

UUMAJAN KÄRÄJÄOIKEUS
Tuomarit 2:5

VASTAANOTETTU: 2022-
03-06
ASIANUMERO: M 2090-19
ASIAKIRJALIITE: 602

UMEÅ TINGSRÄTT
Domare 2:5

INKOM: 2022-06-13
MÅLNR: M 2090-19
AKTBIL: 700

LIITE A2. E
Prosessiveden koostumus



MUISTIO

PÄIVÄYS 3/3/2022

Projekti nro. 18109724.TM1.B2

TO Åsa Allan, Kaunis Iron

CC

FROM Tobias Roetting

EMAIL TRoetting@golder.com

GOLDSIM JA PHREEQCIN TEKEMÄ LIUENNEIDEN AINEIDEN KULKEUTUMISMALLINNUS KAUNIS IRON:IN KAIVOKSEN VESIHUOLTOON - PÄIVITYS 2022

1 JOHDANTO

Tässä muistiossa esitetään yhteenveto GoldSimin ja PHREEQC:n kulkeutumismallinnuksen työmenetelmistä ja tuloksista, jotka on tehty osana Kaunis Iron AB:n (KIAB) vesihuollon kuvausta suunniteltaessa kaivostoimintaa Tapulin, Palotievan ja Sahavaaran avolouhoksiin, ja sitä seuraavan louhitun malmin rikastamista.

Tämä muistio sisältää päivitettyt laskelmat (verrattuna edelliseen 7.4.2019 päivättyyn versioon), jotka perustuvat hylkykivikertymän ja Sahavaaran avolouhoksen uudelleenlaskettuihin kemiallisiin lähdetermeihin.

2 TARKOITUS JA TYÖNKUVAUS

Liuottimien kulkeutumismallin tarkoituksena on simuloida vedenlaadun kehitystä päävesisäiliöissä (lähinnä prosessivesisäiliössä ja selkeytysaltaassa) sekä Muonionjokeen toiminnan aikana tulvivassa ylivuotovedessä.

Kulkeutumismallissa simuloidaan kahta skenaariota. Yhtä niistä nimitetään raportissa viiteskenaarioksi (ilman vedenkäsittelytoimenpiteitä), ja sen tarkoituksena on kuvata/valottaa veden laatua, jota voidaan odottaa kaivoksen vesihuollossa tai ylivuotovedessä ilman vedenkäsittelyä. Viiteskenaarion tuloksia voidaan käyttää otettaessa kantaa sellaisten toimenpiteiden tarpeeseen kuten vedenkäsittely, jätteiden erottelu ja/tai muut huoltostrategiat, joilla voidaan tarvittaessa parantaa veden laatua.

Toista mallinnettua skenaariota kutsutaan raportissa käsittelyskenaarioksi. Käsittelyskenaario kuvaa odotettua veden laatua kaivoksen vesihuoltojärjestelmässä, ylivuotovedessä ja Muonionjoessa Sahavaaran avolouhoksesta tulevan valumaveden käsittelyssä. Käsittelyskenaariossa kuvataan myös vesi, joka valuu mahdollisesti happaista muodostavan hylkykiven keräytymältä Sahavaarassa.

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix

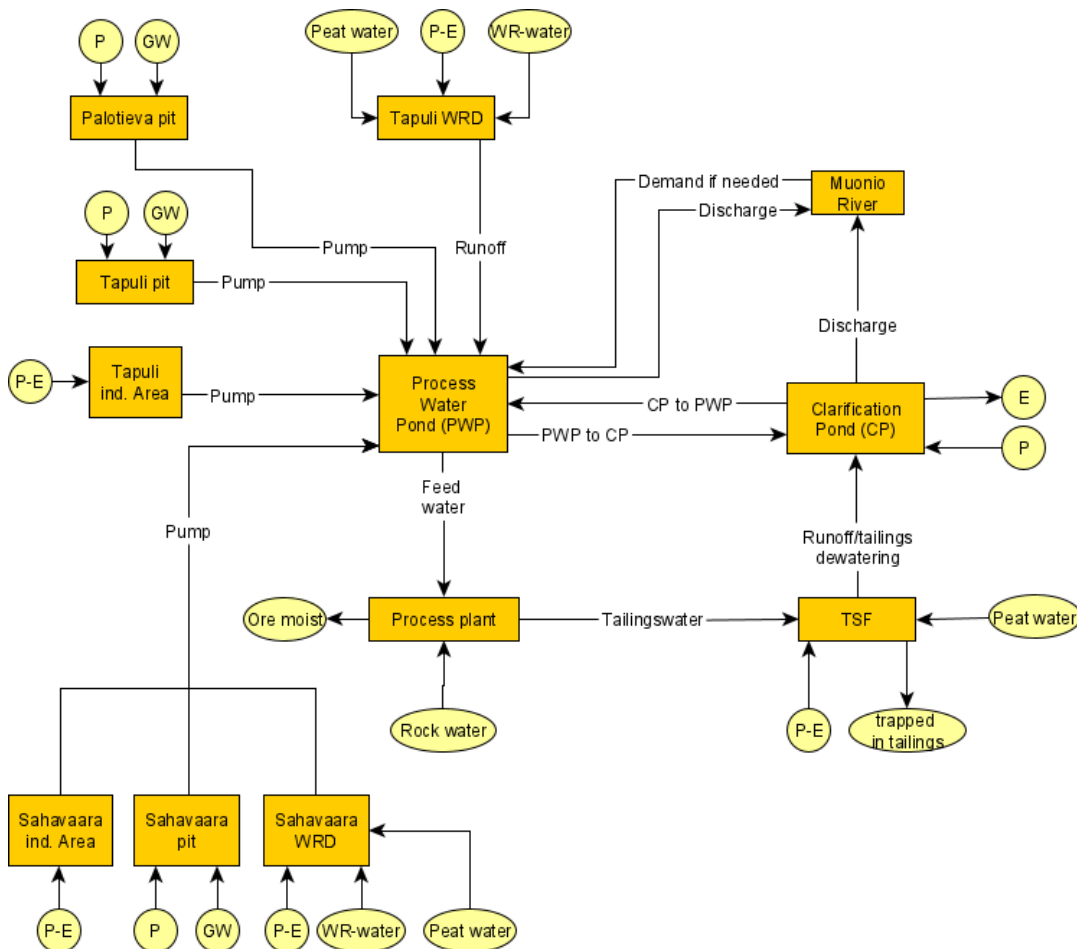


3 METODOLOGIA

3.1 Vesitasapainon malli

GoldSim-ohjelmistoon (versio 12.1.2 #166) on rakennettu vesitasemalli, joka on kohdekeskeinen ja dynaaminen simulointimalli, joka simuloi suunnitellussa toiminnassa hallittavan veden virtaamaa ja varastointia. Vakiintuneen vesitasemallin päävirtaamakomponentit on esitetty Kuvassa 1. Malli sisältää sekä Tapulin käynnissä olevan toiminnan kohteet/laitokset että tulevat/suunnitellut kohteet/laitokset Sahavaaran ja Palotievan avolouhosten ja Sahavaaran hylkykivikertymän muodossa.

Yritykselle laadittua vesitasemallia (versio 12.6.2019) on sen jälkeen käytetty perustana toiminnassa käsiteltävien/käsiteltäväksi tulevien liuenneitten aineiden kulkeutumismallin rakentamisessa. Malli kuvaa suunnitellun toiminnan 12:ta tuotantovuotta, joiden oletettiin hypoteettisesti olevan vuosien 2019 ja 2030 välillä. Vesitasemallia ei ole päivitetty tämän tarkistetun painoksen osalta vertailukelpoisten tulosten esittämiseksi. Liukoisten aineiden kulkeutumismallia kuvataan tarkemmin tulevassa kohdassa 3.2.



Kuva 1: Kaavamainen vesivirtaamakaavio Kaunis Iron:in suunnittelemlle toiminnolle.

Overseeing
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



3.2 Kulkeutumismalli liuoksille

Liuottimien kulkeutumismalli on, kuten aiemmin todettiin, rakennettu GoldSimin vesitasemallin avulla ja sen pohjalta. Kulkeutumismallissa keskitytään prosessivesisäiliöön ja selkeytysäiliöön, jotka ovat kaivoksen vesihuollon kaksi tärkeintä osaa, joissa sekoitetaan eri alkuperää olevaa vettä (ks. Kuva 1 edellä).

3.2.1 Prosessivesiallas

Prosessivesisäiliö on kaivoksen tärkein vesisäiliö. Se vastaanottaa nyt tai vastaisuudessa vettä seuraavista kohteista ja laitoksista:

- Valumavettä Tapulin avolouhoksesta; Valuvaa vettä
- Tapulin hylkykiven kertymäpaikalta;
- Tapulin teollisuusalueen pinnoille kerääntynyttä vettä; Suoraa
- sadantaa, joka menee prosessivesisäiliöön;
- Vesi, joka valuu (kuten sade ja lumen sulamisen aikana) prosessivesisäiliön valuma-alueilta, joihin kaivoslaitokset/kohteet eivät vaikuta;
- Kierrätetty prosessivesi selkeytysäiliöstä tarvittaessa eli tapaukset, joissa prosessivesisäiliössä on vesivaje;
- Muonionjoen raakavesi, jota pumpataan talvella putkien jäätymisen estämiseksi, sekä poikkeustapauksissa silloin, kun järjestelmässä on vesivaje;
- Valumavettä, joka pumpataan Palotievan avolouhoksesta;
- Sahavaaran kaivosalueella kerättävä/käsiteltävä vesi, johon kuuluu:
 - Valumavesi Sahavaaran avolouhoksesta;
 - Valumavesi Sahavaaranhylkykiven kertymäpaikalta
 - Sahavaaran teollisuusalueen pinnoilta kerätty vesi
- Sulavesi prosessivesisäiliön jäästä, joka lumensulamisen aikana syötetäänsäiliöön.

Prosessivesisäiliön vettä käytetään rikastamossa raakavetenä. Jos prosessivesisäiliössä on ylimääräistä vettä, vesi johdetaan pumppaamalla joko selkeytysäiliöön tai suoraan Muonionjokeen (viittaa anottuun toimintaan, ei käynnissä olevaan). Näytteenotto ja kemiallinen analyysiprosessivesisäiliön vedestä suoritetaan säännöllisesti yrityksen oman valvonnan puitteissa. Nykyiselle tarkastuspisteelle (PRO4) on pitkä jatkuva aikasarja, jossa on vesikemian analyysitulokset.

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



3.2.2 Selkeytyssäiliö

Selkeytyssäiliö on toiminnan toinen tärkein päävesisäiliö. Se vastaanottaa vettä seuraavista kohteista/laitoksista:

- Valumavesi hiekkasäiliöstä, mukaan lukien:
 - a) Rikastushiekan vesifaasi, joka varastoidaan (nykyisin) ja;
 - b) Vesifaasin vaahdotushiekka (joka syntyy vaahdotuksessa suunnitellun toiminnan aikana);
- Tarvittaessa prosessivesisäiliöstä peräisin oleva vesi, esimerkiksi korkeat pitoisuudet
- prosessivesisäiliössä; Selkeytyssäiliöön suora sadanta;
- Suora sademäärä, joka valuu vetenä sekä lumen ja jään sulamisen yhteydessä; ja
- turvevesi, joka on puristettu turpeesta, joka varastoi rikastushiekkaa säiliöalueella

Selkeytyssäiliön vettä voidaan pumpata prosessivesisäiliöön silloin, kun prosessivesisäiliössä on vesivaje ja/tai silloin kun selkeytyssäiliössä on vesiylijäämä. Nykyisessä toiminnassa vesi johdetaan pumppaamalla selkeytyssäiliöstä vastaanottavaan vesistöön, Muonionjokeen, silloin kun selkeytyssäiliössä on vesiylijäämä. Selkeytyssäiliöstä peräisin olevan veden näytteenotto ja kemiallinen analyysi suoritetaan säännöllisesti toiminnan omaavalvonnan puitteissa. Nykyiselle tarkastuspisteelle (PRO6) on pitkä jatkuva aikasarja, jossa on vesikemian analyysitulokset.

3.3 Sekoitusmallin asetukset

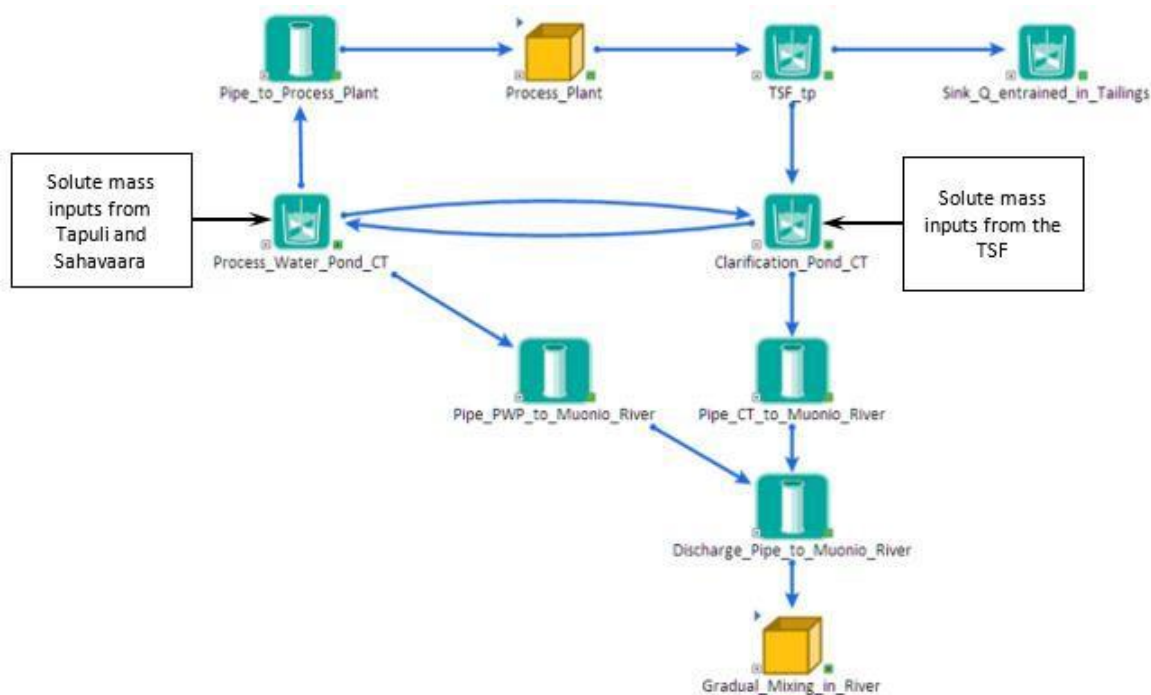
Kemiallisen liuos- ja kulkeutumismallin asetukset on esitetty kaavamaisesti kuvassa 2. Kemiallisen lioksen massakuormitus kullekin kemialliselle lähdetermille (kuvattuna tulevassa kohdassa 3.4) lasketaan kunkin vesitasemalliin sisältyvän vesityypin koostumuksen ja virtaaman perusteella. Kemialliset massakuormat lisätään prosessivesisäiliöiden tai selkeytyssäiliöiden sekoituskennoihin mallintamisen jokaisessa vaiheessa. Siellä GoldSim laskee kumulatiivisen massan jokaisessa sekoituskennossa, jotka on integroitu vesitasemallin virtaama- ja tilavuustietoihin kunkin kennon liuospitoisuuksien johtamiseksi. Malli siirtää siten vesi- ja kemiallista massaa yrityksen vesiliikennejärjestelmässä vesitasemallissa käytettyjen määritelmien/sääntöjen mukaisesti.

Anomuksen mukaisen toiminnan rikastamoon mallissa kaksi prosessilinjaa, joista toinen rikastaa malmia Tapulin, Palotievan ja Sahavaaran avolouhoksista vain määrällä magneettierotusprosessilla ja toinen sisältää vaahdotuksen, jossa sulfidit erotetaan aiemmissa magneettierotusvaiheissa tuotetusta rikasteesta. Rikastamossa liuotetut aineet johdetaan prosessiveteen kahdessa prosessissa: (1) jauhamalla ja käsittelemällä malmia siitä vapautuu tiettyjä elementtejä veteen ja (2) lisäämällä rikkihappoa vaahdotusprosessiin. Yksityiskohtaisempi kuvaus kohdassa 3.4.3.



Sulfidivaahdotuksen rikastushiekka ja vaahtotuote, jota kutsutaan vaahtohiekaksi, joka pumpataan hiekkasäiliöön säilytystä varten, sisältää vettä, jossa on liuenneita aineita malmista. Hiekkasäiliössä kiinteä materiaali selkeytyy, minkä jälkeen suurin osa vesifaasista johdetaan ojien kautta selkeytysäiliöön. Osa vesifaasista (mukaan lukien liukenemattomat aineet) jää kuitenkin hiekkasäiliöön "sitoutumalla huokosvetenä hiekkakartioon". Alla olevassa kuvassa tämä näkyy muodossa 'Entrained in Tailings'.

Kemialliseen sekoitusmalliin kuuluu myös toimintojen ylijäämäveden sekoittuminen Muonionjoen veteen ylivuodon yhteydessä. Koska hydrodynaaminen mallinnus on osoittanut, että joen ylivuotovesi on ollut hyvä jo pian päästöpaikan alajuoksulla, GoldSim-malli laskee pitoisuudet sen jälkeen, kun se on täysin sekoittunut joen virtaamaan. GoldSim-mallin mallinnetut pitoisuudet joessa yksinkertaistavat kuitenkin joen laimennus- ja sekoitusprosessia, ja siksi niitä olisi käytettävä ainoastaan suuntaa antavina joen pitoisuuksien osoittamiseksi ylivuodon yhteydessä. WSP on laatinut yksityiskohtaisemman sekoittumis-/laimentumismallin ylivuotoveden sekoittumiselle toiminnasta Muonionjokeen, ja se esitetään kahdessa erillisessä raportissa (YVA:n liitteet H16 ja H20).



Kuva 2: Kaavamainen virtaamakuvaus kemiallisesta sekoitusmallista.

Kulkeutumismalli simuloi nykyisessä konfiguraatiossaan konservatiivista seuraavien kokonaan liuenneiden elementtien kulkeutumista: Al, As, Ba, Ca, Cd, Cl-, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Mo, $\text{NH}_4^+ \text{N}$, Ni, $\text{NO}_3^- \text{N}$, N_{tot} , pH, Pb, $\text{PO}_4^{3-} \text{P}$, Sb, SO_4^{2-} , Sr, U, Zn ja Alkalisuus.

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



Kemialliseen sekoitusmalliin liittyy seuraavat rajoitteet:

- Mallissa ei oteta huomioon reaktioita/mekanismeja, kuten mineraalien saostumista tai hivenmetallien sorptiota mineraalipinnoilla, joten mallinnettuja pitoisuuksia on pidettävävarovaisina.
- GoldSim simuloi kunkin elementin liukoista pitoisuutta, ei kokonaismäärää (joka sisältää poistettuja kiintoaineita) tai biologisesti hyödynnettävissä olevaa osuutta.
- GoldSimin pH:n ja emäksisyyden simulointi ei ole täysin tarkka, koska puskurointivaikutusta pH-arvoon ei simuloida ohjelmassa. Näin ollen GoldSimissä ei ole laskettu pH-arvoja, koska se johtaisi virheellisiin arvoihin. Malliin sekoittuneiden liuosten pH:n paremman mallintamisen varmistamiseksi on sen vuoksi sovellettu geokemiallisesti määriteltyä koodia PHREEQC. Koodin on kehittänyt U.S. Geological Survey (USGS), ja se on laajalti hyväksytty geokemiallisen mallintamisen alan standardiksi. Tämä koodi simuloi mineraalien saostumista ja sorptioreaktioita (joita esiintyy selkeytysäiliössä ja prosessivesisäiliössä) suurella tarkkuudella. Mallinnus PHREEQC: llä on tehty rinnakkaisella termodynaamisella sekoitusmallilla, joka on kuvattu kohdassa 3.5.

Virtaama- ja kulkeutumismalli on rakennettu suorittamaan 100 todennusta (100 erilaista malliajoa), jotka perustuvat stokastiseen ilmastoon niin sanotussa Monte Carlo -simulaatiossa¹ ja se laskee sitten todennäköisyysjakaumat tuloksena oleville virtaamille, tilavuuksille ja elementtipitoisuuksille.

3.4 Kemiallisia lähdetermejä

Kemialliset lähdeterminit koostuvat yrityksen kohteista/laitoksista, jotka ovat osa yrityksen vesihuoltojärjestelmää ja jotka edistävät kemiallisen massan lisäämistä vesihuoltojärjestelmään. Nykyisessä mallissa Golder on käyttänyt edustavia kemiallisia lähdetermejä, jotka perustuvat saatavilla oleviin geokemiallisiin raportteihin ja vesinäytteiden analyysituloksiin. Seuraavissa kohdissa kuvataan käytettävissä olevia tietoja ja miten niitä on käytetty eri kohteissa/laitoksissa. Jos lähdetiedot puuttuivat tietyn vesityypin syöttöparametreista (ks. esimerkiksi kohta 3.3), saatiin arvo sopivasta välityspalvelimesta eli sijaisarvo. Kohdassa 3.4.13 esitetään kooste kaikista malliin sisältyvistä kemiallisista parametreista, sijaisarvot on ilmoitettu erikseen.

3.4.1 Sahavaaran hylkykivikertymä, suotovesi

Sahavaaran hylkykivikertymä on jaettu kahteen lähdeterminiluokkaan. Yksi koskee ei-happoa muodostavaan hylkykiveä (NAF) ja toinen mahdollisesti happoa muodostavaa hylkykiveä (PAF).

NAF- ja PAF-hylkykiven suotoveden kemiallinen koostumus on laskettu Sahavaaran (SRK) hylkykiven kosteuskammiokeista (HCT) saaduista suotovesitiedoista (2014a, 2014b)).

¹ Niin kutsuttu Monte Carlo -simulaatio on vakiintunut menetelmä eri tulosten todennäköisyyden laskemiseksi järjestelmässä, joka sisältää stokastisia tai epävarmoja muuttujia. Simulaation suorittamiseksi käytetään satunnaislukuja, jotka saadaan eri todennäköisyysjakaumista. Monte Carlon simulaatiota voidaan käyttää muun muassa kuvaamaan/käsittelemään ennusteiden epävarmuustekijöitä. Menetelmä tarjoaa tilastollisen todennäköisyysjakauman eri mallituloksille



Vesikoostumukset vastaavat tilannetta kaivostoiminnan lopussa, jolloin raakun määrä on korkeimmillaan ja rapautuminen on jatkunut jo vuosia. Suotovesi on jakautunut ei-happoa muodostavasta (NAF) ja mahdollisesti happoa muodostavasta (PAF) hylkykivestä peräisin olevan veden väliin.

3.4.1.1 HCT-tiedot

Sahavaarassa NAF:n hylkykiveä edustavien liukoisten aineiden huuhtoutumisnopeus on arvioitu kosteuskammiokokeiluista saatujen suotovesipitoisuuksien perusteella vähärikkisissä hylkykivinäytteissä, ja PAF-hylkykivi on arvioitu suotoveden pitoisuuksista kosteuskammiokokeissa hyvin rikki-pitoisista hylkykivinäytteistä (ks. Taulukko 1). Hylkykivinäytteet, joiden suotovesi on valittu mallin perustaksi, ja käytetty osuus (50–50 prosenttia NAF:n osalta ja 8–92 prosenttia PAF:n osalta) on valittu edustamaan parhaiten hylkykiveä ja siten odotettua suotovettä tulevasta keräystä.

*Taulukko 1: HCT-tiedot (mg/kg*viikko) NAF- ja PAF- hylkykiven vedenlaadun arvioimiseksi Sahavaaran hylkykivikeräymässä.*

Parametrit	NAF-hylkykivi		Syöttötiedot NAF-malli	PAF-hylkykivi		Syöttötiedot PAF-malli
	SAH07009	SAH08MET		SAH08006	SAH07011	
S-pitoisuus (paino %)	0.06	0.05	0.055	2.40	20.8	3.8
Sekoitusmitta- suhteet			50%SAH07009 50% SAH08MET23			8% SAH07011 92% SAH08006
pH (S.U.)	7.16	8.29	7.43	7.86	4.37	5.47
H⁺ (mol/(kg*viikko))	6.8e-08	5.1e-09	3.68e-08	1.4e-08	4.2e-05	3.4e-06
Emäksisyys	6.57	8.71	7.64	7.14	0.77	6.63
Al	0.0022	0.035	0.019	0.021	0.24	0.039
As	0.00092	0.00065	0.00078	0.00058	0.00035	0.00056
Ca	1.27	2.07	1.67	12.1	12.6	12.2
Co	2.4e-05	0.00027	0.00015	0.00027	0.0074	0.00084
Cr	2.1e-05	0.00034	0.00018	0.00034	0.00033	0.00034

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



Cu	0.0015	0.00013	0.00080	0.00077	0.0061	0.0012
Fe	0.00056	0.087	0.04	0.085	143	11.5
K	0.22	0.49	0.36	3.29	1.60	3.15
Parametrit	NAF-hylkykivi		Syöttötiedot NAF-malli	PAF-hylkykivi		Syöttötiedot PAF-malli
	SAH07009	SAH08MET		SAH08006	SAH07011	
Mg	0.11	0.64	0.37	0.67	1.69	0.75
Mn	0.00094	0.0029	0.002	0.016	0.34	0.041
Mo	0.00013	0.0013	0.00071	0.0014	0.00086	0.0013
Na	0.035	0.48	0.26	0.51	0.59	0.52
Ni	4.4e-05	6.2e-05	0.000053	0.00080	1.01	0.082
Pb	0.00011	4.6e-05	0.000080	4.5e-05	0.0021	0.00021
Sb	5.9e-05	0.00073	0.00039	0.00072	0.00073	0.00072
Zn	0.0085	0.00072	0.005	0.0021	0.12	0.012
SO₄²⁻	0.85	0.46	0.65	28.0	161	38.6
U	0.00030	0.00061	0.00046	0.00027	0.013	0.0013

3.4.1.2 Skaalaustekijät

Jotta voidaan ottaa huomioon laboratoriokokeissa vallitsevat erilaiset olosuhteet verrattuna hylkykivikertymään todellisella esiintymällä, vedenlaatututkimuksiin sovelletaan hyväksyttyjä skaalauskerroimia (Kempton, 2012).

Kempton (2012) esittää yksityiskohtaisen katsauksen tyypillisistä skaalaustekijöistä veden laadun täysimittaiseksi arvioimiseksi laboratoriokokeiden perusteella. Liuottimien kokonaispitoisuus koko hylkykivikertymästä ($R_{\text{kenttä}}$) voidaan arvioida laboratoriotestien huuhtoutumisnopeuden (R_{lab}) perusteella kerrottuna kertyneellä skaalauskerroimella suurimmasta osasta yksittäisiä skaalaustekijöitä. Suhdetta $R_{\text{kenttä}}$ ja huuhtoutumisnopeuden välillä laboratoriossa kuvataan yhtälön 1 skaalauskerroimilla.

$$R_{\text{Field}} = R_{\text{Lab}} \times SF_{\text{moist}} \times SF_{\text{size}} \times SF_{\text{contact}} \times SF_{\text{temp}} \times SF_{\text{O}_2} \quad (\text{Eq. 1})$$

Yhtälön eri osat määritellään seuraavasti :

R_{Field} = arvioitu huuhtoutumisnopeus - kentässä

R_{Lab} = määritetty huuhtoutumisnopeus laboratoriotestissä

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



KAUNIS IRON

SF_{moist}

= alhaisesta kosteuspitoisuudesta johtuva hapettumisen väheneminen

SF_{size}

= vähentynyt reaktiivisuus laboratoriotestin ja kentän eri raekokojen vuoksi

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



- SF_{contact} = pesemättömästä materiaalista johtuva väheneminen hylkykivikertymässä epätasaisen läpäisevyyden vuoksi (sään vaikutus)
- SF_{temp} = Arrhenius-yhtälöön perustuva lämpötilan skaalauskerroin
- SF_{O_2} = reaktiivisen hylkykivimassan väheneminen hapen diffuusiorajojen vuoksi

Skaalauskerroimet ja käytettyjen arvojen validointi kuvattunaalla:

Happi, lämpötila ja hylkykiven reaktiivisuus

SRK (2014b) simuloi hapen kuljetus- ja sulfidioksidatioprosesseja NAF: ssä ja PAF: ssä Sahavaaran hylkykivikertymillä käyttämällä SULFIDOX-ohjelmistoa, joka on alun perin Australian ydintieteen ja -teknologian järjestön (ANSTO) kehittämä FORTRAN-pohjainen ohjelmisto.

Malli arvioi hapettumisvyöhykkeen syvän tunkeutumisen Sahavaaran hylkykivikertymään NAF:n osalta. Mallissa otetaan huomioon myös lämpötilan vaikutus diffuusio- ja reaktionopeuteen seuraavien oletusten perusteella:

- KIABin toiminta sijaitsee subarktisessa ympäristössä (joka tässä tapauksessa tarkoittaa alhaista lämpötilaa), jonka jälkeen sulfidin hapettumisen odotetaan olevan vain noin 2,5% laboratorioympäristön kosteuskammiokokeiluissa mitatusta tasosta, minkä vuoksi SF_{O_2} NAF-mallissa asetettiin 2,5 prosenttiin.
- Varovaisen arvion vuoksi asetettiin SF_{O_2} Sahavaaran hylkykivikertymän PAF:lle samaan arvoon kuin NAF:lle eli 2,5 prosenttiin.
- Koska SF_{O_2} : n skaalauskerroin oli jo ottanut huomioon lämpötilan, SF_{temp} arvoksi asetettiin 1 sekä PAF- että NAF-malleissa.

Koko

Koon skaalauskerroimessa otetaan huomioon, että suurin osa liuenneista aineista syntyy pienhiukkasista. Pienemmät hiukkaset ovat reaktiivisempia suuremmalla massa-alue-suhteella ja huuhtoutuvat helpommin kuin suuremmat kivet ja lohkot, minkä jälkeen liuenneiden aineiden saostumiseen tarvitaan pienempi määrä massaa. HCT-testit suoritetaan materiaaleille, jotka on murskattu, kunnes 100% kulkee 6,33 mm: n fraktiona perustuen direktiiviin "The directives of ASTM-D 5744 Humidity Cell Test Protocol". Arvioitiin, että noin. 20% hylkykiven kokonaismäärästä täydellisessä hylkykivikertymässä vastaa HCT-kokeissa käytettyä hienoa materiaalia, minkä jälkeen SF_{Size} asetettiin 0,2: een.

Kosteus/kosteuspitoisuus

Kosteuspitoisuuden skaalauskerrointa voidaan soveltaa erittäin kuiviin olosuhteisiin, joissa kosteuden saatavuus rajoittaa sulfidin hapettumista. KIABin toiminnan vallitsevissa olosuhteissa kosteus ei ole rajoittava tekijä, ja siksi SF_{moist} arvoksi asetettiin 1.

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



Yhteys

Vesiyhteyden skaalauskerroin perustuu oletukseen, että hylkykivikertymässä on vyöhykkeitä, joissa vesi virtaa materiaalin/hylkykiven läpi tai on kosketuksissa siihen sekä alueita, joilla vesi ei virtaa/joudu kosketuksiin hylkykiven kanssa. Rapautumistuotteet, jotka syntyvät kertymän osissa, joissa veden virtaus on vähäisempää, jäävät kertymään eivätkä siten edistä liuenneitten aineiden massakulkeutumista kertymästä.

Erikson et al (1997) ovat sitä mieltä, että kivimateriaalin kosketuksen/huuhtelun skaalauskerroin on 55 %. Sitä vastoin kenttätutkimukset Yhdysvalloissa osoittavat, että alle 30% hylkykivikeräymästä on liotettu tai pesty. Varovaisena oletuksena SF_{Contact} asetettiin 50 prosenttiin.

3.4.1.3 Suotoveden laatulaskelmat

Hylkykivikeräymän suotoveden skaalatut pitoisuudet on laskettu perusteena keräymän keskimääräinen korkeus h_{WRD} hylkykiven irtotiheys ρ , infiltraationopeus i ja skaalattu huuhtoutumisnopeus R_{field} yhtälön 2 mukaisesti.

$$C_{\text{field}} = h_{WRD} \times \rho \times i \times R_{\text{field}} \quad \text{eq. (2)}$$

Parametrit joita käytettiin kun suoritettiin laskelma esitetään Taulukossa 2.

Taulukko 2: Sahavaaran harmaakiviesiintymien suotoveden koostumuksen laskentaparametrit.

Parametrit	Yksikkö	Sahavaara NAF-hylkykivi	Sahavaara PAF-hylkykivi
Keräymän korkeus h_{WRD}	m	100	80
Hylkykiven (keräymän) tiheys ρ	kg/m ³	1820	1820
Infiltraatio i	m ³ /(m ² *vuotta)	0.4	0.4

Skaalattu suotoveden koostumus sisältyy sitten geokemialliseen mallikoodiin PHREEQC Interactive, versioon 3.5.0.1400 (Parkhurst ja Appelo, 2013), jossa simuloidaan geokemiallista tasapainoa nykyisten mineraalifaasien ja sorptioreaktioiden kanssa. MINTEQ.v4-termodynaamista tietokantaa käytettiin tietokannassa olevien mineraalifaasien kyllästysindeksin laskemiseen. Mineraalit, joita pidetään todennäköisesti vakaina geokemiallisissa olosuhteissa, joiden odotetaan vallitsevan hylkykivikertymissä, on lueteltu alla. Niiden annettiin saostua, jos suotovesiliuoksessa oli ylikyllästetyt olosuhteet.

- Gibbsit
- Ferrihydrit

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



- Kalsiitti
- Baryytti
- Hausmanniitti
- Birnessiitti
- Manganiitti

Malli sisältää myös tasapainon ilmakehän O₂ ja CO₂ pitoisuuksien kanssa.

Mallissa on myös otettu huomioon pintakompleksaatio ja ioninvaihtoreaktiot saostetulle ferrihydriitille. Nämä reaktiot voivat kuitenkin sisältää tiettyjä hivenmetalleja, kuten arsenikki hylkykivikeräymässä.

Sahavaaran hylkykivikeräymän arvioitu vedenlaatu NAF:lle ja PAF:lle geokemiallisen tasapainotuksen jälkeen on esitetty Taulukossa 3. Sekapitoisuudet laskettiin sekoittamalla NAF:n ja PAF:n vesilaadut suhteessa keräymän kahden osan pinta-alaan eli NAF-hylkykiven ja PAF-hylkykiven pinta-alaan (180 ha NAF ja 100 ha PAF).

Taulukko 3: NAF:n ja PAF:n arvioidut liuenneet pitoisuudet suotovesissä Sahavaaran hylkykivikeräymällä.

Parametrit	Yksikkö	NAF Sahavaara hylkykivikeräymä	PAF Sahavaara hylkykivikeräymä	Sekoitettu suotovesi Sahavaaran hylkykivikeräymä
pH	S.U.	8.09	2.46	6.08
Emäksisyys	mg/l CaCO ₃	53.4	0.0	34.30
Al	mg/l	0.0145	1.8522	0.6708
As	mg/l	0.0006	0.0150	0.0058
Ca	mg/l	35.4	579.4	229.73
Co	mg/l	0.0086	0.0399	0.0198
Cr	mg/l	0.0104	0.0161	0.0125
Cu	mg/l	0.0082	0.0570	0.0256
Fe	mg/l	0.00004	256.58	91.64
K	mg/l	21.3	149.6	67.13

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



Mg	mg/l	21.9	35.6	26.79
Mn	mg/l	1.14E-09	1.95	0.6954
Mo	mg/l	0.0420	0.0617	0.0490
Parametrit	Yksikkö	NAF Sahavaara hylkykivikeräymä	PAF Sahavaara hylkykivikeräymä	Sekoittunut suotovesi Sahavaaran hylkykivikeräymä
Na	mg/l	15.39	24.70	18.71
Ni	mg/l	0.0029	3.8957	1.39
Pb	mg/l	0.0004	0.0100	0.0038
SO ₄	mg/l	38.4	1829.8	678.21
Sb	mg/l	0.0231	0.0342	0.0271
U	mg/l	0.027	0.062	0.0396
Zn	mg/l	0.233	0.570	0.3535

3.4.2 Tapulin hylkykivikeräymä, suotovesi

Tapuli-hylkykivikeräymän kemiallinen koostumus on laskettu niiden suotovesitietojen mukaan, jotka on saatu kosteuskammiokokeissa SRK:n (2014a, 2014b) mukaan. Vesikoostumukset vastaavat tilannetta kaivostoiminnan lopussa, jolloin raakun määrä on korkeimmillaan ja rapautuminen on jatkunut jo vuosia.

Vähärikkisen (NAF) hylkykiven suotoveden liukoisten aineiden huuhtoutumisnopeus, joka edustaa Tapuli-hylkykivikeräymää esitetään Taulukossa 4.

*Taulukko 4: Huuhtoutumisnopeus (mg/(kg*viikko)) kosteuskammiokokeiluissa, joita käytetään Tapulin hylkykivikeräymän suotoveden laadun laskemiseksi.*

Parametrit	SAH07009	SAH08MET23	TPL07030	TPL07036	TPL08028	TPL08MET24	Keskiarvo
S (paino-%)	0.1	0.07	0.72	0.69	0.45	0.01	0.34
pH (S.U.)	7.24	7.67	6.46	6.95	8.29	8.38	7.50
Emäksisyys	5.881	10.349	4.16	5.597	23	15	10.7
SO ₄ ²⁻	0.892	0.997	4.57	1.6	9.64	1.47	3.19

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



Ca	1.33	1.85	1.19	0.681	5.75	3.47	2.38
K	0.275	0.804	0.62	0.485	0.433	0.598	0.536
Mg	0.237	0.936	0.42	0.161	8.34	0.942	1.84
Na	0.276	0.753	0.178	0.196	0.329	0.578	0.385
Ag	0.0009	0.001	0.00041	0.0005	0.0011	0.0011	0.000835
Parametrit	SAH07009	SAH08MET23	TPL07030	TPL07036	TPL08028	TPL08MET24	Keskiarvo
Al	0.016	0.149	0.062	0.044	0.033	0.022	0.0543
As	0.0029	0.00087	0.00027	0.00036	0.00039	0.00037	0.00086
Co	0.0002	0.00028	0.0006	0.00016	0.0003	0.00025	0.000298
Cr	0.00028	0.00076	0.00057	0.00032	0.0008	0.00042	0.000525
Cu	0.0011	0.0009	0.0021	0.00062	0.0021	0.0011	0.00132
Fe	0.067	0.238	0.138	0.077	0.15	0.078	0.125
Li	0.00544	0.00082	0.00035	0.00034	0.00084	0.00073	0.00142
Mn	0.0045	0.0046	0.0065	0.0017	0.012	0.0018	0.00518
Mo	0.0028	0.0019	0.00072	0.00071	0.0015	0.0014	0.00151
Ni	0.00031	0.00051	0.012	0.0011	0.00071	0.00089	0.00259
Pb	0.00061	0.00094	0.00054	0.00036	0.0015	0.001	0.000825
Sb	0.00048	0.00059	0.00028	0.0003	0.00058	0.00057	0.000467
U	0.00039	0.0008	0.00026	0.00058	7.8e-05	0.00036	0.000411
Zn	0.0043	0.00089	0.0025	0.0011	0.002	0.0026	0.00223

3.4.2.1 Skaalaustekijät

Tapulin hylkykivi on sahavaaralaisen NAF hylkykiven kaltaista vähäsulfidista ainesta, ja samoja skaalaustekijöitä käytettiin näin ollen laboratoriotestien huuhtoutumisnopeuden mukauttamiseen siihen, mitä Tapulin täysikokoiselta hylkykivikeräymältä voidaan odottaa. Skaalauskerroimet on esitetty edellisessä kohdassa 3.4.1.2.

3.4.2.2 Tapulinarvioitu suotoveden laatu

Täysikokoisen hylkykivikeräymän suotoveden pitoisuudet on myös

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



laskettu Tapulille lähtökohtana keräymänkorkeus, (average height of the WRD (h_{WRD})) kertymän irtotiheys (ρ), infiltraationopeus (i) ja skaalattu huuhtoutumisnopeus (R_{field}) edellä olevan yhtälön (2) mukaisesti. Laskennassa käytetyt parametrit on esitetty Taulukossa 5.



Taulukko 5: Tapulin hylkykivikeräymän suotoveden laadun laskentaparametrit.

Parametrit	Yksikkö	Tapuli Hylkykivikeräymä
Keräymän korkeus h_{WRD}	m	75
Hylkykiven (keräymän) tiheys ρ	kg/m ³	1820
Infiltraatio i	m ³ /(m ² *vuosi)	0.4

Sahavaaran hylkykivikeräymän tavoin geokemiallista mallinnuskoodia PHREEQC (Parkhurst ja Apollo, 2013) käytettiin laskemaan kyllästysindeksejä, todennäköisten ja ylikyllästyneiden mineraalien saostumista tasapainoon sekä simuloimaan "pintakompleksaatiota" ja ioninvaihtoreaktioita ferrihydriitin esiintymisessä. Arvioitu suotoveden laatu geokemiallisen tasapainon jälkeen esitetään Taulukossa 6.

Taulukko 6: Tapulin harmaan hylkykivikeräymän arvioidut liuenneet pitoisuudet suotovedessä

Parametrit	Yksikkö	Suotovesi Tapuli hylkykivikeräymä
pH	S.U.	7.96
Emäksisyys	mg CaCO ₃ /L	42.4
Al	mg/l	0.0112
As	mg/l	0.0002
Ca	mg/l	77.6
Co	mg/l	0.0130
Cr	mg/l	0.0221
Cu	mg/l	0.0084
Fe	mg/l	0.0001
K	mg/l	23.8
Mg	mg/l	81.6
Mn	mg/l	2.28e-09
Mo	mg/l	0.0667
Na	mg/l	17.09

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



Parametrit	Yksikkö	Suotovesi Tapuli hylkykivikeräymä
Ni	mg/l	0.1084
Pb	mg/l	0.0028
SO ₄ ²⁻	mg/l	141.7
Sb	mg/l	0.0207
U	mg/l	0.018
Zn	mg/l	0.084

3.4.3 Rikastusprosessin kuvaus

Kuten edellä on todettu, anotun toiminnan rikastusprosessiin kuuluu kaksi prosessilinjaa, joista toinen rikastaa malmia Tapulin, Palotievan ja Sahavaaran avolouhoksista vain määrällä magneettisella erotusprosessilla (jäljempänä 'linja A'), ja toinen sisältää vaahdotusvaiheen, jossa sulfidit erotetaan aiemmissa magneettierotusvaiheissa tuotetusta rikasteesta, jäljempänä 'linja B'.

3.4.3.1 Linja A -magneettinen erottelu

Magneettisessa erotteluprosessissa malmikonsentraatti tuotetaan jauhamalla ja matalan intensiteetin magneettisella erottelulla (LIMS) useissa vaiheissa märkänä prosessina (vettä lisäämällä). Jäljelle jäävät liukoiset aineet saostuvat prosessiveteen jauhamisvaiheessa. Rikastusprosessissa prosessiveteen lisättyjen liukoisten aineiden määrä on laskettu näytteenotosta saatujen analyttisten tietojen perusteella ja liuenneiden pitoisuuksien erojen vertailun perusteella rikastushiekan vesifaasissa (mittauspiste PR09) ja liuenneissa pitoisuuksissa prosessivesisäiliössä (mittauspiste PR04) Taulukossa 7 kuvatulla tavalla. Jos ero on positiivinen, GoldSim-malli on lisännyt nämä pitoisuudet veden koostumukseen virtausprosessissa prosessivesisäiliöstä linjaan A magneettista erottelua varten. Negatiivisen eron tapauksessa keskittymisen kasvu on sen sijaan asetettu mallissa varovaisesti arvoon 0. Linjan A rikastushiekka pumpataan hiekkasäiliöön varastointia varten. Siinä noin puolet prosessivedestä on sidottu huokosvedeksi kerrostetussa rikastushiekassa, kun taas jäljellä oleva osa vesifaasista valuu hiekkakartiosta ja johdetaan ojissa selkeytysäiliöön (matkan varrella tapahtuu myös jonkin verran sekoittumista sadeveteen/pintaveteen ja turveveteen).



Taulukko 7: Liukoisten aineiden lisääntyminen magneettisen erottelun aikana prosessilinjalla A

Parametrit	Yksikkö	PRO4	PRO9	Pitoisuuden lisäys
pH	S.U.	7.59	9.44	n/a
Emäksisyys	mg/l	2.08	1.90	0
Al	mg/l	0.010	0.085	0.074
As	mg/l	2.66e-04	2.80e-04	1.37e-05
Ba	mg/l	4.33e-02	6.52e-02	2.19e-02
Ca	mg/l	34.63	11.60	0
Cd	mg/l	1.36e-05	2.53e-05	1.17e-05
Cl	mg/l	29.17	178.75	149.58
Co	mg/l	2.47e-04	4.19e-04	1.72e-04
Cr	mg/l	1.40e-04	5.24e-04	3.84e-04
Cu	mg/l	2.04e-03	1.08e-03	0
F	mg/l	n/a	n/a	n/a
Fe	mg/l	377.63	465.08	87.45
E	mol/L	2.54e-08	3.62e-10	n/a
Hg	mg/l	n/a	n/a	n/a
Mg	mg/l	25.36	33.29	7.92
Mn	mg/l	0.068	0.077	0.009
Mo	mg/l	0.007	0.026	0.019
Ni	mg/l	1.26e-03	1.42e-03	1.60e-04
Pb	mg/l	2.26e-04	1.23e-04	0
Sb	mg/l	n/a	n/a	n/a

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



SO ₄	mg/l	84.24	69.25	0
Sr	mg/l	0.0992	0.1038	0.0046
Parametrit	Yksikkö	PRO4	PRO9	Pitoisuuden lisäys
U	mg/l	0.0042	4.46e-05	0
Zn	mg/l	0.0024	0.0020	0

3.4.3.2 Linja B - Yhdistetty magneettinen erottelu- ja vaahdotusprosessi

Toisessa magneettierottelun ja sitä seuranneen vaahdotuksen prosessilinjassa linja B, malmikonsentraatti tuotetaan jauhamisen ja magneettierottelun ja sitä seuraavan vaahdotusvaiheen yhdistelmällä, jossa sulfidit poistetaan edellisessä magneettisessa erotusvaiheesta tuotetusta rikastuskonsentraatista. Myös linjalla B prosessivesi koostuu prosessivesisäiliön vedestä. Liukoiset aineet saostuvat veteen jauhamisen yhteydessä. Vaahdotusprosessissa rikkihappoa lisätään vähitellen sulfidimineraalin vedenhylkimiskäsittelyn vahvistamiseksi. Tämä johtaa siihen, että vaahdotusvaiheiden vesi, joka sisältää korkeampia sulfaattipitoisuuksia verrattuna linjaan A, jossa käytetään vain magneettista erottelua (ilman rikkihapon lisäämistä). Vuosittain vaahdotusprosessiin lasketaan käytettävän enintään 15 000 tonnia rikkihappoa.

Vaahdotushiekan vesifaasilla on prosessin jälkeen alhainen pH-arvo, noin 4,5 ja sen alhainen karbonaattipitoisuus ja siten alhainen hapon neutralointipotentiaali, siksi lisätään sammutettua kalkkia (Ca(OH)₂) (sammutettu kalkki) pH:n nostamiseksi noin 8: een ennen varastointia. Neutraloitua vaahdotushiekkaa käsitellään erillään muusta rikastushiekasta ja hävitetään joko varastoimalla vesitäytteiseen Navettamaan louhokseen tai hiekkasäiliön osaan valmistettuun erityiseen varastointikennoon. Louhoksen kaatopaikalta siirretty vesi valuu kohti prosessivesisäiliötä, kun taas varastointikennosta valuva vesifaasi kerätään ja ohjataan selkeytysäiliöön.

Tarvittava Ca(OH)₂ :n määrä on laskettu pH:n säätelyyn tarvittavasta lisäaineesta 4,5:stä 8:aan suurimman prosessivesivirtaaman yhteydessä vaahdotusvaiheessa (taulukko 8). Laskelma korvaa aiemmin teknisessä kuvauksessa esitetyn määrän, s. 151.

Taulukko 8: Arvioitu lisätty määrä Ca(OH)₂ vuotuisen keskimääräisen virtaaman perusteella (korvaa teknisen kuvauksen laskelman s. 151)

Parametrit	vaahdotushiekan pH-säätö
Suurin virtaama (m ³ /vrk)	941,95
Kalkin kulutus litraa kohti (g/l)	0,21

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



Vuotuinen enimmäiskulutus (tonnia/vuosi)	72,5
---	------

Vaahdotushiekan vesifaasin koostumus on laskettu kahdessa vaiheessa, joista ensimmäinen vaihe on laskettu samalla tavalla kuin magneettisen erotteluvaiheen lasketulle pitoisuuden kasvulle linjalla A (ks. Taulukko



7). Sulfaattilisäys, joka johtuu rikkihapon lisäämisestä vaahdotusvaiheessa, laskettiin jakamalla rikkihapon vuotuinen enimmäisliikitys 15 000 tonnia vuodessa (41,1 tonnia/päivä) prosessiveden enimmäisvirtaamalla, joka on 8 000 m³/vrk (arvioitu saavutettavaksi vuosina 10 ja 11, jolloin sulfidimalmin rikastamisen (muissa asiakirjoissa nimellä vaahdotusmalmi) oletetaan olevan suurimmillaan). Tämä aiheuttaa vaahdotushiekan vesifaasin keskimääräisen sulfaattilisäyksen 5 137 mg/l.

Nettokuormituksen kasvu, kun Ca(OH)₂ oli neutraloinut vaahdotushiekkaa linjan B vaahdotusvaiheista, laskettiin sen jälkeen raakavesipitoisuuden ja vaahdotushiekan vesifaasin pitoisuuksien erotuksena neutraloinnin jälkeen, ks. Taulukko 9. Jos ero on positiivinen, GoldSim-malli on lisännyt pitoisuuden lisäykset vaahdotushiekkaan (Taulukko 9). Jos ero on negatiivinen, korotukseksi on asetettu 0 varovaisen laskelman vuoksi.

Vaahdotushiekan neutralisointi simuloitiin PHREEQC:ssä. Ca(OH)₂ lisättiin vaahdotushiekkaan (näyte YR), kunnes pH-arvoksi saatiin 8, ja saavutettiin geokemiallinen tasapaino asianmukaisesti simuloituilla mineraalifaaseilla. Simulaatiota varten oletettiin, että vesi on kosketuksissa ilmakehän kanssa ja että tasapaino ilmakehän O₂ ja CO₂-pitoisuuksien välillä saavutettiin. Termodynaamista tietokantaa MINTEQ.v4 käytettiin tietokannassa olevien mineraalifaasien kyllästysindeksin laskemiseen.

Seuraavien mineraalien, jotka voivat muodostua hiekkasäiliössä vallitsevissa/tulevissa geokemiallisissa olosuhteissa, annettiin vaikuttaa tasapainoon, jos ne olivat ylikyllästyneitä suotovesiliuoksessa:

- Al(OH)_{3am}
- Gibbsit
- Al₄(OH)₁₀SO₄
- Ferrihydriitti
- Kalsiitti
- Kipsi
- Baryytti
- Hausmanniitti
- Birnessiitti
- Manganiitti

Lisäksi on simuloitu hivenmetallien sorptio saostettuun ferrihydriittiin.

Nettokuormituksen kasvu sen jälkeen, kun Ca(OH)₂ oli neutraloinut vaahdotushiekan linjan B vaahdotusvaiheista, laskettiin sen jälkeen raakavesipitoisuuden ja vaahdotushiekan vesifaasin pitoisuuksien erotuksena neutraloinnin jälkeen, ks. Taulukko 9. Jos ero on positiivinen, GoldSim-malli on lisännyt pitoisuuden lisäykset vaahdotushiekkaan (Taulukko 9). Jos ero on negatiivinen, korotukseksi on asetettu 0 varovaisen

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



laskelman vuoksi.

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



Taulukko 9. Prosessiveden pitoisuuden kasvu laskettuna linjan B vaahdotusvaiheille.

Parametrit	Yksikkö	Raakavesi pilottirika- stuksessa	YR (vaahdotushiekan vesifaasi) mittaustiedot	YR pH-korjauksen jälkeen	Pitoisuuden lisäys pH-korjauksen jälkeen
pH	S.U.	7.66	4.04	8	n/a
Emäksisyys	mg/l as CaCO ₃	0	0	51.4	51.4
Al	mg/l	0.004	0.946	0.014	0.010
As	mg/l	0.00003	0.0013	0.000001	0
Ba	mg/l	0.011	0.102	0.002	0
Ca	mg/l	7.43	51.1	167.53	160.1
Cd	mg/l	0.000079	0.000095	0.000035	0
Cl	mg/l	0.5	4.84	4.87	4.37
Co	mg/l	0.0001	0.0516	0.0264	0.0264
Cr	mg/l	0.0002	0.0400	0.0210	0.0208
Cu	mg/l	0.182	0.005	0.000006	0
F	mg/l	0.1	0.1	0.10056	0.00056
Fe	mg/l	0.0095	108.00	0.00005	0
Hg	mg/l	0.000001	0.0000028	7.05e-07	0
Mg	mg/l	4.62	117	114.37	109.75
Mn	mg/l	0.001	4.080	7.76e-09	0
Mo	mg/l	0.00067	0.00050	0.00334	0.00268
Ni	mg/l	0.011	0.435	0.322	0.310
Pb	mg/l	0.00020	0.00043	0.0000005	0
Sb	mg/l	0.00042	0.00074	0.00075	0.00033

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



SO ₄ ²⁻	mg/l	10.2	998	5158.4*	5148.2
Sr	mg/l	0.028	0.201	0.202	0.174
Parametrit	Yksikkö	Raakavesi pilottirikastuk sessa	YR (vaahdotushiekan vesifaasi) mittaustiedot	YR pH-korjauksen jälkeen	Pitoisuuden lisäys pH-korjauksen jälkeen
U	mg/l	0.000042	0.000067	0.000067	0.000026
Zn	mg/l	0.028	0.061	0.005	0.005

*sisältäärikkihaponlisäämisestä johtuvan kuormituksen kasvun.

3.4.4 Valumavesi, Tapulin keskeisestä avolouhoksesta

Tapulin keskeisestä avolouhoksesta peräisin olevan valumaveden pitoisuudet perustuvat analyysitietoihin, jotka on saatu näytteenotossa valumavedestä näytepisteessä PRO3 (keskimääräiset pitoisuudet vuosina 2013–2019), ks. Taulukko 10.

Taulukko 10: Pitoisuudet Tapulin avolouhoksen valumavedestä (PRO3).

Parametrit	Yksikkö	PRO3 analyysitiedot
pH	S.U.	8.10
Emäksisyys	mg/l as CaCO ₃	4.0
Cl	mg/l	6.71
SO ₄ ²⁻	mg/l	77.37
Al	mg/l	0.005
As	mg/l	0.0007
Ba	mg/l	0.045
Cd	mg/l	0.00002
Co	mg/l	0.0005
Cr	mg/l	0.0003
Cu	mg/l	0.0025
Fe	mg/l	0.015
Hg	mg/l	5.5e-5
Mo	mg/l	0.007

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



Ni	mg/l	0.003
Pb	mg/l	0.00012
Sr	mg/l	0.120
Parametrit	Yksikkö	PRO3 analyysitiedot
Zn	mg/l	0.008
U	mg/l	0.010

3.4.5 Valumavesi, Tapulin pohjoisesta avolouhoksesta

Tapulin pohjoisen avolouhoksen valumaveden koostumus on samanlainen kuin Tapulin keskeisen avolouhoksen.

3.4.6 Valumavesi Sahavaaran avolouhoksesta

Koska Sahavaaran avolouhosta ei ole vielä avattu, valumaveden pitoisuuksien arvioimiseksi tarvittavat mittaustiedot puuttuvat. Sahavaaran avolouhosta peräisin olevan valumaveden pitoisuudet on sen vuoksi arvioitu Sahavaaran hylkykivikeräymästä peräisin olevalle sekasuotovedelle laskettujen pitoisuuksien perusteella (ks. kohta 3.4.1), mikä on varovainen oletus, koska veden ja kiven kosketuspinnat ja kosketusaika ovat keräymällä suurempia/useampia kuin avolouhoksessa. Hylkykivikeräymän suotoveden NAF/PAF-seoksen pitoisuudet kerrottiin kertoimella 0,75, jotta voidaan ottaa huomioon alhaisempi kiinteän ja nestemäisen suhde (materiaalin ja nesteen määrän suhde), joka vallitsee avolouhosten seinien pintavalumissa verrattuna laboratorioympäristössä vallitseviin olosuhteisiin. Lähestymistapa johti Taulukossa 11 esitettyihin suotovesipitoisuuksiin.

Taulukko 11: Sahavaaran avolouhoksen valumaveden laatu

Parametrit	Yksikkö	Sahavaaran avolouhos
pH	S.U.	4.5*
Emäksisyys	mg/l CaCO ₃	26,1
Al	mg/l	0.503
As	mg/l	0.00432
Ca	mg/l	172
Co	mg/l	0.0149
Cr	mg/l	0.00936
Cu	mg/l	0.0192
Fe	mg/l	68,7

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



K	mg/l	50.3
Mg	mg/l	20.1
Parametrit	Yksikkö	Sahavaaran avolouhos
Mn	mg/l	0.522
Mo	mg/l	0.0368
Na	mg/l	14
Ni	mg/l	1.0449
Pb	mg/l	0.00284
SO ₄ ²⁻	mg/l	509
Sb	mg/l	0.020
U	mg/l	0.030
Zn	mg/l	0.265

*pH on korjattu arvoon 4,5 mitattuna koelouhinnassa Sahavaarassa

3.4.7 Valumavesi Palotievan avolouhoksesta

Palotievan avolouhos on Tapulista koilliseen suunniteltu pienempi avolouhos, jota on tarkoitus louhia kaivostoiminnan viimeisinä vuosina. Palotievalla louhittava hylkykivi muistuttaa rikkipitoisuudeltaan enemmän Sahavaaran vuorta. Palotievan avolouhoksen valumaveden on siis oletettu olevan koostumukseltaan sama kuin Sahavaaran avolouhoksella.

3.4.8 Louhoksen vesi

Tapulin avolouhoksen lähellä sijaitseva Navettamaan louhos on tarkoitus käyttää vaahdotushiekan varastointiin kaivoksen elinkaaren aikana. Koska louhos on täynnä vettä, varastointi tapahtuu veden alla. Vaahdotushiekka syrjäyttää vastaavan määrän louhoksessa jo olevaa vettä. Syrjäytetty vesimäärä valuu kohti prosessivesisäiliötä. Syrjäytetyn veden keskimääräinen koostumus on arvioitu varovaisesti olettaen, että kaikki vaahdotushiekan huokosvesi sekoittuu louhoksen veteen. Laskennan tulos esitetään Taulukossa 12.



Taulukko 12: Louhoksesta syrjäytetyn veden arvioitu koostumus vaahdotushiekkaa varastoitaessa.

Parametrit	Yksikkö	Tapuli pohjavesi (louhosvesi)	Vaahdotushiekan vesifaasi	Syrjäytetty vesiseos
Jakauma:		38.1%	61.9%	
pH	S.U.	6.62	4.71	5.44
Emäksisyys	mg/l as CaCO ₃	58.5	1.4	23.1
Al	mg/l	0.03	3.38	2.10
As	mg/l	0.00028	0.00077	0.00058
Ba	mg/l	0.030	0.055	0.045
Ca	mg/l	10.8	91.9	61.1
Cd	mg/l	9.46e-6	1.23e-4	7.95e-5
Cl ⁻	mg/l	0.94	5.66	3.87
Co	mg/l	0.002	0.128	0.080
Cr	mg/l	0.00053	0.01572	0.00994
Cu	mg/l	0.00092	0.00054	0.00068
Fe	mg/l	16.9	162.0	106.8
Hg	mg/l	1.38e-5	1.00e-5	1.15e-5
K	mg/l	1.7	36.2	23.1
Mg	mg/l	4.2	186.4	117.0
Mn	mg/l	1.0	6.0	4.1
Mo	mg/l	0.0013	0.0002	0.0006
Na	mg/l	3.21	67.98	43.33
NH ₄ ⁺ _N	mg/l	0.67	0.78	0.74

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



Ni	mg/l	0.0042	0.5993	0.3728
NO ₃ _N	mg/l	0.01	4.02	2.49



Parametri	Yksikkö	Tapuli pohjavesi (louhosvesi)	Vaahdotushiekan vesifaasi	Syrjäytetty vesiseos
N _{tot}	mg/l	1.55	5.38	3.92
Pb	mg/l	0.00006	0.00019	0.00014
PO ₄ ³⁻ P	mg/l	0.93	1.25	1.13
Sb	mg/l	0.0036	0.0001	0.0014
SO ₄ ²⁻	mg/l	1.2	2051.0	1271.1
Sr	mg/l	0.03	0.21	0.14
U	mg/l	0.00055	0.00025	0.00036
Zn	mg/l	0.024	0.148	0.101

3.4.9 Turvevesi

Hiekka- ja sivukivivaraston suurimman osan alle jäävä turvekerros tiivistyy kaivoksen toimintana varastoidun sivukiven ja rikastushiekan painon lisääntyessä ajan mittaan, mikä johtaa huokosveden puristumiseen pois turpeesta. Tämä vesi valuu ja kerätään kaivoksen vedenkäsittelyjärjestelmään. Northlandin (2013) arvio turveveden koostumuksesta perustui Tapulissa otetuista turvenäytteistä saatuihin vesianalyysihin ja Suomen turvetuotannon yleistietoihin (taulukko 13). Suurin osa mallissa hyväksytyistä arvoista on peräisin Tapulin turvenäytteistä ja vain muutama parametriarvo (kursivoitu ja lihavoitu taulukossa 13) Suomen yleisistä tiedoista.

Taulukko 13: Turvevesien pitoisuudet Tapulin näytteenotosta ja Suomen turvetuotannosta. Turvetuotannon lihavoidut arvot viittaavat Tapulin arvojen sijaan käytettyihin pitoisuuksiin. Lähde: Northland (2013).

Parametri	Yksikkö	Tapuli analysoitu	Turvetuotanto, Suomi	Tapulin ja Suomen tiedot yhdessä*
		<i>Mediaani</i>	<i>Keskiarvo</i>	<i>Mediaani</i>
pH	S.U.	5.7	6.2	5.7
Emäksisyys	mg HCO ₃ /l	52		52



Kiintoaines	mg/l	-	10	10
P _{tot}	µg/l	86	60	60
Parametri	Yksikkö	Tapuli analysoitu	Turvetuotanto, Suomi	Tapulin ja Suomen tiedot yhdessä*
		Mediaani	Keskiarvo	Mediaani
PO ₄ ³⁻ P	µg/l	42	30	30
N _{tot}	µg/l	5 135	1 100	5 135
NH ₄ ⁺ -N	µg/l	3 110	100	3 110
NO ₃ -N	µg/l	2.5	200	200
Cl ⁻	mg/l	1.1		1.1
SO ₄ ²⁻	µg/l	298		298
Al	µg/l	24		24
As	µg/l	0.157		0.157
Ba	µg/l	15		15
Cd	µg/l	0.0338		0.0338
Cr	µg/l	2.076		2.076
Cu	µg/l	0.278		0.278
Hg	µg/l	< 0.001		< 0.001
Fe	µg/l	3660	5000 (suodattamaton)	3660
Ni	µg/l	0.772		0.772
Pb	µg/l	0.235		0.235
Sb	µg/l	0.051		0.051
Zn	µg/l	23		23

*Suomalaiset tiedot merkitään parametreille, jotka puuttuvat Tapulin tiedoista

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



3.4.10 Sademäärä – sade ja sulamisvesi

Sateen koostumus (sade ja lumen sulaminen) määriteltiin puhtaaksi vedeksi ilman liuenneita tai kiintoaineita. Sateen pH-arvoksi määritettiin 5,5, joka on ilmakehän CO₂ :n kanssa tasapainossa oleva pH-arvo.



3.4.11 Muonionjoen vesi

Muonionjoessa on kaksi näytteenottopaikkaa, joita käytetään viitteinä: SS38

- (kaivoksen purkupisteen yläjuoksulla)
- SS39 (kaivoksen purkupisteen alajuoksulla)

Keskipitoisuudet (mitattu vuosina 2011–2019) molemmissa näytteenottopaikoissa on esitetty taulukossa 14.

Taulukko 14: Keskimääräinen vedenlaatu (mitattu vuosien 2011 ja 2019 välillä) Muonionjoesta toiminnan purkupisteen ylä- (SS38) ja alajuoksulla (SS39)

Parametri	Yksikkö	SS38	SS39
pH	S.U.	6.91	6.98
Emäksisyys	mg/l as CaCO ₃	12.2	14.9
Al	mg/l	0.026	0.024
As	mg/l	0.00004	0.00005
Ba	mg/l	0.008	0.009
Ca	mg/l	3.53	4.55
Cd	mg/l	3.44e-6	4.35e-6
Cl ⁻	mg/l	0.24	0.30
Co	mg/l	3.90e-5	4.37e-5
Cr	mg/l	0.00022	0.00021
Cu	mg/l	0.00030	0.00029
Fe	mg/l	0.41	0.37
Hg	mg/l	5.88e-6	4.64e-6
Mg	mg/l	1.02	1.70
Mn	mg/l	0.0051	0.0061
Mo	mg/l	0.00026	0.00042
Ni	mg/l	0.0002	0.0003

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



Pb	mg/l	3.97e-5	3.35e-5
Parametri	Yksikkö	SS38	SS39
Sb	mg/l	0.0036	0.0038
SO ₄ ²⁻	mg/l	2.86	4.26
Sr	mg/l	0.017	0.019
U	mg/l	0.00008	0.00016
Zn	mg/l	0.0024	0.0029

3.4.12 Tapulin ja Sahavaaran teollisuusalueiden pintavalumat

On oletettu, että teollisuusalueiden valuva pintavesi koostuu pääasiassa puhtaasta sateesta, mutta hieman mineralisoituneemmasta kuin puhdas sadevesi, minkä vuoksi proxyna käytettiin Muonionjoen veden kemiallista koostumusta purkupisteen yläjuoksulla (SS38).

3.4.13 Kaikkien malliinsisältyvien kemiallisten parametrien kooste

Taulukossa 15 tilitetään yhteenveto kaikkien lähdetermien koostumuksesta. Joistakin simuloiduista parametreista puuttuu tietyn vesityypin lähdetiedot. Sen sijaan tällaisten parametrien osalta pitoisuudet on arvioitu sopiva proxy lähtökohtana.

Taulukko 15: Kooste lähdetermien koostumuksesta ja parametrien arviointi, jos se on ollut tarpeen.

Parametri	Yksikkö	Tapulin sivukivi	Sahavaaran NAF-sivukivi	Sahavaaran PAF-sivukivi	Sahavaaran sivukivi - sekoitettu	Tapulin avolouhos
pH	S.U.	7.96	8.09	2.46	4.50	8.10
Emäksisyys	mg/l as CaCO ₃	42.42	53.35	0.0	4.58	146.72
Al	mg/l	0.011	0.0145	1.8522	0.6708	0.0047
As	mg/l	0.0002	0.0006	0.0150	0.0058	0.0007
Ba	mg/l	0.050 ^a	0.055 ^b	0.055 ^b	0.055	0.045
Ca	mg/l	77.62	35.45	579.43	229.73	42.86
Cd	mg/l	1.9e-5 ^a	1.23e-4 ^b	1.23e-4 ^b	1.23e-4 ^b	1.9e-5 ^a
Cl ⁻	mg/l	140.00 ^a	5.66 ^b	5.66 ^b	5.66 ^b	6.71

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



Co	mg/l	0.0130	0.0086	0.0399	0.0198	0.0005
Cr	mg/l	0.0221	0.0104	0.0161	0.0125	0.0003
Cu	mg/l	0.0084	0.0081	0.0570	0.0256	0.0025
Fe	mg/l	0.0001	0.0004	256.58	91.64	0.02
Hg	mg/l	$1.00e-5^a$	$1.00e-5^b$	$1.00e-5^b$	$1.00e-5^b$	$5.53e-05$
K	mg/l	23.79	21.31	149.60	67.13	8.36
Mg	mg/l	81.61	21.88	35.62	26.79	25.96
Mn	mg/l	$2.3e-9$	$1.1e-9$	1.95	0.70	0.02
Mo	mg/l	0.0667	0.0420	0.0617	0.0490	0.0071
Na	mg/l	17.09	15.39	24.70	18.71	7.16
NH ₄ ⁺ _N	mg/l	1.10^c	1.10^c	1.10^c	1.10^c	1.10
Ni	mg/l	0.1084	0.0029	3.90	1.39	0.0034
NO ₃ ⁻ _N	mg/l	3.36^c	3.36^c	3.36^c	3.36^c	3.36
N _{tot}	mg/l	4.89^c	4.89^c	4.89^c	4.89^c	4.89
Pb	mg/l	0.0028	0.0003	0.0100	0.0038	0.0001
PO ₄ ⁻ _P	mg/l	0.06^a	0.03^b	0.03^b	0.03^b	0.03
Sb	mg/l	0.0207	0.0231	0.0342	0.0271	0.0207^d
SO ₄ ²⁻	mg/l	141.72	38.44	1829.80	678.21	77.37
Sr	mg/l	0.086^a	0.21^b	0.21^b	0.21^b	0.12
U	mg/l	0.0183	0.0272	0.0617	0.0396	0.0101
Zn	mg/l	0.08	0.23	0.57	0.35	0.01

Alaviite:

^a: Arvio Tapulin rikastushiekan tiedoista,

^b: Arvio rikastushiekkaa sahavaaraa koskevasta tiedoista,

^c: Arviointi Tapulin avolouhoksen tyhjennysveden näytteenotosta ja analyysistä (PRO3)

^d: Arvio Tapulin sivukivistä

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



(jatk.). Kooste lähdetermien koostumuksesta ja parametrien arviointi, jos se on ollut tarpeen.

Parametri	Yksikkö	Sahavaaran avolouhos	Tapulin pohjavesi	Louhos	Turvevesi
pH	S.U.	4.50	6.62	5.44	5.70
Emäksisyys	mg/l CaCO ₃	26.09	0.0012	0.85	52.00
Al	mg/l	0.50	0.026 ^e	2.104	0.024
As	mg/l	0.0043	0.00028	0.00058	0.00016
Ba	mg/l	0.041	0.030	0.045	0.015
Ca	mg/l	172.29	10.85	61.07	3.53 ^e
Cd	mg/l	0.00009	9.46e-6	7.95e-5	3.38e-5
Cl ⁻	mg/l	4.25	0.94	3.87	1.10
Co	mg/l	0.0148	0.00158	0.07965	0.00004 ^e
Cr	mg/l	0.0094	0.00053	0.00994	0.00208
Cu	mg/l	0.0192	0.00092	0.00068	0.00028
Fe	mg/l	68.73	16.87	106.804	3.660
Hg	mg/l	7.50e-06	1.38e-5	1.15e-5	5.88e-6 ^e
K	mg/l	50.34	1.66	23.09	0.63 ^e
Mg	mg/l	20.09	4.16	117.02	1.02 ^e
Mn	mg/l	0.52	1.004	4.085	0.005 ^e
Mo	mg/l	0.0368	0.0013	0.0006	0.0003 ^e
Na	mg/l	14.03	3.21	43.33	1.41 ^e
NH ₄ ⁺ _N	mg/l	0.82	0.67	0.74	0.01 ^e
Ni	mg/l	1.0449	0.0042	0.3728	0.0008
NO ₃ ⁻ _N	mg/l	2.52	0.01	2.49	0.03 ^e
N _{tot}	mg/l	3.67	1.55	3.92	5.14

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



Pb	mg/l	0.0028	0.00006	0.00014	0.00024
Muuttuja	Yksikkö	Sahavaaran avolouhos	Tapulin pohjavesi	Louhos	Turvevesi
PO ₄ ³⁻ P	mg/l	0.02	0.93	1.13	0,003 ^e
Sb	mg/l	0.0203	0.11	0.0014	0.0001
SO ₄ ²⁻	mg/l	508.66	1.25	1271.05	0.30
Sr	mg/l	0.1556	0.03	0.14	0.02 ^e
U	mg/l	0.0297	0.00055	0.00036	0.00008 ^e
Zn	mg/l	0.27	0.0243	0.1011	0.0230

Alaviite:

^c: Arviointi Tapulin avolouhoksen tyhjennysveden näytteenotosta ja analyysistä (PRO3)

^d: Arvio Tapulin sivukivistä

^e: Arvio näytteenotosta ja analyysistä Muonionjoesta yläjuoksulla (SS38)

(jatk.). Kooste lähdetermien koostumuksesta ja parametrien arviointi, jos se on ollut tarpeen.

Parametri	Yksikkö	Sade/lumi	SS38	SS39	Tapulin ja Sahavaaran teollisuusalueet ^e
pH	S.U.	5.50	6.91	6.98	6.91
Emäksisyys	mg/l CaCO ₃	0	12.25	14.92	12.25
Al	mg/l	0	0.026	0.024	0.026
As	mg/l	0	0.00004	0.00005	0.00004
Ba	mg/l	0	0.008	0.009	0.008
Ca	mg/l	0	3.53	4.55	3.53
Cd	mg/l	0	3.44e-6	4.35e-6	3.44e-6
Cl	mg/l	0	0.71	1.43	0.71
Co	mg/l	0	0.00004	0.00004	0.00004
Cr	mg/l	0	0.00022	0.00021	0.00022

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



Cu	mg/l	0	0.00030	0.00029	0.00030
Fe	mg/l	0	0.410	0.367	0.410
Parametri	Yksikkö	Sade/lumi	SS38	SS39	Tapulin ja Sahavaaran teollisuusalueet ^e
Hg	mg/l	0	5.88e-6	4.64e-6	5.88e-6
K	mg/l	0	0.63	0.96	0.63
Mg	mg/l	0	1.02	1.70	1.02
Mn	mg/l	0	0.005	0.006	0.005
Mo	mg/l	0	0.0003	0.0004	0.0003
Na	mg/l	0	1.41	1.79	1.41
NH ₄ _N	mg/l	0	0.01	0.01	0.01
Ni	mg/l	0	0.0002	0.0003	0.0002
NO ₃ _N	mg/l	0	0.03	0.08	0.03
N _{tot}	mg/l	0	0.20	0.23	0.20
Pb	mg/l	0	0.00004	0.00003	0.00004
PO ₄ _P	mg/l	0	0.003	0.003	0.003
Sb	mg/l	0	0.0036	0.0038	0.0036
SO ₄	mg/l	0	2.86	4.26	2.86
Sr	mg/l	0	0.02	0.02	0.02
U	mg/l	0	0.00008	0.00016	0.00008
Zn	mg/l	0	0.0024	0.0029	0.0024

Alaviite:

^e: Arvioitu Muonionjoen yläjuoksun veden näytteenotosta ja analysoinnista (SS38)

3.5 Prosessivesialtaan ja selkeytysaltaan PHREEQC geokemiallinen mallinnus

Kuten kohdassa 3.3 aiemmin todettiin, PHREEQC Interactive -ohjelmaan (versio 3.5.0.1400) rakennettiin rinnakkainen termodynaaminen sekoitusmalli pH-arvojen ja veden emäksisyyden simuloimiseksi sekä prosessien, kuten mineraalien saostumisen ja sorptioreaktioiden,

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



simuloimiseksi. 100 GoldSim Monte Carlo -realisaatioiden (malliajojen) vesivirtaamien ja allastilavuuksien kuukausittaisia keskiarvoja käytettiin laskettaessa sekoitusfraktioita hiekkavaraston, selkeytysaltan ja prosessivesialtaaneri lähdetermeille sekä purkuveden sekoittumiselle asteittain



Muonionjokeen ja Muonionjoessa olevalle vedelle. Laskelmissa otettiin huomioon myös jään muodostumisen, haihtumisen sekä jään ja lumen sulamisen vaikutukset.

Sekoittumislaskelmat siirrettiin PHREEQC:hen, jossa simuloitiin sekoittumista, geokemiallista tasapainoa sopivan mineraalifaasin kanssa sekä sorptioreaktioita. Selkeytysaltaassa ja prosessivesialtaassa oletettiin veden olevan kosketuksissa ilmakehään ja että tasapaino vallitsee ilmakehän O_2 ja CO_2 pitoisuuksien välillä. Termodynaamista tietokantaa MINTEQ.v4 käytettiin tietokantaan sisältyvien mineraalifaasien kyllästysindeksin laskemiseen. Seuraavien mineraalien, joita pidetään stabiileina selkeytysaltaan ja prosessivesialtaan geokemiallisissa olosuhteissa, annettiin saostua tasapainoon vesiseoksen ylikyllästyneissä olosuhteissa:

- $Al(OH)_3_{am}$
- Gibbsit
- $Al_4(OH)_{10}SO_4$
- Ferrihydrit
- Kalsiitti
- Kipsi
- Baryytti
- Hausmannit
- Birnessit
- Manganit

Tämän lisäksi hivenmetallien sorptio mallinnettiin ferrihydriitin saostumiseen sekä mahdolliseen kipsin saostumiseen prosessi- ja selkeytysaltaassa.

3.6 Mallinnusskenaariot

Kaksi aineensiirtoskenaariota on mallinnettu:

- A. Viitekenaario, johon Sahavaarassa ei sisälly vedenpuhdistusta.
- B. Käsittelyskenaario, jossa tyhjennysvettä Sahavaaran avolouhoksesta ja suotovettä potentiaalisesti happoa muodostavan sivukiven (PAF) varastointisoluihin käsitellään emäsannostuksella (pH:n säätämiseksi tavoitearvoon 10,5) ja sakeuttamalla ennen sen pumppaamista edelleen prosessivesialtaaseen. Mallin osalta on oletettu, että tällainen käsittely redusoi 90% Al-, As-, Cd-, Co-, Cr-, Cu-, Fe-, Mo-, Ni-, Pb-, you- ja Zn-arvoa sekä vähentää sulfaattia 70%. Näitä pidetään varovaisina arvioina, koska yleensä pH 10,5:ssä suurin osa näistä liuenneista aineista vähenee aktiivisen vedenpuhdistusprosessin aikana.

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



Yhteenveto Sahavaaran avolouhoksesta peräisin olevasta käsitellystä vedestä ja suotovedestä Sahavaaran PAF-sivukivestä on tilitetty taulukossa 16. Vaahdotusprosessin vesi neutraloidaan pH 8:aan ennen varastointia, kuten kohdassa 3.4.3.2 on aikaisemmin kuvattu.

Taulukko 16: Sahavaaran avolouhoksesta peräisin olevan käsitellyn tyhjennysveden sekä potentiaalisesti happoa muodostavan sivukiven suotoveden oletettu koostumus käsittelyskenaariossa.

Parametri	Yksikkö	% reduktio	Käsitelty Sahavaaran PAF-vesi	Käsitelty Sahavaaran tyhjennysvesi
pH	S.U.		10.5	10.5
Emäksisyys	mg/l CaCO ₃		1.38	26.09
Al	mg/l	90%	0.185	0.050
As	mg/l	90%	0.00150	0.00043
Ba	mg/l		0.055	0.041
Ca	mg/l		579.43	172.29
Cd	mg/l	90%	1.23e-05	9.19e-06
Cl	mg/l		5.66	4.25
Co	mg/l	90%	0.0040	0.0015
Cr	mg/l	90%	0.0016	0.0009
Cu	mg/l	90%	0.0057	0.0019
F	mg/l		0.39	0.29
Fe	mg/l	90%	25.66	6.87
Hg	mg/l		1.00e-05	7.50e-06
K	mg/l		149.60	50.34
Mg	mg/l		35.62	20.09
Mn	mg/l		1.9472	0.5216
Mo	mg/l	90%	0.0062	0.0037

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



Na	mg/l		24.70	14.03
NH ₄ _N	mg/l		1.10	0.82
Parametri	Yksikkö	% reduktio	Käsitelty Sahavaaran PAF-vesi	Käsitelty Sahavaaran tyhjennysvesi
Ni	mg/l	90%	0.39	0.10
NO ₃ _N	mg/l		3.36	2.52
Ntot	mg/l		4.89	3.67
Pb	mg/l	90%	0.0010	0.00028
PO ₄ _P	mg/l		0.026	0.020
Sb	mg/l		0.034	0.020
SO ₄	mg/l	70	548.94	152.60
Sr	mg/l		0.21	0.16
U	mg/l	90%	0.0062	0.0030
Zn	mg/l	90%	0.057	0.027

4 TULOS

Seuraavissa kohdissa esitetään ja käsitellään aineensiirron mallinnuksen tuloksia. GoldSimin raportoidut tulokset koskevat keskiarvoa (aritmeettinen keskiarvo), joka on laskettu 100 Monte Carlo -realisaatiosta (malliajot). Kuten aiemmin mainittiin, 100 GoldSim Monte Carlo -realisaatioiden kuukausittaisia vesivirtaamien ja altaiden tilavuuksien keskiarvoja käytettiin laskettaessa sekoittumisfraktioita eri lähdetermeille.

Kuten kohdassa 3.1 olevassa menetelmäkuvauksessa mainittiin, tulevaisuudessa esitetyt luvut edustavat hypoteettista aikajanaa, jossa haettuun toimintaan sisältyvät 12 tuotantovuotta alkavat vuodesta 2019 ja päättyvät vuoteen 2030. Vuosien 2019–2030 luvuissa ilmoitetut pitoisuudet ovat siis tulosta mallinnuksesta, kun taas vuotta 2019 edeltäviltä vuosilta ilmoitetut pitoisuudet (luvuissa sininen) ovat tulosta Northlandin ja KIAB:n (2012–2019) toiminnasta otettujen vesien näytteenotosta ja analysoinnista. Haetun toiminnan mallinnustulokset on mainittu alla hypoteettisen tuotantovuoden perusteella.



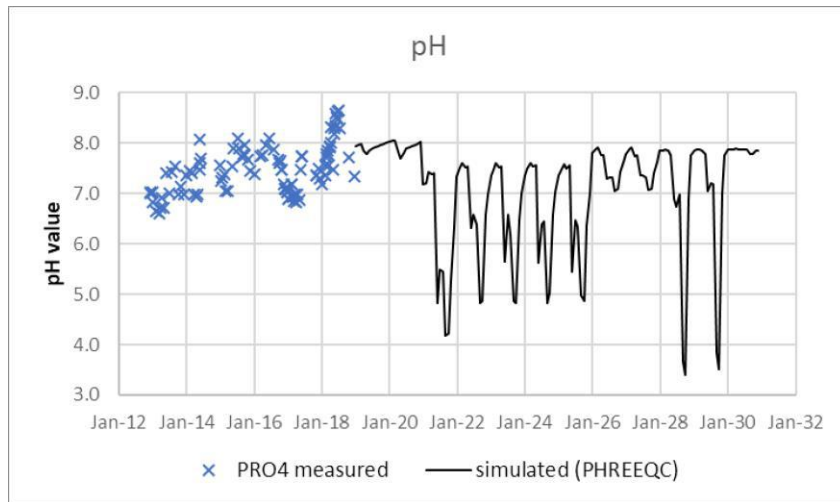
4.1 Viiteskenaario

4.1.1 Veden laatu prosessivesialtaassa viiteskenaariota varten

Kuten aiemmin mainittiin, pH-arvot on mallinnettu PHREEQC:ssä. Prosessivesialtaan mallinnettu pH on tilitetty kuvassa 3, yhdessä prosessivesialtaassa (PRO4) olevan veden näytteenoton ja analysoinnin tulosten kanssa.

Mallinnettuina tuotantovuosina 1 ja 2 vaihtelee pH 7,7:n ja 8 välillä, mikä täsmää käytön aikana saatujen näytteenottotietojen kanssa. Mallinnettujen tuotantovuosien 3–9 välillä, jolloin Sahavaaran alhainen pH sisältyy vedenkäsittelyjärjestelmään, havaitaan pH:n laskevan selvästi alimmillaan 4,2 - 4,9:ään. Tämä johtuu PHREEQC:ssä simuloidusta raudan saostumisesta, joka vapauttaa protoneja liuoksissa, jonka pH on alhaisempi. Tuotantovuodesta 10 alkaen, jolloin Tapulin avolouhoksen louhinta lopetetaan ja louhoksen tyhjennys on keskeytetty ja vain Sahavaara ja Palotieva ovat aktiivisia, saadaan pienin mallinnettu pH-arvo 3,4.

Mallituloksista (ks. kuva 3) käy ilmi, että prosessivesialtaan pH on noin/lähellä neutraalia joulutoukokuun aikana ja että alhaisin pH-arvo esiintyy kesällä ja syksyllä.



Kuva 3: Prosessivesialtaan pH:n muutos viiteskenaariota varten

Muiden aineiden pitoisuudet on mallinnettu sekä GoldSimissa (konservatiivisesti) että PHREEQC:ssä (mikä mahdollistaa sekä saostumis- että adsorptioreaktiot).

Kuvassa 4 esitetään viiteskenaariota varten mallinnettu sulfaattipitoisuus prosessivesialtaassa yhdessä PRO4:n veden näytteenoton ja analyysitulosten kanssa. Kahden ensimmäisen tuotantovuoden aikana mallissa saadaan sulfaattipitoisuuksia, jotka vaihtelevat noin 80 mg/l vaiheilla, mikä vastaa PRO4:n historiallisia tietoja. Vuosien 3–9 välillä Sahavaaran louhinnan alettua prosessivesialtaan sulfaattipitoisuuden arvioidaan nousevan noin 300 milligrammaan/l sivukiven ja malmin kohonneen sulfidipitoisuuden vuoksi. Vuodesta 10 alkaen, kun Tapulin avolouhoksen louhinta on saatu päätökseen ja tyhjennyspumppaus keskeytetään, mallinnetut sulfaattitasot nousevat edelleen, jopa 480 milligrammaan/l.

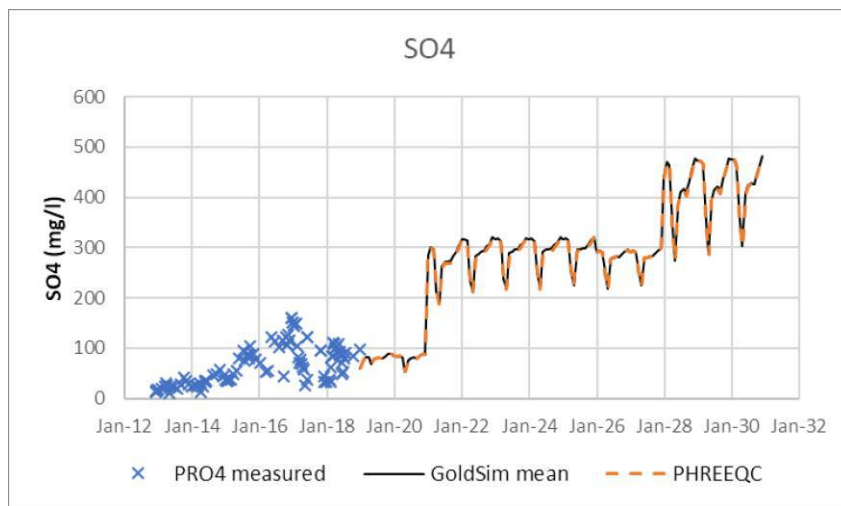
Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix

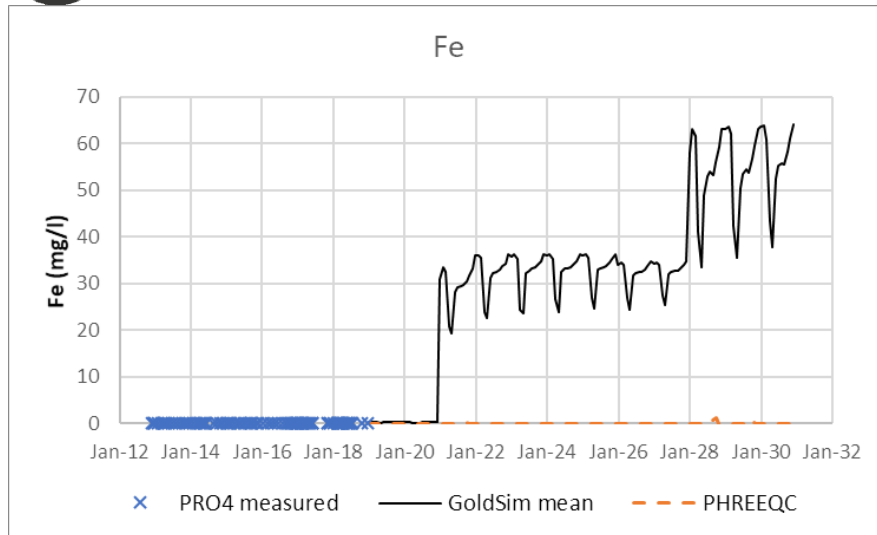


Pitoisuuden vaihtelut vuoden aikana johtuvat eri vesityyppien vaihtelevasta syötöstä prosessivesialtaan kokonaisvaltaiseen vesitaseeseen sekä jäätymisestä ja jään sulamisesta prosessivesialtaassa. Suurimmat pitoisuudet saadaan joulukuussa, jolloin jään muodostuminen on myös korkeimmillaan. Kun syntyy jäätä (joka koostuu puhtaasta ja mineraalittomasta vedestä), prosessivesialtaan hiukkasten olemassa oleva määrä tiivistyy pienempään määrään nestemäistä vettä, mikä nostaa mineraalipitoisuuksia. Keväällä jään sulassa sulamisvesi vaikuttaa laimentavasti, jolloin pitoisuus pienenee ja pitoisuudet laskevat alimmilleen toukokuun aikana.



Kuva 4: Sulfaattipitoisuuden muutos prosessivesialtaassa viiteskenaariota varten

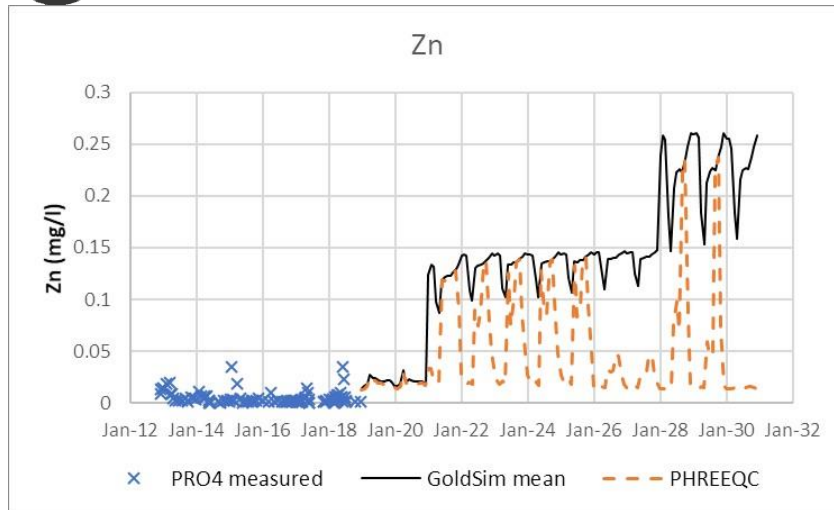
Prosessivesialtaan rautapitoisuus viiteskenaariota varten on esitetty alla kuvassa 5. Vuosina 1 ja 2 sekä GoldSim että PHREEQC laskevat alaiset rautapitoisuudet arvoon 0,4 mg/l, mikä vastaa PRO4:n historiallisia tietoja. Alaiset rautapitoisuudet johtuvat siitä, että prosessivesialtaan emäksinen pH on noin 8, jossa raudan liukoisuus on hyvin alhainen. Tuotantovuodesta 3 alkaen, kun Sahavaaran alhainen pH-vesi sisältyy vedenkäsittelyjärjestelmään, prosessivesialtaan rautapitoisuus kasvaa jyrkästi GoldSimin mallinnuksessa pitoisuuksien ollessa 19 mg/l–36 mg/l tuotantovuosien 3–9 aikana. PHREEQC:llä mallinnettuna vastaavaa pitoisuuden nousua ei saavuteta, vaan tässä rautapitoisuudet pysyvät alle 0,2 milligramman/l samalla ajanjaksolla, mikä johtuu raudan saostumisesta ferrihydriitiksi. Vuosien 10–12 välillä pitoisuudet GoldSimissa nousevat edelleen jopa 65 milligrammaan/l kun taas PHREEQC:ssä vain 1,3 milligrammaan/l ferrihydriitin muodostumisen määräämän rautapitoisuuden vuoksi.



Kuva 5: Rautapitoisuuden muutos prosessivesialtaassa viiteskenaariota varten

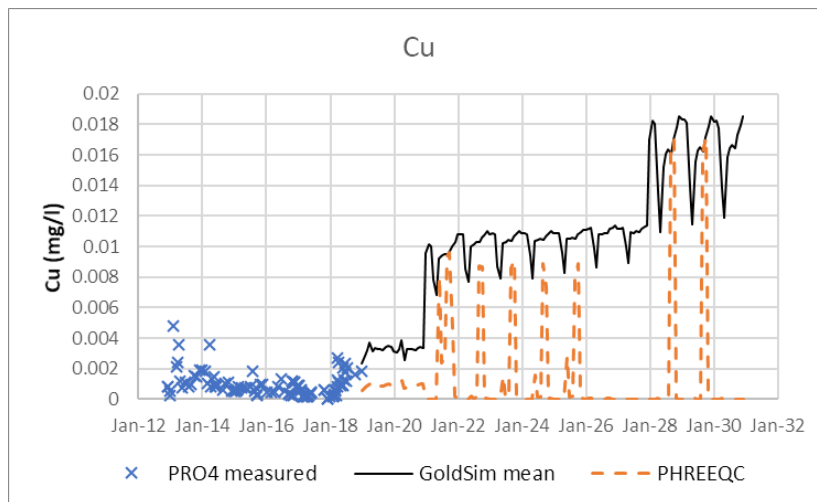
Kuvassa 6 esitetään viiteskenaariota varten mallinnettu sinkkipitoisuus prosessivesialtaassa yhdessä PRO4:n veden näytteenoton ja analyysitulosten kanssa Kuvasta käy ilmi, että mallinnetut sinkkipitoisuudet ovat vuosina 1 ja 2 sekä GoldSimin että PHREEQC:n mukaan historiallisten tietojen tasolla, noin 0,2 mg / l. Vuodesta 3 alkaen, jolloin Sahavaara on mukana tuotannossa, GoldSim laskee sinkkipitoisuuden nousevan 0,1–0,15 milligrammaan/l ja vuodesta 10 alkaen, kun Tapulin tyhjennyspumppaus loppuu, se nousee edelleen korkeimmillaan jopa 0,26 milligrammaan/l.

Mallinnus PHREEQC:llä antaa vuosina 3-9 sinkkipitoisuuksia, jotka vaihtelevat 0,02 mg/l ja 0,15 mg/l sekä 0,02 mg/l ja 0,24 mg/l välillä vuosina 10–12. Vaihtelut korreloivat päinvastoin pH:n kanssa saostuneessa ferrihydriitissä olevien hivenmetallien sorptiokyvyn muutosten seurauksena. Lähes neutraalilla pH:lla sorptiopaikat ovat negatiivisemmin varautuneita, mikä vetää puoleensa enemmän hivenmetalleja. Nikkeli, sinkki ja kupari imeytyvät ferrihydriittiin voimakkaasti tällä pH-alueella. Alhaisella pH:lla sorptiokohdat ovat vähemmän negatiivisesti varautuneita ja imeytymistä ferrihydriittiin tapahtuu hieman, jolloin korkeampi sinkkipitoisuus yhdessä muiden hivenmetallien kanssa pysyy liuenneena veteen.



Kuva 6: Sinkkipitoisuuden muutos prosessivesialtaassa viiteskenaariota varten

Viiteskenaarion mallinnetuilla kuparipitoisuuksilla (ks . kuva 7) on samanlainen kehityskäyrä kuin sinkillä, mutta huomattavasti pienemmät pitoisuudet. Vuosina 1 ja 2 sekä GoldSim että PHREEQC laskevat pitoisuuksien olevan noin 0,001 mg/ l, mikä vastaa aiemmin mitattuja PRO4:n tuloksia. Vuosina 3-9 GoldSimin mukaan kuparipitoisuudet nousevat välille 0,008 mg/ l - 0,011 mg/ l sekä välille 0.011mg/ l - 0.019 mg / l vuosina 10-12. Mallinnettaessa PHREEQC:llä kuparipitoisuuksien lasketaan vaihtelevan suuresti hyvin alhaisilla pitoisuuksilla, kun pH ja sorptio ferrihydriittiin ovat korkeat, ja pitoisuudet ovat samanlaisia kuin GoldSimissa alhaisella pH:lla, jossa sorptio ferrihydriittiin on alhaisempi.



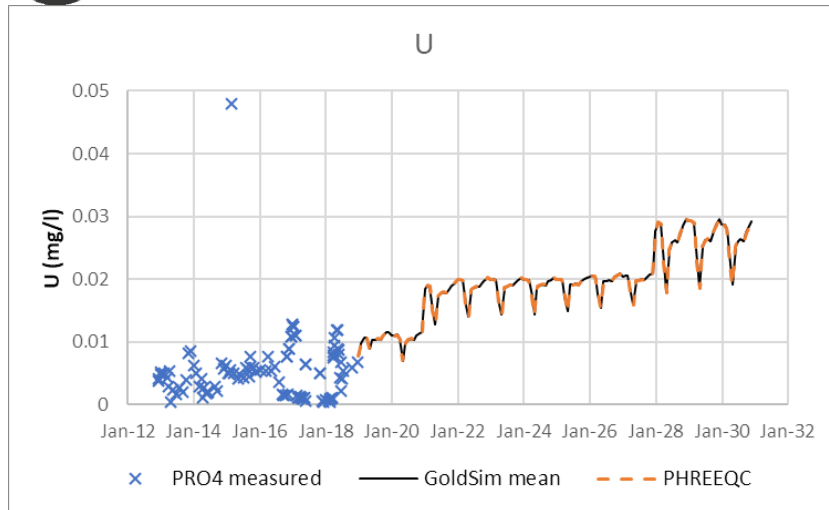
Kuva 7: Kuparipitoisuuden muutos prosessivesialtaassa viiteskenaariota varten

Viiteskenaarion uraanipitoisuudet esitetään kuvassa 8. Vuosina 1 ja 2 sekä GoldSim että PHREEQC laskevat alhaiset rautapitoisuudet arvoon 0,01 mg/ l, mikä taso vastaa PRO4:n historiallisia tietoja. Vuosina 3-9 sekä GoldSim että PHREEQC laskevat pitoisuuksien kasvavan välille 0,013 mg/ l - 0,021 mg / l. Vuosina 10-12 pitoisuus kasvaa edelleen välille 0,018 mg / l - 0,030 mg / l. GoldSim- ja PREEQC mallintavat vastaavia uraanipitoisuuksia.

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

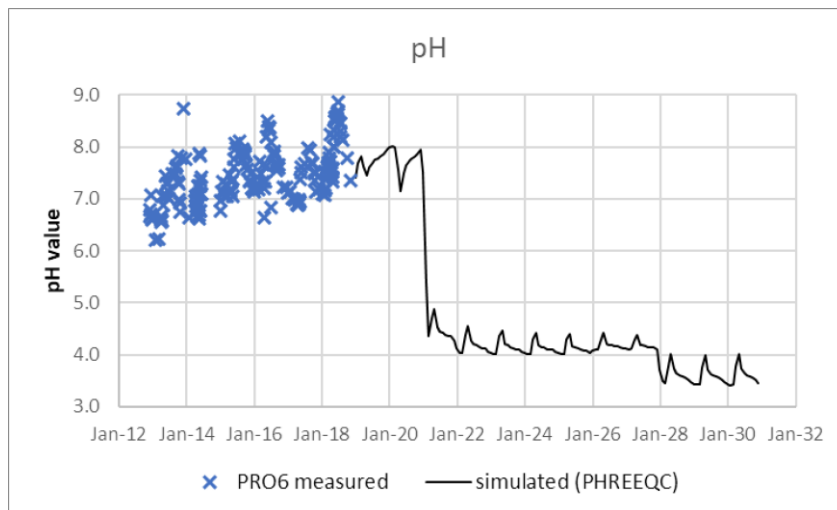
Semantix



Kuva 8: Uraanipitoisuuden muutos prosessivesialtaassa viiteskenaariota varten

4.1.2 Veden laatu selkeytysaltaassa viiteskenaariota varten

Selkeytysaltaan mallinnettu pH on esitetty kuvassa 9 yhdessä PRO6 näytteenottopisteen veden näytteenoton ja analysoinnin tulosten kanssa. Mallinnusvuosina 1 ja 2 pH vaihtelee pH 7.1:n ja 8,0:n välillä, mikä vastaa havaintoja/historiallisia tietoja. Vaihtelut muistuttavat vaihteluja prosessivesialtaassa. Vuodesta 3 alkaen selkeytysaltaan pH:n huomattava lasku mallinnetaan pH 3,5:n ja pH 4,5:n välisiin arvoihin. Tämä selittyy sillä, että vettä jolla on alhainen pH, syötetään prosessivesialtaaseen, josta se sisältyy raakavetenä rikastusprosessiin, jossa se johtaa raudan saostumiseen hiekkavarastoon varastoidussa vaahdotushiekassa. Rauta saostuu sitten ferrihydriitiksi selkeytysaltaassa, jolloin pH laskee.



Kuva 9: pH:n muutos selkeytysaltaassa viiteskenaariota varten

Kuvassa 10 esitetään viiteskenaarion mallinnettu sulfaattipitoisuus selkeytysaltaassa yhdessä PRO6:n veden näytteenoton ja analyysitulosten kanssa. Mallinnuksesta voidaan havaita kolme selkeää vaihetta.

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

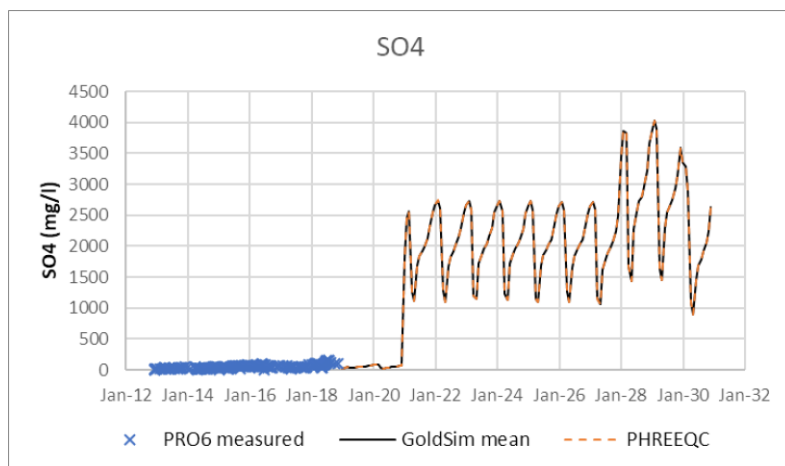
Semantix



Kahden ensimmäisen tuotantovuoden aikana 1 ja 2 (vaihe 1) mallinnettu sulfaattipitoisuus vaihtelee (sekä GoldSimin että PHREEQC:n laskelmassa) 20 mg/l–80 mg/l välillä, kuten uusissa valvontatiedoissa on havaittu. Vuosien 3 ja 9 välillä (vaihe 2) sulfaattipitoisuus nousee 1 100 mg/l–2 700 mg/l pitoisuuksiin Sahavaaran toiminta-alueelta tulevan veden syötön ja 11 000 tonnin rikkihapon lisäämisen seurauksena vuodessa vaahdotusprosessiin. Vuodesta 10 (vaihe 3) alkaen saadaan jopa 4 000 mg/l sulfaattipitoisuuksia, kun rikasteen koko vuosituotanto tapahtuu vaahdottamalla (tässä vaiheessa käytetään jopa 15 000 tonnia rikkihappoa vuodessa) samalla kun Tapulin avolouhoksen kaivostoiminta ja louhoksen tyhjennyspumppaus lopetetaan.

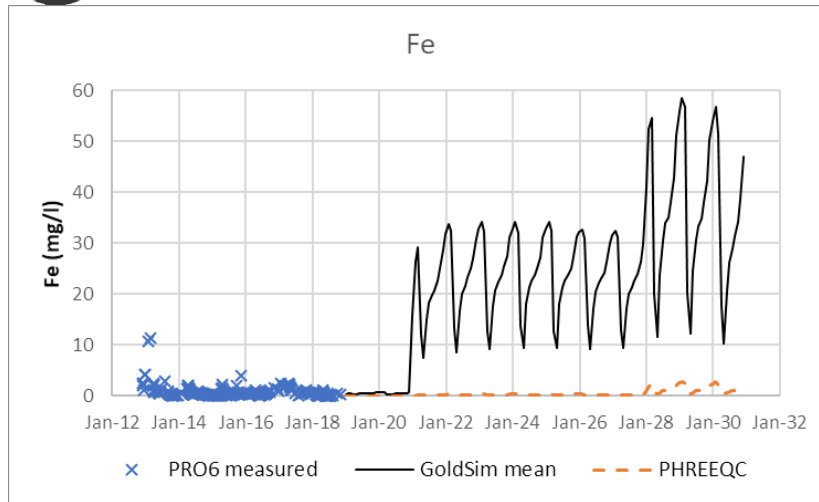
GoldSimin ja PHREEQC:n sulfaattipitoisuuksia koskevien laskelmien välillä on hyvä korrelaatio, koska sulfaatti ei saosta tai adsorboi selkeytysaltaassa vallitsevissa olosuhteissa.

Näkyvät vuosittaiset vaihtelut johtuvat pääasiassa jään muodostuksesta hiekka- ja selkeytysaltaassa talvella ja keväällä lumen ja jään sulamiseen liittyvästä laimennuksesta.



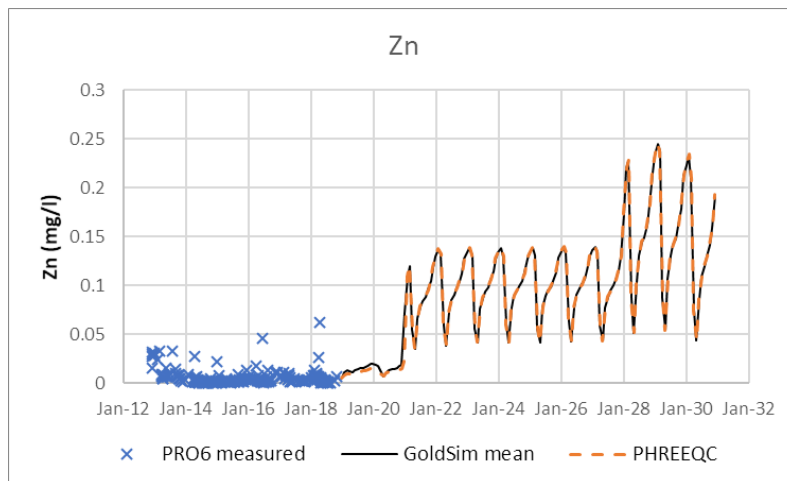
Kuva 10: Sulfaattipitoisuuden muutos selkeytysaltaassa viiteskenaariota varten

Viiteskenaarion mallinnetut rautapitoisuudet selkeytysaltaassa esitetään kuvassa 11. GoldSimissä, joka mallintaa konservatiivista raudan siirtymistä, pitoisuuksien lasketaan olevan hieman alle 1 mg/l vuosina 1 ja 2. Tuotantovuosina 3–9 rautapitoisuus lisääntyy ja suurin mallinnettu pitoisuus on noin 35 mg/l ja saavuttaa jopa 59 mg/l vuosina 10–12. PHREEQC-mallinnuksessa otetaan huomioon prosessit, kuten ferrihydriitin saostuminen selkeytysaltaassa, mikä antaa tulokseksi huomattavasti alhaisempia laskettuja rautapitoisuuksia (alle 3 mg/l) kuin GoldSim koko lasketulle ajanjaksolle. PHREEQC:n laskelmia arvioidaan realistisemmiksi selkeytysaltaassa odotettavissa olevissa olosuhteissa.



Kuva 11: Rautapitoisuuden muutos selkeytsaltaassa viiteskenaariota varten

Laskettu viiteskenaarion sinkkipitoisuus selkeytsaltaassa on esitetty kuvassa 12 yhdessä PRO6:n valvontatietojen kanssa. GoldSim laskee sinkkipitoisuuksien nousevan noin 0,02 miligrammaan/l kahden ensimmäisen mallinnusvuoden aikana. Vuosina 3-9 suurin mallinnettu sinkkipitoisuus nousee noin 0,14 milligrammaan/l. Viimeisen tuotantokauden aikana vuosina 10-12 saadaan korkeimmat mallinnetut pitoisuudet, noin 0,25 mg/l. PHREEQC:n mallinnustulokset ovat samanlaisia kuin GoldSimin tulokset, koska imeytyminen ferrihydriitin pintaan on alhainen selkeytsaltaassa saavutetulla alhaisella pH:lla vuodesta 3 alkaen.



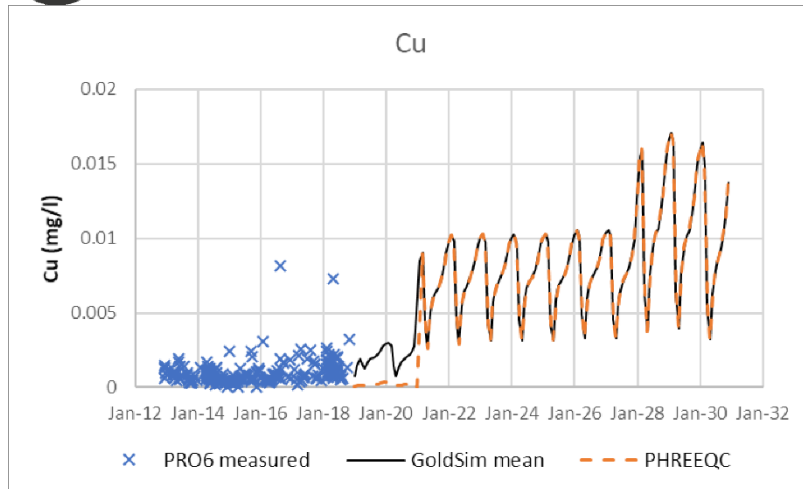
Kuva 12: Sinkkipitoisuuden muutos selkeytsaltaassa viiteskenaariota varten

Selkeytsaltaan kuparipitoisuudet on esitetty kuvassa 13. GoldSim laskee kuparipitoisuudeksi enintään noin 0,017 mg/l toiminnan koko käyttöjakson/eliniän ajalle. PHREEQC-mallinnus antaa huomattavasti pienempiä pitoisuuksia vuosina 1 ja 2, kun pH on lähellä neutraalia, mikä johtuu kuparin sorptiosta saostettuun ferrihydriittiin. Vuodesta 3 alkaen mallinnustulokset ovat samanarvoisia GoldSimin ja PHREEQC:n välillä, kun selkeytsaltaan pH laskee.

Översättning
ref.nr: 73038569

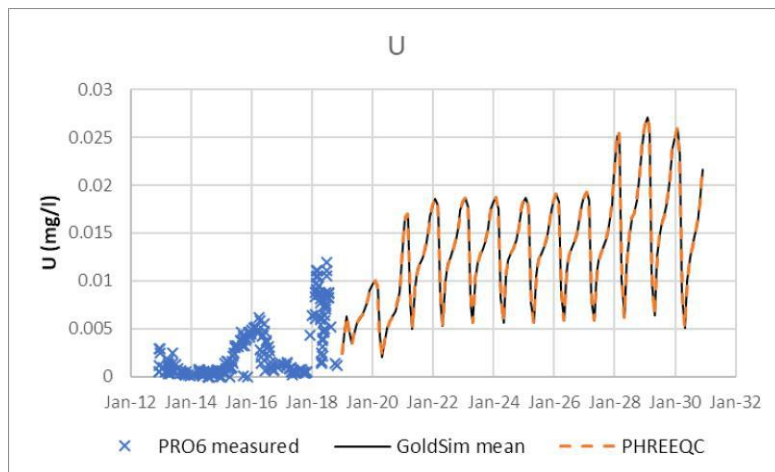
Stockholm
2022-06-13

Semantix



Kuva 13: Kuparipitoisuuden muutos selkeytysaltaassa viiteskenaariota varten

Selkeytysaltaan uraanipitoisuus esitetään kuvassa 14. GoldSim ja PHREEQC laskevat pitoisuuksien olevan enintään 0,01 mg/l vuosina 1 ja 2. Vuosien 3–9 välillä pitoisuuden lasketaan vaihtelevan 0,005 mg/l ja 0,019 mg/l välillä Vuosien 10-12 välillä pitoisuus vaihtelee 0,005 mg/l ja 0,027 mg/l välillä.



Kuva 14: Uraanipitoisuuden muutos selkeytysaltaassa viiteskenaariota varten

4.1.3 Pitoisuudet Muonionjoessa purkuveden päästämisen yhteydessä viiteskenaariota varten

Taulukossa 17 tilitetään pitoisuudet purkuvedessä ja pitoisuudet Muonionjoessa (100% sekoittumisen jälkeen) viiteskenaariossa verrattuna HVMFS 2019:25:n hyvän ekologisen ja hyvän kemiallisen statuksen arviointiperusteisiin ja raja-arvoihin.

Sekä purkuveden että joen pitoisuudet tilitetään kolmena tilastollisena arvona:

1. koko tuotantojaksolle laskettu keskiarvo (aritmeettinen keskiarvo),
2. yksittäisen vuoden korkein vuosikeskiarvo, ja

Översättning
ref.nr: 73038569

Stockholm
2022-06-13

Semantix



3. korkein enimmäispitoisuus, joka on mallinnettu koko tuotantojaksolle.

Verrattaessa arviointikriteereihin ja raja-arvoihin, vuosikeskiarvojen ylitykset merkitään taulukossa tummanpunaisiksi soluiksi. Enimmäispitoisuuden ylittäminen on merkitty lihavoidulla *ja kursivoidulla* tyylillä.

Purkuvesi

Toimintojen purkuvesi on prosessivesaltaan ja selkeytysaltaan veden seos vaihtelevissa suhteissa. Täysin laimentamaton purkuvesi viiteskenaariossa, t.s. ilman vedenkäsittelyä Sahavaarassa, sisältää useiden aineiden kokonaan liuenneita pitoisuuksia, jotka ylittävät vuosikeskiarvot, jotka on ilmoitettu arviointiperusteiksi ja raja-arvoksi statusluokituksessa. Tässä yhteydessä on kuitenkin huomattava, että säännön mukaiset Cu-, Ni-, Pb- ja Zn-vuosikeskipitoisuudet viittaavat biosaatavaan pitoisuuteen, kun taas GoldSim ja PHREEQC mallintavat kokonaan liuenutta pitoisuutta

Ehto kaivostoiminnasta puretun veden pH:n vaihteluvälille on yleensä 6-9 Näin ollen voidaan todeta, että mallinnettu vuosikeskiarvo 5,57 viiteskenaariossa jäävät tämän vaihteluvälin ulkopuolelle.

4.1.4.2 Muonionjoen virtaamasekoituttua 100 prosenttia

Kun sekoittuminen on tapahtunut joessa täysin, mallinnetaan pitoisuudet, jotka ovat pienempiä kuin kaikkien parametrien arviointiperusteet ja raja-arvot. Muonionjoen yksityiskohtaisempien sekoittumis- ja laimentumislaskelmien osalta viitataan WSP:n tekemiin tutkimuksiin, jotka esitellään kahdessa erillisessä raportissa (YVA:n liitteet H16 ja H20).

Taulukko 17: Taulukossa 100 tilitetään pitoisuudet purkuvedessä ja pitoisuudet Muonionjoessa (100 % sekoittumisen jälkeen) viiteskenaariossa verrattuna HVMFS 2019:25:n hyvän ekologisen ja hyvän kemiallisen statuksen arviointiperusteisiin ja raja-arvoihin.

Parametri	Yksikkö	EQS limits (HVMFS 2019:25)		Viiteskenaarion purkuvesi			100% sekoitus Muonionjoessa		
		Vuosikeskiar- vopitoisuus.	Maksimi- pitoisuus.	Kokonaiske- skiarvo	Korkein vuosike- skiarvo	Kokonais- maksimi	Kokonaiskeskiarvo	Korkein vuosike- skiarvo	Kokonaismaksimi
pH	-			5.77	7.86	8.03	6.84	6.85	6.86
Emäksisyys	mg/l som CaCO ₃			4.79	33.20	48.02	4.86	4.90	4.91
Al	mg/l			0.12	0.23	0.37	0.03	0.03	0.03
As	mg/l	0.0005	0.0079	0.00040	0.00082	0.00122	0.00005	0.00005	0.00005
Ba	mg/l			0.015	0.041	0.048	0.008	0.008	0.008
Ca	mg/l			90.96	127.74	162.30	3.66	3.72	3.81
Cd	mg/l	0,00008	0,00045	4.14e-05	5.83e-05	7.75e-05	3.50e-06	3.52e-06	3.53e-06
Cl	mg/l			67.07	84.38	115.23	0.81	0.83	0.90
Co	mg/l			0.00768	0.01149	0.01429	0.00005	0.00006	0.00006
Cr	mg/l	0.0034		0.00418	0.00724	0.01052	0.00022	0.00023	0.00023
Cu	mg/l	0.0005*		0.00389	0.00814	0.01389	0.00030	0.00031	0.00031
F	mg/l			0.16629	0.25278	0.30979	0.00027	0.00039	0.00061
Fe	mg/l			0.23	0.92	1.83	0.41	0.41	0.41
Hg	mg/l		0,00007	0.00002	0.00004	0.00005	0.00001	0.00001	0.00001
K	mg/l			42.3	59.4	82.9	0.7	0.7	0.7
Mg	mg/l			29.45	30.90	35.45	1.06	1.07	1.10
Mn	mg/l			0.0873	0.2106	0.3524	0.0052	0.0053	0.0055
Mo	mg/l			0.02549	0.03605	0.04645	0.00030	0.00031	0.00034
Na	mg/l			33.4	43.3	63.9	1.5	1.5	1.5
Ni	mg/l	0,004*	0,034	0.29979	0.52635	0.71956	0.00067	0.00083	0.00106
Pb	mg/l	0,0012*	0,014	0.00052	0.00128	0.00221	0.00004	0.00004	0.00004

Parametri	Yksikkö	EQS limits (HVMFS 2019:25)		Purkuvesi viitescenaariota varten			100% sekoittuminen Muonionjoessa		
		Vuosike- skipitoisuus	Maksimi- pitoisuus.	Kokonaiske- skiarvo	Korkein vuosike- skiarvo	Kokonais- maksimi	Kokonaiskeskiarvo	Korkein vuosike- skiarvo	Kokonaismaksimi
PO ₄ -P	mg/l			0.0350	0.0957	0.1170	0.0089	0.0089	0.0090
Sb	mg/l			0.0163	0.0172	0.0202	0.0036	0.0036	0.0036
SO ₄	mg/l			988.65	1917.51	2928.50	4.37	5.11	6.08
Sr	mg/l			0.117	0.131	0.172	0.017	0.017	0.017
U	mg/l	0.00017	0.0086	0.01657	0.02239	0.02781	0.00010	0.00011	0.00013
Zn	mg/l	0.0055*		0.0707	0.1258	0.1936	0.0025	0.0025	0.0026

*Biosaatava

4.2 Käsittelyskenaario

Edellä 0 jaksossa esitetyn hypoteettisen viiteskenaarion mallinnustulokset osoittivat pH:n laskua ja kohonneita metallipitoisuuksia sekä prosessivesialtaassa että selkeytysaltaassa Sahavaarasta tulevan matalan pH-veden seurauksena. Tässä osassa esitetyn käsittelyskenaarion mallinnustuloksissa edellyttävät, että Sahavaaran avolouhoksesta peräisin olevaa pumppausvettä ja PAF-sivukivestä valuvaa suotovettä sisältävää tyhjennysvettä käsitellään lisäämällä emästä pH-rvoon 10,5 ja sen jälkeen se sedimentoidaan ennen pumppaamista prosessivesialtaaseen.

4.2.1 Suoto- ja tyhjennysveden puhdistus Sahavaarassa

Suunnitellussa toiminnassa asennetaan vesipuhdistamo, jossa on kemiallinen saostus pH-säädöllä/lisäämällä emästä, tarvittaessa yhdessä mm. rautasulfaatin kanssa Sahavaaran avolouhoksesta peräisin olevan tyhjennysveden ja PAF-sivukiven varastointisoluista kerätyn suotoveden käsittelyyn.

Puhdistusprosessissa syntyy hydroksidilietettä, saostustuotetta, joka erotetaan gravimetrisesti sedimentointialtaiden vedestä. Prosessi kuvataan tarkemmin liitteessä A Tekninen kuvaus Kestävyydesti Kaunis Iron. Tekninen kuvaus (taulukot 20, 22, 23, 24 ja 25) sisältää laskelmat lietteen tuotannosta GoldSim-mallin vesivirtojen ja liitteen A2.E edellisessä versiossa kuvatun veden kemiallisen koostumuksen perusteella. Liitteen A2. E yhteydessä on nyt tarkistettu, joten myös lietteentuotanolaskelmia on tarkistettu (taulukkoa 21 lukuun ottamatta, joka pysyy muuttumattomana). Alla esitetään näin ollen päivitettyt taulukot, jotka korvaavat teknisen kuvauksen taulukot 20, 22 ja 23–25.

Taulukko 18: Sahavaaran PAF-sivukiven suotoveden ja avolouhoksen tyhjennysveden koostumus (Korvaa teknisen kuvauksen taulukon 20).

Parametri	Yksikkö	Sahavaaran PAF-sivukivi	Sahavaaran avolouhos
pH	S.U.	2.46	4.50
Emäksisyys	mg/l CaCO ₃	1.38	26.09
Al	mg/l	0.19	0.50
As	mg/l	0.0015	0.0043
Ba	mg/l	0.055	0.041
Ca	mg/l	579.4	172.3
Cd	mg/l	0.00001	0.00009
Cl	mg/l	5.66	4.25
Co	mg/l	0.004	0.015
Cr	mg/l	0.002	0.009

Parametri	Yksikkö	Sahavaaran PAF-sivukivi	Sahavaaran avolouhos
Cu	mg/l	0.006	0.019
F	mg/l	0.39	0.29
Fe	mg/l	25.7	68.7
Hg	mg/l	0.000010	0.000008
K	mg/l	149.6	50.3
Mg	mg/l	35.6	20.1
Mn	mg/l	1.95	0.52
Mo	mg/l	0.006	0.037
Na	mg/l	24.7	14.0
NH ₄ _N	mg/l	1.10	0.82
Ni	mg/l	0.39	1.04
NO ₃ _N	mg/l	3.36	2.52
N _{tot}	mg/l	4.89	3.67
Pb	mg/l	0.0010	0.0028
PO ₄ _P	mg/l	0.026	0.020
P _{tot}	mg/l	0.031	0.023
Sb	mg/l	0.03	0.02
SO ₄	mg/l	548.9	508.7
Sr	mg/l	0.21	0.16
U	mg/l	0.006	0.030
Zn	mg/l	0.057	0.265

Taulukko 19: Puhdistus-/saostustuotteen määrä, kalkin kulutus, reagoimattoman kalkin määrä ja lietteen kokonaismäärä kiinteänä aineena per litra käsiteltyä vettä (Korvaa teknisen kuvauksen taulukon 22).

Parametri	Sahavaaran PAF-sivukivi	Sahavaaran avolouhos
Kalkin tehokkuus	80%	80%
Kalkin kokonaiskulutus (mg/l)	227.5	175.2
Reagoimaton kalkki (mg/l)	45.5	35.0
Puhdistus-/saostustuote yhteensä litraa kohti (mg/l)	429.6	477.7
Kiinteän aineen kokonaismäärä (saostumat + reagoimaton kalkki) litraa kohti (mg/l)	475.1	512.8

Taulukko 20: Sahavaaran PAF-solujen vesimäärät ja lasketut lietemäärät suotoveden kemiallisesta saostuksesta ja seuraavasta vedenpoistosta geoputkissa (Korvaa teknisen kuvauksen taulukon 23).

Parametri	Vuotuinen veden tilavuus	Lietteen vuotuinen määrä (kuivapaino)	Lietteen tilavuus 5% TS: ssä	Kuivatun lietteen tilavuus 70 % TS:ssä
Yksikkö	m ³	tonnia	m ³	m ³
Vuosi 1	-	-	-	-
Vuosi 2	-	-	-	-
Vuosi 3	226 435	108	2 151	154
Vuosi 4	253 347	120	2 407	172
Vuosi 5	280 138	133	2 662	190
Vuosi 6	308 133	146	2 928	209
Vuosi 7	337 187	160	3 204	229
Vuosi 8	644 846	172	3 443	246
Vuosi 9	392 558	186	3 730	266
Vuosi 10	644 846	306	6 127	438
Vuosi 11	699 304	332	6 645	475
Vuosi 12	451 469	214	4 290	306

Parametri	Vuotuinen veden tilavuus	Lietteen vuotuinen määrä (kuivapaino)	Lietteen tilavuus 5% TS: ssä	Kuivatun lietteen tilavuus 70 % TS:ssä
Life-of-mine yhteensä	3 955 786	1 879	37 586	2 685

Taulukko 21: Sahavaaran PAF-solujen vesimäärät ja lasketut lietemäärät tyhjennysveden kemiallisesta saostamisesta ja seuraavasta vedenpoistosta geoputkissa (Korvaa teknisen kuvauksen taulukon 24).

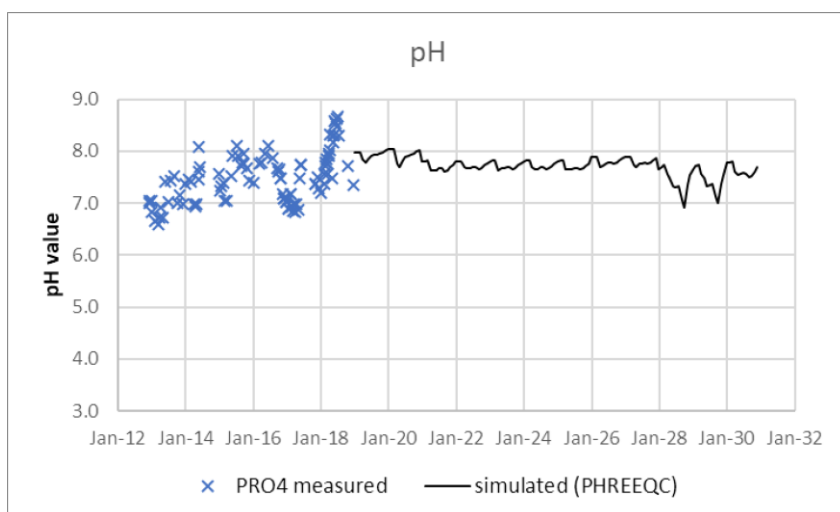
Parametri	Vuotuinen veden tilavuus	Lietteen vuotuinen määrä (kuivapaino)	Lietteen tilavuus 5% TS: ssä	Kuivatun lietteen tilavuus 70 % TS:ssä
Yksikkö	m ³	Tonnia	m ³	m ³
Vuosi 1	-	-	-	-
Vuosi 2	-	-	-	-
Vuosi 3	2 422 870	1 242	24 847	1 775
Vuosi 4	3 068 555	1 573	31 468	2 248
Vuosi 5	3 067 460	1 573	31 457	2 247
Vuosi 6	3 072 205	1 575	31 506	2 250
Vuosi 7	3 071 840	1 575	31 502	2 250
Vuosi 8	3 069 650	1 574	31 480	2 249
Vuosi 9	3 074 395	1 576	31 528	2 252
Vuosi 10	3 071 840	1 575	31 502	2 250
Vuosi 11	3 069 650	1 574	31 480	2 249
Vuosi 12	3 072 935	1 576	31 513	2 251
Elämäni yhteensä	30 061 400	15 414	308 284	22 020

Taulukko 22: Sahavaaran vedenpuhdistamossa syntyvän lietteen kokonaismäärä (Korvaa teknisen kuvauksen taulukon 25).

Parametri	Lietteen tilavuus 5% TS: ssä	Kuivatun lietteen tilavuus 70 % TS:ssä
Yksikkö	m ³	m ³
Vuosi 1	-	-
Vuosi 2	-	-
Vuosi 3	26 998	1 928
Vuosi 4	33 876	2 420
Vuosi 5	34 119	2 437
Vuosi 6	34 434	2 460
Vuosi 7	34 706	2 479
Vuosi 8	34 923	2 494
Vuosi 9	35 258	2 518
Vuosi 10	37 629	2 688
Vuosi 11	38 124	2 723
Vuosi 12	35 803	2 557
Elämäni yhteensä	345 871	24 705

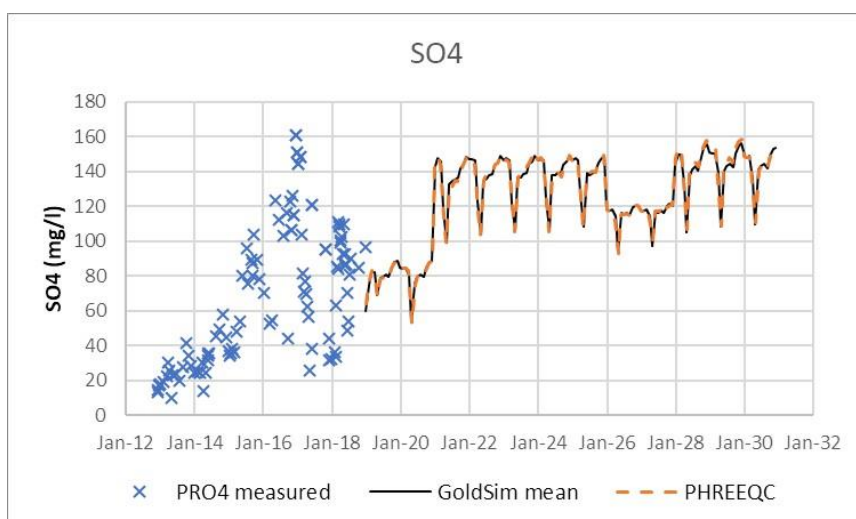
4.2.2 Veden laatu prosessivesialtaassa käsittelyskenaariossa

Prosessivesialtaan PHREEQC:llä mallinnettu pH-arvon kehitys käsittelyskenaariota varten on esitetty kuvassa 15 jossa sitä verrataan näytteenottopisteen PRO4 historiallisesti mitattuihin pH-arvoihin. Kuvasta käy ilmi, että pH on huomattavasti suurempi viiteskenaarioon verrattuna. Mallinnusvuosina 1 ja 2, jolloin toimintaan sisältyy vain Tapulimalmin louhinta ja rikastus, pH-arvo vaihtelee 7,8:n ja 8,1:n välillä, kuten mitatut arvo viiteskenaariossa. Tuotantovuodesta 3 alkaen, jolloin Sahavaaran kaivostoiminta ja vaahdotus alkavat, pH laskee hieman arvoon, joka on noin pH 7,7. Vuodesta 10, jolloin Tapulin avolouhoksen louhinta ja tyhjennyspumppaus lopetetaan, pH:n vaihtelut lisääntyvät, mutta eivät laske alle pH 6,8:n.



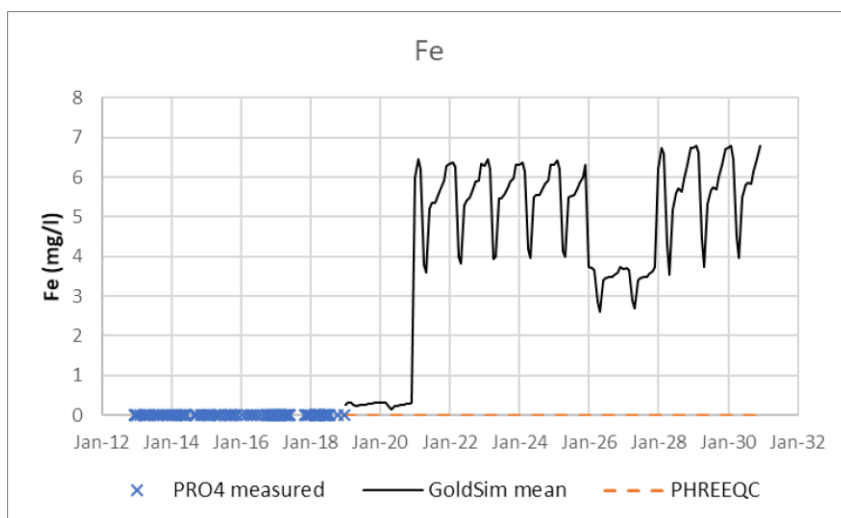
Kuva 15: Prosessivesialtaan pH:n kehittäminen käsittelyskenaariota varten.

Kuvassa 16 esitetään mallinnettu sulfaattipitoisuus prosessivesialtaassayhdessä näytteenottopisteen PRO4 historiallisten tietojen kanssa. Vuosien 1–2 välillä GoldSim ja PHREEQC laskevat sulfaattitasojen vaihtelevan noin 80 mg/l vaiheilla, mikä vastaa sekä historiallisia tietoja että viiteskenaarion toteutumaa. Vuosien 3–9 välillä, kun louhinta Sahavaarassa ja vaahdotus alkaa, pitoisuuden ennustetaan lasketaan noin 200 milligrammaan/l, mikä on huomattavasti alempi kuin viiteskenaario. Mallintamisvuodesta 10 alkaen sulfaattipitoisuuksien lasketaan nousevan edelleen hieman alle 160 milligrammaan/l käsittelyskenaariossa, mikä on paljon vähemmän kuin viiteskenaarioon mallinnettu pitoisuus (jossa pitoisuudet olivat noin 480 mg/l viimeisellä tuotantojaksolla).



Kuva 16: Sulfaattipitoisuuden kehittäminen prosessivesialtaassa käsittelyskenaariota varten.

Rautapitoisuudet tilitetään kuvassa 17. Vuosien 1–ja 2 välillä GoldSimin ja PHREEQC:n mallinnustulokset ovat samanlaisia kuin tulokset viiteskenaariossa ja tiedot näytteenottopisteestä PRO4 rautapitoisuuksien ollessa alle 0,4 mg/l. Vuodesta 3 alkaen, kun Sahavaaran louhinta ja vaahdotus alkavat, rautapitoisuus kasvaa, vaikkakin huomattavasti vähemmän kuin viiteskenaariossa. Konservatiivisessa GoldSim-mallinnuksessa saadaan pitoisuuksia 2,5–6,5 mg/l vuosina 3–9, joka nousee 6,8 milligrammaan/l vuosina 10–12 (GoldSimin vastaavat pitoisuudet olivat viiteskenaariossa jopa 65 mg/l). PHREEQC-mallinnuksessa saadaan hyvin alhaiset rautapitoisuudet, jotka ovat alle 0,0004 mg/l koko toiminnan tuotantoajalle, koska rautaliukoisuutta ohjaa ferrihydriitti lähellä pH-neutraalia, mikä tulee vallitsemaan prosessivesialtaan käsittelyskenaariossa.

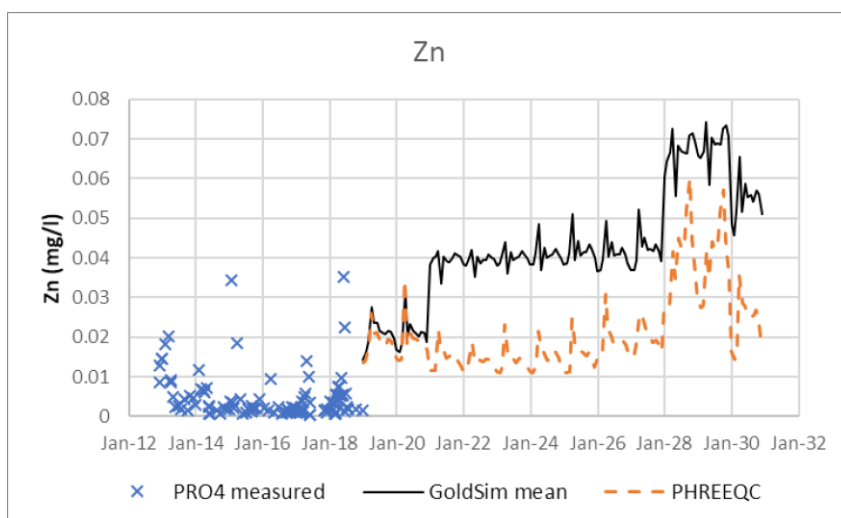


Kuva 17: Rautapitoisuuden kehittäminen prosessivesialtaassa käsittelyskenaariota varten.

Sinkkitasot prosessivesialtaassa käsittelyskenaariota varten on raportoitu kuvassa 18. Vuosina 1 ja 2 GoldSim- ja PHREEQC-mallinnettu prosessivesialtaan sinkkipitoisuudet ovat samanlaisia kuin viiteskenaariota varten mallinnetut ja vastaavat historialliset analyysitiedot, joiden pitoisuus on noin 0,02 mg/l. Vuodesta 3 alkaen GoldSimin mallinnettu sinkkipitoisuus nousee noin 0,04 milligrammaan/l, mikä vuodesta 10 on hieman alle 0,08 mg/l.

PHREEQC:llä mallinnetut sinkkipitoisuudet ovat pienemmät kuin GoldSimissa saadut pitoisuudet koska PHREEQC ottaa huomioon sinkin sorption ferrihydriittiin. PHREEQC:n simuloima sinkin sorptio prosessivesialtaassa on suurempi käsittelyskenaariossa perustapauksen skenaariossa, koska neutraalia lähellä oleva pH prosessivesialtaassa lisää negatiivista varausta ferrohydriitin pinnalla, mikä adsorboi kationeja.

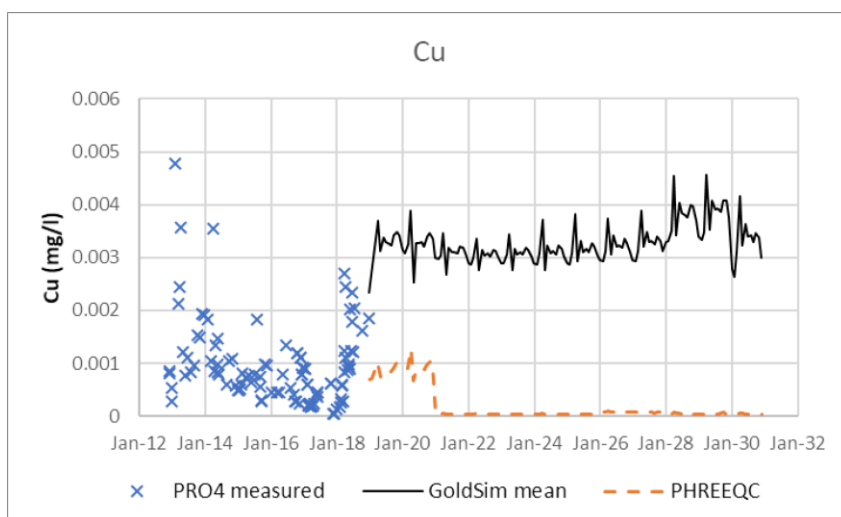
PHREEQC-mallinnuksessa saatuja tuloksia on pidettävä todennäköisempinä GoldSimiin verrattuna.



Kuva 18: Sinkkipitoisuuden kehittäminen prosessivesialtaassa käsittelyskenaariota varten.

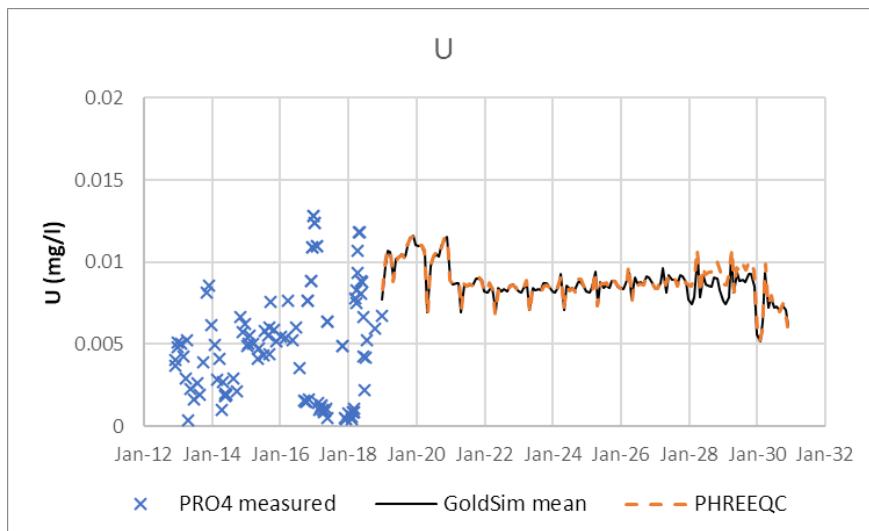
Kuparipitoisuuden mallinnettu kehitys käsittelyskenaariota varten on esitetty kuvassa 19. Tuotantovuosina 1-9 GoldSim laskee pitoisuuksien olevan noin 0,003 mg/l. Vuosien 10-12 välillä Cu-pitoisuudet nousevat noin 0,004 milligrammaan/l. Tämä on huomattavasti alhaisempi kuin viiteskenaarioon mallinnetut pitoisuudet, jossa saatiin jopa 0,019 mg/l pitoisuuksia.

PHREEQC laskee pienemmät pitoisuudet kuin GoldSim pääasiassa siksi, että Cu: n sorptio ferrihydriittiin otetaan huomioon neutraaleilla pH-arvoilla. Vuosina 1 ja 2 kuparipitoisuus vaihtelee noin 0,001 mg/l vaiheilla. Vuodesta 3 alkaen PHREEQC:llä saadaan prosessivesialtaaseen kuparipitoisuuksia, jotka laskevat alle 0,0001 milligrammaan/l, mikä selittyy sillä, että suurempi määrä ferrihydriittiä saostuu prosessivesialtaassa ajanjakson aikana, mikä johtaa käytettävissä olevien sorptiopaikkojen merkittävään kasvuun.



Kuva 19: Kuparipitoisuuden kehittäminen prosessivesialtaassa käsittelyskenaariota varten.

Uraanipitoisuudet käsittelyskenaariossa esitetään kuvassa 20. Vuosista 1 ja 2 sekä GoldSim että PHREEQC laskevat pitoisuuksien olevan noin 0,01 mg/l. Vuosien 3-10 välillä U-pitoisuudet vaihtelevat hieman alhaisempien arvojen 0,008 mg/l vaiheilla. Tämä on selvästi pienempi kuin mitä mallinnettiin viiteskenaariolle, jossa saadut pitoisuudet olivat jopa 0,027 mg/l. PHREEQC antaa samanlaisia pitoisuuksia kuin GoldSim, mikä johtuu siitä, että uraani ei adsorboitu merkittävästi ferrihydriittiin pH:n ollessa lähellä neutraalia.

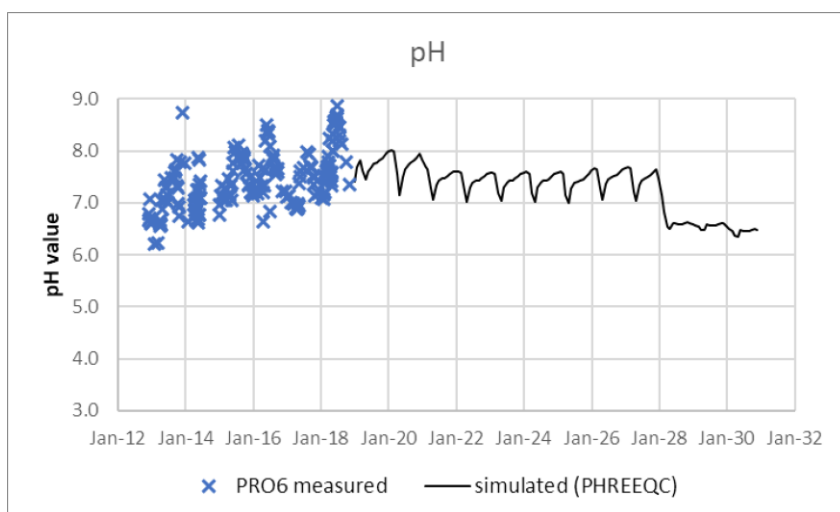


Kuva 20: Uraanipitoisuuden kehittäminen prosessivesialtaassa käsittelyskenaariota varten.

4.2.3 Veden laatu selkeytysaltaassa käsittelyskenaariota varten

Kuviossa 21 esitetään mallinnettu pH (mallinnettu PHREEQC:ssä) käsittelyskenaariota varten verrattuna selkeytysaltaan historiallisiin pH:n analyysitietoihin (PRO6). Vuosien 1 ja 2 välillä mallinnettu pH-arvo vaihtelee pH 7,1:n ja pH 8,0:n välillä historiallisten tietojen mukaisesti. Selkeytysaltaan vaihtelut ovat samanlaisia kuin prosessivesialtaan vaihtelut.

Vuodesta 3 alkaen mallinnetaan selkeytysaltaan hieman laskevan pH:n olevan pH 7,0:n ja pH 7,7:n välillä, mikä on seurausta Sahavaaran kaivostoiminnan louhinnan ja vaahdotusrikastuksen lisääntymisestä. Vuosien 10 ja 12 välillä pH laskee edelleen arvoon, joka on noin pH 6,5, koska tänä aikana tulee vähemmän heikosti emäksistä vettä magneettierottelusta. Voidaan panna merkkeille, että käsittelyskenaariossa saadaan selvästi korkeampi pH selkeytysaltaassa verrattuna siihen, mitä viiteskenaariota varten on mallinnettu.

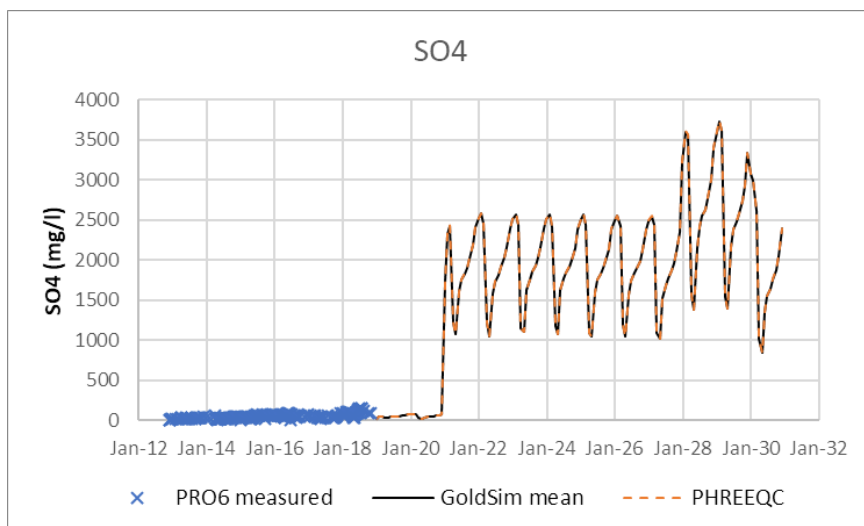


Kuva 21: Selkeytsaltaan pH:n kehittäminen perusskenaariota varten.

Selkeytsaltaan sulfaattipitoisuuden mallinnettu kehitys sekä näytteenottopisteestä PRO6 saadut tiedot esitetään kuvassa 22. Mallinnetut sulfaattipitoisuudet (sekä aritmeettinen keskiarvo GoldSims realisaatioissa että PHREEQC:n simulaatioissa) ovat hieman pienemmät kuin käsittelyskenaariossa verrattuna viiteskenaarioon.

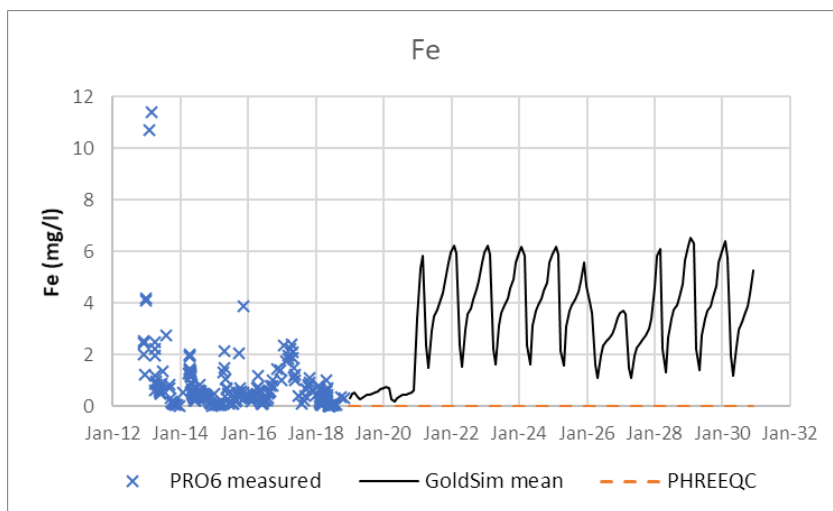
GoldSim ja PHREEQC mallintavat vastaavia sulfaattipitoisuuksia eivätkä olosuhteet selkeytsaltaassa vaikuta mainittavasti sulfaattipitoisuuksiin.

Mallinnetut sulfaattipitoisuuden vuotuiset vaihtelut ovat jälleen seurausta laimennuksesta ja väkevoitymisestä, joka liittyy jäätymiseen ja jään sulamiseen eri vesialtaissa.



Kuva 22: Sulfaattipitoisuuden kehittäminen prosessivesialtaassa käsittelyskenaariota varten.

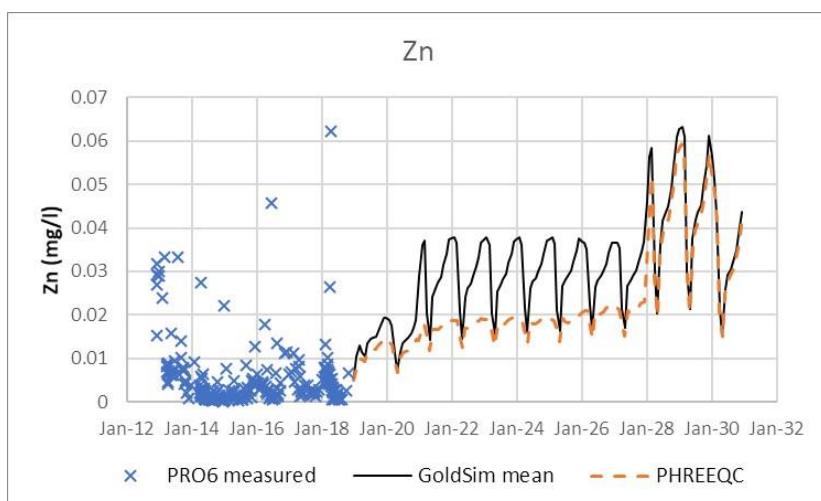
Mallinnetut rautapitoisuudet on esitetty kuvassa 23. GoldSimin konservatiivinen raudan siirto vedenkäsittelyjärjestelmässä laskee alle 1 mg/l pitoisuudet vuosina 1 ja 2, jotka nousevat noin 6 milligrammaan/l jäljellä olevan tuotantojakson aikana, vuosina 3–12. Tämä on ristiriidassa PHREEQC:n laskelmien kanssa, joissa otetaan huomioon ferrihydriitin saostuminen selkeytysaltaassa, joka antaa paljon pienemmät rautapitoisuudet (alle 0,002 mg/l) koko mallinnusjaksolle. PHREEQC- simulointien odotetaan olevan realistisempia selkeyksaltaan lähellä neutraalia olevissa ja hapettavissa olosuhteissa.



Kuva 23: Rautapitoisuuden kehittäminen selkeytysaltaassa käsittelyskenaariota varten.

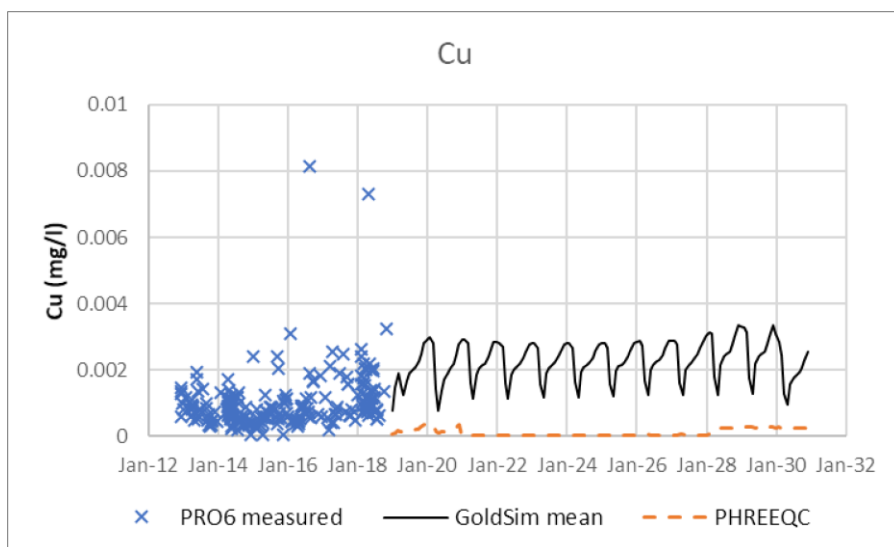
Selkeytysaltaan mallinnetut sinkkipitoisuudet on esitetty kuvassa 24 yhdessä PRO6:n historiallisten analyysitietojen kanssa. GoldSimin sinkkipitoisuuden laskelma vuosina 1 ja 2 vaihtelee aina arvoon 0,02 mg/l saakka. Vuosien 3 ja 9 välillä havaitaan sinkkipitoisuuden nousu jopa 0,04 milligrammaan/l Sahavaaran korkeamman sinkkikuormituksen vuoksi. Vuoden 10 jälkeen sinkkipitoisuuksien lasketaan nousevan jopa 0,06 milligrammaan/l, koska tuotantojaksoon sisältyy vain Sahavaaran louhinta ja vaahdotusta sovelletaan koko rikastetuotantoon.

PHREEQC:ssä lasketaan sitä vastoin sinkkipitoisuuden vuosien 1–9 välillä olevan pienempi kuin GoldSimissa saatu, koska sinkki adsorboituu ferrihydriitin pinnalle, kun selkeytysaltaan pH on neutraali tai hieman emäksinen. Vuosista 10–12 alkaen PHREEQC mallintaa sinkkipitoisuuksia, jotka ovat GoldSimin tasolla, koska adsorptio ei ole yhtä tehokasta alhaisemmassa pH:ssa, jonka odotetaan esiintyvän selkeytysaltaassa vuodesta 10. alkaen.



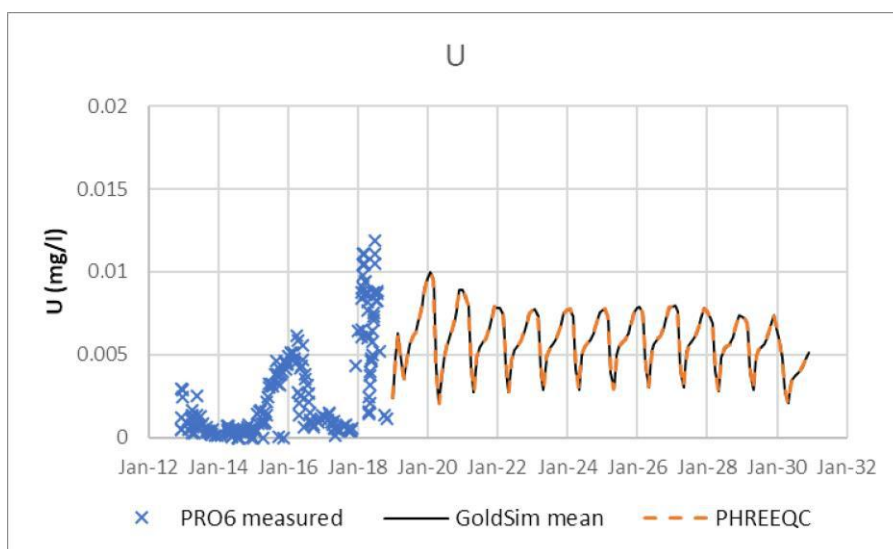
Kuva 24: Sinkkipitoisuuden kehittäminen selkeytysaltaassa käsittelyskenaariota varten.

Mallinnetut kuparipitoisuudet on esitetty kuvassa 25. GoldSim mallintaa pitoisuuksia, jotka ovat enimmäkseen noin 0,0033 mg/l koko tuotantojakson ajan. PHREEQC sitä vastoin laskee pienemmät pitoisuudet verrattuna GoldSimiin, jossa korkein pitoisuus on noin 0,0004 mg/l. Tämä selittyy jälleen sillä, että PHREEQC ottaa huomioon kuparin sorption saostettuun ferrihydriitiin.



Kuva 25: Kuparipitoisuuden kehittäminen selkeytysaltaassa käsittelyskenaariota varten.

Uraanipitoisuudet esitetään kuvassa 26. GoldSim ja PHREEQC mallintavat pitoisuuksia aina 0,01 milligrammaan/l saakka vuosina 1 ja 2. Vuosien 3 ja 12 välillä huippujen odotetaan olevan hieman alhaisempia, enintään 0,008 mg / l. Simuloidut pitoisuudet sekä GoldSimissa että PHREEQC:ssä ovat samanarvoisia koko tuotantojakson ajan ja huomattavasti pienemmät kuin viiteskenaariossa.



Kuva 26: Uraanipitoisuuden kehittäminen selkeytsaltaassa käsittelyskenaariota varten.

4.2.4 Kipsin kyllästymisaste prosessivesialtaassa ja selkeytsaltaassa käsittelyskenaariotavarten

Kuten kohdassa 3.5 aiemmin todettiin kipsin kyllästymisaste laskettiin lämpökemiallisella mallinnuksella PHREEQC:ssä. Mallinnettu kipsin kylläisyysindeksi on laskettu suunnitellulle 12:lle tuotantovuodelle.

Kipsin saostamiseksi tarvitaan tietty määräsuhde kalsiumille ja sulfaatile. Kiinteässä muodossa oleva kipsi prosessivedessä voi saostua vain olosuhteissa, joissa kipsin kyllästymisindeksi on positiivinen ($SI > 0$). Jos kyllästysindeksi on 0, kipsin tasapainosuhteet vallitsevat liuoksessa. Jos kylläisyysindeksi on negatiivinen, se tarkoittaa, että tyydyttymättömät olosuhteet vallitsevat, minkä jälkeen kipsi esiintyy vain liuenneessa muodossa tai ei ollenkaan. Selkeytsaltaan mallinnettu kipsi-kylläisyysindeksi 12 tuotantovuoden aikana vaihtelee -3,0501 ja -0,03877 välillä, ja prosessivesialtaan osalta se vaihtelee välillä -2,1407 ja -1,1638, mikä tarkoittaa, että kipsi esiintyy vain liuenneessa muodossa tai ei ollenkaan.

4.2.5 Muonionjoen pitoisuudet purkamisen aikana käsittelyskenaariota varten.

4.2.6.1 Purkuvesi

Taulukossa 23 tilitetään pitoisuudet purkuvedessä ja pitoisuudet Muonionjoessa (100% sekoittumisen jälkeen) viiteskenaariossa verrattuna HVMFS 2019:25:n hyvän ekologisen ja hyvän kemiallisen statuksen arviointiperusteisiin ja raja-arvoihin.

Aivan kuten viiteskenaariossa, pitoisuudet tilitetään kolmena tilastollisena arvona:

1. koko tuotantojaksolle laskettu keskiarvo (aritmeettinen keskiarvo),
2. yksittäisen vuoden korkein vuosikeskiarvo, ja
3. korkein enimmäispitoisuus, joka on mallinnettu koko tuotantojaksolle.

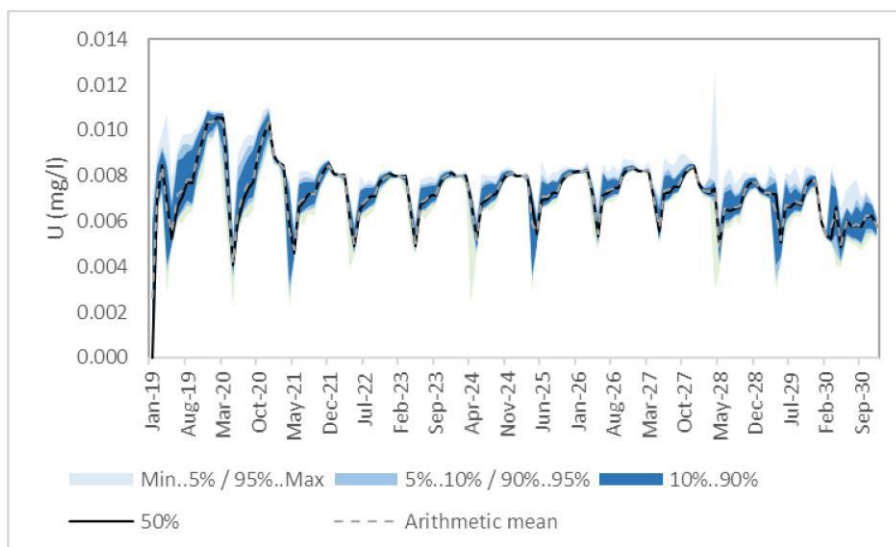
Verrattaessa arviointikriteereihin ja raja-arvoihin, vuosikeskiarvojen ylitykset merkitään taulukossa tummanpunaisiksi soluiksi. Enimmäispitoisuuden ylittäminen on merkitty lihavoidulla *ja kursivoidulla tyylillä*.

Kuten aikaisemmin mainittiin, kaivostoiminnasta puretun veden pH:n vaihteluväli on yleensä 6-9. Näin ollen voidaan todeta, että mallinnettu vuosikeskiarvot 6,8 - 8 viiteskenaariossa jäävät tämän vaihteluvälin sisäpuolelle.

Laimentamattoman purkuveden käsittelyskenaariossa mallinnetut keskiarvot ja vuotuinen enimmäiskeskiarvo alittavat yleensä HVMFS 2019:25:n mukaiset arviointiperusteet ja raja-arvot. Cu:n, Cr:n, Zn:n ja Ni:n vuotuinen enimmäiskeskiarvo ylittää edelleen vuosikeskiarvojen arviointikriteerit ja raja-arvot käsittelyskenaariossa ja nikkelin enimmäisraja-arvot, mutta mallinnetut pitoisuudet ovat huomattavasti alhaisemmat viiteskenaarioon verrattuna. Tässä yhteydessä on kuitenkin huomattava, että säännön mukaiset Cu-, Ni-, Pb- ja Zn-vuosikeskipitoisuudet tarkoittavat biosaatavaa pitoisuutta, kun taas GoldSim ja PHREEQC mallintavat kokoaan liuennutta pitoisuutta.

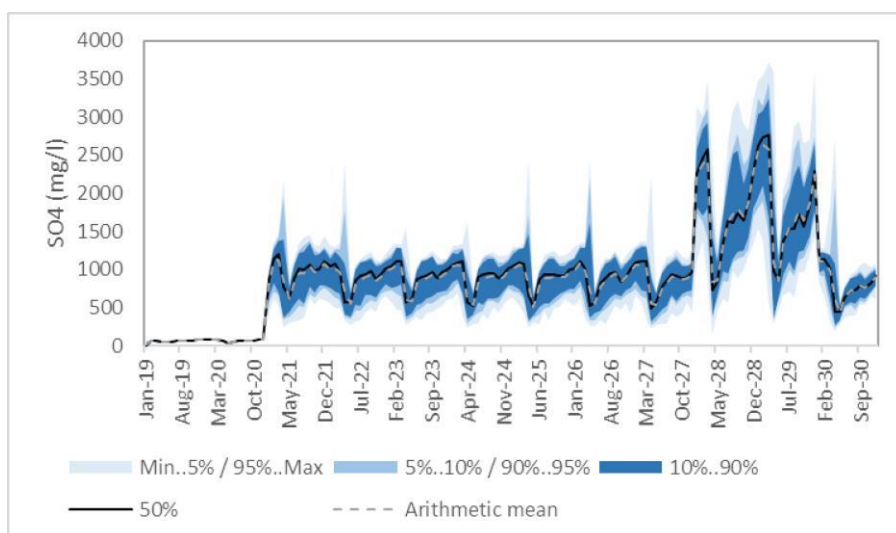
Uraanin osalta laimentamattoman purkuveden pitoisuus on suurempi kuin HVMFS 2019:25:n mukainen arviointiperuste.

Kuvassa 27 esitetään U-pitoisuuden todennäköisyysjakauma purkuvedessä 100 Monte Carlo realisoinnissa, jotka on laskettu GoldSimissa (ei PHREEQC:ssä ja siten varovainen arviointi). Vähimmäis- ja enimmäispitoisuudet on esitetty vaaleansinisinä, 5 ja 95 prosentin prosentuaalinen taso on keskisininen ja 10- ja 90-prosentuaalinen taso näytetään tummansinisinä. Mediaani (50 prosentuaalinen taso) näkyy mustan viivan muodossa, ja keskiarvo (aritmeettinen keskiarvo) näkyy harmaana katkoviivana. Uraanille kaikki 100 Monte Carlo realisoinnit osoittivat samanlaisia tuloksia ja vähimmäis- ja enimmäispitoisuudet ovat lähellä aikasarjojen keskiarvoja. Poikkeukset koskevat kuitenkin joitakin talven huippuja, kun selkeytysaltaan jäänmuodostus voi aiheuttaa liuospitoisuuksien tilapäisen nousun jäljellä olevassa juoksevassa vedessä. GoldSimin tulokset vaihtelevat enemmän kuin PHREEQC:n tulokset, koska GoldSim laskee päivittäin, kun taas PHREEQC laskee kuukausittain.



Kuva 27: Uraanipitoisuuksien todennäköisyysjakauma kaivoksen veden päästöissä käsittelyskenaariota varten (GoldSim tulos).

Kuvassa 28 esitetään GoldSimillä mallinnetussa purkuvedessä olevan sulfaattipitoisuuden todennäköisyysjakauma (ei PHREEQC ja siten varovainen arviointi). Kaikkien 100 Monte Carlo realisaatioiden eri prosentuaaliset tasot näkyvät jälleen sinisen eri sävyinä. Vähimmäis- ja enimmäispitoisuudet ovat yleensä lähellä keskimääräistä pitoisuutta poikkeuksena jotkin talven huiput, jotka johtuvat selkeytysaltaan jäätymisestä. Suuremmat sulfaattipitoisuudet, jotka on mallinnettu 10:lle ja 11:lle, johtuvat suuremmasta rikkihappolisästä vaahdotusprosessissa tällä jaksolla samalla kun laimennus vähenee, kun Tapulin avolouhosta ei louhita eikä tyhjennyspumpata.



Kuva 28: Sulfaattipitoisuuksien todennäköisyysjakauma kaivoksen vesipäästöissä käsittelyskenaariota varten (GoldSim tulos).



4.2.6.3 Kun 100 % sekoittuminen Muonionjoen virtaamanon tapahtunut

Kun sekoittuminen on tapahtunut joessa täysin, mallinnetaan pitoisuudet, jotka ovat pienempiä kuin kaikkien parametrien arviointiperusteet ja raja-arvot. Kuten edellä on todettu, viitataan WSP:n (ympäristövaikutusten arvioinnin liitteet H14 ja H20) tekemiin tutkimuksiin, jotka koskevat yksityiskohtaisempia sekoitus- ja laimennuslaskelmia Muoniojoessa.



Taulukko 23: Taulukossa 100 tilitetään pitoisuudet purkuvedessä ja pitoisuudet Muonionjoessa (100 % sekoittumisen jälkeen) viiteskenaariossa verrattuna HVMFS 2019:25:n hyvän ekologisen ja hyvän kemiallisen statuksen arviointiperusteisiin ja raja-arvoihin.

			EQS limits (HVMFS 2019:25)		Purkuvesi viiteskenaariota varten				100% sekoittuminen Muonionjoessa		
Parametri	Yksikkö		Vuosikeski- pitoisuus	Maksimi- pitoisuus.	Kokonaiske- skiarvo	Korkein vuosikeskiarvo	Parametri	Yksikkö		Vuosike- skipitoisuus	Maksimipi- toisuus.
pH	-				7.59	7.86	8.03		6.85	6.85	6.86
Emäksisyys	mg/l as CaCO ₃				19.52	33.20	48.02		4.88	4.90	4.91
Al	mg/l				0.01	0.01	0.01		0.03	0.03	0.03
As	mg/l		0.0005	0.0079	0.00001	0.00004	0.00006		0.00004	0.00004	0.00005
Ba	mg/l				0.023	0.041	0.048		0.008	0.008	0.008
Ca	mg/l				91.29	129.59	164.96		3.66	3.72	3.81
Cd	mg/l		0,00008	0,00045	2.28e-05	2.92e-05	3.63e-05		3.47e-06	3.48e-06	3.49e-06
Cl	mg/l				67.06	84.36	115.19		0.81	0.83	0.90
Co	mg/l				0.00339	0.00425	0.00471		0.00004	0.00005	0.00005
Cr	mg/l		0.0034		0.00304	0.00390	0.00458		0.00022	0.00022	0.00023
Cu	mg/l		0.0005*		0.00015	0.00060	0.00072		0.00030	0.00030	0.00030
F	mg/l				0.16627	0.25272	0.30971		0.00027	0.00039	0.00061
Fe	mg/l				0.00018	0.00050	0.00056		0.41	0.41	0.41
Hg	mg/l			0,00007	0.00002	0.00004	0.00005		0.00001	0.00001	0.00001
K	mg/l				42.3	59.4	82.8		0.7	0.7	0.7
Mg	mg/l				29.47	30.83	35.49		1.06	1.07	1.10
Mn	mg/l				4.80e-07	2.25e-06	3.22e-06		0.0051	0.0051	0.0051
Mo	mg/l				0.01768	0.02148	0.02405		0.00029	0.00029	0.00032
Na	mg/l				33.4	43.3	63.9		1.5	1.5	1.5
Ni	mg/l		0,004*	0,034	0.04793	0.08187	0.10131		0.00028	0.00031	0.00038
Pb	mg/l		0,0012*	0,014	0.000003	0.00001	0.00003		0.00004	0.00004	0.00004



			EQS limits (HVMFS 2019:25)			Purkuvesi viiteskenaariota varten				100% sekoittuminen Muonionjoessa			
Parametri	Yksikkö		Vuosike- skipitoisuus	Maksimi- pitoisuus.		Kokonaiske- skiarvo	Korkein vuosikeskiarvo	Parametri	Yksikkö		Vuosike- skipitoisuus	Maksimipi- toisuus.	
PO ₄ -P	mg/l					0.0384	0.0957	0.1170			0.0089	0.0089	0.0090
Sb	mg/l					0.0163	0.0172	0.0202			0.0036	0.0036	0.0036
SO ₄	mg/l					853.13	1690.50	2627.10			4.16	4.83	5.64
Sr	mg/l					0.117	0.131	0.172			0.017	0.017	0.017
U	mg/l		0.00017	0.0086		0.00743	0.00855	0.01055			0.00009	0.00009	0.00010
Zn	mg/l		0.0055*			0.0213	0.0421	0.0485			0.0024	0.0024	0.0025

*Biologisesti saatavilla

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

5.1 Viiteskenaario

Vuosien 2019–2020 viiteskenaarion mallinnustulokset prosessivesialtaassa, selkeytysaltaassa ja purkuvedessä on mallinnettu sekä GoldSimissa että PHREEQC:ssä pitoisuuksilla, jotka muistuttavat historiallisia analyysitietoja. Näiden kahden ensimmäisen mallinnusvuoden aikana mukaan lasketaan vain malmin louhinta ja rikastaminen Tapulin avolouhoksesta, jolloin vedenkäsittelyjärjestelmään tulee lievästi emäksistä vettä, jossa on alhaiset liuenneiden aineiden pitoisuudet.

Mallinnetusta tuotantovuodesta 3 (2021 alkaen), jolloin mallin toimintaan sisältyy malmin louhinta ja rikastaminen Sahavaaran avolouhoksesta, näkyy veden laadun muutos, jossa pH on alhaisempi ja liuenneiden aineiden pitoisuudet suuremmat. Vaahdotusprosessissa lisätään myös rikkihappoa, joka vaikuttaa veden koostumukseen.

Vuonna 2028 malmin louhinta ja rikastaminen Tapulin avolouhoksesta saadaan päätökseen. Koko rikastetuotannossa sovelletaan vaahdotusta. Tämä lisää liuenneiden aineiden määrää entisestään vuosina 2028–2030 sekä alentaa pH:ta prosessivesialtaassa, selkeytysaltaassa ja purkuvedessä.

Kun viiteskenaarion purkuveden pitoisuuksia ja Muoniojoen pitoisuuksia täydellisen sekoittumisen jälkeen verrataan statusluokituksen arviointiperusteisiin ja raja-arvoihin, kaikki arvot Muoniojoessa alitetaan. Voidaan myös panna merille, että sääntöjen mukaiset Cu-, Ni-, Pb- ja Zn-vuosikeskipitoisuudet tarkoittavat biosaatavaa pitoisuutta, kun taas GoldSim ja PHREEQC mallintavat kokoaan liuennutta pitoisuutta.

5.2 Käsittelyskenaario

Viiteskenaariossa saavutettiin alhaisemmat pH-arvot sekä prosessivesialtaassa että selkeytysaltaassa ja ajoittain myös purkuvedessä sekä kohonneita liuenneiden aineiden pitoisuuksia. Tästä syystä suunnitellaan vedenpuhdistusta korjaamalla suotoveden ja tyhjennysveden pH-arvoa Sahavarassa sekä säätämällä pH-arvoa vaahdotushiekan vesivaiheessa ennen sen varastointia.

Ehdotetut toimenpiteet parantavat merkittävästi veden laatua prosessivesialtaassa, selkeytysaltaassa ja purkuvedessä. Mallinnetut pH-arvot käsittelyskenaariossa pysyvät neutraaleina ja hivenmetallien ja sulfaatin pitoisuudet ovat huomattavasti alhaisemmat verrattuna viiteskenaarioon. Verrattaessa HVMFS 2019:25:n mukaisiin arviointiperusteisiin ja raja-arvoihin voidaan todeta, että pitoisuudet joihin sekoittumisen jälkeen alittavat arvot kaikkien aineiden osalta ja että pitoisuudet ovat huomattavasti pienempiä kuin viiteskenaariossa.

Kipsikylläisyysindeksin laskelmat sekä selkeytys- että prosessialtaan osalta vaihtelivat alle 0:n, mikä osoittaa, että kalsiumin ja sulfaatin määräsuhte ei ole riittävä kipsin muodostumiselle.

6 VIITTEET

Eriksson, N., Gupta, A., Destouni, G. (1997): Vertaileva analyysi laboratorio- ja kenttäjäljitinkokeista kaivosjättekiven etuoikeutetun virtauksen ja kuljetuksen tutkimiseksi. *Journal of Hydrology* 194, 143 – 163.



GTK (2021): Sahavaara Pilot Plant 2021. Tutkimusraportti C/MT/2021/18 (luottamuksellinen). Geological Survey of Finland.

Kempton, H. (2012): A review of scale factors for estimating waste rock weathering from laboratory tests. ICARD 2012.

Northland (2014): Lasketut pitoisuudet ja kuormituksen purkuvesistöissä - Purkaminen tuotannon aikana, patomurtumat selkeytysallas ja jälkikäsitellyt jätevarastot. Section 4.2 of the 2014 Northland EIA.

Parkhurst, D.L. Appelo, C.A.J. (2013): PHREEQC:n version 3-A tietokoneohjelman syötteen ja esimerkkien kuvaus ja esimerkkejä spesifikaatiota, eräreaktiota, yksiulotteista kuljetusta ja käänteisiä geokemiallisia laskutoimituksia varten. U.S. Geological Survey. (Techniques and Methods; Book 6), 497 pp. Saatavana: <https://pubs.usgs.gov/tm/06/a43>

Schafer and Associates (1997): Getchell Gold Mine Acid Rock Drainage prediction study. Phase1 DataReport.

SRK (2014a): Hydrogeokemiallinen mallivertailu sivukivenkäsittelyn strategioista Tapulin kaivoksen sivukivivarastossa, Ruotsissa. Section 7.1 of the 2014 Northland EIA.

SRK (2014b): Hydrogeokemiallinen mallinnushapen tunkeutumisesta ja liuenneiden aineiden pätöistä peitetystä sivukivivarastosta Sahavaarassa, Ruotsissa – Yhteenvedo. Section 7.2 of the 2014 Northland EIA.

Ystävällisin terveisin,

Tobias Roetting-

Päägekemisti

Christine Campbell

Principal Water Resources Engineer

TR