistökohtaan (m)	Virtauksen etureuna (m)	Läpäisty tilavuus (m ³)	Läpäisty määrä (tonnia)
	Kaunisjoki ennen Aareajokea	2 655	1 827	1 455 206	582 082
	Aareajoki ennen Kaunisjokea	2 153	1 477	953 994	381 598
Sahavaaran avolouhos	Kaunisjoki Sahavaarassa	1 240	1 159	431 148	172 459
Sahavaaran sivukivivarasto	Kaunisjoki Sahavaarassa	1 579	1 174	556 124	222 450
YHTEENSÄ	-	18 549	16 345	8 260 289	3 304 116

7.2.1 Täydentävä laskelma odotetusta uraanin immobilisaatiopotentiaalista

Uraanin adsorptiota turpeeseen pidetään yleisesti hyvin vahvana, ja 1960-luvulla tutkittiin jopa, onko uraania mahdollista ottaa talteen turpeesta hyvin uraanipitoisissa ympäristöissä, kuten Masungsbyn (Armands 1961). Tutkimukset osoittavat, että uraanin pidäytyminen turpeeseen on suotuisaa suuressa osassa pH-alueella. Muun muassa Bordelet ym. (2013) toteavat, että pH:n ollessa 3–10 uraanin pidätysaste voi olla jopa 90 prosenttia. Jain et. al. (2017) ovat mitanneet jopa 96–100 prosentin pidätysasteita erityisissä kaivosvettä koskevissa kokeissa laboratorioympäristössä. Zhiron ja Shaoqi (2010) osoittavat kuitenkin, että immobilisaatioaste heikkenee sitä mukaa kuin pH laskee, ja esittelevät havaintoja noin 95 prosentin pidätysasteesta pH:n ollessa yli 6 ja noin 25 prosentin pidätysasteesta pH:n ollessa 2–3.

Koska, kuten aiemmin on todettu, kyseessä olevien turvemaiden uraaninpidätyspotentiaalin arvioimiseen ei ole ollut käytettävissä adsorbtiotestejä, pidätykselle on jouduttu määrittämään hypoteettinen, mutta todennäköinen arvo. Kun turpeen pH:n on todettu olevan noin 6 (Bilaga A2.E Processvattensammansättning, Golder Associates Ltd/Kaunis Iron 2022), arvoksi on valittu edellä mainittujen viitteiden perusteella 75 prosenttia, jotta ei yliarvioitaisi sitä ja jotta otetaan huomioon, että myös muiden liuenneiden metallien voidaan odottaa kilpailevan niistä turpeen hiukkaspinnoista, joissa adsorptio tapahtuu.

Taulukossa 17 **Virhe! Kirjanmerkin viittaus itseensä ei kelpaa.** on yhdistetty lasketut uraanipitoisuudet, joissa ei ole otettu huomioon immobilisaatiota, sekä edellä oletettu 75 prosentin pidätysaste ja voimassa oleva arviointiperuste (BG). Kuten taulukosta käy ilmi, varovaisesti asetettu pidätysarvo johtaa siihen, että perustapauksen pitoisuudet eli teoreettisesti odotettavissa olevat uraanipitoisuudet (liuennut kokonaispitoisuus), jollei immobilisaatiota tapahdu, pienenevät niin paljon, että ne joko sivuavat uraanin arviointiperusteen (jossa otetaan huomioon taustapitoisuus) arvoa tai alittavat sen kaikissa purkuvesistökohteissa.

Taulukko 17: Teoreettiset uraanipitoisuudet, mukaan lukien tausta, tutkituissa purkuvesistöissä pidätysasteen ollessa 0 % ja 75 % ympäröivillä turvemaidella. Yksikkö: µg U/l.

Purkuvesistöpaikka	Pidätys 0 % (µg/l)	Pidätys 75 % (µg/l)	Taustapitoisuus (µg/l)	BG
1. Kaunisjoki Sahavaarassa	0,57	0,21	0,09	0,26
2. Kaunisjärvi ennen Patojokea	0,74	0,24	0,07	0,24
3. Kaunisjoki ennen Aareajokea	0,38	0,17	0,10	0,27
4. Aareajoki ennen Kaunisjokea	0,21	0,15	0,13	0,3
5. Kaunisjoki Aareajoen jälkeen	0,31	0,15	0,10	0,27

7.3 Arvioitu teoreettinen immobilisaatio – uraania koskeva laskentaesimerkki

Turvealueiden kokonaispitoisuuksia koskevien tietojen nojalla, jotka on saatu näytteenoton yhteydessä Tapulin kaivoksen toiminta-alueella (Pelagia 2021), sekä yhtälössä 2 olevan Freundlichin yhtälön nojalla, joka kuvaa empiiristä suhdetta kiinteään pintaan adsorboituneen aineen määrän q_e ja aineen pitoisuuden C_e välillä tasapainon vallitessa, on kyetty laskemaan myös teoreettinen arvo sille, kuinka paljon uraania voidaan immobilisoida kyseessä olevassa turpeessa. Laskelmien tarkoituksena on ollut valaista laskentaesimerkin avulla, miten tässä tapauksessa turvealueilla immobilisoitavissa oleva todellinen uraanimäärä voidaan laskea. Esimerkissä C_e on 0,0585 µg U/l, joka kuvastaa pitoisuutta Pelagian vuonna 2021 Tapulin kaivoksen turvealueen vedessä mittamaan keskimääräisen pitoisuuden ja enimmäispitoisuuden välillä.

Yhtälössä adsorbenttia (eli turvetta) koskevat vakiot K ja n on oletettu samoiksi kuin Zhirong ja Shaoqi (2010) ovat johtaneet vastaavissa turveympäristöissä.

Yhtälö 2: $\log(q_e) = \log K + \frac{1}{n} \log(C_e)$ { $K = 0,000185$ (Zhirong ja Shaoqi, 2010)
 $n = 1,17$ (Zhirong ja Shaoqi, 2010)

Freundlichin yhtälön soveltamisen perusteella uraanimäärä, jonka kyseessä olevan turpeen voidaan odottaa adsorboivan, on suuruusluokkaa noin 1–5 mg uraania / g turvetta.

Kertomalla odotettu edellä arvioiduissa läpäisseissä turvemäärissä 3,3 Mton tapahtuva absorptio voidaan arvioida, että turpeen yhteenlaskettu immobilisaatiokapasiteetti on 3,3–16,5 tonnia uraania. Jos arvioita verrataan siihen 37 kg:n uraanimäärään, jonka arvioidaan kulkeutuvan jälkihoitokohteista sulkemisen jälkeen vuosittain, voidaan todeta, että turvealueiden kaiken uraaninpidätyskapasiteetin käyttämiseen menisi vähintään noin 90 000 vuotta.

8 KOKONAISARVIOINTI

Tämä selvitys viittaa siihen, että riskien vähentämisen kannalta olennaisina pidettävien jälkihoidettujen kaivoskohteiden aiheuttama kuormitus johtaa metallipitoisuuksien kasvuun ympäröivissä purkuvesistöissä.

Kuormitus on kuitenkin laajuudeltaan rajallinen, ja saaduista tuloksista ilmenee, että odotettu tuleva metallien kulkeutuminen, uraania lukuun ottamatta, ei johda voimassa olevien HaV:n määräyksen HVMFS 2019:25 mukaisten arviointiperusteiden tai raja-arvojen ylittymiseen. Edellä oleva arvio perustuu siihen, että Geosyntec on halunnut välttää sellaisen ennusteen syntymistä, jossa tuleva kuormitus ja pitoisuudet on aliarvioitu, ja käyttänyt siksi työnsä pohjana jatkuvasti varovaisia oletuksia ja lähtökohtia, joissa esimerkiksi jätetään huomiotta odotettavissa olevat luontaiset prosessit, kuten laimentuminen tai metallien immobilisaatio kohteen ja purkuvesistön välisillä leviämisreiteillä.

Odotettua metallikuormitusta koskevaa arviointipohjaa on täydennetty arvioimalla turpeen immobilisaatiopotentiaalia ja tekemällä laskelmia avolouhoksista tapahtuvan aineensiirron muuttumisesta veden luonnollisen vaihtuvuuden seurauksena. Täydentävä työ, johon myös tämä perustuu, ja riskien arvioinnin kannalta hyvin varovaiset oletukset viittaavat siihen, että kaivosaluetta ympäröivillä kosteikoilla tulee immobilisoitumaan merkittäviä laitoksista peräisin olevia metallimääriä, jotka eivät näin ollen koskaan päädy purkuvesistöihin. Lisäksi avolouhosjärvien ylijuoksiveden aiheuttaman kuormituksen voidaan odottaa vähentyvän ajan mittaan.

9 VIITTEET

Armands G. (1961) Geochemical Prospecting of a Uraniferous Bog Deposit at Masugnsbyn, Northern Sweden AKTIEBOLAGET ATOMENERGI AE-36 STOCKHOLM • SWEDEN

Bordelet G, Beaucaire C, Phommavanh V, & Descostes, M. (2013). Sorption Properties of Peat for U(VI) and 226Ra in U Mining Areas. *Procedia Earth and Planetary Science*. 7. 85–88. 10.1016/j.proeps.2013.03.121.

Golder (2014). *Numerisk modellering för vattenströmning och syrenedträngning för föreslagen utformning av sandmagasinet*.

Golder Associates Ltd/Kaunis Iron (2022) Bilaga A2.E Processvattensammansättning

Hydrosense (2018). Kompletterande data samt bemötande av yttranden - Komplettering till Efterbehandlingsplan Svartliden. Version 1. 2018-05-21.

Jain R, Lakaniemi A-M, Peräniemi S, Kankkunen J, Turunen J & Vepsäläinen J. (2017) Uranium Removal via Sorption Using Peat and Waste Digested Activated Sludge. in: *Mine Water and Circular Economy I MWA 2017* Wolkersdorfer C, Sartz L, Sillanpää M & Häkkinen A (Editors)

Nils Eriksson Miljökonsult (2014). Kaunisvaara. Kompletterande belastningsberäkningar. 9.3.2014

Pelagia Nature and Environment AB (2021). Muistio 9.2.2021: Vattenkemiprovtagning i våtmarker vid Kaunisvaara, Pajala kommun, år 2019-2020.

SRK (2014a). Hydrogeokemisk modelljämförelse av strategier för gråbergshantering vid Tapuli.

SRK (2014b). Hydrogeokemisk modellering av syreintrång och utsläpp av lösta ämnen från ett övertäckt gråbergsupplag, Sahavaara, Sverige – Sammanfattning.

Zhirong L & Shaoqi Z. (2010). Effect of pH on the Adsorption of Uranyl Ions by Peat Moss. Adsorption Science & Technology. 28. 243-251.

Raportin laatija

Henrik Svanberg
käsittelijä

Raportin tarkastaja

Erik Karlsson
laaduntarkastaja